



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง อธิปไตยของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนในการเตรียมน้ำเสีย
จากโรงงานเส้นใยในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการอนามม็อกซ์

Effect of Volumetric Loading of Partial Nitrification Process for the Preparation of
Vermicelli Wastewater to Remove Nitrogen by Anammox Process

นามผู้วิจัย นางสาวมลทิชา กำเหนิดทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล ดำรงค์ศรี, Dr.Ing.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจียมไชยศรี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อิทธิพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนในการเตรียมน้ำเสีย
จากโรงงานวุ้นเส้นในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการอนามม็อกซ์

Effect of Volumetric Loading of Partial Nitrification Process for the Preparation of
Vermicelli Wastewater to Remove Nitrogen by Anammox Process

โดย

นางสาวมลธิชา กำเหนิดทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มลพิษ กำหนดของ 2555: อิทธิพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน
บางส่วนในการเตรียมน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการ
อนาโม็กซ์ ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มงคล คำรงค์ศรี, Dr.Eng. 98 หน้า

น้ำเสียจากโรงงานวันเส้นเป็นน้ำเสียที่มีธาตุอาหารไนโตรเจนสูง ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ผ่านการ
บำบัดบำบัดแบบไร้อากาศมาแล้วแต่ยังคงมีค่าแอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ค่อนข้างสูง
การบำบัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบดั้งเดิมใช้การเติมอากาศในกระบวนการ
ไนตริฟิเคชันและเติมสารอินทรีย์คาร์บอนในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ปัจจุบันได้มีการพัฒนา
กระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนโดยการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนไปเป็นไนไตรท์
ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) ภายใต้สภาวะแอโรบิกโดยแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียตามด้วย
กระบวนการอนาโม็กซ์เป็นกระบวนการที่สามารถบำบัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียภายใต้สภาวะ
ไร้อากาศโดยแอมโมเนียถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน

จากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน
บางส่วนในการเตรียมน้ำเสียโรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการอนาโม็กซ์
โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาดห้องปฏิบัติการปริมาตร 8 ล. ควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ
ที่ 0.7 ± 0.1 มก./ล. จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราภาระแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-
ไนโตรเจน/ม.³-วัน ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียร้อยละ 91, 67, 53 และ 36 ตามลำดับ
อัตราส่วนไนไตรท์ต่อแอมโมเนียในน้ำออกมีค่าเท่ากับ 1:1.60, 1:0.93, 1:0.50 และ 1:0.33
ตามลำดับ

Monthicha Kamnoedthong 2012: Effect of Volumetric Loading of Partial Nitrification Process for the Preparation of Vermicelli Wastewater to Remove Nitrogen by Anammox Process. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Mongkol Damrongsri, Dr.Ing. 98 pages.

The wastewater from vermicelli factory characterizes as the high composition of nitrogen nutrient. Especially, ammonia nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$). The conventional biological nitrogen removal process to treat nitrogen from wastewater is nitrification process by aeration and added organic carbon in denitrification process. Nowadays the development of partial nitrification process change ammonia to nitrite ($\text{NO}_2^- \text{-N}$) under aerobic condition by ammonium oxidation which called this process as: Single Reactor System for High Ammonium Removal Over Nitrite (SHARON) and follow up by ANAerobic AMMONium OXidation (Anammox) process. This Anammox process is able to treat nitrogen in wastewater by changing nitrite to nitrogen gas under anaerobic condition.

In this study the effect of volumetric loading of partial nitrification process for the preparation of vermicelli wastewater to remove nitrogen by anammox process. Study the lab scale reactor of volume 8 L. The variable parameters to control the study were ammonia loading rate. The dissolved oxygen in order to control partial nitrification process was control at 0.7 ± 0.1 mg/L. The result of the experiments found that, at ammonia loading rate of 0.05, 0.08, 0.10 and $0.12 \text{ kg-N/m}^3\text{-day}$, the ammonia removal efficiencies were 91, 67, 53 and 36 percent. Therefore, the ratios of nitrite produced to ammonia utilization were equal to 1:1.60, 1:0.93, 1:0.50 and 1:0.33 respectively.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบ
ขอบพระคุณ ผศ.ดร.มงคล คำรงค์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ผศ.ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ อาจารย์
ที่ปรึกษาร่วมที่ให้คำปรึกษา ความรู้ และคำแนะนำตลอดระยะเวลาในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์
ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สัญญา สิริวิทยาปรกรณ์ ประธานกรรมการดำเนินการสอบ และ
รศ.ดร.เฉลิมราช วันทวิน ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำแนะนำในด้านวิชาการ

ขอขอบพระคุณพี่ๆเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม 1 และ 2 ที่ช่วยเหลือในการทำ
ถึงปฏิบัติการ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งคำแนะนำที่เป็น
ประโยชน์ในการทำการวิจัย ขอบพระคุณพี่ๆปริญญาเอก ขอขอบคุณเพื่อนๆปริญญาโทที่ช่วยเก็บ
ตัวอย่างน้ำเสียจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบพระคุณ โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง กรุงเทพมหานคร ที่เอื้อเฟื้อตะกอน
หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ โรงงานวันเส้นสัทธินันท์ ตำบลบางคูหลวง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัด
ปทุมธานี ที่เอื้อเฟื้อน้ำเสียในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของโรงงานทุกท่านที่มี
ส่วนเกี่ยวข้องในการขอเข้าเก็บตัวอย่างน้ำเสียและดูแลขณะที่เข้าไปเก็บตัวอย่างน้ำเสียแต่ละครั้ง

ขอกราบขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่อบรมสั่งสอนความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าซึ่งเป็นประโยชน์
ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องที่คอยช่วยเหลือสนับสนุน เป็น
แรงผลักดันทั้งกายและใจเสมอมา

ประโยชน์ที่พึงได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้ ทุกท่านที่มีส่วนสำคัญต่อ
ความสำเร็จของการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

มลธิชา กำเหนิดทอง

กันยายน 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	33
สรุปและข้อเสนอแนะ	59
สรุป	59
ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลองการศึกษานิติพลของภาระบรรทุกต่อ กระบวนการไนตริไฟเคชันบางส่วนในการเตรียมน้ำเสีย โรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการอนาม็อกซ์	66
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์	85
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	98

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบข้อได้เปรียบของกระบวนการที่ได้รับจากการพัฒนาขึ้นใหม่ในการกำจัดไนโตรเจนกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน	16
2	เปรียบเทียบความต้องการออกซิเจนและค่าความเป็นด่างสำหรับการบำบัดไนโตรเจนในกระบวนการต่าง ๆ	17
3	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	26
4	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	29
5	ศึกษาจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์	31
6	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์	31
7	สรุปลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	35
ตารางผนวกที่		
ก1	ลักษณะของน้ำเสียโรงงานวันเส้นที่ใช้ในการทดลอง	67
ก2	ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างที่เข้าและออกจากระบบ ค่าของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงของกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)	68
ก3	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงของกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)	70
ก4	ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างที่เข้าและออกจากระบบ ค่าของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย	72
ก5	ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก6 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน	74
ก7 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน	76
ก8 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน	78
ก9 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน	80
ก10 ค่าของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ	82
ก11 สรุปค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบ ค่าของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ	84
ข1 ความยาวแสงที่เหมาะสมในการวัดค่า Absorbance	91

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน	6
2	ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของแบคทีเรียในกลุ่มแอมโมเนียออกซิไดซิงแบคทีเรีย (ไนโตรโซโมแนส) และแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรออกซิไดซิงแบคทีเรีย (ไนโตรแบคเตอร์)	11
3	การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของระบบชารอนและอนาม็อกซ์	14
4	ถังปฏิกรณ์ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	22
5	น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจากโรงงานวันเส้นสัทธินันท์	24
6	ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ส่วน Return Sludge ในบ่อเติมอากาศ โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงที่ใช้ในการทดลอง	25
7	ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียไนตริไฟอิงของกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)	25
8	การเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย	27
9	ขั้นตอนการเตรียมแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ของกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนแบบต่อเนื่อง (Continuous)	28
10	การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ (ไนตริฟิเคชันบางส่วน) แบบต่อเนื่อง (Continuous)	29
11	ขั้นตอนการเดินระบบการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ (ไนตริฟิเคชันบางส่วน)	30
12	ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)	36
13	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)	37
14	พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)	38
15	ความเป็นด่างของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	ของแข็งแขวนลอยในระบบ (MLSS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ (MLVSS) ในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)	40
17	ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย	41
18	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย	42
19	พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย	43
20	ความเป็นด่างของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย	44
21	ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	45
22	ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	45
23	ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	46
24	ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	47
25	ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนียต่างๆในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	48

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	49
27	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	50
28	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	51
29	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	52
30	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	53
31	ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าและออกจากระบบ ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	53
32	ฟิเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	54
33	ความเป็นค่าของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย ต่างๆในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน	56
34	ของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) ของน้ำเข้าและ น้ำออกจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆในกระบวนการ ไนตริฟิเคชันบางส่วน	57
35	ของแข็งแขวนลอยในระบบ (MLSS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ (MLVSS) ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆในกระบวนการไนตริฟิเคชัน บางส่วน	58

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ก.	=	กรัม
กก.	=	กิโลกรัม
ก./ล.	=	กรัมต่อลิตร
ชม.	=	ชั่วโมง
มก.	=	มิลลิกรัม
มก./ล.	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
ม. ³	=	ลูกบาศก์เมตร
ล.	=	ลิตร
Alk	=	Alkalinity
Anammox	=	<u>A</u> naerobic <u>A</u> mmonium <u>O</u> xidation
AOB	=	Ammonium Oxidizing Bacteria
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
COD	=	Chemical Oxygen Demand
DO	=	Dissolved Oxygen
HRT	=	Hydraulic Retention Time
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solids
MLVSS	=	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids
NH ₄ ⁺ -N	=	Ammonia
NOB	=	Nitrite Oxidizing Bacteria
NO ₂ ⁻ -N	=	Nitrite
NO ₃ ⁻ -N	=	Nitrate
SHARON	=	<u>S</u> ingle reactor system for <u>H</u> igh <u>A</u> mmonium <u>R</u> emoval <u>O</u> ver <u>N</u> itrite
SS	=	Suspended Solids

**อิทธิพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน
ในการเตรียมน้ำเสียจากโรงงานเส้นใยในการกำจัดไนโตรเจน
โดยกระบวนการอนาม็อกซ์**

**Effect of Volumetric Loading of Partial Nitrification Process
for the Preparation of Vermicelli Wastewater
to Remove Nitrogen by Anammox Process**

คำนำ

น้ำคือวิถีชีวิตของมนุษย์ แต่อย่างไรก็ดีปัจจุบันปัญหาน้ำเน่าเสียได้ทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ระบบบำบัดน้ำเสียของประเทศไทยมีหลายประเภทซึ่งส่วนใหญ่สามารถบำบัดความสกปรกได้แต่เฉพาะสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์คาร์บอนในรูปค่าความสกปรก Biochemical Oxygen Demand หรือ BOD และ Chemical Oxygen Demand หรือ COD เท่านั้น ซึ่งยังคงเหลือส่วนที่เป็นธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน เมื่อปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำแล้วจะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น แอมโมเนียไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) ซึ่งมีพิษโดยตรงต่อสัตว์น้ำและยังทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำหรือค่าดีโอ (DO) ในน้ำลดลง ไนไตรท์ไนโตรเจน ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) เป็นพิษเฉียบพลันกับสัตว์น้ำ ส่วนไนเตรตไนโตรเจน ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) เป็นสารอาหารของพืชน้ำมีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) และเป็นสารที่มีพิษต่อคนคือเป็นเหตุทำให้เกิดโรคเด็กตัวเขียว Methemoglobinemia (Blue Baby Syndrome) เนื่องมาจากการที่เด็กอ่อนบริโภคน้ำที่มีไนเตรตสูงเกินไป ทั้งนี้ยังเกิดความเสี่ยงในการก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง Nitrosamines อีกด้วย

น้ำเสียจากโรงงานเส้นใยมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ไนโตรเจนสูง เนื่องจากเป็นโรงงานที่ใช้วัตถุดิบจากถั่วเขียวหรือโปรตีน น้ำเสียจากโรงงานประเภทนี้เมื่อบำบัดแบบไร้อากาศแล้วยังคงมีสารอาหารประเภทแอมโมเนียไนโตรเจนหลงเหลืออยู่มาก และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานประเภทนี้ใช้ระบบตะกอนเร่งเป็นส่วนใหญ่ทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดดังกล่าวมีค่าไนเตรตสูงเกินมาตรฐานทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน

กระบวนการกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีทางชีววิทยาเป็นวิธีที่ควบคุมง่าย ได้แก่ กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองแล้วยังคงมีแอมโมเนียในปริมาณสูงแต่มีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนต่ำเมื่อนำมาบำบัดด้วยกระบวนการดังกล่าวแล้วทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนไม่เพียงพอจึงจำเป็นต้องเติมสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกเข้าไป ซึ่งกระบวนการดังกล่าวต้องการออกซิเจนและสารอินทรีย์คาร์บอนปริมาณมาก มั่นสิน (2539) กล่าวว่าแอมโมเนีย 1 มก./ล. ต้องใช้ออกซิเจนประมาณ 4.6 มก./ล. และต้องการซีโอดี (COD) 3-7 เท่าของไนเตรต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์คาร์บอนซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงขึ้น

ในช่วงปลายยุคคริสต์ศักราช 90 Hellinga *et al.* (1998) มีการค้นพบการกำจัดแอมโมเนียความเข้มข้นสูงในน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพในชื่อซารอน (Single Reactor System for High Ammonium Removal Over Nitrite; SHARON) โดยควบคุมสถานะของระบบให้มีอุณหภูมิสูง (35 องศาเซลเซียส) และปราศจากการกักเก็บตะกอน ทั้งนี้ยังสามารถยับยั้งการออกซิไดซ์ไนโตรที่ไปเป็นไนเตรต กระบวนการนี้เป็นกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่ยังคงต้องเติมอากาศและแหล่งคาร์บอนแต่การเติมอากาศและแหล่งคาร์บอนลดลง 20% และ 40% ตามลำดับเมื่อเทียบกับกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันแบบทั่วไป Ruiz *et al.* (2006) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ พบว่าที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.7 มก./ล. มีแอมโมเนียคงเหลือประมาณ 50% มีไนโตรที่แต่ไม่มีไนเตรตในระบบ

ในการวิจัยครั้งนี้สนใจศึกษาการประยุกต์ใช้กระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน ซึ่งเป็นกระบวนการเบื้องต้นของกระบวนการอนาเมอริกซ์กำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนจากน้ำเสียโรงงานวันเส้นที่อัตราการบำบัดทุกแอมโมเนียต่างๆ โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.7 ± 0.1 มก./ล.

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆในการเตรียมน้ำเสียโรงงานวันเส้นต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนในการกำจัดไนโตรเจน โดยกระบวนการอนาโมกซ์ซึ่งควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.7 ± 0.1 มก./ล.

ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยถังปฏิกรณ์ โดยใช้แบบจำลองถังบำบัดน้ำเสียแบบเดิมอากาศ
2. ใช้น้ำเสียจากโรงงานวันเส้นของบริษัท สิทธิพันธ์ จำกัด อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี
3. พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือ พีเอช, ความเป็นด่าง, ของแข็งแขวนลอยในระบบ, ของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ, แอมโมเนียในโตรเจน, ไนไตรท์ในโตรเจน และไนเตรดในโตรเจน
4. เติมน้ำเสียแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) ซึ่งควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.7 ± 0.1 มก./ล. โดยทำการทดลองตามอัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ คือ 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน

การตรวจเอกสาร

1. ปัญหาของสารประกอบไนโตรเจนต่อสุขภาพอนามัย

โรคเด็กตัวเขียว เกิดจากไนเตรตในลำน้ำสามารถแทรกตัวไปสู่บ่อตื้นหรือบ่อบาดาล ใกล้เคียงซึ่งหากชุมชนนำน้ำนั้นมาใช้ในการบริโภคก็จะเกิดปัญหาทางสาธารณสุขอีกประการ ตามมา นั่นคือโรคเด็กตัวเขียว หรือ Blue Baby ซึ่งเกิดจากการที่เด็กอ่อนบริโภคน้ำที่มีไนเตรตสูงเกินไปโดยไนเตรตจะไปลดรูปเป็นไนไตรท์ในตัวเด็กและเมื่อถูกส่งถ่ายไปกับโลหิตแดงก็จะไปแย่งออกซิเจนจากโลหิตแดงนั้นๆจนเกิดเป็นโลหิตดำที่ขาดออกซิเจนทำให้เด็กมีอาการตัวเขียวและเสียชีวิตได้ จึงเรียกว่า โรคเด็กตัวเขียว องค์การอนามัยโลก การประปานครหลวง กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงอุตสาหกรรม และสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทยต่างก็กำหนดค่ามาตรฐานของไนเตรตในน้ำดื่มไว้ไม่เกิน 10 มก.-ไนโตรเจน/ล. หรือ 45 มก.-ไนเตรต/ล.

2. สารประกอบไนโตรเจนต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ความต้องการออกซิเจนของไนโตรเจน เนื่องจากการออกซิไดซ์แอมโมเนียไนโตรเจน 1 มก./ล. ไปเป็นไนไตรท์โดยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันต้องใช้ปริมาณออกซิเจนมากถึง 4.6 มก./ล. ส่งผลให้ออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การทิ้งของเสียประเภทสารอินทรีย์ไนโตรเจนลงในแหล่งน้ำจะเกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็วซึ่งต้องใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำไปเป็นจำนวนมากอาจทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลงจนถึงจุดวิกฤต (ต่ำกว่า 1 มก./ล.) ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

ความเป็นพิษของแอมโมเนีย โดยน้ำเสียที่ถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำอยู่ในสภาวะรีดิวซ์และถ้าพีเอชของแหล่งน้ำสูงพอ เช่นมากกว่าหรือเท่ากับ 8 แอมโมเนียมในน้ำเสียจะถูกแปรสภาพเป็นแอมโมเนียอิสระ แสดงดังสมการที่ 1 ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้มาก



ปัญหาที่เกิดจากแอมโมเนียมักเกิดจากการย่อยสลายโปรตีนและยูเรียซึ่งจะปลดปล่อยแอมโมเนียออกมาและก่อให้เกิดปัญหาถ้าแหล่งน้ำมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำแอมโมเนียจะสะสมเพราะไม่สามารถเปลี่ยนเป็นไนไตรท์และไนเตรตได้ แอมโมเนียจะส่งผลกระทบต่อทั้งเรื่องกลิ่นเหม็นและทำให้เกิดสภาพความเป็นต่าง นอกจากนี้ถ้าแอมโมเนียมีมากกว่า 2.5 มก./ล. ยังเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำด้วย

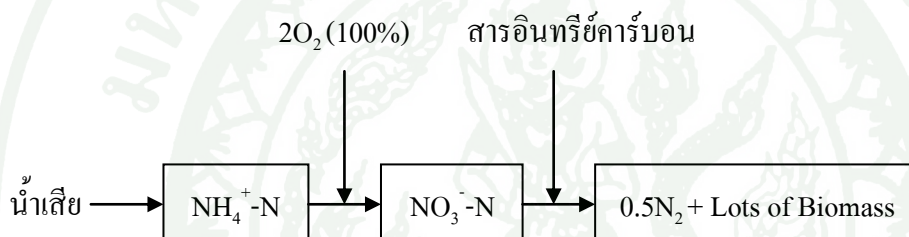
ยูโทรฟิเคชัน สารประกอบไนโตรเจนถูกจัดเป็นปัจจัยจำกัด (Limiting Factor) ที่สำคัญตัวหนึ่งของการเกิดยูโทรฟิเคชัน โดยเฉพาะไนเตรตเมื่อถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำ พืชน้ำจำพวกสาหร่ายสามารถใช้ไนเตรตเป็นอาหารในการสร้างเซลล์ ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างรวดเร็วเรียกว่า สาหร่ายเบ่งบาน (Algae bloom) และเมื่อพืชน้ำเหล่านี้ตายก็จะตกตะกอนสะสมในแหล่งน้ำและเกิดการทับถมกันบริเวณก้นของแหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินและปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำเพิ่มสูงขึ้นเกิดการเน่าเสียและมีผลต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ เนื่องจากไนเตรตเป็นไนโตรเจนรูปที่พืชใช้เป็นสารอาหารได้ดีมาก เมื่อเกิดการสะสมตัวของสาหร่ายจำนวนมากทำให้น้ำมีสีเขียวหรือแดงเข้มขุ่น สาหร่ายที่ขึ้นในน้ำนอกจากจะทำให้น้ำขุ่นและดูสกปรกแล้วยังอาจเกิดสารพิษจาก Algae Toxic รวมทั้งทำให้น้ำมีรสและกลิ่นด้วย หากมีปริมาณมากอาจทำให้ปลาตายได้ การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายในเวลากลางวันและหายใจโดยใช้ ออกซิเจนในตอนกลางคืนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของออกซิเจนละลายน้ำระหว่างวันและเป็นการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับแหล่งน้ำจนอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ นอกจากนี้การตายของสาหร่ายเป็นสาเหตุที่ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงและเกิดการเน่าเสีย ไนเตรตปริมาณ 0.3 มก./ล. มีผลทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน (Metcalf and Eddy, 1991) ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำใช้เมื่อมีการนำแหล่งน้ำนั้นมาใช้ประโยชน์รวมทั้งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

3. กระบวนการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนทางชีวภาพ

3.1 การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนแบบทั่วไป

กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification - Denitrification)

น้ำเสียโดยทั่วไปมักมีไนโตรเจนอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนและเกลือแอมโมเนียม เมื่อผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการใช้อากาศที่เรียกว่า กระบวนการไนตริฟิเคชัน สารอินทรีย์ในโตรเจนและแอมโมเนียมถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตรท์และไนเตรตในที่สุด แต่กระบวนการนี้เป็นเพียงแค่การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจน แต่ความจริงแล้วไนโตรเจนยังไม่ได้ถูกกำจัดออก เนื่องจากยังคงมีไนโตรเจนอยู่ในรูปของไนเตรตอยู่ ดังนั้นจึงต้องกำจัดไนเตรตออกจากน้ำเสีย ซึ่งต้องใช้สารอินทรีย์คาร์บอนไปทำหน้าที่เป็นสารให้อิเล็กตรอน เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องอยู่ในกลุ่มเฮเทอโรโทรฟิก เรียกกระบวนการในขั้นตอนนี้ว่า แอนีอกซิดีไนตริฟิเคชัน และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือก๊าซไนโตรเจนที่สามารถระบายออกสู่บรรยากาศ รูปแบบของกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน แสดงดังภาพที่ 1

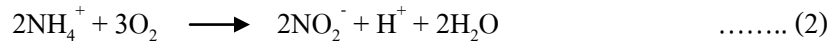


ภาพที่ 1 กระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน

ที่มา: ศิริพร (2551)

กระบวนการไนตริฟิเคชันจะอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มออกโตโทรปที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนและกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นทางชีววิทยาเพื่อทำการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรต ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดไนตริฟายอิง (Nitrifying) โดยจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในรูปไนไตรท์โดยจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมแนส (*Nitrosomonas*) เป็นหลัก ส่วนขั้นตอนที่สองจะเปลี่ยนไนไตรท์ให้เป็นไนเตรตโดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรแบคเตอร์ (*Nitrobacter*) แสดงเป็นสมการที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ

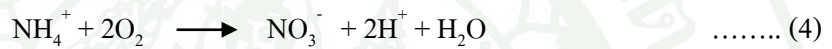
ไนโตรโซโมเนส:



ไนโตรแบคเตอร์:



ปฏิกิริยารวม:

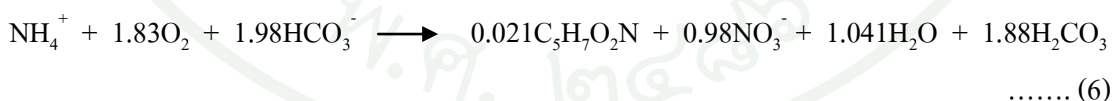


แต่แอมโมเนียมไอออนบางส่วนจะถูกนำไปสังเคราะห์หรือสร้างเซลล์จุลินทรีย์ใหม่
 ดังสมการที่ 5

ปฏิกิริยาการสร้างเซลล์จุลินทรีย์:



ปฏิกิริยารวมของการเกิดออกซิเดชันและการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ดังสมการที่ 6:

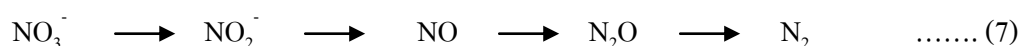


พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรตในสมการที่ 6 เท่ากับ 4.3 มก.-ออกซิเจน/มก.-แอมโมเนีย

ในกระบวนการเกิดไนตริฟิเคชันนั้น พบว่าในขั้นตอนแรกที่มีการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตโดยไนโตรโซโมเนสนั้น มีการใช้สภาพต่างค่าพีเอชจะลดต่ำลง เนื่องจากในปฏิกิริยาจะเกิดไฮโดรเจนไอออนขึ้นทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไนโตรแบคเตอร์ ทำให้การ

เจริญเติบโตของไนโตรแบคทีเรียลดค่าลงหรือถูกยับยั้งการเจริญเติบโต การเปลี่ยนไนโตรที่ เป็นไนเตรตมีค่าต่ำลงจึงทำให้กระบวนการเกิดไนตริฟิเคชันลดลงหรือช้าลงกว่าเดิม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมระดับค่าพีเอชให้มีค่าเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพื่อให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้นควรจะอยู่ในช่วง 7.2–8.0 นอกจากนี้ ธงชัย (2545) กล่าวว่า ในการดูแลระบบจะต้องหมั่นตรวจสอบสภาพความเป็นด่างในน้ำเพื่อป้องกันการลดลงของค่าพีเอช อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30-36 องศาเซลเซียส และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับหรือมากกว่า 1.0 มก./ล. ก็สามารถเพียงพอต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันแล้ว แต่ถ้าค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 0.2-0.3 มก./ล. อาจทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมๆ กัน

กระบวนการดีไนตริฟิเคชันนั้นจะอาศัยจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ในเตรตเป็นสารรับอิเล็กตรอนเป็นขั้นตอนที่ 2 ของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีววิทยา ซึ่งกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเป็นการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจนโดยจะเกิดขึ้นที่สถานะที่ไม่มีออกซิเจน แต่สามารถนำออกซิเจนจากแหล่งอื่นมาใช้คือ ไนเตรต ไนไตรท์ หรือแม้กระทั่งซัลเฟต โดยอาศัยจุลินทรีย์ชนิดดีไนตริฟายอิงโดยเริ่มแรกจะทำการเปลี่ยนไนเตรตให้เป็นไนไตรท์ ซึ่งในขั้นต่อมาจะผลิตไนตริกออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกมาแล้วปล่อยสู่บรรยากาศดังสมการที่ 7 โดยไนเตรตจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนมีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน สามารถจำแนกปฏิกิริยานี้ได้เป็น 2 ชนิดคือ Substrate Nitrate Denitrification คือสารอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนมาจาก แหล่งใดก็ได้ที่ไม่ใช่มาจากคาร์บอนในเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยสารอินทรีย์คาร์บอนอาจเป็นซีโอดี บีโอดีที่มีอยู่ในน้ำเสียหรือเป็นสารเคมีที่เติมลงไปก็ได้ซึ่งชนิดนี้เป็นรูปแบบการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์แบบปกติอีกชนิดหนึ่งก็คือ Endogenous Nitrate Denitrification กรณีนี้จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีแหล่งคาร์บอนจากภายนอก จุลินทรีย์จะใช้แหล่งคาร์บอนภายในเซลล์ของตน ปฏิกิริยานี้จึงเสมือนว่าเป็นการย่อยตัวเอง



เมื่อความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำมีค่ามากกว่า 0.5 มก./ล. จะยับยั้งเอนไซม์ของระบบดีไนตริฟิเคชัน ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.1–0.2 มก./ล. ค่าพีเอชที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 7.0–8.0 แต่อย่างไรก็ตามค่าความเป็นด่างที่ผลิตออกมาในช่วงที่

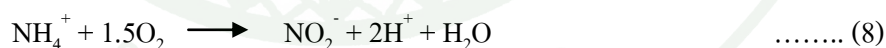
เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันก็เป็นผลทำให้ค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้น อุณหภูมิก็มีผลต่อปฏิกิริยาอย่างมากซึ่งไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส และควรมีอัตราการไหลเข้าระบบต่ำ

3.2 การบำบัดสารประกอบไนโตรเจนรูปแบบใหม่ (Innovative Processes for Nitrogen Removal)

3.2.1 กระบวนการชารอน (Single Reactor System for High Ammonium Removal Over Nitrite: SHARON)

กระบวนการชารอนเป็นกระบวนการที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่โดย Hellinga *et al.* (1998) ซึ่งอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชันในขั้นตอนเฉพาะไนไตรติฟิเคชัน (Nitritification) ที่เป็นปฏิกิริยาเปลี่ยน แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์โดยอาศัยแบคทีเรียในกลุ่มแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Ammonium Oxidizing Bacteria) มีการควบคุมไนไตรท์ไม่ให้เปลี่ยนเป็นไนเตรตโดยปกติจะควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไนโตรโซโมแนส แต่ไม่พอเพียงสำหรับการเจริญเติบโตของกลุ่มไนโตรแบคเตอร์

ในกระบวนการชารอนภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ จุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมแนสจะเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ (Nitritation) ดังสมการที่ 8



เมื่อจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรแบคเตอร์ปรากฏอยู่ในถังปฏิกิริยาเช่นเดียวกับจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมแนส ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรต (Nitrataion) ปฏิกิริยาที่เกิดดังสมการที่ 9 คือ

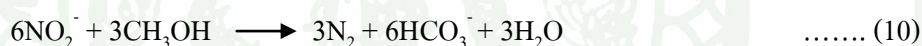


กระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันที่เกิดในชารอนจะใช้ไนไตรท์เป็นสารกลางซึ่งกลไกในการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน โดยในขั้นตอน

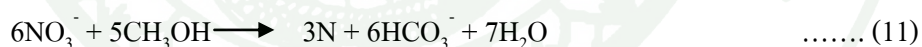
ไนโตรฟิเคชันแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไฮดรอกซามีน จากนั้นไฮดรอกซามีนจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ ไนไตรท์ส่วนหนึ่งจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรต ส่วนในขั้นตอนดีไนโตรฟิเคชัน ไนเตรตจะเปลี่ยนกลับมาเป็นไนไตรท์และจะเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ ไนตรัสออกไซด์และไนโตรเจนก๊าซ ตามลำดับ

เมื่อควบคุมเวลากักเก็บน้ำสั้นๆ (ประมาณ 1 วัน) และที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 35 องศาเซลเซียส) จุลินทรีย์ประเภทไนโตรแบคเตอร์จะหลุดออกจากระบบ จึงมีแต่ไนไตรท์เท่านั้นในถังปฏิกรณ์ นอกจากนี้ปฏิกิริยาออกซิเดชันแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์นั้นต้องการออกซิเจนน้อยกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต 25 เปอร์เซ็นต์ ทั้งไนไตรท์และไนเตรตจะถูกกำจัดภายใต้สภาวะขาดออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ประเภทเฮเทอโรโทรฟิก (Denitrification) แสดงดังสมการที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

ดีไนโตรฟิเคชันสำหรับไนไตรท์ :



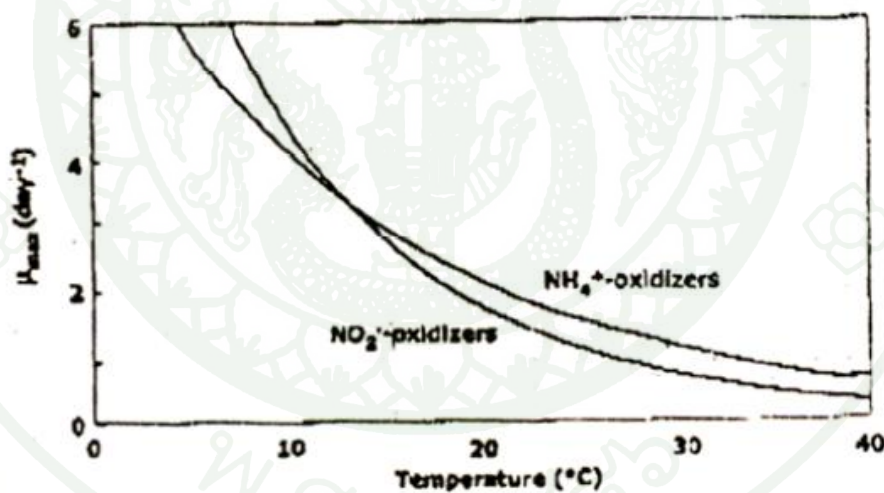
ดีไนโตรฟิเคชันสำหรับไนเตรต:



ในการกำจัดไนไตรท์และไนเตรตนั้นต้องเติมเมทานอลหรือแหล่งคาร์บอนอินทรีย์อื่น ปฏิกิริยาดีไนโตรฟิเคชันของไนไตรท์นั้นต้องการเมทานอลน้อยกว่าปฏิกิริยาดีไนโตรฟิเคชันของไนเตรต 40% ดังนั้นการกำจัดไนโตรเจนในรูปของไนไตรท์ที่ต้องการออกซิเจนและเมทานอลน้อยกว่าการกำจัดในรูปของไนเตรต 25% และ 40% ตามลำดับ

เมื่อค่าพีเอชลดลงไปถึงประมาณ 6.5 แอมโมเนียอิสระจะมีค่าน้อยซึ่งจะทำให้การออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์จะไม่เกิดขึ้น เพราะสารอาหารที่สำคัญของพวกไนโตรโซโมแนส คือแอมโมเนียอิสระ ส่วนกลุ่มไนโตรแบคเตอร์จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าที่ค่าพีเอชต่ำ แต่ถ้าค่าพีเอชมากกว่า 8 จะเป็นผลให้แอมโมเนียอิสระมีค่ามากขึ้นทำให้แบคทีเรียในกลุ่มไนโตรโซโมแนส เจริญเติบโตได้เร็ว และแอมโมเนียอิสระยังทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการ

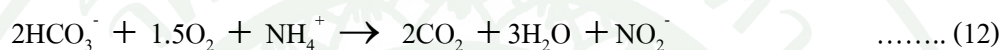
เจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรแบคทีเรียอีกด้วย และถ้าในระบบมีออกซิเจนละลายน้อย จะมีผลในการยับยั้งกิจกรรมของไนโตรแบคทีเรียมากกว่าพวกไนโตรโซโมแนส และถึงแม้ว่าไนโตรสออกไซด์จะเป็นตัวยับยั้งกิจกรรมของทั้งไนโตรแบคทีเรียและไนโตรโซโมแนส แต่ไนโตรโซโมแนสสามารถทนต่อไนโตรสออกไซด์ได้มากกว่า 0.5 ก.-ไนโตรท์/ล. ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และถ้าสามารถทำการควบคุมอุณหภูมิ และค่าพีเอชดังที่กล่าวมาแล้วนั้นแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรโซโมแนสสามารถเจริญเติบโตได้เร็วกว่าแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรแบคทีเรีย ถ้าอุณหภูมิของระบบมีค่ามากกว่า 15 องศาเซลเซียส (Hellinga *et al.*, 1998) แสดงดังภาพที่ 2 การควบคุมระบบให้มีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรแบคทีเรียจะเป็นครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรโซโมแนส คือ 0.5 และ 1 ต่อวัน ตามลำดับ ดังนั้นถ้ามีการควบคุมเวลากักน้ำให้เหมาะสมแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรแบคทีเรียสามารถถูกล้างไล่ออกนอกระบบได้ (Hellinga *et al.*, 1998)



ภาพที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญเติบโตสูงสุดของแบคทีเรียในกลุ่มแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (ไนโตรโซโมแนส) และแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรที่ออกซิไดซิงแบคทีเรีย (ไนโตรแบคทีเรีย)

ที่มา: Hellinga *et al.* (1998)

กระบวนการไนตริฟิเคชันในชั้นไนตริฟิเคชันบางส่วนสามารถผลิตกรดขึ้นมาทำให้ระบบมีค่าพีเอชลดลง จำเป็นที่ต้องมีการเติมไบคาร์บอเนตเข้าไปเพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนและบัฟเฟอร์ไปสะเทินกรดที่เกิดขึ้นบางส่วน อธิบายได้ดังสมการที่ 12 เมื่อแอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนไตรท์มากขึ้น ค่าพีเอชของระบบลดลงจนถึง 6.5 ถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.5 ปฏิกริยาไนตริฟิเคชันบางส่วนไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้ เพราะในสภาวะกรดแอมโมเนีย (NH₃) ปรากฏอยู่ในรูปของ NH₄⁺ แต่ในธรรมชาติแบคทีเรียใช้สารอาหารในรูปของแอมโมเนีย (NH₃) (van Dongen *et al.*, 2001)



3.2.2 กระบวนการอนาโม็อกซ์ (Anaerobic Ammonium Oxidation: Anammox)

Van Dongen *et al.* (2001) กล่าวว่าปฏิกริยาทางชีวภาพที่ถูกนำมาใช้ในการกำจัดแอมโมเนียออกจากน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยมีไนไตรท์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน กระบวนการนี้อาศัยเชื้อจุลินทรีย์แบบออโทรโทรฟิกจึงไม่ต้องการเมทานอลหรือแหล่งคาร์บอนอื่นและเดินระบบอนาโม็อกซ์ด้วยถังปฏิกรณ์แบบซีเควนซิงค์แบทช์ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของไนไตรต์ 420 มก./ล. และแอมโมเนียม 420 มก./ล. พบว่าสามารถกำจัดไนไตรท์ได้สมบูรณ์และแอมโมเนียมได้ร้อยละ

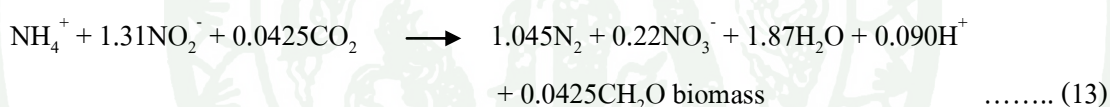
80

กระบวนการอนาโม็อกซ์ถูกพบครั้งแรกที่โรงบำบัดคิไนตริฟิเคชันขนาดจำลองของระบบบำบัดน้ำเสียที่ Gist-Brocades เมือง Delft ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งสังเกตพบว่าแอมโมเนียมในน้ำออกสู่ออกไปพร้อมกับไนเตรตและเกิดก๊าซไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (Mulder *et al.*, 1995)

ข้อได้เปรียบของกระบวนการอนาโม็อกซ์ คือผลิตมวลชีวภาพน้อยกว่า กระบวนการไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชันทั่วไป (อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบเฮเทอโรโทรฟิกในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันเท่ากับ 0.3 ก.-ซีไอดีของชีวมวล/ก.ซีไอดีของน้ำเสีย) แต่ในทางกลับกันก็ใช้ระยะเวลาในการเริ่มระบบนานกว่า กระบวนการนี้ไม่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการเติมสารอินทรีย์จากภายนอกเข้าระบบเพราะแบคทีเรียเป็นพวกออโตโทรปซึ่งจะใช้

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับสร้างเซลล์ แต่แบคทีเรียในกลุ่มนี้จะมีการเจริญเติบโตช้าและต้องมีการเติมไนโตรเจนเข้าไปเพื่อให้แบคทีเรียใช้ ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวในการกำจัดไนโตรเจนขึ้นมาหลายกระบวนการ กระบวนการอนาม็อกซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน คือ กระบวนการนี้ไม่ต้องการออกซิเจนและไม่ต้องการอินทรีย์จากภายนอกเข้าระบบเพราะแบคทีเรียเป็นพวกออโตโทรฟ ซึ่งจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับสร้างเซลล์ แต่แบคทีเรียในกลุ่มนี้จะมีการเจริญเติบโตช้าและต้องมีการเติมไนโตรเจนเข้าไปเพื่อให้แบคทีเรียใช้ ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวในการกำจัดไนโตรเจนขึ้นมาหลายกระบวนการ

Van de graaf *et al.* (1996) กล่าวว่า จากกระบวนการอนาม็อกซ์ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือไนโตรเจนก๊าซและอีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์เป็นไนเตรต โดยเมื่อทำการคูณสมการดังแสดงในสมการที่ 13 อัตราส่วนของแอมโมเนียมต่อไนโตรเจนที่แบคทีเรียใช้คือ 1 ต่อ 1.31 และอัตราส่วนของไนโตรเจนที่ใช้ต่อไนเตรตที่เกิดขึ้นคือ 1 ต่อ 0.22



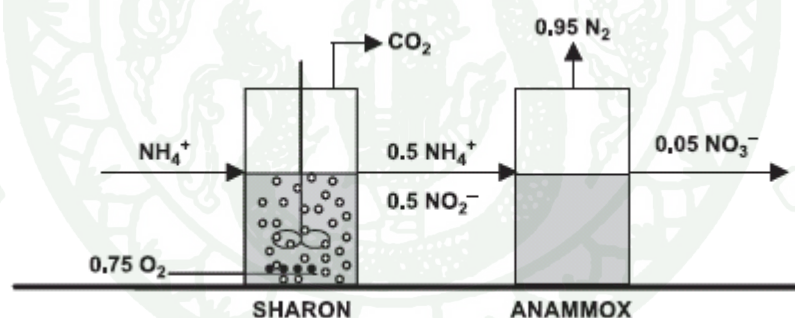
ค่าพีเอชที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6.7-8.3 (ดีที่สุดที่พีเอชเท่ากับ 8) (Jetten *et al.*, 1999; Egli *et al.*, 2001 และ Schmidt *et al.*, 2003) อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20-43 องศาเซลเซียส (ดีที่สุดที่ 37 องศาเซลเซียส) (Strous *et al.*, 1999 และ Schmidt *et al.*, 2003) เชื้อแบคทีเรียของอนาม็อกซ์มีความอ่อนไหวต่อปริมาณออกซิเจน โดย Strous *et al.* (1997) กล่าวว่าเมื่อมีปริมาณออกซิเจนในอากาศอยู่ร้อยละ 2, 1 และ 0.5 จะไม่พบการออกซิไดซ์แอมโมเนียมเกิดขึ้น ต้องอยู่ในภาวะไม่มีออกซิเจนเท่านั้น (Jetten *et al.*, 1999) และสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาของเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ ออกซิเจน ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน เป็นต้น

3.2.3 กระบวนการชารอนต่อด้วยอนาม็อกซ์ (Single Reactor System for High Ammonia Removal Over Nitrite process: SHARON กระบวนการออกซิเดชันแอมโมเนียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Ammonia Oxidation: Anammox): SHARON/Anammox

หลักการรวมกระบวนการปฏิกรณ์เดียวสำหรับการกำจัดแอมโมเนียความเข้มข้นสูงโดยใช้ไนไตรต์ (ซารอน) และกระบวนการออกซิเดชันแอมโมเนียแบบไร้อากาศ (อนาม็อกซ์) เข้าไว้ด้วยกัน โดยที่แอมโมเนียจากน้ำเสียจะถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรต์ในกระบวนการซารอนเพียง 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำเสียที่เข้าระบบซึ่งแสดงให้เห็นดังที่ 14 (Jetten *et al.*, 1997)



ไนเตรตเปลี่ยนรูปมาจากไนไตรต์ในกระบวนการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Van de Graaf *et al.*, 1996) น้ำเข้าระบบนั้นมีแอมโมเนียสูงอยู่แล้ว จึงต้องสร้างไนไตรต์เพิ่มขึ้นให้มีอัตราส่วนไนไตรต์/แอมโมเนีย ประมาณ 1.3 ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้ระบบซารอนก่อนเข้าระบบ อนาม็อกซ์ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในระบบซารอนที่ต่อเข้ากับระบบอนาม็อกซ์ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของระบบซารอนและอนาม็อกซ์

ที่มา: Fux *et al.* (2002)

น้ำเสียที่ออกจากกระบวนการซารอนจะเข้าสู่กระบวนการอนาม็อกซ์และมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรต์เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอนาม็อกซ์แบคทีเรีย แอมโมเนียและไนไตรต์จะถูกพวกอนาม็อกซ์แบคทีเรียใช้เปลี่ยนเป็นไนโตรเจนก๊าซออกนอกระบบได้

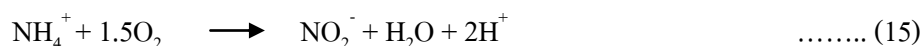
ข้อดีของการรวมกระบวนการทั้งสองคือ จะใช้ออกซิเจนน้อยลง คือ 1.9 กก.-ออกซิเจน/กก.-ไนโตรเจน แทนที่จะเป็น 4.6 กก.-ออกซิเจน/กก.-ไนโตรเจน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันปกติ และไม่ต้องการสารอินทรีย์แทนที่จะต้องเติมสารอินทรีย์จากภายนอกเข้าระบบ 2.6 กก.-บีโอดี/กก.-ไนโตรเจน ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันและในระบบจะมีตะกอนเกิดขึ้นน้อยเพียง 0.08 กก.-วีเอสเอส/กก.-ไนโตรเจน แทนที่จะเป็น 1 กก.-วีเอสเอส/กก.-ไนโตรเจน ในกระบวนการปกติ (Van Loosdrecht *et al.*, 1998) และเมื่อน้ำเสียจากกระบวนการชารอนเข้าสู่กระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถคืนสภาพน้ำให้ระบบทำให้ระบบนี้ไม่จำเป็นต้องเติมไบคาร์บอเนตเพื่อปรับสภาพพีเอช

3.2.4 กระบวนการแคนนอน (Complete Autotrophic Nitrogen Removal Over Nitrite: CANON)

กระบวนการแคนนอนจัดได้ว่าเป็นกระบวนการกำจัดไนโตรเจนโดยผ่านไนไตรท์ซึ่งสามารถกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ต่ำได้และสามารถเกิดได้ในระบบสลัดจ์เดี่ยวหรือระบบฟิล์มตรึงภายใต้การควบคุมออกซิเจนจำกัด กระบวนการนี้จะเป็นการรวมในขั้นตอนไนตริฟิเคชัน และอนาโมกซ์เข้าไว้ด้วยกัน (Dijkman *et al.*, 1999)

ในกระบวนการนี้จะอาศัยแบคทีเรียอยู่ 2 กลุ่มซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่มออโตโทรปคือ แอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Ammonium Oxidizing Bacteria) ซึ่งอาจเป็นไนโตรโซโมแนสหรือไนโตรโซซิริราและอนาโมกซ์ในระบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการควบคุมออกซิเจนจำกัด แบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มสามารถอยู่ร่วมกันได้และทำการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนโตรเจนก๊าซได้โดยใช้ไนไตรท์เป็นสารกลาง โดยในขั้นแรกแบคทีเรียพวกแอมโมเนียมออกซิไดซิงแบคทีเรียจะออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์โดยใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอน ดังแสดงในสมการที่ 15 จากนั้นพวกอนาโมกซ์จะเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนโตรเจนก๊าซโดยใช้ไนไตรท์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและเกิดไนเตรตขึ้นในปฏิกิริยาเล็กน้อยดังแสดงในสมการ 16 และ 17 ตามลำดับ

Ammonium Oxidizing Bacteria



Anammox



สมการรวม



ข้อได้เปรียบของกระบวนการต่างๆ พบว่ากระบวนการแคนนอนที่เกิดขึ้นได้
ในระบบสลัดจ์เดี่ยวในสภาวะที่มีการควบคุมออกซิเจนจำกัดการใช้พลังงานในการเติมอากาศ
ซึ่งระบบนี้ต้องการออกซิเจนน้อยกว่า 63 เปอร์เซ็นต์ และไม่ต้องการสารอินทรีย์เมื่อเทียบกับระบบ
ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 1 และกระบวนการแคนนอน ในระบบ
สลัดจ์เดี่ยวจะใช้ ออกซิเจนน้อยกว่าคือใช้เพียง 1.94 ก.-ออกซิเจน/ก.-ไนโตรเจนเมื่อเทียบกับ
กระบวนการไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อได้เปรียบของกระบวนการที่ได้รับจากการพัฒนาขึ้นมาใหม่ในการ
กำจัดไนโตรเจนกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน

ระบบ	ไนตริฟิเคชัน/ ดีไนตริฟิเคชัน	ชาร์อน	อนาม็อกซ์	แคนนอน
จำนวนถังปฏิกรณ์	2	1	1	1
น้ำเสียเข้า	NH_4^+ +COD	NH_4^+	NH_4^+ + NO_2^-	NH_4^+
น้ำออก	NO_2^- , NO_3^- , N_2	NH_4^+ , NO_2^-	NO_3^- , N_2	NO_3^- , N_2
สภาวะ	เติมอากาศ, แอนอกซิก	เติมอากาศ	แอนอกซิก	ออกซิเจนจำกัด
ออกซิเจนละลายน้ำ	สูง	ต่ำ	ไม่ต้องการ	ต่ำ
การควบคุมพีเอช	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ความต้องการ COD	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ตะกอน	มาก	น้อย	น้อย	น้อย

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ระบบ	ไนตริฟิเคชัน/ ดีไนตริฟิเคชัน	ซารอน	อนาม็อกซ์	แคนนอน
ชนิดของแบคทีเรีย	ไนตริฟายคิง	แอมโมเนียม	<i>planctomyces</i>	แอโรบิก
	แบคทีเรีย/ เฮเทอโรโทรฟ	ออกซิไดซิง แบคทีเรีย		แอมโมเนียม ออกซิไดซิง
	แบคทีเรีย			แบคทีเรีย + <i>planctomyces</i>

ที่มา: Jetten *et al.* (2002)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความต้องการออกซิเจนและค่าความเป็นด่างสำหรับการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการต่างๆ

ปฏิกิริยา	ความต้องการ ออกซิเจน (ก.-ออกซิเจน /ก.- ไนโตรเจน)	ค่าความเป็นด่าง (ก.CaCO ₃ /ก.- ไนโตรเจน)	อ้างอิง
ไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน	4.57	7.14 [7.07]	Rittmann <i>et al.</i> , 2001
ไนไตรเคชัน/ดีไนไตรเคชัน	3.43	7.14 [7.07]	Rittmann <i>et al.</i> , 2001
ซารอน/อนาม็อกซ์	1.71 – 2.06	3.57	van Dongen <i>et al.</i> , 2001
แคนนอน	1.94	3.68	Ahn <i>et al.</i> , 2006

หมายเหตุ [] สำหรับค่าความเป็นด่างที่ผลิตขึ้น โดยกลุ่มเฮเทอโรโทรฟดีไนตริฟิเคชัน

ที่มา: Ahn *et al.*, 2006

4. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการกำจัดไนโตรเจน

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการกำจัดไนโตรเจนมีอยู่ 3 กลุ่ม คือแอมโรบิกแอมโมเนียม ออกซิไดเซอร์ แอมโรบิกไนไตรต์ออกซิไดเซอร์และแอมโรบิกแอมโมเนียมออกซิไดเซอร์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน และได้พลังงานจากปฏิกิริยาทางเคมี ออกซิเดชัน-รีดักชันของสารอนินทรีย์

4.1 จุลินทรีย์กลุ่มแอมโรบิกแอมโมเนียมออกซิไดเซอร์

แบคทีเรียที่อยู่ในกลุ่ม *Beta proteobacteria* ประกอบด้วย *Nitrosomonas* และ *Nitrospira* (Mobbary *et al.*, 1996) อ้างในศิริพร (2551) อีกชนิดหนึ่งอยู่ในกลุ่ม *Gamma-proteobacteria* คือ *Nitrosococcus* (Madigan and Martinko, 2006) อ้างในศิริพร (2551) ในกระบวนการซารอนจะพบมี *Nitrosomonas eutropha* เป็นกลุ่มเด่น จุลินทรีย์แอมโมเนียมออกซิไดเซอร์ สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในสภาวะแอมโรบิกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์หลักคือ ไนไตรท์ ขณะที่สภาวะไร้อากาศเกิดเป็นผลิตภัณฑ์หลักคือ ก๊าซไนโตรเจน ไนไตรท์ และไนตริกออกไซด์

ทั้งในสภาวะมีอากาศ และไร้อากาศ ใช้เอนไซม์แอมโมเนียโมโนออกซิเจเนส (AMO) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียมทำให้ได้ไฮดรอกซิลามีน (Schmidt *et al.*, 2003) อ้างในศิริพร (2551) ในภาวะมีอากาศ (ออกซิเจนมากกว่า 0.8 มก.-ออกซิเจน/ล.) แอมโมเนียมจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตรท์ แต่ถ้าภาวะที่มีออกซิเจนน้อยกว่า 0.8 มก.-ออกซิเจน/ล. แอมโมเนียมจะเปลี่ยนเป็น NO, N₂O และ N₂ (Poth and Focht, 1985) อ้างในศิริพร (2551) *Nitrosomonas eutropha* สามารถไนตริฟายและดีไนตริฟายได้พร้อมกันในสภาวะมีอากาศ เมื่อมี NO₂ หรือ NO โดยมีอัตราส่วนของ NH₃:NO_x เท่ากับ 1,000:1 และ 5,000:1 (Schmidt *et al.*, 2003) อ้างในศิริพร (2551)

4.2 จุลินทรีย์กลุ่มแอมโรบิกไนไตรต์ออกซิไดเซอร์

เป็นการออกซิไดซ์ไนไตรต์ไปเป็นไนเตรต เกิดขึ้นจากจุลินทรีย์อโอโทโทรฟิก ที่อยู่ในกลุ่ม *Alpha proteobacteria* เช่น *Nitrobacter* กลุ่ม *Gamma proteobacteria* เช่น *Nitrococcus* และไฟลัม *Nitrospira* (Schmidt *et al.*, 2003) *Nitrobacter* สามารถเติบโตได้ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์ *Nitrobacter* บางชนิดสามารถดีไนตริฟิเคชันได้ในสภาวะแอนแอโรบิกโดยไนเตรตถูกใช้เป็น

ตัวรับอิเล็กตรอนที่มาจากสารประกอบอินทรีย์ได้ ไฮดรอกซิลามีน แอมโมเนีย และ NO เป็นสารยับยั้งแอโรบิกไนโตรที่ออกซิไดเซอร์ (Sundermeyer *et al.*, 1981) อ้างในศิริพร (2551)

4.3 จุลินทรีย์กลุ่มแอนแอโรบิกแอมโมเนียออกซิไดเซอร์ (อนาม็อกซ์)

ชนิดของจุลินทรีย์ (Jetten *et al.*, 1999) อ้างในศิริพร (2551) พบว่าเชื้อที่เด่นในถังเป็น Gram-negative และเมื่อเลี้ยงในช่วงทำให้เชื้อมีจำนวนมากขึ้นด้วยน้ำเสียสังเคราะห์จะพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ จะเปลี่ยนสีจากน้ำตาลเป็นแดง การตรวจพิจารณาจุลินทรีย์โดยเทคนิค 16S rDNA แล้วพบว่าอยู่ในกลุ่ม *planctomyces*

จุลินทรีย์ในกระบวนการอนาม็อกซ์ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม *Planctomyces* มี 2 ชนิด ได้แก่ *Candidatus Brocadia anammoxidans* สังเกตพบที่ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Jetten *et al.*, 2001) อ้างในศิริพร (2551) และ *Candidatus Kuenenia stuttgartiensis* พบในการบำบัดน้ำเสียหลายแห่งในประเทศเยอรมันและสวิตเซอร์แลนด์ (Egli *et al.*, 2001) อ้างในศิริพร (2551)

5. งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

ศุทธวดี (2554) ทำการศึกษากระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนโดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาดห้องปฏิบัติการปริมาตร 8 ล. ควบคุมตัวแปรต่างๆ คือ อัตราการระบรทุกแอมโมเนียและอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ โดยการทดลองได้ควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.3-0.7 มก./ล จากผลการทดลองนี้พบว่าที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.15, 0.30 และ 0.50 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน และอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ 0.28, 0.83, 1.67 และ 2.78 กก.-ไนโตรเจน/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียร้อยละ 52, 53, 51 และ 53 ตามลำดับ คิดเป็นอัตราการบำบัดแอมโมเนียจำเพาะ 0.15, 0.49, 0.94 และ 1.66 กก.-ไนโตรเจน/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ตามลำดับ มีอัตราส่วนไนโตรที่เพิ่มขึ้นต่อแอมโมเนียที่ถูกรักษาเท่ากับ 0.80, 0.98, 1.21 และ 1.19 ตามลำดับ

Van Dongen *et al.* (2001) ได้กล่าวถึงระบบชารอน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เริ่มต้นใช้ระยะเวลาพักเก็บน้ำ 2 วัน เมื่อกระบวนการไนตริฟิเคชันเริ่มขึ้นจึงลดระยะเวลาพักเก็บน้ำเป็น 1 วัน การใช้น้ำเสียที่มีค่าแอมโมเนียสูงและระยะเวลาพักเก็บน้ำสั้นๆ ช่วย

ให้จุลินทรีย์ที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ช่วงหลังอาจมีการเพิ่มระยะเวลา กักเก็บน้ำเพื่อเพิ่มช่วงเวลาไร้ออกซิเจนป้องกันการเจริญเติบโตของโปรโตซัว น้ำเสียที่ใช้ในการ ทดลองปกติมีอัตราส่วน $\text{HCO}_3^- : \text{NH}_4^+ = 1.1: 1$ ในปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันแอมโมเนีย ประมาณ 50% จะถูกใช้ทำปฏิกิริยากับ HCO_3^- ทั้งหมด เมื่อครั้งหนึ่งของแอมโมเนียอิสระถูกเปลี่ยนรูปไป ค่าพีเอชเริ่มลดลงและเมื่อพีเอชต่ำกว่า 6.5 ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้ เพราะในสภาวะกรดแอมโมเนียจะปรากฏอยู่ในรูปของ NH_4^+ แต่จุลินทรีย์ในปฏิกิริยาจะใช้อาหาร ในรูปของ NH_3

Fux *et al.* (2002) ได้กล่าวถึงการใช้กระบวนการไนโตรเจนที่มีเสถียรภาพในถังปฏิกิริยา ไบโแรกแบบแอโรบิกต่อกับถังปฏิกิริยาไบโอสแตนด์บายแบบแอโรบิกแอมโมเนียออกซิเดชัน (อนาม็อก) เพื่อบำบัดไนโตรเจนด้วยจุลินทรีย์ชนิดออกซิโดโทรโพรปสามารถทำได้ช่วงกระบวนการไนโตรเจนต้องควบคุม 2 อย่างคือ 1) ไนโตรที่ออกซิไดซ์ต้องถูกยับยั้งอย่างต่อเนื่อง 2) รักษาอัตราส่วน $\text{NO}_2^- / \text{NH}_4^+$ ให้ได้ประมาณ 1.3 ถ้าปริมาณไนโตรเจนมากเกินไปสามารถผสมน้ำเสียที่มีค่าแอมโมเนียสูงเพื่อให้ได้น้ำเข้าระบบอนาม็อกในอัตราส่วนตามต้องการ นอกจากนี้ Strous *et al.* (1999) ถ้าไนโตรเจนที่มีความเข้มข้นเกิน 100 มก./ล. แล้ว ไนโตรเจนจะไปหยุดกระบวนการอนาม็อกได้ จึงต้องเติมแอมโมเนียให้มากขึ้นความต้องการอยู่เล็กน้อยเพื่อไม่ให้มีการสะสมของไนโตรเจนมากเกินไป สภาวะของระบบนั้นควบคุมอุณหภูมิที่ 28.7 ± 0.2 องศาเซลเซียส และออกซิเจน 4.5 มก./ล. วันที่ 201 ของการทดลองจึงลดออกซิเจนลงเท่ากับ 2.7 มก./ล. พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่เกิดขึ้นลดลง

Pollice *et al.* (2002) ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของการเติมอากาศและระยะเวลา กักเก็บตะกอนในปฏิกิริยาแอมโมเนียออกซิเดชัน (ซารอน) ในถังปฏิกิริยาแบบกึ่งเท (SBR) ขนาด 5 ล. ใช้น้ำเสียผสมจากโรงงานอุตสาหกรรมกับน้ำเสียชุมชนโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 32 องศาเซลเซียส และพีเอช 7.2 พบว่าปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเพื่อให้ได้ไนโตรเจนนั้น สามารถดำเนินการ ได้อย่างมั่นคงภายใต้สภาวะจำกัดออกซิเจน (เติมอากาศ 10 นาที ทุกๆ 20 นาที ออกซิเจนลดจาก 2.0 มก./ล. จนต่ำกว่า 0.1 มก./ล.) และไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่กักเก็บตะกอน

Ruiz *et al.* (2006) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของออกซิเจน ละลายน้ำที่มีต่อไนโตรเจนในระบบไนตริฟิเคชันได้สรุปว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำช่วง 0.7-1.4 มก./ล. มีไนโตรเจนในระบบมากที่สุดและเมื่อทดลองใช้ระบบไนตริฟิเคชันร่วมกับ

ระบบดีไนตริฟิเคชันสามารถควบคุมออกซิเจนละลายน้ำในระบบไนตริฟิเคชันที่ 1.1 มก./ล. เพื่อให้ได้ในไตรท์สะสมในระบบและไม่จำเป็นต้องควบคุมสภาวะไร้ออกซิเจนในระบบดีไนตริฟิเคชัน โดยใช้ระบบตะกอนเร่งที่มีการเวียนตะกอนจากถังตกตะกอน ถึงปฏิกรณ์ขนาด 2.5 ล. ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ใช้หัวฟุ้งกระจายอากาศจากด้านล่าง ทดลองที่ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ 0.5-5.5 มก./ล. ควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำด้วยการปรับอัตราการไหลของอากาศ ได้ผลว่า เมื่อลดค่าออกซิเจนละลายน้ำมาที่ 1.4 มก./ล. จึงเริ่มมีไนตริท์สะสมในระบบ และจะมีค่าสูงสุดที่ระดับออกซิเจนละลายน้ำ 0.7 มก./ล. แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์หมด แต่ที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 มก./ล. มีแอมโมเนียคงเหลือประมาณ 50% มีไนตริท์สะสมแต่ไม่มีไนเตรทในระบบ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Lei (1990)

Schmidt *et al.* (2003) กล่าวถึงวิธีการในการยับยั้งไม่ให้ไนตริท์เปลี่ยนไปเป็นไนเตรตทำได้โดยการกำหนดให้ค่าเวลาเก็บกัก สูงกว่าอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มไนตริต์ออกซิไดเซอร์ แต่ต่ำกว่าอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มแอมโมเนียออกซิไดเซอร์ เมื่อใช้ค่าเวลาเก็บกักประมาณ 1 วัน ทำให้จุลินทรีย์ถูกล้างออกจากถังไป และเดินระบบที่อุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จุลินทรีย์พวกแอมโมเนียออกซิไดเซอร์โดดเด่นหรือใช้วิธีจำกัดปริมาณออกซิเจนให้น้อยกว่า 0.4 มก./ล. หรือร้อยละ 5 ของอากาศอิ่มตัว พบว่าไนตริท์ออกซิไดเซอร์ไม่สามารถเติบโตได้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไนตริท์เท่านั้น

Yamamoto *et al.* (2008) กล่าวเกี่ยวกับการทดลองศึกษาเสถียรภาพของไนตริฟิเคชันบางส่วนในระยะยาวจากน้ำเสียฟาร์มสุกรและกระบวนการอนามีออกซ์พบว่า ที่ภาระบรรทุกไนโตรเจน 1.0 กก.-ไนโตรเจน/ลบ.ม.-วัน โดยไนตริท์ออกซิไดซ์ซิงแบคทีเรีย (NOB) ไม่ถูกยับยั้งโดยแอมโมเนียอิสระและกรดไนตริกอิสระ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนตริท์และไนเตรตเท่ากับร้อยละ 58 และน้อยกว่าร้อยละ 5 ตามลำดับ

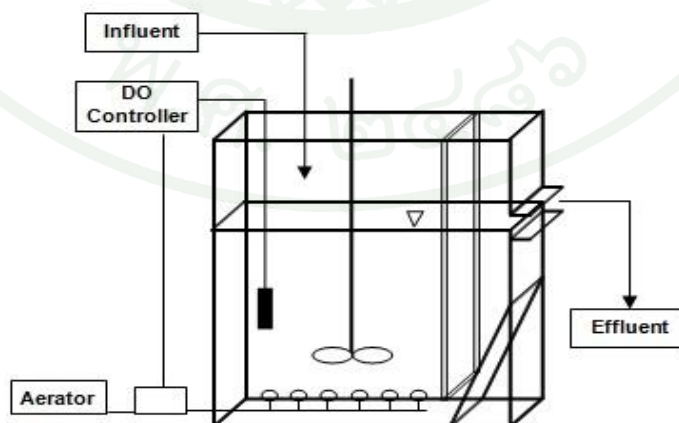
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

การศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน ในการเตรียมน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจน โดยกระบวนการอนาแอโรบิก ได้ทำการจำลองแบบย่อส่วนของระบบให้มีขนาดเป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งแบบจำลองของระบบใช้แผ่นอะคริลิกใสมาประกอบกันให้มีองค์ประกอบและขนาดตามที่กำหนดไว้ ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือ น้ำเสียจากโรงงานวันเส้นสีทึบนั้นท์ อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี และนำน้ำเสียจากโรงงานดังกล่าวมาป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดที่จำลองขึ้นมาที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องดังจะได้กล่าวต่อไป

1. ถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์เป็นถังที่มีส่วนเติมอากาศและส่วนตกตะกอน (Anaerobic Tank and Sedimentation Tank) อยู่ในถังเดียวกัน โดยถังปฏิกรณ์ทำจากแผ่นอะคริลิกใส ในส่วนเติมอากาศมีขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 20 ซม. ลึก 30 ซม. ถังตกตะกอนมีขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 10 ซม. ลึก 30 ซม. มีฝาปิดที่ด้านบนของถัง มีปริมาตรใช้งาน 8 ล. แสดงดังรูปที่ 4



ภาพที่ 4 ถังปฏิกรณ์ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

อุปกรณ์ประกอบถึงปฏิกรณ์ มีดังต่อไปนี้

1.1 เครื่องควบคุมออกซิเจน (Dissolved Oxygen Controller)

ยี่ห้อ Eutech รุ่น Alpha DO1000 ใช้ในการควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.7 ± 0.1 มก./ล. ตลอดการทดลอง โดยใช้ควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องเติมอากาศ (Air pump)

1.2 เครื่องเติมอากาศ (Air pump) ขนาด 45 วัตต์ พร้อมหัวฟองอากาศ

1.3 เครื่องสูบน้ำแบบรีดสาย (Peristaltic pump) สำหรับเติมน้ำเข้าระบบ

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

2.1 เครื่อง Spectrophotometer (Double beam) ยี่ห้อ Hitachi รุ่น U-2800

2.2 เครื่องกลั่นแอมโมเนีย ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น KI11/26

2.3 เครื่องวัด pH ยี่ห้อ Consort รุ่น C561

2.4 เตาเผา 550 องศาเซลเซียส (Furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น ELF11/14B

2.5 ตู้อบ (hot air oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น ED53/E2

2.6 เดซิเทเตอร์ ยี่ห้อ Northman

2.7 ชุดกรองพร้อมปั๊มสุญญากาศ

วิธีการ

1. น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นสัทธินันท์ ตั้งอยู่เลขที่ 38/1 หมู่ 11 ถนนปทุมธานี-ลาดหลุมแก้ว ตำบลบางคูหลวง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ประกอบกิจการผลิตแป้งจากถั่วเขียวและวันเส้น ในกระบวนการผลิตแป้งถั่วเขียวและวันเส้นมีความต้องการใช้น้ำสูงจึงก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ในโตรเจนค่อนข้างสูง ในการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ทดลองครั้งนี้เก็บมาจากบ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) แสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งผ่านการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนมาแล้วทำให้ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์คาร์บอนลดลงแต่สารอินทรีย์ในโตรเจนยังคงสูงอยู่โดยเริ่มทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียระหว่างวันที่ 6 ธันวาคม 2353 ถึง 21 มีนาคม 2555



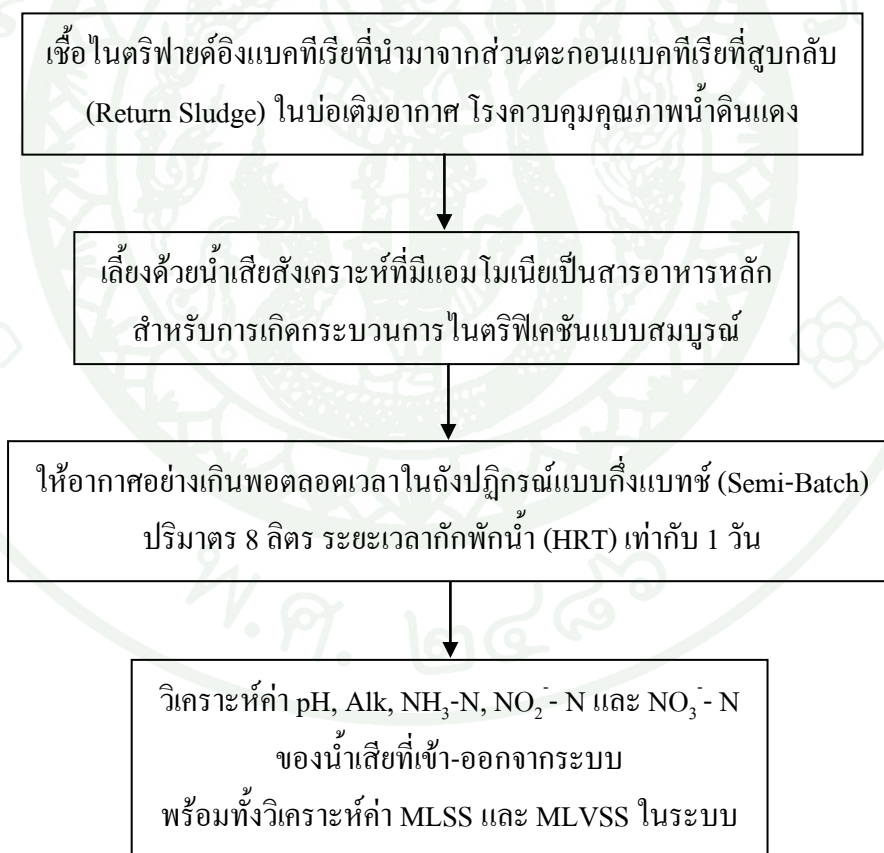
ภาพที่ 5 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจากโรงงานวันเส้นสัทธินันท์

2. เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

เชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นเชื้อแบคทีเรียจากส่วนตะกอนแบคทีเรียที่สูบกลับ (Return Sludge) ในบ่อเติมอากาศ โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนชั้นสีน้ำตาลภาพที่ 6 เป็นเชื้อเริ่มต้น นำมาเลี้ยงด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3 ที่มีแอมโมเนียเป็นสารอาหารหลักที่อัตราภาวะบรรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก. - ในโตรเจน/ม.³-วัน ในถังปฏิกรณ์แบบกึ่งแบตช์ (Semi-Batch) ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันที่ปริมาตร 8 ล. ระยะเวลาพักน้ำ (HRT) เท่ากับ 1 วัน แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ส่วน Return Sludge ในบ่อเติมอากาศโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียไนตริไฟอิงของกระบวนการไนตริไฟเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

สารอาหารหลัก	ความเข้มข้น (ก./ล.)
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.30-2.10
NaHCO_3	0.35-2.90
K_2HPO_4	0.01
KH_2PO_4	0.005
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.60
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.07
EDTA	0.01
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.00625
Trace mineral 2 มล./ล.	ความเข้มข้น (ก./ล.)
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.03
KI	0.03
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.12
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.06
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.12
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.15
H_3BO_3	0.15

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kuba *et al.* (1993) อ้างในศุภชวตี (2554)

3. การดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองของระบบ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

3.1 การเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย

เมื่อสามารถเลี้ยงเชื้อไนตริฟายอิงแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch) ได้แล้ว ในขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียโดยแบ่งเชื้อไนตริฟายอิงที่เลี้ยงแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch) มาใส่ในถังปฏิกรณ์ของกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน 50% ของปริมาตรถัง (คือปริมาตรใช้งานถังปฏิกรณ์ 8 ล. ใส่เชื้อจุลินทรีย์ลงไป 4 ล.) เติมน้ำเสียจากโรงงานวันเส้น 4 ล. ปริมาตรใช้งานรวม 8 ล. เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ปรับสภาพเข้ากับน้ำเสียโรงงานวันเส้นโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายที่ 0.3-0.7 มก./ล. ทำการป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง (Continuous) ระยะเวลาพักน้ำ (HRT) เท่ากับ 1 วัน อัตราการไหลเท่ากับ 5.50 มล./นาที อัตราการระบรทุกแอมโมเนียเท่ากับ 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน เพื่อให้ได้แบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นเวลา 1 เดือน แสดงดังรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ



ภาพที่ 8 การเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย

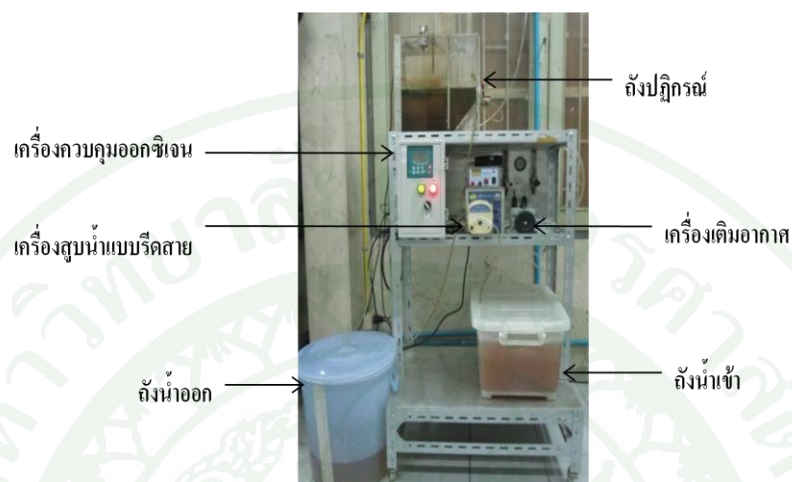


ภาพที่ 9 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียในถังปฏิบัติการของกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนแบบต่อเนื่อง (Continuous)

3.2 การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนเตรต (ไนตริฟิเคชันบางส่วน) แบบต่อเนื่อง (Continuous)

หลังจากที่สามารถเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียได้แล้วนั้น โดยที่เชื้อปรับตัวเข้ากับน้ำเสียจากโรงงานวันเสี้ยนแล้ว ในขั้นตอนนี้เป็นการเดินระบบอย่างต่อเนื่อง (Continuous) ที่อัตราการบรรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ตามลำดับ ควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียเท่ากับ 0.7±0.1 มก./ล. ตลอดจนทดลอง ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 10 และทำการวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง ค่าของแข็งแขวนลอย

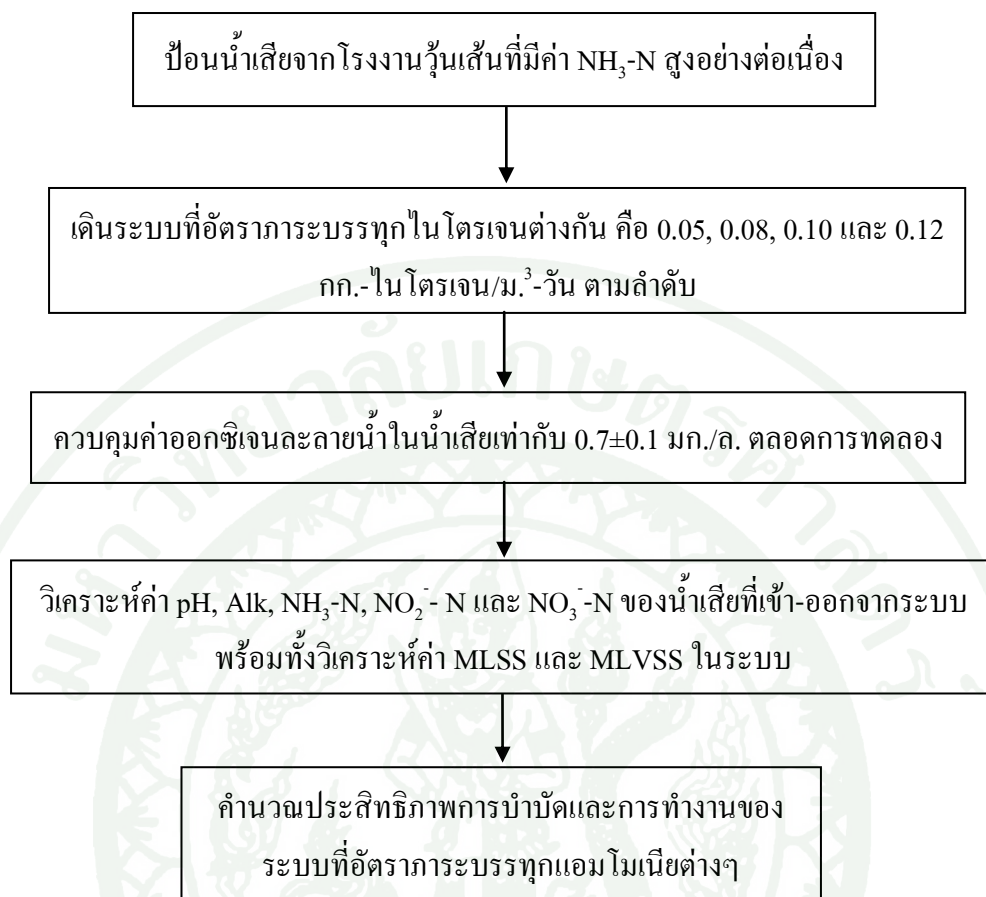
ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย ค่าแอมโมเนีย ค่าไนโตรท์ และค่าไนเตรตของน้ำเข้าและน้ำออก จากถังปฏิกรณ์ แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 การกำจัดการประกอบไนโตรเจนในกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนโตรท์ (ไนตริฟิเคชันบางส่วน) แบบต่อเนื่อง (Continuous)

ตารางที่ 4 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองที่	อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย (กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน)	ความเข้มข้น		เวลากักเก็บน้ำ (ชม.)	ปริมาตรถังใช้งาน (ล.)
		แอมโมเนียเริ่มต้น (กก.-ไนโตรเจน/ล.)	อัตราการไหล (ล./วัน)		
1	0.05	100	4.03	48	8
2	0.08	100	6.34	30	8
3	0.10	100	8.06	24	8
4	0.12	100	10.66	18	8



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการเดินระบบการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ (ไนตริฟิเคชันบางส่วน) แบบต่อเนื่อง (Continuous)

3.2.1 พารามิเตอร์วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

3.2.1.1 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียก่อนการบำบัด (จุดเก็บที่ 1) คือ pH, Alkalinity, SS, VSS, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{NO}_2^- \text{-N}$ และ $\text{NO}_3^- \text{-N}$

3.2.1.2 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัด (จุดเก็บที่ 2) คือ pH, Alkalinity, SS, VSS, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$, $\text{NO}_2^- \text{-N}$ และ $\text{NO}_3^- \text{-N}$

3.2.1.3 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์ ไนตริฟิเคชันบางส่วน (จุดเก็บ ที่ 3) คือ MLSS และ MLVSS โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์

จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ศึกษาจุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์

กลุ่มเก็บตัวอย่าง	จุดที่เก็บ	พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์
1. ตัวอย่างน้ำเสีย ก่อน-หลังบำบัด	จุดเก็บที่ 1 : ถังน้ำเข้า จุดเก็บที่ 2 : ถังพักน้ำออก	pH, Alkalinity NH_4^+ -N, NO_2^- -N และ NO_3^- -N
2. ตัวอย่างน้ำเสียภายในถัง ปฏิกรณ์	จุดเก็บที่ 3 : ภายในถังปฏิกรณ์	MLSS และ MLVSS

4. วิธีการวิเคราะห์

ในการทดลองทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของน้ำเสียเข้าและน้ำเสียออกจากระบบ ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย ค่าแอมโมเนีย ค่าไนไตรท์ และค่าไนเตรต ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	วิธีการวิเคราะห์
พีเอช	pH Meter
ค่าความเป็นด่าง	Titration Method
แอมโมเนีย	Titration Method (4500-NH ₃ C)
ไนไตรท์	Colorimetric analysis, Hydrazine Method
ไนเตรต	Colorimetric analysis, Hydrazine Method
ของแข็งแขวนลอย	Total suspended solids dried at 103-105°C (2540 D)
ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย	Fixed and volatile solids ignited at 550°C (2540E)

ที่มา: APHA *et al.* (2005)

5. สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

6. แผนดำเนินการ

เริ่มดำเนินการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ณ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 และทำการเดินระบบ
และเก็บข้อมูลงานวิจัยถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2555



ผลและวิจารณ์

ในการศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน ในการเตรียมน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการอนาโมกซ์ ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือ น้ำเสียจากโรงงานวันเส้นสิทธิพันธ์ อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี หัวเชื้อจุลินทรีย์นำมาจากส่วนตะกอนแบคทีเรียที่สูบกลับ (Return sludge) ในบ่อเติมอากาศ โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge, AS) ระบบบำบัดน้ำเสียที่จำลองขึ้นมาได้ทำการจัดตั้งที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 1 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) และทำการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรียเริ่มต้นที่เลี้ยงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบตช์ (Semi-Batch) ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์โดยมีแอมโมเนียเป็นธาตุอาหารหลัก หลังจากนั้นเป็นการเตรียมน้ำเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous) ในถังปฏิกรณ์ไนตริฟิเคชันบางส่วน โดยป้อนน้ำเสียจริงจากโรงงานวันเส้นเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ และควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.3-0.7 มก./ล. สุดท้ายเป็นการบำบัดสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ โดยการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ของกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนแบบต่อเนื่อง (Continuous) ซึ่งควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.7 ± 0.1 มก./ล. ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียทั้งก่อนและหลังบำบัดเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียที่แตกต่างกันในสภาวะที่กำหนด

1. ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นที่มีธาตุอาหารไนโตรเจนสูงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนของกระบวนการอนาโมกซ์ ได้ใช้น้ำเสียจากโรงงานวันเส้นสิทธิพันธ์ อ.ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี ที่รวบรวมมาจากการผลิตแป้งจากเมล็ดถั่วเขียว การผลิตโปรตีนก้อนจากน้ำโปรตีนและการผลิตวันเส้นจากเมล็ดถั่วเขียว น้ำเสียเหล่านี้ถูกส่งลงมาตามท่อเพื่อทำการบำบัดแบบบ่อไร้อากาศ (Anaerobic Pond) และตามมาด้วยระบบบำบัดแบบใช้อากาศแบบใช้อากาศคือระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Pond) เพื่อนำมาวิเคราะห์ตั้งแต่วันที่ 6 ธันวาคม 2553 –

21 มีนาคม 2555 เพื่อเป็นตัวแทนของน้ำเสียทั้งหมดที่ปล่อยออกจากโรงงานวันเส้นตลอดการทดลอง สรุปได้ดังตารางที่ 7

หลังจากนั้นนำตัวอย่างน้ำเสียโรงงานวันเส้นมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่า ตัวอย่างน้ำเสียโรงงานวันเส้นมีสีน้ำตาลส้ม และมีตะกอนขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ มีกลิ่นเหม็น ตัวอย่างน้ำเสียดังกล่าวต้องผ่านการกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ครั้ง เพื่อคัดตะกอนแขวนลอยที่อาจเป็นสาเหตุทำให้ท่อสายยางของระบบอุดตันได้

ผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียโรงงานวันเส้นพบว่ามีค่า พีเอชสูงสุดเท่ากับ 8.76 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.14 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.84 ± 0.5 มีค่าความเป็นด่างสูงสุดเท่ากับ 1,316 มก. CaCO_3 /ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 602 มก. CaCO_3 /ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 984.22 ± 253.93 มก. CaCO_3 /ล. มีค่าบีโอดีสูงสุดเท่ากับ 204 มก./ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 51.34 มก./ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.18 ± 47.88 มก./ล. มีค่าซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 288.58 มก./ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 138.75 มก./ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 201.80 ± 52.85 มก./ล. มีค่าทีเคเอ็นสูงสุดเท่ากับ 224.81 มก./ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 55.44 มก./ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 143.58 ± 56.61 มก./ล. มีค่าแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 192.08 มก.-ไนโตรเจน/ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 51.52 มก.-ไนโตรเจน/ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 132.95 ± 49.27 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีค่าไนโตรที่สูงสุดเท่ากับ 0.51 มก.-ไนโตรเจน/ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 มก.-ไนโตรเจน/ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 ± 0.11 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีค่าไนเตรตสูงสุดเท่ากับ 0.88 มก.-ไนโตรเจน/ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.31 มก.-ไนโตรเจน/ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.48 ± 0.17 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีค่าของแข็งแขวนลอยสูงสุดเท่ากับ 485 มก./ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 80 มก./ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 214 ± 129.90 มก./ล. และมีค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายสูงสุดเท่ากับ 420 มก./ล. ค่าต่ำสุดเท่ากับ 45 มก./ล. และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 163.74 ± 128.02 มก./ล.

จะเห็นได้ว่าลักษณะน้ำเสียโรงงานวันเส้นที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 9 ครั้ง ตั้งแต่วันที่ 6 ธันวาคม 2553 – 21 มีนาคม 2555 พบว่าลักษณะของน้ำเสียค่อนข้างแปรปรวนขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตในแต่ละครั้ง โดยค่าพีเอชค่อนข้างเป็นกลางไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ค่าความเป็นด่างค่อนข้างสูงเนื่องจากด้านการลดลงของค่าพีเอชที่เป็นกลาง ค่าบีโอดีค่อนข้างต่ำสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนค่าซีโอดีค่อนข้างสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวได้ผ่านกระบวนการผลิตทั้งหมดและเข้าสู่บ่อบำบัดแบบไร้อากาศ (Anaerobic Pond) เท่านั้น จึงสามารถลดการความสกปรกในรูปซีโอดีได้น้อย ค่าทีเคเอ็น

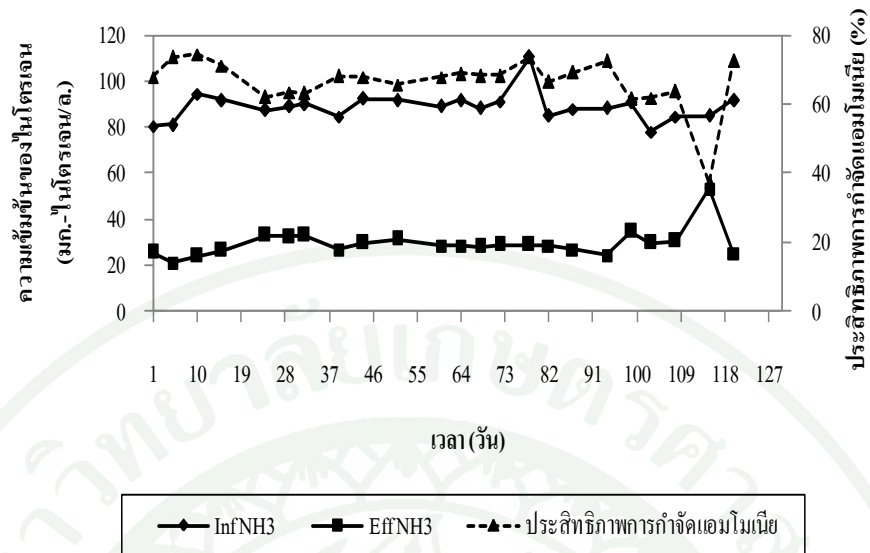
และแอมโมเนียค่อนข้างสูง โดยเฉพาะแอมโมเนียที่ต้องนำมาบำบัดด้วยไนตริฟิเคชันบางส่วนของกระบวนการอนาโม็กซ์ต่อไป ค่าของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายมีค่าค่อนข้างสูงเนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานวันเส้นมีกากโปรตีนหรือกากถั่วเขียวปะปนหลุดออกมากับน้ำทิ้งด้วย

ตารางที่ 7 สรุปลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	8.76	7.14	7.84±0.5
ความเป็นด่าง (มก.CaCO ₃ /ล.)	1,316	602	984.22±253.93
บีโอดี (มก./ล.)	204	51.34	88.18±47.88
ซีโอดี (มก./ล.)	288.58	138.75	201.80±52.85
ทีเคเอ็น (มก.-ไนโตรเจน/ล.)	224.81	55.44	143.58±56.61
แอมโมเนีย (มก.-ไนโตรเจน/ล.)	192.08	51.52	132.95±49.27
ไนไตรท์ (มก.-ไนโตรเจน/ล.)	0.51	0.12	0.25±0.11
ไนเตรต (มก.-ไนโตรเจน/ล.)	0.88	0.31	0.48±0.17
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	485	80	214±129.90
ของแข็งระเหยง่ายแขวนลอย (มก./ล.)	420	45	136.74±128.02

2. การเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงของกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองเก็บตัวอย่างมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง มีลักษณะเป็นตะกอนสีดำขุ่น นำมาเลี้ยงด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีแอมโมเนียเป็นสารอาหารหลักที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ซึ่งมีการเติมอากาศแบบเกินพอด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน น้ำเข้าและน้ำออกจากระบบมีความเข้มข้นของแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 89 และ 30 มก.-ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียร้อยละ 66 แสดงดังภาพที่

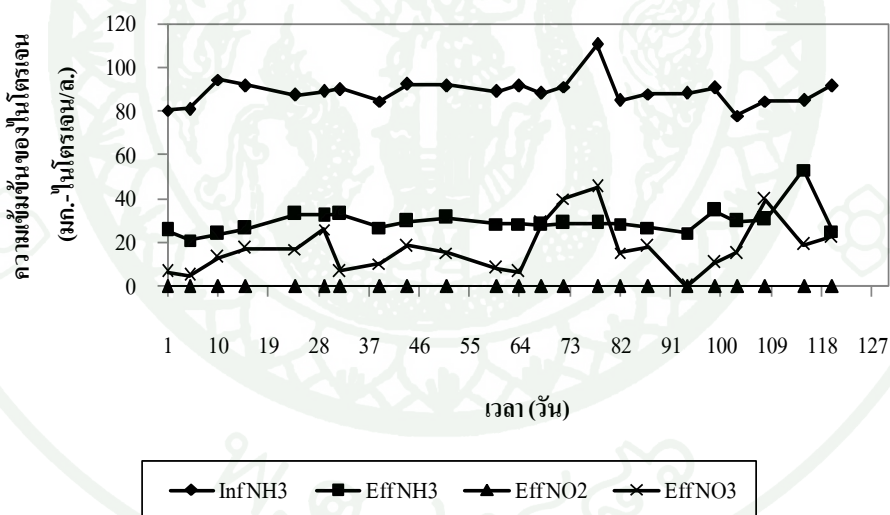


ภาพที่ 12 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)

น้ำเข้าระบบมีความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรตเฉลี่ย เท่ากับ 0.06 และ 1 มก.-ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ คือ ไม่พบไนไตรท์และมีไนเตรตน้อยมาก เนื่องจากใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของแอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) เป็นสารอาหารหลัก ส่วนในน้ำออกจากระบบมีความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรตเฉลี่ยเท่ากับ 0.02 และ 18 มก.-ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ

ที่เวลา 10 วัน ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว กระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตได้ โดยมีไนไตรท์เกิดขึ้นในระบบน้อยมาก แสดงดังภาพที่ 13 กระบวนการไนตริฟิเคชันจะอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มออกซิโดโทรฟที่ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งคาร์บอนและใช้ออกซิเจนเป็นสารรับอิเล็กตรอนและกระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการออกซิเดชันที่เกิดขึ้นทางชีววิทยาเพื่อทำการเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรต ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดจากจุลินทรีย์ชนิดไนตริฟายอิง (Nitrifying) ขั้นตอนแรกจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้อยู่ในรูปไนไตรท์โดยจุลินทรีย์กลุ่มไนโตรโซโมแนส (*Nitrosomonas*) เป็นหลัก

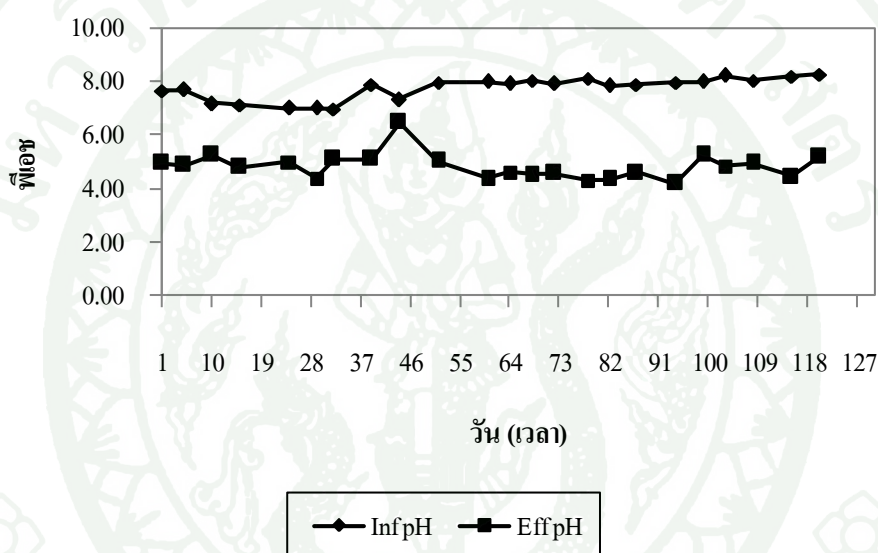
จากสมการที่ 4 เมื่อเทียบสมดุลไนโตรเจน (Nitrogen Balance) พบว่า 1 โมลของแอมโมเนีย เปลี่ยนเป็นไนเตรต 1 โมล แต่จากผลการทดลองพบว่า 1 โมลของแอมโมเนียเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตเพียง 0.19 โมล ซึ่งอาจเนื่องมาจากแอมโมเนียถูกใช้ไปไม่หมดยังคงเหลือแอมโมเนียในระบบ และในขณะที่ทำการเปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อเข้าระบบในแต่ละวันนั้นต้องทำการปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อรอให้เชื้อตกตะกอนแล้วจึงสูบน้ำในระบบออกจากรุ่นจึงทำการเติมน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ระบบได้ ซึ่งระยะเวลาที่ปิดเครื่องเติมอากาศนี้เองอาจจะอยู่ในสถานะแอน็อกซิกคือการที่เชื้อจุลินทรีย์ใช้ในเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการออกซิไดซ์แอมโมเนีย ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน จากนั้นไนเตรตจึงถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนภายในบริเวณที่เป็นแอน็อกซิก และอีกเหตุผลหนึ่งอาจเนื่องมาจากในน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นนั้นมีค่าความสกปรกในรูปของ Chemical Oxygen Demand หรือ COD ก่อนข้างสูงโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 202 มก./ล. ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียโรงงานวันเส้น โดยไนเตรตจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนมีสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน



ภาพที่ 13 ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริไฟเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)

พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเตรียมเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริไฟเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.74 และ 4.83 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 14 พบว่า ค่าพีเอชของน้ำเข้ามีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-9.8 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ

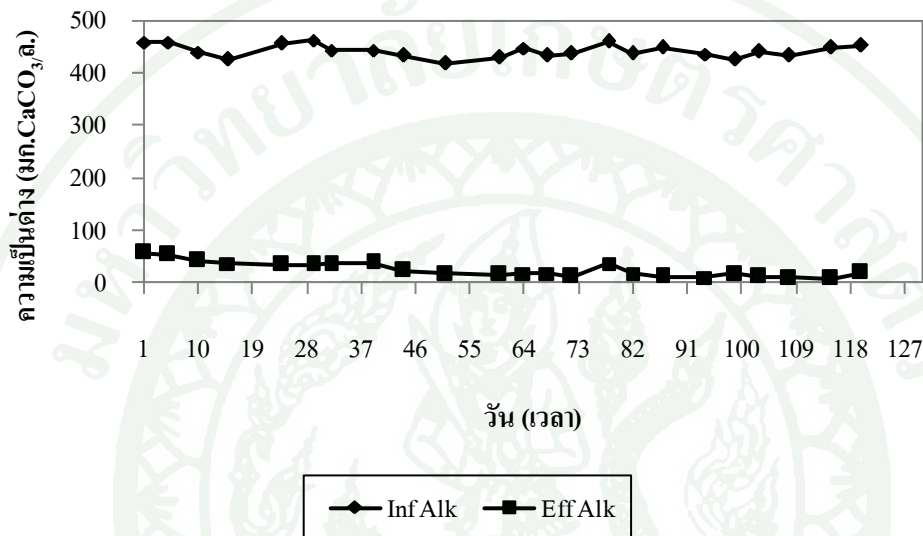
ไนตริฟิเคชัน ส่วนค่าพีเอชในน้ำออกมีค่าค่อนข้างต่ำลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันขึ้นในระบบมีการใช้ความเป็นด่างจึงทำให้ ค่าพีเอชในระบบลดลง และในกระบวนการไนตริฟิเคชันเชื้อไนตริไฟอิงจะทำการออกซิไดซ์ แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรต ภายใต้ภาวะแอโรบิกจะได้พลังงานออกมาด้วย ซึ่งเชื้อไนตริไฟอิงเหล่านี้จะใช้พลังงานที่ได้ไปดึงไบคาร์บอเนตมาเป็นแหล่งคาร์บอนต่อไป ทั้งนี้ในกระบวนการไนตริฟิเคชันจะมีการปล่อยไฮโดรเจนไอออนออกมาดังสมการที่ 4 ซึ่งทำให้ระบบต้องมีสภาพด่างพอ ไมเช่นนั้นบัฟเฟอร์จะมีไม่พอซึ่งทำให้พีเอชในระบบลดลง



ภาพที่ 14 พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)

ความเป็นด่าง (Alkalinity) ของน้ำเข้าระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 442 มก. CaCO_3 /ล. เนื่องมาจากน้ำเสียดังเคราะห์มีส่วนประกอบของสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ความเข้มข้น 0.35-2.90 ก./ล. เป็นตัวปรับค่าความเป็นด่างเพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์ในการต้านการลดลงของค่าพีเอชที่เกิดในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วนในน้ำออกจากระบบมีค่าความเป็นด่างเฉลี่ยเท่ากับ 25 มก. CaCO_3 /ล. แสดงดังภาพที่ 15 ในกระบวนการเกิดไนตริฟิเคชันนั้นพบว่าในขั้นตอนแรกที่มีการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์โดยไนโตรโซโมแนสนั้น มีการใช้สภาพด่างค่าพีเอชจะลดต่ำลงเนื่องจากในปฏิกิริยาจะเกิดไฮโดรเจนไอออนขึ้นทำให้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของไนโตรแบคทีเรียลดต่ำลงหรือถูกยับยั้งการเจริญเติบโต การเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรตมีค่าต่ำลง

จึงทำให้กระบวนการเกิดไนตริฟิเคชันลดลงหรือช้าลงกว่าเดิม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมระดับค่าพีเอชให้มีค่าเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพื่อให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันอย่างสมบูรณ์ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้นควรจะอยู่ในช่วง 7.2–8.0

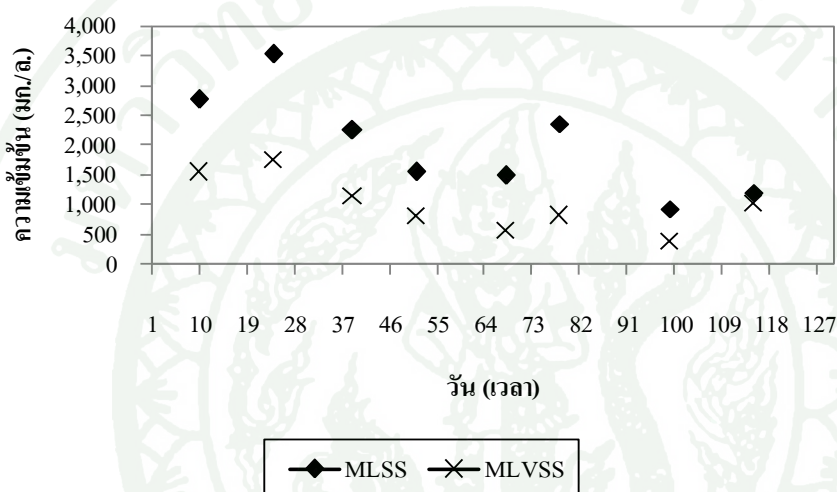


ภาพที่ 15 ความแตกต่างของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเตรียมเชื้อไนตริฟิเคชันด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)

ของแข็งแขวนลอยในระบบ (MLSS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ (MLVSS) ความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยและความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายเฉลี่ยเท่ากับ 2,008 และ 1,003 มก./ล. ตามลำดับ มีค่าอัตราส่วนของของแข็งแขวนลอยต่อของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ (MLVSS/MLSS) เท่ากับ 0.50 จะเห็นได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์สามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์ได้และเพิ่มจำนวนมากขึ้นแสดงดังภาพที่ 16

ของแข็งแขวนลอยในระบบ (MLSS) มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง เนื่องจากหัวเชื้อตะกอนจุลินทรีย์เป็นหัวเชื้อตะกอนจากส่วนที่สูบกลับ (Return Sludge) ของบ่อเติมอากาศ โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง กรุงเทพมหานคร ซึ่งทำการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนทำให้มีความสกปรกของมลสารต่างๆที่อยู่ในน้ำเสียนั้นมีปริมาณค่อนข้างมาก ของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ (MLVSS) มีปริมาณไม่คงที่ อันเนื่องมาจากเป็นกระบวนการแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch) ระยะเวลาที่เก็บน้ำ

(HRT) เท่ากับ 1 วัน ในขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำเสียแต่ละวันนั้นทำการเปลี่ยนน้ำแบบกาลักน้ำ เริ่มจากปิดเครื่องเติมอากาศ ทิ้งให้เชื้อจุลินทรีย์ในระบบตกตะกอนประมาณ 15 นาทีจากนั้นจึงใช้วิธีการกาลักน้ำนำน้ำเสียออกจากระบบ ซึ่งอาจมีเชื้อจุลินทรีย์หลุดออกมาคือน้ำก็เป็นได้ ถ้าทำการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch) ต่อไปอีกระยะหนึ่งเชื้อไนตริไฟอิงจะมีการเพิ่มจำนวนต่อไปได้อีก พิจารณาจากเส้นแนวโน้มของกราฟที่จะมีการเพิ่มจำนวนของเชื้อไนตริไฟต่อไปในระบบ



ภาพที่ 16 ของแฉ่งแวนลอยในระบบ (MLSS) และของแฉ่งแวนลอยระเหยง่ายในระบบ (MLVSS) ในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)

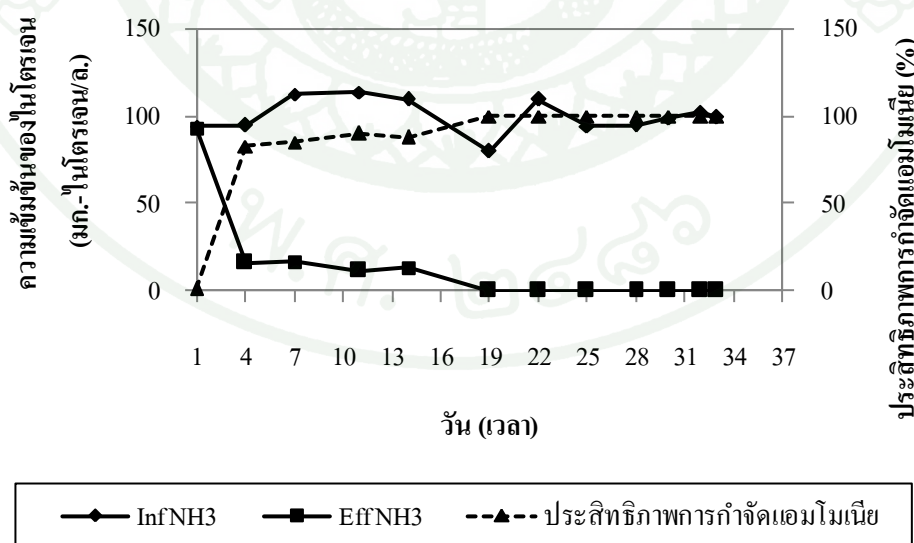
3. การเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย

หลังจากที่เชื้อไนตริไฟอิงอยู่ในสภาวะคงตัวสามารถปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแอมโมเนียเป็นสารอาหารหลักได้แล้วนั้น ต่อมาที่จะเป็นการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียโดยทำการควบคุมค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในช่วง 0.3-0.7 มก./ล. ในการทดลองดังกล่าวได้ใช้เครื่องควบคุมออกซิเจนเป็นตัวควบคุมการจ่ายออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (Air pump) ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยทำการป้อนน้ำเสียจากโรงงานวันสั้นอย่างต่อเนื่อง

(Continuous) ระยะเวลาพักน้ำ (HRT) เท่ากับ 1 วัน อัตราการไหลเท่ากับ 5.50 มล./นาที อัตราการบรรทุกแอมโมเนียเท่ากับ 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ปรับตัวเข้ากับสภาวะแวดล้อมของน้ำเสียโรงงานวันสั้น เมื่อควบคุมเวลากักเก็บน้ำสั้นๆ (ประมาณ 1 วัน) และที่อุณหภูมิสูง (ประมาณ 35 องศาเซลเซียส) จุลินทรีย์ประเภทไนโตรแบคเตอร์จะหลุดออกจากระบบ จึงมีแต่ไนโตรที่เท่านั้นในถังปฏิกรณ์

ที่สภาวะคงตัวของแฉ่งแขวนลอยและของแฉ่งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบเฉลี่ยเท่ากับ 463 และ 330 มก./ล. ตามลำดับ มีอัตราส่วนของแฉ่งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแฉ่งแขวนลอย (MLVSS/MLSS) เท่ากับ 0.71 แสดงให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียโรงงานวันสั้นได้เป็นอย่างดี

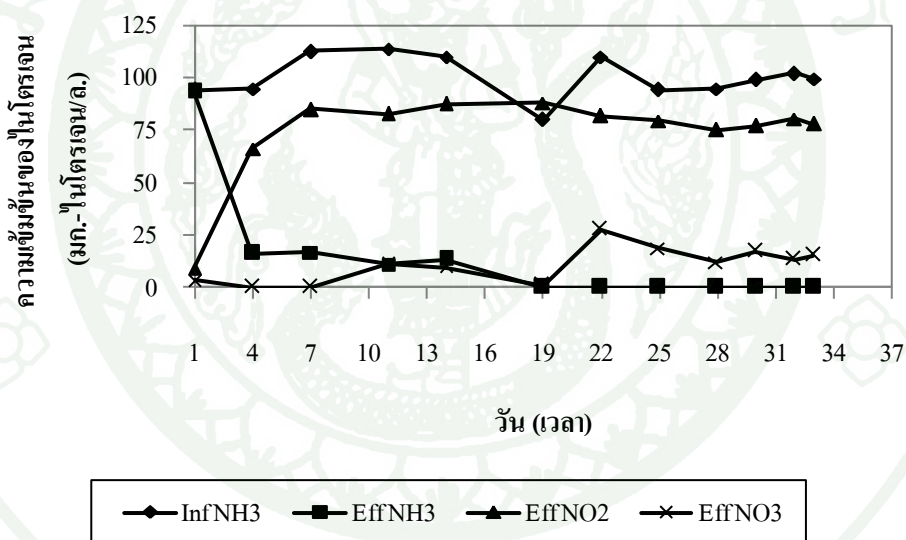
ความเข้มข้นของแอมโมเนียเฉลี่ยในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 100 และ 13 มก.-ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียร้อยละ 87 แสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่เรียกชื่อย่อว่าแอมโมเนีย

ที่เวลา 4 วัน ระบบสามารถบำบัดแอมโมเนียได้มาก มีไนโตรเจนเกิดขึ้นในระบบและมีไนเตรตเกิดขึ้นน้อยลง ที่สภาวะคงตัวตรวจวัดไม่พบความเข้มข้นของไนโตรเจนและไนเตรตในน้ำเข้าระบบ ไนเตรตในน้ำออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 11 มก.-ไนโตรเจน/ล. ซึ่งน้อยมาก ส่วนไนโตรเจนในน้ำออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 74 มก.-ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นร้อยละ 74 ของแอมโมเนียในน้ำที่เข้าระบบ แสดงดังภาพที่ 18

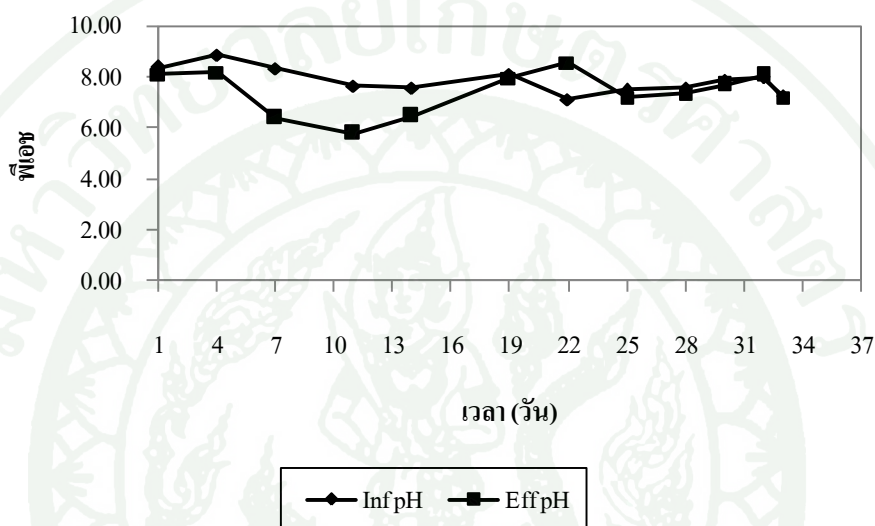
จากสมการที่ 14 เมื่อเทียบสมดุลไนโตรเจน (Nitrogen Balance) พบว่า 1 โมลของแอมโมเนีย เปลี่ยนเป็นไนโตรเจน 0.5 โมล แต่จากผลการทดลองพบว่า 1 โมลของแอมโมเนียเปลี่ยนเป็นไนโตรเจน 0.74 โมล ซึ่งมีไนโตรเจนเกิดขึ้นในระบบค่อนข้างมาก



ภาพที่ 18 ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย

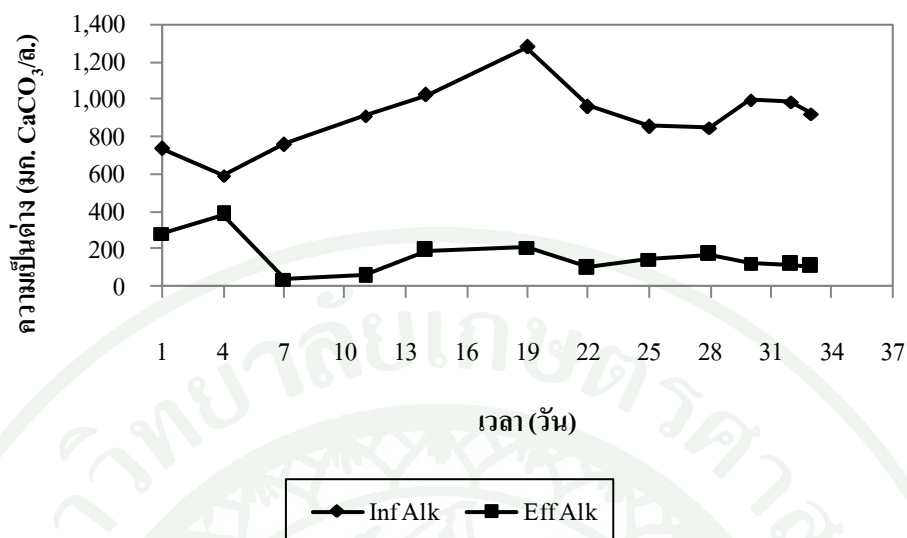
พีเอชในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย เมื่อควบคุมค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.3-0.7 มก./ล. พบว่ามีค่าโดยเฉลี่ย เท่ากับ 7.86 และ 7.41 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 19 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าพีเอชในน้ำเข้าระบบมีค่าไม่ต่ำกว่า

6.5 (van Dongen *et al.*, 2001) เนื่องจากถ้าต่ำกว่าค่าดังกล่าวจะมีผลทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ ทั้งนี้เพราะค่าพีเอชที่มีผลต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 7.5-8.5 ซึ่งเหมาะสมกับทั้งไนโตรโซโมแนสและไนโตรแบคเตอร์ ไวต่อพีเอชมากและพีเอชค่อนข้างต่ำ (บุญญศิริ, 2553)



ภาพที่ 19 พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย

ความเป็นด่างน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย เมื่อควบคุมค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.3-0.7 มก./ล. พบว่ามีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 906 และ 160 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 20 จะเห็นได้ว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันใช้ค่าความเป็นด่างเป็นบัฟเฟอร์ในการรักษาระดับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 7.8-8.1 จึงมีการใช้สภาพต่างไปด้วย

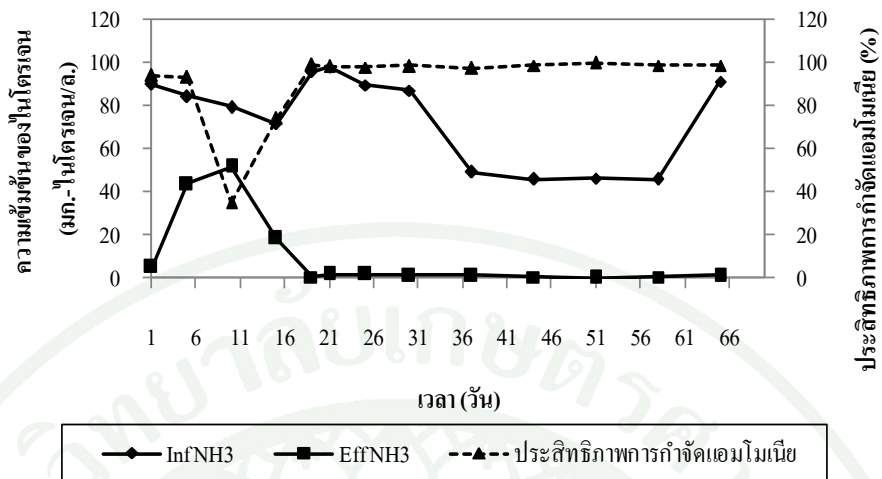


ภาพที่ 20 ความแตกต่างของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย

4. การกำจัดสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ (ไนตริฟิเคชันบางส่วน)

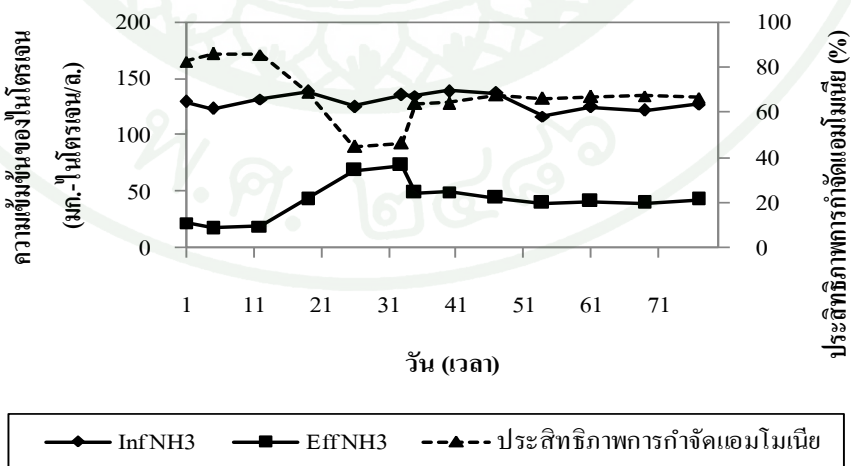
4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนีย

ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียเฉลี่ยในน้ำเข้าระบบเท่ากับ 75 มก.-ไนโตรเจน/ล. น้ำออกจากระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10 มก.-ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียร้อยละ 91 แสดงดังภาพที่



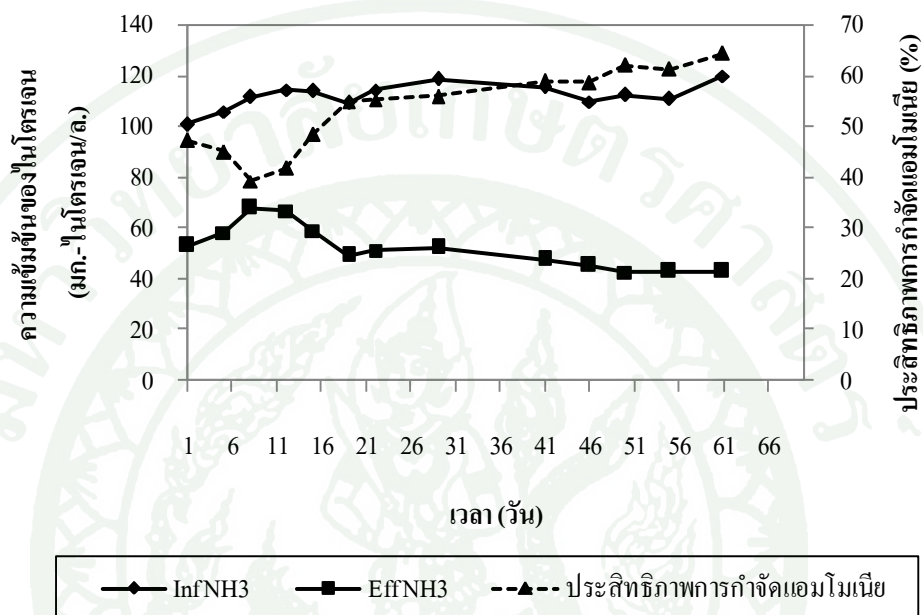
ภาพที่ 21 ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 130 มก.-ไนโตรเจน/ล. น้ำออกจากระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 42 มก.-ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียร้อยละ 67 แสดงดังภาพที่ 22



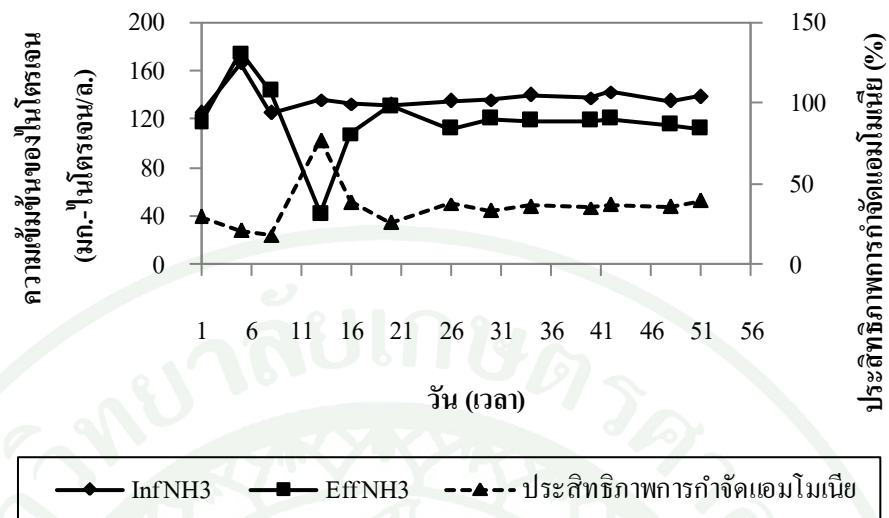
ภาพที่ 22 ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

ที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบ โดยเฉลี่ยเท่ากับ 112 มก.-ไนโตรเจน/ล. น้ำออกจากระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 52 มก.-ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียร้อยละ 53 แสดงดังภาพที่ 23



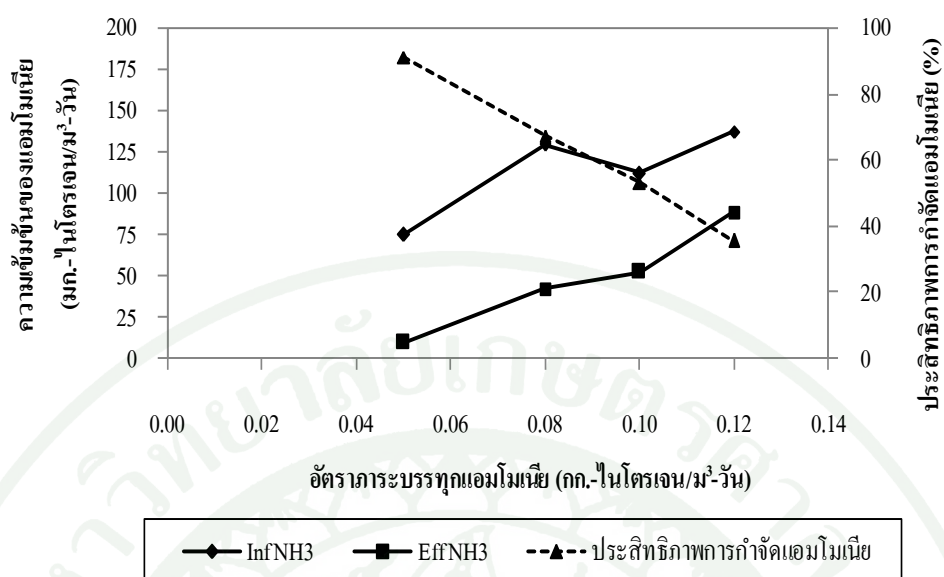
ภาพที่ 23 ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

ที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบเท่ากับ 137 มก.-ไนโตรเจน/ล. น้ำออกจากระบบมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 89 มก.-ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียร้อยละ 36 แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียที่อัตราภาระบรรทุกทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

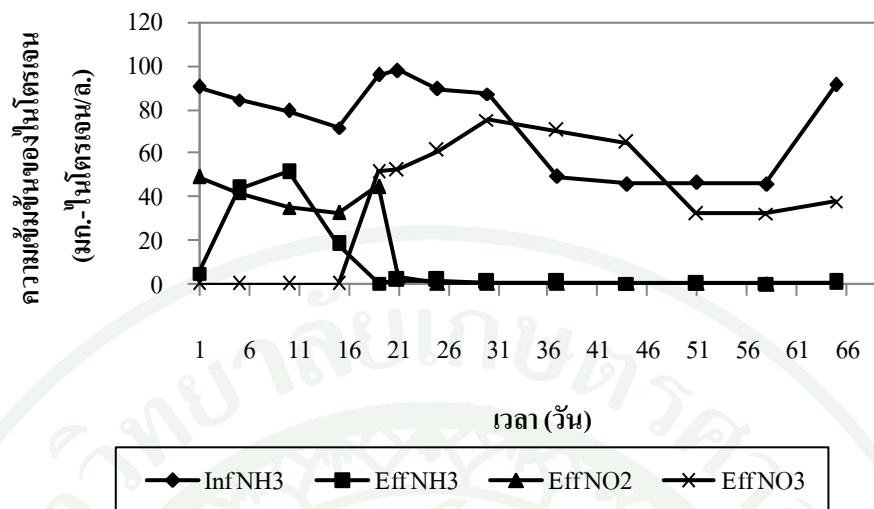
เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียของระบบในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียร้อยละ 91, 67, 53 และ 36 ตามลำดับ และมีแอมโมเนียคงเหลือในระบบคิดเป็นร้อยละ 13, 32, 46 และ 65 ตามลำดับ ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ความเข้มข้นของแอมโมเนียและประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

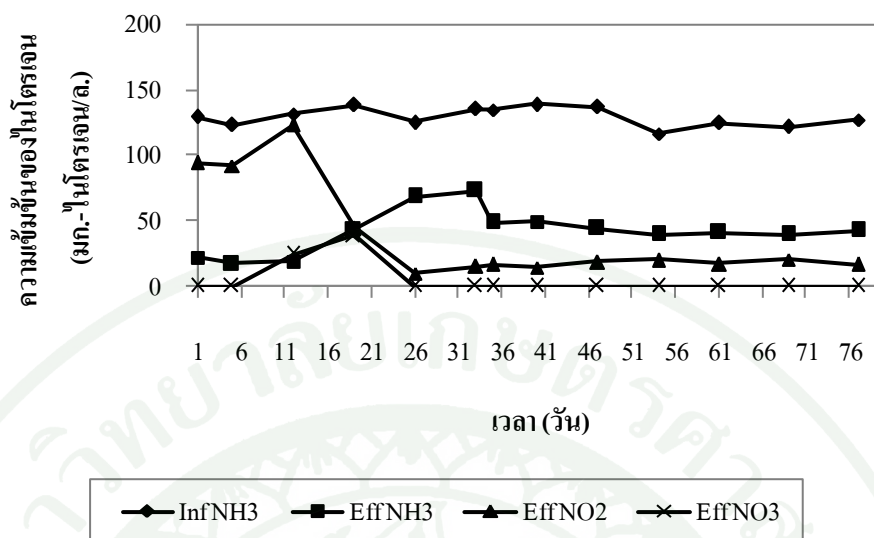
4.2 การเปลี่ยนแปลงของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรตในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม³-วัน เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 21 วัน กระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรตได้ โดยมีไนไตรท์เกิดขึ้นในระบบน้อยมาก แสดงดังภาพที่ 26 ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มข้นของแอมโมเนียน้อยเกินไปไม่สามารถเกิดเป็นไนไตรท์ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนได้ แม้จะมีการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำแล้วก็ตาม น้ำที่ออกจากระบบมีไนเตรตโดยเฉลี่ยเท่ากับ 37 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีไนไตรท์เฉลี่ย 16 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีอัตราส่วนไนไตรท์ต่อแอมโมเนียในน้ำออกเท่ากับ 1:1.60 ความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำออกคิดเป็นร้อยละ 21 ของแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบ และมีแอมโมเนียคงเหลือร้อยละ 13



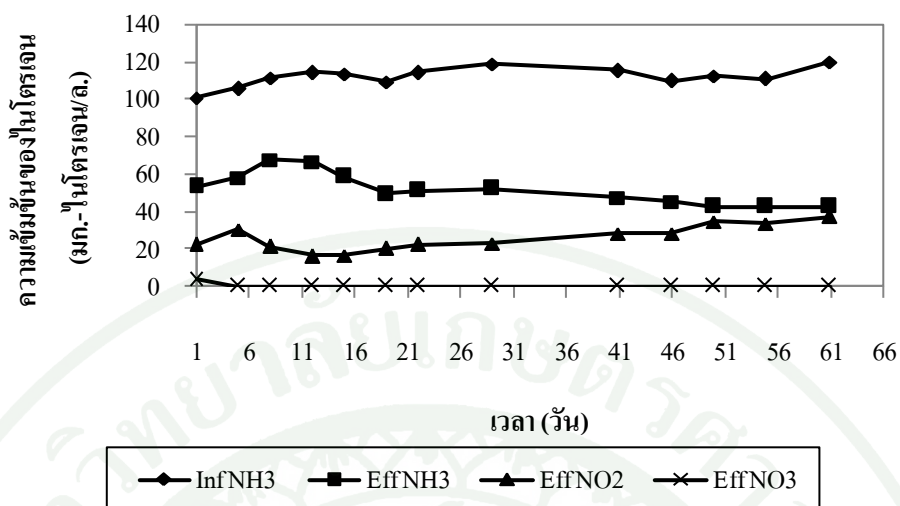
ภาพที่ 26 ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.ไนโตรเจน-/ม.³-วัน เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 26 วัน ระบบเริ่มมีไนไตรท์เกิดขึ้นและมีการเกิดไนเตรตลดลง น้ำที่ออกจากระบบมีไนเตรตโดยเฉลี่ยน้อยมากประมาณ 5 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีไนไตรท์เฉลี่ยเท่ากับ 39 มก.-ไนโตรเจน/ล. แสดงดังภาพที่ 27 มีอัตราส่วนไนไตรท์ต่อแอมโมเนียในน้ำออกเท่ากับ 1:0.93 มีแอมโมเนียคงเหลือร้อยละ 46 และความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำออกคิดเป็นร้อยละ 30 ของแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบ ใกล้เคียงกับ van Dongen *et al.* (2001) ที่เดินระบบที่ระยะเวลาพักน้ำเท่ากับ 0.80 วัน แอมโมเนียถูกออกซิไดซ์เป็นไนไตรท์ร้อยละ 30



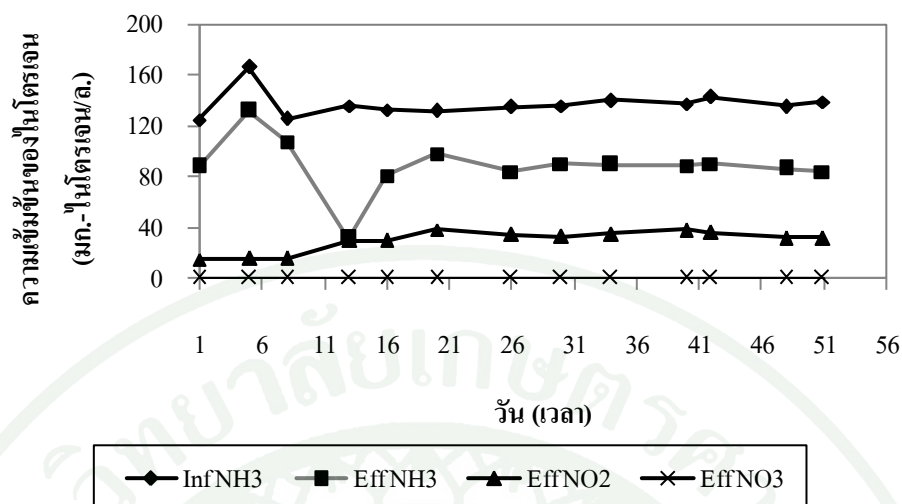
ภาพที่ 27 ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

ที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน-/ม.³-วัน เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 5 วัน น้ำที่ออกจากระบบมีไนเตรตน้อยมากเฉลี่ยประมาณ 0.28 มก.-ไนโตรเจน/ล. มีไนไตรท์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 26 มก.-ไนโตรเจน/ล. แสดงดังภาพที่ 28 มีอัตราส่วนไนไตรท์ต่อแอมโมเนียในน้ำออกเท่ากับ 1:0.50 ความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำออกคิดเป็นร้อยละ 23 ของแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบ และมีแอมโมเนียคงเหลือร้อยละ 46 ใกล้เคียงกับ Ruiz *et al.* (2006) ที่ทำการทดลองด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 มก./ล. พบว่ามีแอมโมเนียคงเหลือประมาณร้อยละ 50 โดยมีไนไตรท์เกิดขึ้นและไม่มีไนเตรตสะสมในระบบ



ภาพที่ 28 ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตรากระบรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

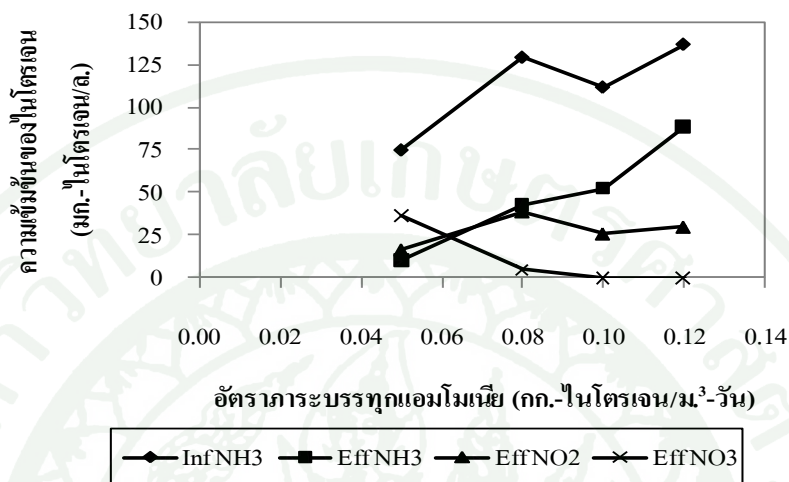
ที่อัตรากระบรทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.ไนโตรเจน-/ม.³-วัน เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 16 วัน น้ำที่ออกจากระบบไม่พบไนเตรต มีไนไตรท์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 30 มก.-ไนโตรเจน/ล. แสดงดังภาพที่ 29 มีอัตราส่วนไนไตรท์ต่อแอมโมเนียเท่ากับ 1:0.33 ความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำออกคิดเป็นร้อยละ 22 ของแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบและมีแอมโมเนียคงเหลือร้อยละ 65



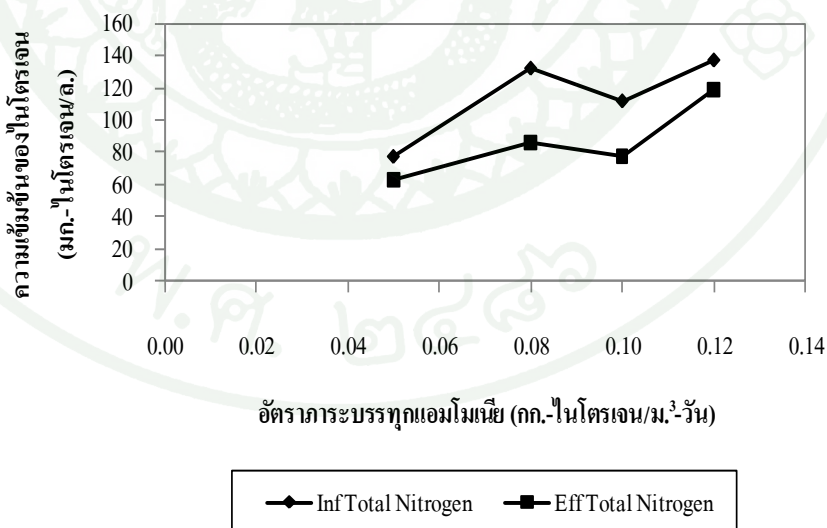
ภาพที่ 29 ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน แสดงดังภาพที่ 30 พบว่าอัตราส่วนไนโตรที่ต่อแอมโมเนียในน้ำออกมีค่าเท่ากับ 1:1.60, 1:0.93, 1:0.50 และ 1:0.33 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ ศิริพร (2551) ทำการศึกษาการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดไนโตรเจนในสภาวะไร้อากาศ โดยศึกษาอัตราส่วนไนโตรที่ต่อแอมโมเนียที่เหมาะสม พบว่า อัตราส่วนไนโตรที่ต่อแอมโมเนียในน้ำออกที่เหมาะสมเท่ากับ 1:0.67 - 1:2.97 สามารถบำบัดด้วยกระบวนการอนาโม็อกซ์ได้ ดังนั้นการศึกษاثิพลของภาระบรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน ในการเตรียมน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจน โดยกระบวนการอนาโม็อกซ์โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.7 ± 0.1 มก./ล. มีความเป็นไปได้ที่จะทำการบำบัดด้วยกระบวนการอนาโม็อกซ์ และเมื่อพิจารณาจากค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) ซึ่งเป็นผลรวมของแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรตที่เข้าและออกจากระบบทั้งหมด พบว่า ที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ในน้ำเข้ามีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 78, 132, 112 และ 137 มก.-ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ ในน้ำออกมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 63, 86, 78 และ 119 มก.-ไนโตรเจน/ล. ตามลำดับ จากภาพที่ 31 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าไนโตรเจนในน้ำออกน้อยกว่าน้ำเข้าเพียง 18 มก.-ไนโตรเจน/ล. อาจหายไปในรูปแบบของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งที่อัตราการระบรทุกดังกล่าวมีความ

เป็นไปได้มากที่สุดเมื่อพิจารณาในส่วนของสมดุลไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบที่จะดำเนินการวิจัยด้วยกระบวนการอนาม็อกซ์ต่อไป



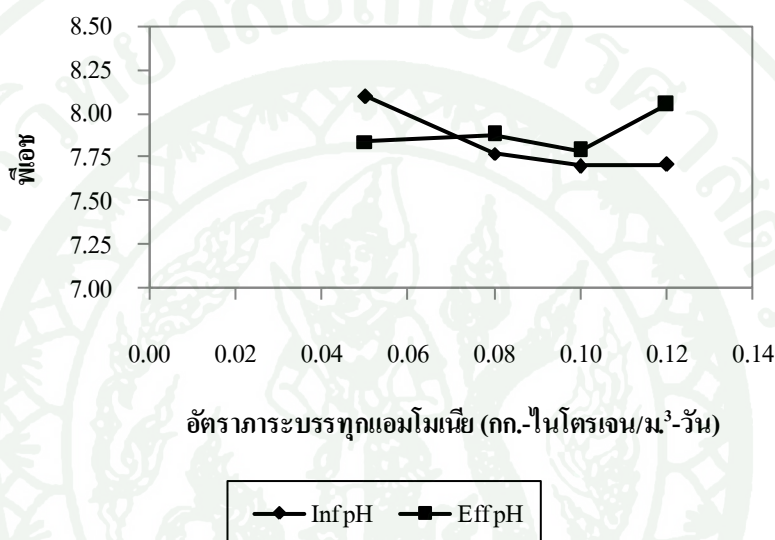
ภาพที่ 30 ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน



ภาพที่ 31 ความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดที่เข้าและออกจากระบบ ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

4.3 พีเอช

ที่อัตราการบำบัดทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน พีเอชของน้ำเข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 8.10, 7.77, 7.70 และ 7.71 ตามลำดับ น้ำออกจากระบบมีค่าพีเอชเฉลี่ยเท่ากับ 7.84, 7.88, 7.79 และ 8.05 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 พีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบที่อัตราการบำบัดทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

เมื่อเปรียบเทียบค่าพีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบที่อัตราการบำบัดทุกแอมโมเนียต่างๆ พบว่า ค่าพีเอชของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 7.9-8.2 (Alleman, 1984) ก่อนข้างไปทางต่าง แต่อย่างไรก็ตามค่าพีเอชในน้ำออกจากระบบยังคงรักษาระดับไม่ให้ต่ำกว่า 5.5 หรือสูงกว่า 9.0 เนื่องจากถ้าค่าพีเอชสูงหรือต่ำกว่าค่าดังกล่าวจะยับยั้งการทำงานของกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน มีผลทำให้เกิดไนไตรท์ลดลง (Yan and Hu, 2009) และถ้าค่าพีเอชลดลงไปถึงประมาณ 6.5 แอมโมเนียอิสระจะมีค่าน้อยซึ่งจะทำให้การออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์จะไม่เกิดขึ้น เพราะสารอาหารที่สำคัญของพวกไนโตรโซโมแนส คือแอมโมเนียอิสระ ส่วนกลุ่มไนโตรแบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าที่ค่าพีเอชต่ำแต่ถ้าค่าพีเอชมากกว่า 8 จะเป็นผลให้แอมโมเนียอิสระมีค่ามากขึ้นทำให้แบคทีเรียในกลุ่มไนโตรโซโมแนส

เจริญเติบโตได้เร็ว และแอมโมเนียอิสระยังทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มไนโตรแบคทีเรียอีกด้วย

4.4 ความแตกต่าง

ทุกอัตราการระบทุกแอมโมเนีย ค่าความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตมีความสำคัญต่อการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนโตรที่ของกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ช่วยด้านการลดลงของค่าพีเอชให้มีช่วงของค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบ แสดงดังภาพที่ 33

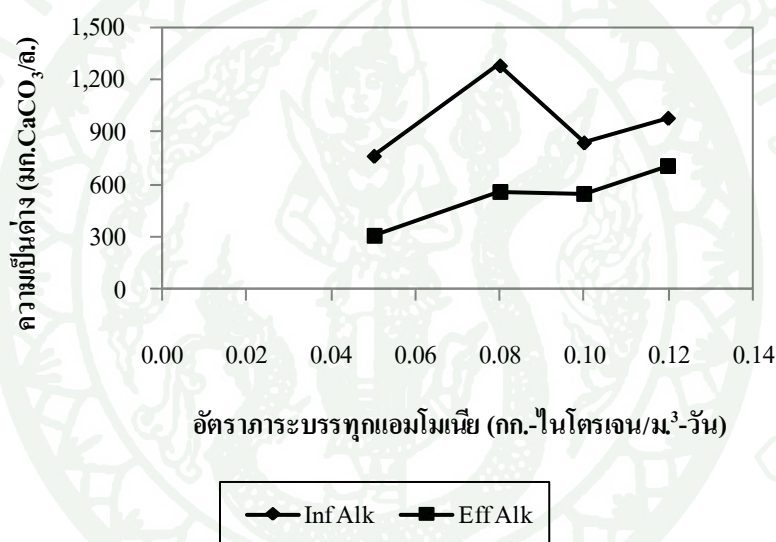
ที่อัตราการระบทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-¹ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตในน้ำเข้าระบบเท่ากับ 763.54 มก.CaCO₃/ล. ค่าแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 75.04 มก.-¹ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของไบคาร์บอเนตต่อแอมโมเนียในน้ำเข้าเท่ากับ 3:1 โมล/โมล

ที่อัตราการระบทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.-¹ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตในน้ำเข้าระบบเท่ากับ 1,280.92 มก.CaCO₃/ล. ค่าแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 129.55 มก.-¹ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของไบคาร์บอเนตต่อแอมโมเนียในน้ำเข้าเท่ากับ 2.9:1 โมล/โมล

ที่อัตราการระบทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-¹ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตในน้ำเข้าระบบเท่ากับ 840 มก.CaCO₃/ล. ค่าแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 112.01 มก.-¹ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของไบคาร์บอเนตต่อแอมโมเนียในน้ำเข้าเท่ากับ 2.2:1 โมล/โมล

ที่อัตราการระบทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-¹ไนโตรเจน/ม.³-วัน ค่าความเป็นด่างในรูปของไบคาร์บอเนตในน้ำเข้าระบบเท่ากับ 981 มก.CaCO₃/ล. ค่าแอมโมเนียในน้ำเข้าระบบมีค่าเท่ากับ 137.20 มก.-¹ไนโตรเจน/ล. คิดเป็นอัตราส่วนโดยโมลของไบคาร์บอเนตต่อแอมโมเนียในน้ำเข้าเท่ากับ 1.9:1 โมล/โมล

จากสมการที่ 12 แยกที่เรียกใช้ไบคาร์บอเนต 2 โมลต่อแอมโมเนีย 1 โมล เพื่อให้เกิดเป็นไนไตรท์ จากการทดลองพบว่าที่ค่าของอัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน มีอัตราส่วนโดยโมลของไบคาร์บอเนตต่อแอมโมเนียในน้ำเข้าที่ไม่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนซึ่งที่อัตราภาระบรรทุกดังกล่าวมีความเข้มข้นของแอมโมเนียน้อยเกินไปจึงทำให้เกิดไนไตรท์ในระบบน้อยมาก แต่จะเกิดเป็นไนเตรตแทน และที่ค่าของอัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน ตามลำดับ มีอัตราส่วนโดยโมลของไบคาร์บอเนตต่อแอมโมเนียในน้ำเข้าที่เหมาะสมในการบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน โดยเกิดไนไตรท์ในระบบมากขึ้นและเกิดไนเตรตน้อยลง

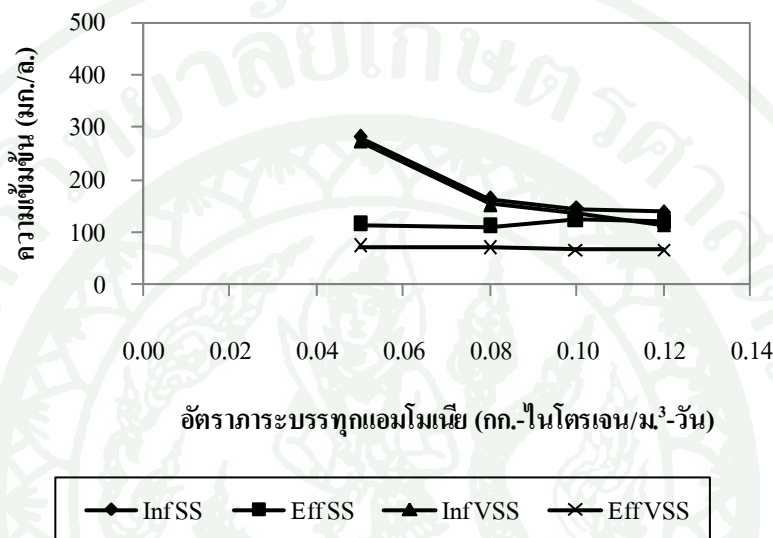


ภาพที่ 33 ความเป็นด่างของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

4.5 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบ

ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน มีค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำเข้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 281, 163, 145 และ 138 มก./ล. ตามลำดับ ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำออกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 115, 110, 123 และ 119 มก./ล. ตามลำดับ ดังภาพที่ 34

ที่อัตราการบำบัดทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) ในน้ำเข้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 274, 153, 136 และ 114 มก./ล. ตามลำดับ ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) ในน้ำออกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 72, 70, 67 และ 68 มก./ล. ตามลำดับ ดังภาพที่ 34



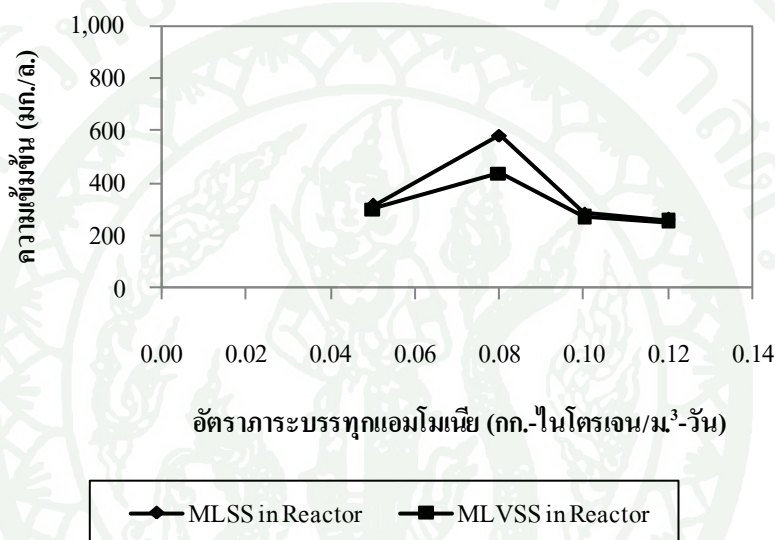
ภาพที่ 34 ของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) ของน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบที่อัตราการบำบัดทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

น้ำเข้าระบบที่อัตราการบำบัดทุกแอมโมเนียต่างๆ มีค่าของแข็งแขวนลอยเป็นตะกอนจากวัฏดุคิปที่ใช้ในการผลิตวุ้นเส้น คือถั่วเขียว ซึ่งมีความเข้มข้นค่อนข้างสูง ส่วนในน้ำออกจากระบบ มีความเข้มข้นของค่าของแข็งแขวนลอยลดลงทุกอัตราการบำบัดทุกแอมโมเนีย เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีส่วนของถังตกตะกอนอยู่ จึงทำให้น้ำที่ออกจากถังปฏิกรณ์กระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนมีความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยลดลง

ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายที่อัตราการบำบัดทุกแอมโมเนียต่างๆ ในน้ำเข้าระบบมีความเข้มข้นค่อนข้างสูง เนื่องจากตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ทดลองได้ผ่านการบำบัดแบบไร้อากาศมาแล้ว จึงทำให้มีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมากับน้ำเสีย ส่วนน้ำออกจากระบบมีความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายลดลง เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีส่วนของถังตกตะกอนไม่ให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมากับน้ำที่ออกจากระบบ

4.6 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ

ที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน มีค่าของแข็งแขวนลอยในระบบ (MLSS) เฉลี่ยเท่ากับ 313, 582, 287 และ 260 มก./ล. ตามลำดับ ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ (MLVSS) เฉลี่ยเท่ากับ 301, 439, 269 และ 250 มก./ล. ตามลำดับ ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ของแข็งแขวนลอยในระบบ (MLSS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบ (MLVSS) ที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนียต่างๆ ในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน

ที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยต่อของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS/MLSS) เท่ากับ 0.90, 0.75, 0.94 และ 0.96 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เชื้อแบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย กระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน เห็นได้จากเชื้อจุลินทรีย์มีการเพิ่มจำนวนและปรับตัวเข้ากับน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะที่ควบคุมระบบ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนในการเตรียมน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจน โดยกระบวนการอนาโม็อกซ์โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.7 ± 0.1 มก.ล./ พบว่า ที่อัตราภาระบรรทุกแอมโมเนีย 0.05, 0.08, 0.10 และ 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ ม.³-วัน ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียร้อยละ 91, 67, 53 และ 36 ตามลำดับ อัตราส่วนไนไตรท์ต่อแอมโมเนียในน้ำออกมีค่าเท่ากับ 1:1.60, 1:0.93, 1:0.50 และ 1:0.33 ตามลำดับ มีความเป็นไปได้ที่จะทำการบำบัดน้ำเสียโรงงานวันเส้นต่อด้วยกระบวนการอนาโม็อกซ์

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาอิทธิพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วน ในการเตรียมน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจน โดยกระบวนการอนาโม็อกซ์ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความชัดเจน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้

1. ทำการศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียในกระบวนการอนาโม็อกซ์ เพื่อให้กระบวนการกำจัดไนโตรเจนเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์
2. ทำการศึกษาเพิ่มเติมในระดับ Pilot Scale

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. ครั้งที่ 2. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- บุญญศิริ พاجر. 2553. ประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มันสิน ตันกุลเวศม์. 2539. การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยกระบวนการชีวภาพ. ส่งเสริมเทคโนโลยี ปีที่ 23 (ฉบับที่ 129): 90-95.
- ศิริพร ศรีพิบูลย์. 2551. การศึกษาเพื่อคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการออกซิเดชันแอมโมเนียในสภาพไร้อากาศ (อนาโมกซ์). วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภชวดี ศิริยานนท์. 2554. การบำบัดน้ำเสียที่มีธาตุไนโตรเจนสูงด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนของกระบวนการอนาโมกซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Ahn, Y.H. and H.C. Choi. 2006. Autotrophic nitrogen removal from sludge digester liquids in upflow sludge bed reactor with external aeration. **Process Biochemistry**. 41(9): 1945-1950.
- Alleman, J. F. 1984. Elevated nitrite occurrence in biological wastewater treatment systems.. **Water Scienc and Technology**. 17: 409-419.
- APHA, AWWA and WEF. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 Edition. American Public Health Association, Washington, DC., USA.

- Dijkman, H. and M. Strous. 1999. **Process for Ammonia Removal for Wastewater**.
Patent; PCT/NL 99/00 446.
- Egli, K., U. Fanger, P.J.J. Alvarez, H. Siegrist, J.R. van der Meer and A.J.B. Zehnder. 2001.
Enrichment and Characterization of Anammox Bacterium from a Rotation Biological
Contactor Treating Ammonium Rich Leachate. **Archives of Microbiology**. (175):
198-207.
- Fux, C., M. Bohler, P. Huber, I. Brunner and H. Siegrist. 2002. Biological treatment of
ammonium-rich wastewater by partial nitrification and subsequent anaerobic ammonium
oxidation (anammox) in a pilot plant. **Journal of Biotechnology**. 99: 295-306.
- Hellinga, C., A.A.J.C. Schellen, J.W. Mulder, M.C.M. Van Loosdrecht and J.J. Heijnen. 1998.
The SHARON process : An innovative method for nitrogen removal from ammonium-
rich wastewater. **Water Science and Technology**. 37(9): 135-142.
- Jetten, M.S.M., S.J. Horn and M.C.M. van Loosdrecht. 1997. Towards a more Sustainable
Municipal Wastewater Treatment System. **Water Science and Technology**. 35(9):
171-180.
- Jetten, M.S.M., M. Strous, K.T. van de Pas-Schoonen, J. Schalk, U.G.J.M. van Dongen, A.A. van
de Graaf, S. Logemann, G. Muyzer, M.C.M. van Loosdrecht and J.G. Kuenen. 1999.
The anaerobic oxidation of ammonium. **FEMS Microbiology Reviews**. 22(5): 421-
437.
- Jetten, M.S.M., M. Wagner, J. Fuerst, M. van Loosdrecht, G. Kuenen and M. Strous. 2001.
Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation ('anammox')
process. **Current Opinion in Biotechnology**. 12(3): 283-288.

- Jetten, M.S.M., M. Schmid, I. Schmidt, M. Wubben, U. van Dongen, W. Abma, O. Sliemers, N.P. Revsbech, H.J.E. Beaumont, L. Ottosen, E. Volcke, H.J. Laanbroek, J.L. Campos-Gomez, J. Cole, M. van Loosdrecht, J.W. Mulder, J. Fuerst, D. Richardson, K. van de Pas, R. Mendez-Pampin, K. Third, I. Cirpus, R. van Spanning, A. Bollmann, L.P. Nielsen, H.O. den Camp, C. Schultz, J. Gundersen, P. Vanrolleghem, M. Strous, M. Wagner and J. G. Kuenen. 2002. Improved nitrogen removal by application of new nitrogen-cycle bacteria. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**. 1(1): 51-63.
- Kuba, T., G. Smolders, M.C.M. van Loosdrecht and J.J. Heijnen. 1993. Biological Phosphorus Removal from Wastewater by Anaerobic-Anoxic Sequencing Batch Reactor. **Water Science and Technology**. 27(5-6): 241-252.
- Lei, Y. 1990. **Investigation of Nitrite Build-up with an Enriched Nitrification Process**. Ph.D. Thesis. Dissertation School of Civil Engineering. Purdue University. West Lafayette. Indiana.
- Madigan, M.T. and J.M. Martinko. 2006. **Brock Biology of Microorganisms**. 11th Edition. Pearson Education, Inc., United States of America.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. **Wastewater Engineering : Treatment and Reuse**. 3rd Edition. McGraw – Hill, New York.
- Mobarry, B.K., M. Wagner, V. Urbain, B.E. Rittmann and D.A. Stahl. 1996. Phylogenetic probes for analyzing abundance and spatial organization of nitrifying bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**. 62: 2156-2162.

- Mulder, A., A.A. van de Graaf, L.A. Robertson and J.G. Kuenen. 1995. Anaerobic Ammonium Oxidation Discovered in a Denitrifying Fluidized Bed Reactor. **FEMS Microbiology Ecology**. 16: 177-184.
- Pollice, A., V. Tandoi and C. Lestingi. 2002. Influence of aeration and sludge retention time on ammonium oxidation to nitrite and nitrate. **Water Research**. 36: 2541-546.
- Poth, M. and D.D. Focht. 1985. ^{15}N Kinetic Analysis of N_2O Production by *Nitrosomonas europaea*: an Examination of Nitrifier Denitrification. **Applied and Environmental Microbiology**. 49(5): 1134-1141.
- Rittmann, B.E. and P.L. McCarty. 2001. **Environmental Biotechnology: Principles and Applications**. McGraw-Hill Publishing Co., Boston.
- Ruiz, G., D. Jeison, O. Rubilar, G. Ciudad and R. Chamy. 2006. Nitrification-denitrification via nitrite accumulation for nitrogen removal from wastewater. **Bioresource Technology**. 97(2): 330-335.
- Schmidt, M., K. Walsh, R. Webb, W.I. Rijpstra, K. van de Pas-Schoonen, M.J. Verbruggen, T. Hill, B. Moffett, J. Fuerst, S. Schouten, J.S. Damste, J. Harris, P. Shaw, M. Jetten and M. Strous. 2003. Candidatus “*Scalindua brodae*” sp. nov., Candidatus “*Scalindua wagneri*” sp. nov., two new species of anaerobic ammonium oxidizing bacteria. **Systematic and Applied Microbiology**. 26: 529-538.
- Strous, M., E. van Gerven, J.G. Kuenen and M.S.M. Jetten. 1997. Effects of aerobic and microaerobic conditions on anaerobic ammonium-oxidizing (Anammox) sludge. **Applied and Environmental Microbiology**. 63(6): 2446-2448.

- Strous, M., J.G. Kuenen and M.S.M. Jetten. 1999. Key physiology of anaerobic ammonium oxidation. **Applied and Environmental Microbiology**. 65(7): 3248-3250.
- Sundermeyer, H. and E. Bock. 1981. Energy metabolism of autotrophically and heterotrophically grown cells of nitrobacter winogradskyi. **Archives of Microbiology**. 130: 250-254.
- van de Graaf, A.A., P. de Bruijn, L.A. Roberston, M.S.M. Jetten and J.G. Kuenen. 1996. Autotrophic growth anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor. **Microbiology**. 142: 2187-2196.
- van Dongen, L.G.J.M., M.S.M. Jetten and M.C.M. Van Loosdrecht. 2001. The Combined Sharon/Anammox Process. **STOWA** report no. 2000-25.
- van Loosdrecht, M.C.M. and M.S.M. Jetten. 1998. Microbiological conversions in nitrogen removal. **Water Science and Technology**. 38(1): 1-7.
- Yamamoto, T., K. Takaki, T. Koyama and K. Furukawa. 2008. Long-term stability of partial nitrification of swine wastewater digester liquor and its subsequent treatment by Anammox. **Bioresource Technology**. 99(14): 6419-6425
- Yan, J. and Y.Y. Hu. 2009. Partial nitrification to nitrite for treating ammonium-rich organic wastewater by immobilized biomass system. **Bioresource Technology**. 100(8): 2341-2347.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลองการศึกษานิติพลของภาระบรรทุกต่อกระบวนการในตรีพีเคชันบางส่วน
ในการเตรียมน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการอนาม็อกซ์

ตารางผนวกที่ ก1 ลักษณะของน้ำเสียโรงงานวันเส้นที่ใช้ในการทดลอง

ครั้งที่ เก็บตัวอย่าง	วันที่	pH	Alkalinity (มก. CaCO ₃ /ล.)	SS (มก./ล.)	VSS (มก./ล.)	BOD (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	TKN-N (มก. N/ล.)	NH ₃ -N (มก. N/ล.)	NO ₂ ⁻ -N (มก. N/ล.)	NO ₃ ⁻ -N (มก. N/ล.)
1	6 ธ.ค. 53	8.29	602	336	332	107.25	281.40	224.81	189.12	0.19	0.88
2	27 ธ.ค. 53	7.47	1,316	265	100	69	204.75	209.44	184.24	0.17	0.42
3	28 ก.พ. 54	7.14	1,028	190	166.67	108	288.58	133.28	109.76	0.20	0.52
4	26 เม.ย. 54	8.07	868	193.33	106.67	204	222.75	116.48	100.80	0.12	0.31
5	21 มิ.ย. 54	8.76	810	485	420	51.34	138.75	99.96	90.16	0.21	0.42
6	18 ก.ค. 54	7.60	712	139	109	63.13	170.63	55.44	51.52	0.31	0.52
7	24 ส.ค. 54	7.85	1,308	150	141	65.90	171.60	202.35	192.08	0.51	0.35
8	19 ม.ค. 55	7.35	1,156	80	53.33	61.91	167.33	119.70	142.80	0.25	0.43
9	21 มี.ค. 55	8.03	1,058	90	45	63.05	170.40	130.76	136.08	0.31	0.49
เฉลี่ย		7.84	984.22	214.26	163.74	88.18	201.80	143.58	132.95	0.25	0.48
SD		0.51	253.93	129.89	128.02	47.88	52.85	56.61	49.27	0.11	0.17

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างที่เข้าและออกจากระบบ ค่าของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงของกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบทช์ (Semi-Batch)

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก		
1	1 พ.ย. 53	7.65	4.95	459	58	-	-
5	5 พ.ย. 53	7.68	4.87	458	54	-	-
10	10 พ.ย. 53	7.18	5.25	440	43	2,770	1,550
15	15 พ.ย. 53	7.11	4.78	426	37	-	-
24	24 พ.ย. 53	7.00	4.98	456	35	3,525	1,755
29	29 พ.ย. 53	7.00	4.38	462	35	-	-
32	2 ธ.ค. 53	6.97	5.11	443	36	-	-
39	9 ธ.ค. 53	7.89	5.10	444	39	2,252	1,132
44	14 ธ.ค. 53	7.33	6.48	434	24	-	-
51	21 ธ.ค. 53	7.95	5.04	419	17	1,552	796
60	30 ธ.ค. 53	7.98	4.37	429	15	-	-
64	3 ม.ค. 54	7.93	4.62	447	18	-	-
68	7 ม.ค. 54	8.03	4.52	433	18	1,494	572
72	11 ม.ค. 54	7.90	4.56	437	12	-	-
78	17 ม.ค. 54	8.11	4.30	460	37	2,358	818
82	21 ม.ค. 54	7.84	4.32	438	18	-	-
87	26 ม.ค. 54	7.88	4.59	449	12	-	-

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		MLSS (มก./ล.)	MLVSS* (มก./ล.)
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก		
94	2 ก.พ. 54	7.95	4.20	436	10	-	-
99	7 ก.พ. 54	7.98	5.25	426	17	918	380
103	11 ก.พ. 54	8.23	4.84	441	12	-	-
108	16 ก.พ. 54	8.03	4.95	434	9	-	-
115	23 ก.พ. 54	8.18	4.44	448	8	1,192	1,018
120	28 ก.พ. 54	8.26	5.18	452	19	-	-
	เฉลี่ย	7.74	4.83	442.22	25.35	2,007.63	1,002.63
	SD	0.42	0.49	12.02	14.69	877.50	467.90

ตารางผนวกที่ ก3 ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบในการเลี้ยงเชื้อไนตริไฟอิงของกระบวนการไนตริฟิเคชันแบบกึ่งแบตช์ (Semi-Batch)

เวลา (วัน)	วันที่	NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	1 พ.ย. 53	80.64	25.76	68.06	0.02	0.03	0.20	6.64
5	5 พ.ย. 53	81.20	21.28	73.79	0.09	0.01	0.15	5.12
10	10 พ.ย. 53	94.64	24.08	74.56	0.04	0.01	0.75	13.13
15	15 พ.ย. 53	91.84	26.32	71.34	0.04	0.01	2.02	17.29
24	24 พ.ย. 53	87.36	33.04	62.18	0.04	0.01	0	17.12
29	29 พ.ย. 53	89.04	32.48	63.52	0.03	0.02	1.31	26.06
32	2 ธ.ค. 53	90.16	33.04	63.35	0.03	0.02	0.32	6.92
39	9 ธ.ค. 53	84.56	26.88	68.21	0.02	0.02	1.40	10.49
44	14 ธ.ค. 53	92.40	29.68	67.88	0.09	0.02	2.62	18.43
51	21 ธ.ค. 53	91.84	31.36	65.85	0.13	0.01	0.89	15.41
60	30 ธ.ค. 53	89.04	28.56	67.92	0.15	0.02	0.93	8.22
64	3 ม.ค. 54	91.84	28.56	68.90	0.03	0.02	1.07	6.47
68	7 ม.ค. 54	88.48	28	68.35	0.03	0.02	2.49	28.71
72	11 ม.ค. 54	91.28	28.84	68.40	0.04	0.03	1.24	39.99

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

เวลา (วัน)	วันที่	NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
78	17 ม.ค. 54	110.6	29.12	73.67	0.02	0.01	1.44	45.22
82	21 ม.ค. 54	85.12	28.56	66.45	0.04	0.02	2.73	15.52
87	26 ม.ค. 54	87.92	26.88	69.43	0.03	0.02	1.39	18.30
94	2 ก.พ. 54	88.48	24.36	72.47	0.03	0.01	0	0
99	7 ก.พ. 54	90.72	34.72	61.73	0.08	0.03	0.34	10.75
103	11 ก.พ. 54	78.12	29.68	62.01	0.04	0.02	0.21	15.13
108	16 ก.พ. 54	84.56	30.52	63.91	0.11	0.01	0.67	39.60
115	23 ก.พ. 54	85.12	53.20	37.50	0.13	0.02	0.50	19.19
120	28 ก.พ. 54	91.84	25.20	72.56	0.12	0.02	0.42	22.59
	เฉลี่ย	88.99	29.57	66.61	0.06	0.02	1	17.66
	SD	6.31	6.08	7.46	0.04	0.01	0.83	11.71

ตารางผนวกที่ ก4 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างที่เข้าและออกจากระบบ ค่าของแข็งแขวนลอยและ
ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบในการเตรียมเชื้อแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์
แอมโมเนีย

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		MLSS (มก./ล.)	MLVSS (มก./ล.)
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก		
1	10 มี.ค. 54	8.37	8.12	734	285	-	-
4	14 มี.ค. 54	8.88	8.19	592	384	-	-
7	17 มี.ค. 54	8.33	6.41	760	38	-	-
11	21 มี.ค. 54	7.66	5.78	912	58	-	-
14	24 มี.ค. 54	7.58	6.45	1,024	192	-	-
19	29 มี.ค. 54	8.11	7.95	1,280	210	307	300
22	1 เม.ย. 54	7.13	8.57	962	100	-	-
25	4 เม.ย. 54	7.48	7.20	856	144	-	-
28	7 เม.ย. 54	7.57	7.35	846	170	-	-
30	9 เม.ย. 54	7.88	7.67	996	123	-	-
32	11 เม.ย. 54	8.00	8.05	985	116	-	-
33	12 เม.ย. 54	7.27	7.19	921	105	620	360
	เฉลี่ย	7.86	7.41	906	160	463	330
	SD	0.51	0.85	172	98	222	42

ตารางผนวกที่ ก5 ค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบในการเตรียมเชื้อ
แบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย

เวลา (วัน)	วันที่	NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	10 มี.ค. 54	94.08	92.96	1.19	0.14	9.16	0.07	3.58
4	14 มี.ค. 54	94.64	16.24	82.84	0.19	66.08	0.02	0.00
7	17 มี.ค. 54	112.56	16.8	85.07	0.27	84.92	0.00	0.00
11	21 มี.ค. 54	113.68	11.2	90.15	0.33	82.55	0.29	10.88
14	24 มี.ค. 54	109.76	13.18	87.99	0.56	87.42	0.20	9.57
19	29 มี.ค. 54	80.08	0	100	0.43	88.19	0.88	1.17
22	1 เม.ย. 54	109.76	0	100	0.35	81.72	0.56	27.47
25	4 เม.ย. 54	94.08	0	100	0.42	79.56	0.48	18.64
28	7 เม.ย. 54	94.64	0	100	0.19	75.15	0.00	12.14
30	9 เม.ย. 54	98.75	0	100	0.25	77.15	0.00	17.11
32	11 เม.ย. 54	102.01	0	100	0.32	80.57	0.13	13.19
33	12 เม.ย. 54	99.52	0	100	0.59	78.11	0.24	15.46
	เฉลี่ย	100.30	12.53	87.27	0.34	74.21	0.24	10.77
	SD	9.84	26.29	27.92	0.14	21.32	0.28	8.46

ตารางผนวกที่ ก6 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่อัตราภาระ
 บรรทุกแอมโมเนีย 0.05 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	18 เม.ย. 54	8.06	7.41	882	220	90.16	5.04	94.41	0.14	49.21	0.17	0
5	22 เม.ย. 54	8.06	8.03	822	500	84.56	43.68	93.59	0.17	42.06	0.21	0
10	27 เม.ย. 54	7.87	8.10	848	582	79.52	51.52	35.21	4.41	35.27	2.62	0
15	2 พ.ค. 54	7.79	7.70	864	400	71.68	18.48	74.23	5.01	33.09	6.40	0
19	6 พ.ค. 54	8.42	7.55	868	170	95.76	0.56	99.42	0.28	45.03	0.89	51.47
21	9 พ.ค. 54	8.53	7.85	410	176	98	1.68	98.29	0.48	3.59	1.16	52.33
25	13 พ.ค. 54	8.52	7.52	782	178	89.60	1.68	98.13	0.39	0.69	0.45	60.96
30	18 พ.ค. 54	8.54	7.61	812	186	87.36	1.12	98.72	0.52	0.51	1.37	75.33
37	25 พ.ค. 54	7.60	7.70	712	194	49.28	1.12	97.73	0.99	0.62	1.93	70.11
44	1 มิ.ย. 54	7.75	8.03	716	260	45.92	0.56	98.78	0.96	0.59	2.11	65.03

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
51	8 มิ.ย. 54	7.63	8.22	700	340	46.48	0	100	0.98	0.48	1.50	32.28
58	15 มิ.ย.54	7.77	8.03	710	380	45.92	0.56	98.78	1	0.43	0.85	32.48
65	22 มิ.ย. 54	8.74	8.23	800	376	91.28	1.12	98.77	1.24	0.93	1.06	37.90
	เฉลี่ย	8.10	7.84	763.54	304.77	75.04	9.78	91.24	1.27	16.35	1.59	36.76
	SD	0.40	0.28	124.64	136.14	20.64	17.55	18.15	1.57	20.61	1.62	28.71

ตารางผนวกที่ ก7 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่อัตราภาระ
 บรรทุกแอมโมเนีย 0.08 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	1 ก.ค. 54	7.85	7.43	1,308	204	129.08	22.40	82.65	0.51	94.54	0.45	0
5	5 ก.ค. 54	7.55	7.44	1,290	260	123.46	17.36	85.94	1.66	92.04	0	0
12	12 ก.ค. 54	7.51	7.58	1,296	286	131.89	19.04	85.56	0.64	123.52	1.07	24.55
19	19 ก.ค. 54	7.80	7.93	1,290	568	138.52	43.12	68.87	0.31	44.78	2.22	38.76
26	26 ก.ค. 54	7.98	8.33	1,282	764	125.31	68.88	45.03	0.25	10.01	1.70	0
33	2 ส.ค. 54	7.68	7.82	1,279	682	135.64	72.85	46.29	0.23	15.06	1.55	0
35	4 ส.ค. 54	7.70	7.83	1,290	548	134.82	48.61	63.94	0.50	16.72	1.98	0
40	9 ส.ค. 54	7.92	8.16	1,293	674	138.90	49.72	64.20	0.54	14.93	1.44	0
47	16 ส.ค. 54	7.78	7.85	1,286	642	136.85	44.24	67.67	0.66	18.76	1.8	0
54	23 ส.ค. 54	7.65	7.79	1,248	576	116.78	39.42	66.24	0.44	20.37	1.99	0

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
61	30 ส.ค. 54	7.78	7.94	1,274	612	124.62	41.28	66.88	0.37	17.35	1.54	0
69	7 ก.ย. 54	7.93	8.16	1,253	641	121.37	39.46	67.49	0.22	20.93	1.74	0
77	15 ก.ย. 54	7.89	8.23	1,263	719	126.97	42.46	66.56	0.44	17.13	1.58	0
	เฉลี่ย	7.77	7.88	1,280.92	552	129.55	42.22	67.49	0.52	38.93	1.47	4.87
	SD	0.15	0.29	17.36	183.08	7.12	16.62	12.51	0.37	38.29	0.63	12.24

ตารางผนวกที่ ก8 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่อัตราภาระ
 บรรทุกแอมโมเนีย 0.10 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	30 ธ.ค. 54	7.46	7.69	782	532	100.80	53.20	47.22	0.15	22.21	0.19	3.63
5	3 ม.ค. 55	7.51	7.65	816	536	105.84	58.24	44.97	0.22	30.35	0.38	0
8	6 ม.ค. 55	7.74	7.77	802	590	111.44	67.76	39.20	0.23	21.59	0.37	0
12	10 ม.ค. 55	7.75	7.79	838	610	114.24	66.64	41.67	0.16	16.45	0.35	0
15	13 ม.ค. 55	7.78	7.90	844	528	113.68	58.80	48.28	0.16	16.6	0.43	0
19	17 ม.ค. 55	7.73	7.71	856	518	109.26	49.30	54.88	0.16	20.46	0.45	0
22	20 ม.ค. 55	7.69	7.81	859	523	114.26	51.18	55.21	0.17	22.49	0.42	0
29	27 ม.ค. 55	7.71	7.88	861	529	118.72	52.35	55.91	0.16	23.12	0.41	0
41	8 ก.พ. 55	7.72	7.85	858	531	115.39	47.48	58.85	0.15	28.24	0.45	0
46	13 ก.พ. 55	7.75	7.84	851	536	109.58	45.32	58.64	0.16	28.19	0.43	0

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
50	17 ก.พ. 55	7.78	7.91	849	542	112.31	42.63	62.04	0.16	34.58	0.41	0
55	22 ก.พ. 55	7.70	7.72	852	521	110.79	42.87	61.31	0.15	33.54	0.42	0
61	28 ก.พ. 55	7.73	7.76	855	541	119.86	42.69	64.38	0.17	37.46	0.43	0
	เฉลี่ย	7.70	7.79	840	541	112.01	52.19	53.27	0.17	25.79	0.40	0.28
	SD	0.10	0.08	24.76	27.32	5.08	8.56	8.17	0.03	6.80	0.07	1.01

ตารางผนวกที่ ก9 ค่าพีเอช ค่าความเป็นด่างและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจากระบบในกระบวนการไนตริฟิเคชันบางส่วนที่อัตราภาระ
 บรรทุกแอมโมเนีย 0.12 กก.-ไนโตรเจน/ม.³-วัน

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
1	1 มี.ค. 55	7.65	8.07	844	702	124.88	87.92	29.60	0.14	15.31	0.19	0
5	5 มี.ค. 55	7.60	8.08	600	476	166.32	131.60	20.88	0.32	16.05	0.18	0
8	8 มี.ค. 55	7.33	8.08	1,000	928	125.44	107.52	17.92	0.22	16.18	0.15	0
13	13 มี.ค. 55	7.75	8.03	1,058	536	136.08	31.36	76.95	1.02	29.89	0	0
16	16 มี.ค. 55	7.85	7.91	1,062	770	132.72	81.20	38.82	0.93	30.15	0	0
20	20 มี.ค. 55	7.99	8.18	1,072	878	132.16	98	25.85	0.14	38.55	0.23	0
26	26 มี.ค. 55	7.86	8.10	986	542	135.18	84.30	37.64	0.25	34.78	0.18	0
30	30 มี.ค. 55	7.72	8.16	1,034	763	136.10	90.36	33.61	0.93	32.86	0	0
34	3 เม.ย. 55	7.81	7.99	1,026	845	140.13	89.20	36.34	0.14	35.16	0.21	0
40	9 เม.ย. 55	7.74	8.01	1,012	693	137.45	88.90	35.32	0.76	38.32	0.11	0

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

เวลา (วัน)	วันที่	pH		Alk (มก. CaCO ₃ /ล.)		NH ₃ -N (มก.N/ล.)			NO ₂ ⁻ -N (มก.N/ล.)		NO ₃ ⁻ -N (มก.N/ล.)	
		น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก	%กำจัด	น้ำเข้า	น้ำออก	น้ำเข้า	น้ำออก
42	11 เม.ย. 55	7.63	8.07	995	678	142.70	90.17	36.81	0.38	36.23	0.18	0
48	17 เม.ย. 55	7.70	7.98	1,035	681	135.42	86.74	35.95	0.52	32.12	0.16	0
51	20 เม.ย. 55	7.64	8.01	1,027	642	138.97	84.12	39.47	0.29	31.87	0.19	0
	เฉลี่ย	7.71	8.05	981	703	137.20	88.57	35.78	0.46	29.81	0.14	0
	SD	0.16	0.07	127.84	135.33	10.15	21.75	14.16	0.33	8.40	0.08	0

ตารางผนวกที่ 10 ค่าของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายที่อัตราการระบรทุก
แอมโมเนียต่างๆ

เวลา (วัน)	อัตราการระบรทุก แอมโมเนีย (กก.-ไนโตรเจน/ม. ³ -วัน)	ค่าของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)			ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (มก./ล.)		
		น้ำเข้า	น้ำออก	ในถัง ปฏิกรณ์	น้ำเข้า	น้ำออก	ในถัง ปฏิกรณ์
1		270	100	306.67	265	60	300
10		311	156	315	302	109	292
21	0.05	281	114	322	276	77	304
30		275	108	317	269	63	309
51		267	98	304	258	50	298
	เฉลี่ย	280.80	115.20	312.93	274	71.80	300.60
1		175	112	595	168	71	450
12		153	104	574	142	66	432
26	0.08	166	110	582	153	69	448
40		150	108	581	141	67	439
61		172	115	578	163	76	428
	เฉลี่ย	163.20	109.80	582	153.40	69.80	439.40
1		139	119	293	128	74	274
12		145	121	285	135	67	269
22	0.10	150	129	295	146	63	271
41		147	126	291	138	64	278
55		142	122	271	132	68	254
	เฉลี่ย	144.60	123.40	287	135.80	67.20	269.20

ตารางผนวกที่ ก10 (ต่อ)

เวลา (วัน)	อัตราการระบรทุก	ค่าของแข็งแขวนลอย			ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย		
	แอมโมเนีย	(มก./ล.)			(มก./ล.)		
	(กก.-ไนโตรเจน/ม ³ -วัน)	น้ำเข้า	น้ำออก	ในถัง ปฏิกรณ์	น้ำเข้า	น้ำออก	ในถัง ปฏิกรณ์
1		135	112	255	117	73	250
13		137	116	256	108	71	243
20	0.12	142	133	261	103	65	257
34		132	109	269	128	62	253
42		145	126	258	115	67	249
	เฉลี่ย	138.20	119.20	259.80	114.20	67.60	250.40

ตารางผนวกที่ ก11 สรุปค่าพีเอช ค่าความเป็นด่าง ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายและค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เข้าและออกจาก ระบบค่าของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายในระบบที่อัตราการระบรทุกแอมโมเนียต่างๆ

อัตราการระบรทุก แอมโมเนีย (กก.-ไนโตรเจน/ม ³ - วัน)	พีเอช		ความเป็นด่าง					NH ₃ -N			NO ₂ ⁻ -N		NO ₃ ⁻ -N		ค่าของแข็งแขวนลอย		ค่าของแข็งแขวนลอย ระเหยง่าย		
			(มก.CaCO ₃ /ล.)					(มก.N/ล.)			(มก.N/ล.)		(มก.N/ล.)		(มก./ล.)		(มก./ล.)		
	น้ำ เข้า	น้ำ ออก	น้ำ เข้า	น้ำ ออก	น้ำ เข้า	น้ำ ออก	% กำจัด	น้ำ เข้า	น้ำ ออก	น้ำ เข้า	น้ำ ออก	น้ำ เข้า	น้ำ ออก	น้ำ เข้า	น้ำ ออก	ในถัง ปฏิกรณ์	น้ำ เข้า	น้ำ ออก	ในถัง ปฏิกรณ์
0.05	8.10	7.84	764	305	75.04	9.78	91.24	1.27	16.35	1.59	36.76	281	115	313	274	72	301		
0.08	7.77	7.88	1,281	552	129.55	42.22	67.49	0.52	38.93	1.47	4.87	163	110	582	153	70	439		
0.10	7.70	7.79	840	541	112.01	52.19	53.27	0.17	25.79	0.40	0.28	145	123	287	136	67	269		
0.12	7.71	8.05	981	703	137.20	88.57	35.78	0.46	29.81	0.14	0	138	119	260	114	68	250		

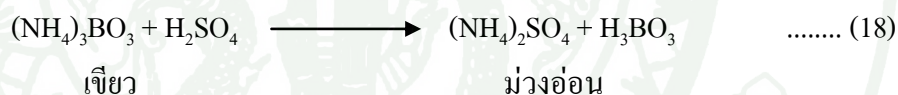


วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

1. การวิเคราะห์หาแอมโมเนียไนโตรเจนโดยวิธีการไตเตรท

หลักการ

ก่อนที่จะนำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์จะต้องนำน้ำตัวอย่างมาผ่านกระบวนการกลั่นก่อน เพื่อแยกแอมโมเนียออกจากสารรบกวนต่างๆ โดยแอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกกลั่นออกมาพร้อมกับไอน้ำ ภายใต้สภาวะที่มีพีเอชสูงกว่า 9.3 แอมโมเนียที่ถูกกลั่นออกมาจะรวมตัวกับกรดบอริกเกิดเป็น อีออนแอมโมเนีย (NH_4^+) และอีออนบอเรต (H_2BO_3^-) แอมโมเนียจะทำให้สารละลายกรดบอริก กลายเป็นสีเขียว ปริมาณแอมโมเนียหาได้โดยการไตเตรทด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มัล ซึ่ง H^+ จะรวมกับ H_2BO_3^- เกิดเป็น H_3BO_3 พีเอชของสารละลายจะลดลงจนเท่ากับค่าเริ่มต้น ดังนั้น ปริมาณของกรดแก่ที่เติมลงไปจะสมดุลกับปริมาณแอมโมเนียที่มีจุดยุติได้จากการเปลี่ยนสีของ อินดิเคเตอร์จากสีเขียวเป็นสีม่วง ดังสมการที่ 18



สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

สารละลาย Mix – Indicator เตรียมโดย

ก. ชั่ง Methyl red 200 มก. ใส่บีกเกอร์ นำมาละลายด้วย 95% Ethyl alcohol แล้วปรับ ปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มล.

ข. ชั่ง Methylene blue 100 มก. ใส่บีกเกอร์ นำมาละลายด้วย 95% Ethyl alcohol แล้วปรับ ปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มล.

สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) เตรียมโดย

ก. ชั่งกรดบอริก (H_3BO_3) 20 ก. ใส่บีกเกอร์ นำมาละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI) แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดปรับปริมาตรจนครบ 1,000 มล. (ควรใช้ Magnetic และ Hotplate ช่วยในการละลายเพราะสารละลายกรดบอริกนั้นจะละลายได้ยากมาก)

ข. บีบเปิดสารละลาย Mix – Indicator มา 10 มล. นำมาผสมกับสารละลายในข้อ ก. แล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 1,000 มล. (ได้สารละลายเป็นสีม่วง)

สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 0.02 นอร์มัล เตรียมโดย

ก. เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 0.1 นอร์มัล โดยการบีบเปิด Conc. H_2SO_4 มา 3 มล. แล้วปรับปริมาตรจนครบ 1,000 มล. โดยใช้น้ำ DI

ข. เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 0.02 นอร์มัล โดยการบีบเปิดสารละลายกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มัล จากข้อ ก. มา 200 มล. แล้วปรับปริมาตรจนครบ 1,000 มล. โดยใช้น้ำ DI

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) 6 นอร์มัล เตรียมโดย

ชั่ง $NaOH$ มา 240 ก. นำมาละลายด้วยน้ำ DI แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดปรับปริมาตรจนได้ปริมาตรครบ 1,000 มล.

สารละลาย Borate Buffer เตรียมโดย

ก. ชั่ง $Na_2B_4O_7$ มา 5 ก. หรือ ชั่ง $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ มา 9.5 ก. นำมาละลายด้วยน้ำ DI แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดปรับปริมาตรจนได้ปริมาตรครบ 1,000 มล.

ข. ตวงสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล มา 88 มล. แล้วนำมาผสมกับสารละลายในข้อ ก. 412 มล. แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดปรับปริมาตรจนได้ปริมาตรครบ 500 มล.

การหาปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนในน้ำตัวอย่าง แสดงดังสมการที่ 19

การคำนวณ

$$\text{มก.ไนโตรเจน/ล. ของแอมโมเนีย} = \frac{(A - B) \times [H_2SO_4] \times 14,000}{\text{มล. ของน้ำตัวอย่าง}} \dots\dots(19)$$

A = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (มล.)

B = ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มล.)

N = ความเข้มข้นเป็นนอร์มัลของ H_2SO_4 ที่ใช้

2. การวิเคราะห์ไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนโดยวิธีสร้างสี (Colorimetric)

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจน

2.1.1 น้ำกลั่นที่ปราศจากไนไตรท์ เตรียมน้ำกลั่นที่ปราศจากไนไตรท์ด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งดังนี้

- เติม โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต; $KMnO_4$ และเบเรียมไฮดรอกไซด์หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์อย่างละหนึ่งเกล็ดเล็กลงในน้ำกลั่น 1 ล. แล้วทำการกลั่นน้ำกลั่นดังกล่าวอีกครั้งหนึ่งโดยใช้อุปกรณ์ที่ทำด้วยแก้วบอโรซิลิเกตทั้งหมด ทิ้งน้ำกลั่นที่ได้ 50 มล.แรก น้ำกลั่นที่กลั่นได้ที่จะนำมาใช้จะต้องปราศจากแมงกาเนต ซึ่งสามารถทดสอบได้ด้วยการใช้สารละลาย DPD (N, N-diethyl-p-phenylenediamine) กล่าวคือ ถ้าน้ำกลั่นมีเปอร์แมงกาเนตจะให้สีชมพูเมื่อเติมสารละลาย DPD ลงไป

- เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตรและสารละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$ 36.4 ก. ในน้ำกลั่น 1 ล.) 0.2 มล. ลงในน้ำกลั่น 1 ล. แล้วทำให้มีสีชมพูโดยการเติมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$ 400 มก. ในน้ำกลั่น 1 ล.) 1 - 3 มล. นำน้ำกลั่นดังกล่าวไปกลั่นใหม่อีกครั้งหนึ่งโดยวิธีการเดียวกันกับวิธีแรก

2.1.2 สารละลายซัลฟานิลไมด์ ละลายซัลฟานิลไมด์ 5 ก. ในสารละลายผสมของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 50 มล. กับน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต 300 มล. แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1,000 มล. ด้วยน้ำกลั่นดังกล่าว

2.1.3 สารละลายเนฟทิลเอทิลลินไดเอมีนไดไฮโดรคลอไรด์ ละลาย N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 500 มก. ในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต 500 มล. เก็บสารละลายนี้ไว้ในที่มืดและให้เตรียมใช้ใหม่ทุกเดือนหรือทันทีที่สารละลายมีสีน้ำตาล

2.1.4 สารละลายสต็อกไนไตรท์ ละลายโซเดียมไนไตรท์แอนไฮดรัสที่แห้ง; NaNO_2 หรือโปตัสเซียมไนไตรท์; KNO_2 (เก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ 24 ชม.) 0.49265 ก. หรือ 0.6072 ก. ตามลำดับ ในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรตและทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ล. ด้วยน้ำกลั่นดังกล่าว ทำการเก็บรักษาสารละลายนี้ด้วยการเติมคลอโรฟอร์มลงไป 2 มล. ต่อสารละลาย 1 ล. ละลายสารที่เตรียมได้นี้ 1 มล. มีไนไตรท์-ไนโตรเจนอยู่ 100 ไมโครกรัม และมีอายุการใช้งานประมาณ 3 เดือน

2.1.5 สารละลายมาตรฐานไนไตรท์ เจือจางสารละลายสต็อกไนไตรท์ 10 มล. ให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 1 ล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนไตรท์ สารละลายที่ได้ 1 มล. มีไนไตรท์-ไนโตรเจนอยู่ 1 ไมโครกรัม สารละลายนี้ต้องเตรียมใช้ใหม่ทุกครั้ง

2.1.6 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก เดิมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 25 มล. ลงในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนไตรท์ 75 มล.

2.2 การหาปริมาณไนไตรท์ไนโตรเจนในน้ำตัวอย่าง

2.2.1 ถ้าน้ำตัวอย่างขุ่นหรือมีสารแขวนลอย ให้กรองน้ำตัวอย่างด้วย Membrane Filter ที่มีรูขนาด 0.45 ไมครอน

2.2.2 ปิเปตตัวอย่างที่ใส 10 มล. หรือน้อยกว่า แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 10 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต ใส่ลงในขวดชมพู

2.2.3 ในกรณีที่น้ำตัวอย่างมีพีเอชมากกว่า 10 หรือมีความเป็นด่างรวมเกิน 600 มก. $\text{CaCO}_3/\text{ล}$. ให้ปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างให้มีค่าประมาณ 6 ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก แล้วเติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ลงไป 1 มล.

2.2.4 เติมสารละลายเนฟทีลเอทิลลีนไดเอมีนไดไฮโดรคลอไรด์ลงไป 1 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากันทันที ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชม.

2.2.5 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2.2.4 ไปทำการวัด Absorbance หรือ % Transmission ที่ 543 นาโนเมตร

2.2.6 นำค่า Absorbance หรือ % Transmission ที่อ่านได้ไปหาความเข้มข้นของไนไตรท์-ไนโตรเจน จาก Calibration Curve

2.2.7 ในกรณีที่ใช้น้ำตัวอย่างน้อยกว่า 10 มล. ให้คำนวณหาปริมาณของไนเตรต-ไนโตรเจน จากสูตรที่ 20

$$\text{มก.-ไนโตรเจน/ล. ของไนไตรท์} = \frac{\text{มก./ล. ที่อ่านได้} \times 10}{\text{มล. น้ำตัวอย่าง}} \dots\dots(20)$$

2.2.8 การทำ Calibration Curve สำหรับปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน

- เปิดสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ปริมาตรต่าง ๆ กัน ใส่ลงขวดปริมาตรขนาด 50 มล. แล้วเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรตจนถึงขีดบอกปริมาตร

- นำสารละลายละ 10 มล. ไปดำเนินการด้วยวิธีการเดียวกับน้ำตัวอย่างในข้อ 2.2.2 – 2.2.5

- ทำการวัดค่า Absorbance หรือ % Transmission ของสารละลายมาตรฐานไนไตรท์โดยเลือกใช้ความยาวแสงให้เหมาะสมดังนี้

ตารางผนวกที่ ข1 ความยาวแสงที่เหมาะสมในการวัดค่า Absorbance

ความยาวแสง (ซม.)	ไนไตรท์ - ไนโตรเจน (มก./ล.)
1	0.02 - 0.20
5	0.02 - 0.06
10	< 0.02

- นำค่า Absorbance หรือ % Transmission ที่วัดได้มาเขียนกราฟเทียบกับความเข้มข้นของไนไตรท์ในหน่วย มก.-ไนโตรเจน/ล. ก็จะได้ Calibration Curve

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไนไตรท์ - ไนโตรเจนในน้ำตัวอย่าง

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 10 มล. หรือน้อยกว่าแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 10 มล.
ด้วยน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดรูปชมพู่

↓
เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 1.0 มล. เขย่า และตั้งทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที

↓
เติมสารละลายเนฟทิลีนไดเอมีนไดไฮโดรคลอไรด์ลงไป 1.0 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากันทันที

↓
ทำการวัด Absorbance ภายหลังทิ้งไว้ 5 – 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชม. ที่ 543 นาโนเมตร

3. การวิเคราะห์ไนเตรต-ไนโตรเจนโดยวิธีสร้างสี (Colorimetric)

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการหาไนเตรต-ไนโตรเจนด้วยวิธีไฮดราซีน

3.1.1 สารละลายเหมือนข้อ 2.1.2 - 2.1.3

3.1.2 น้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรตใช้น้ำกลั่นที่ผ่านการกลั่น 2 ครั้ง หรือน้ำกลั่นที่ผ่านกระบวนการดีไอออนไนซ์ที่มีคุณภาพดีที่สุดแล้วในการเตรียมสารละลายที่จะกล่าวถึงต่อไป น้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรตดังกล่าวเมื่อนำไปหาปริมาณไนเตรตแล้ว ค่า Absorbance ที่วัดได้ต้องไม่เกิน 0.1

3.1.3 สารละลายสต็อกไนเตรต ออปโตสเชียมไนเตรต; KNO_3 ในตู้บที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเซซิเคเตอร์ ละลาย KNO_3 ที่อบแห้งแล้ว 0.7218 ก. ในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรตแล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 1 ล. เก็บรักษาสารละลายดังกล่าวด้วยการเติมการเติมคลอโรฟอร์ม 2 มล.ต่อสารละลาย 1 ล. สารละลายที่ได้นี้ 1.00 มล.มีไนเตรต-ไนโตรเจน 100 ไมโครกรัม และมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 6 เดือน

3.1.4 สารละลายมาตรฐานไนเตรต เจือจางสารละลายในข้อ ก. 5.00 มล. ให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 500 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต สารละลายที่ได้ 1.00 มล. มีไนเตรต-ไนโตรเจน 1.00 ไมโครกรัม

3.1.5 สารละลายฟีนอล ละลายฟีนอล 4.6 ก. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มล.

3.1.6 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.45 ก. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มล.

3.1.7 สารละลายผสมชนิดที่หนึ่ง ผสมสารละลายในข้อ 3.1.5 และ 3.1.6 อย่างละเท่ากันแล้วคนให้ทั่ว

3.1.8 สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 15.6 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มล.

3.1.9 สารละลายไฮดราซีนซัลเฟต ละลายไฮดราซีนซัลเฟต 0.725 ก. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต แล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 100 มล.

3.1.10 สารละลายผสมชนิดที่สอง ผสมสารละลายในข้อ 3.1.8 และ 3.1.9 อย่างละเท่ากันแล้วคนให้ทั่ว

3.1.11 อะซิโตน

หมายเหตุ สารละลายผสมในข้อ 3.1.7 และ 3.1.10 ให้เตรียมใหม่แล้วใช้ทันที

3.2 การหาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนด้วยวิธีไฮดราซีน

3.2.1 บีบตัวอย่างน้ำ 10 มล. หรือน้อยกว่าแล้วทำให้มีปริมาตรทั้งหมดเป็น 10 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต ใส่ลงในหลอดทดลอง

3.2.2 เติมสารละลายผสมชนิดที่หนึ่ง 0.5 มล. แล้วตามด้วยสารละลายผสมชนิดที่สอง 0.25 มล.

3.2.3 ปิดปากหลอดด้วยจุกยางหรือฝาปิด แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.2.4 นำไปบอในที่มืดและที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 - 20 ชม.

3.2.5 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 2.4 มาเติมอะซิโตน 0.4 มล. เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 นาที

3.2.6 เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 0.2 มล. เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 2 นาทีแต่ไม่เกิน 8 นาที

3.2.7 เติมสารละลายเนฟทิลลินไดเอมีนไฮโดรคลอไรด์ลงไป 0.2 มล. เขย่าให้เข้ากัน

3.2.8 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 3.2.7 ไปทำการวัด Absorbance หรือ % Transmission ภายหลังจากตั้งทิ้งไว้ 5 - 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชม. ที่ 543 นาโนเมตร ในกรณีที่มีการเจือจางน้ำ

ตัวอย่างให้นำค่าที่อ่านได้ไปปรับให้ถูกต้องโดยใช้สูตรดังแสดงในสมการที่ 21 ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรตนั้นยังมีไนเตรตอยู่เล็กน้อย

$$\text{Absorbance ของน้ำตัวอย่าง} = \frac{A - (10-X)B}{10} \quad \dots\dots(21)$$

เมื่อ A = Absorbance ของน้ำตัวอย่างที่เจือจางแล้ว (ที่อ่านได้)

B = Absorbance ของน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต

X = ปริมาณของน้ำตัวอย่าง, มล.

3.2.9 นำค่า Absorbance หรือ % Transmission ที่ปรับให้ถูกต้องแล้ว ไปอ่านค่าความเข้มข้นของไนเตรต - ไนโตรเจนจาก Calibration Curve

3.2.10 คำนวณหาปริมาณของไนเตรต-ไนโตรเจนจากสูตรในสมการที่ 22

$$\text{มก.-ไนโตรเจน/ล. ของไนเตรต} = \frac{\text{มก./ล. ที่อ่านได้} \times 10 - \text{มก./ล. ของไนเตรต-ไนโตรเจน}}{\text{มล. น้ำตัวอย่าง}} \quad \dots(22)$$

3.2.11 เตรียม Calibration Curve โดยทำดังนี้

- ปิเปตสารละลายมาตรฐานไนเตรทปริมาณต่าง ๆ กันดังนี้ คือ 0.0, 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเจือจางให้มีปริมาตรเป็น 10.0 มล. ด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไนเตรต แล้วไปดำเนินการตามวิธีในข้อ 3.2.2 – 3.2.8

- นำค่า Absorbance หรือ % Transmission ที่ปรับให้ถูกต้องแล้ว มาเขียนกราฟเทียบกับปริมาณไนเตรต – ไนโตรเจนในหน่วย มก./ล. ก็จะได้ Calibration Curve

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต – ไนโตรเจนด้วยวิธีไฮดราซีน

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 10 มล. หรือน้อยกว่าแล้วทำให้มีปริมาตรเป็น 10 มล.
ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดรูปชมพู่

↓
เติมสารละลายผสมชนิดที่ 1 ปริมาตร 0.5 มล.

เติมสารละลายผสมชนิดที่ 2 ปริมาตร 0.25 มล. (เขย่าให้เข้ากัน)

↓
นำไปอบในที่มืดและที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 15 – 20 ชม.

↓
เติมอะซิโตน 0.4 มล. เขย่า และตั้งทิ้งไว้ 2 นาที

↓
เติมสารละลายซัลฟานิลาไมด์ 0.2 มล. และตั้งทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที

↓
เติมสารละลายเนฟทิลีนไดเอมีนไดไฮโดรคลอไรด์ลงไป 0.2 มล. แล้วเขย่าให้เข้ากัน

↓
ทำการวัด Absorbance ภายหลังทิ้งไว้ 5 – 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชม. ที่ 543 นาโนเมตร

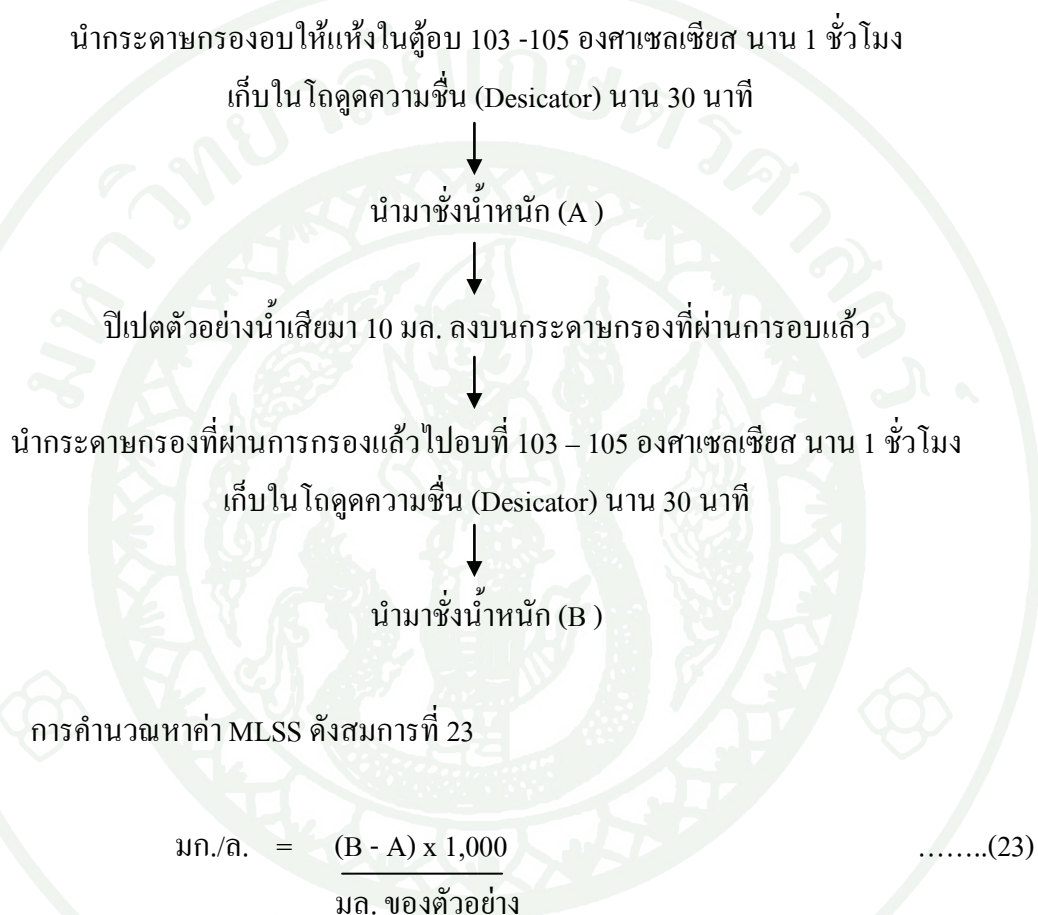
4. การวิเคราะห์ MLSS และ MLVSS

หลักการ

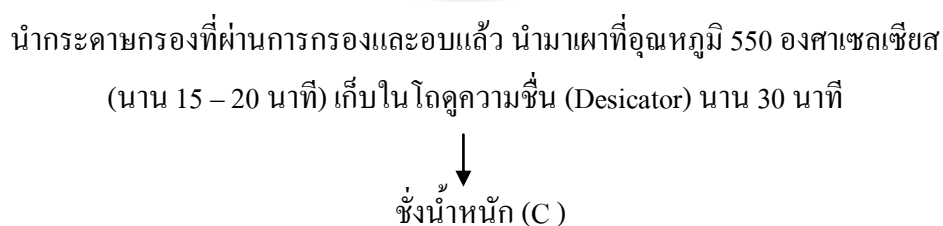
MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) หมายถึง ปริมาณหรือความเข้มข้น โดยประมาณของจุลชีพในถังเติมอากาศในระบบ Activated Sludge คิดเป็นปริมาณสารแขวนลอยหรือ Mixed Liquor ซึ่งเป็นของผสมระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนจุลชีพในถังเติมอากาศ ส่วน MLVSS (Mixed Liquid Volatile Suspended Solids) คือ ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS) ของตะกอนในถังเติมอากาศ ซึ่งการหาค่า MLSS และ MLVSS มีประโยชน์ในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนของอาหารต่อมวลของจุลชีพ (Food/Microorganism Ratio; F/M) เพื่อดูว่าตะกอนจุลินทรีย์มีสมรรถภาพในการทำงานดีหรือไม่ จุลินทรีย์จะทำงานได้ดีจะต้องมีปริมาณอาหารที่พอเหมาะ ซึ่งควบคุมได้โดยการรักษาอัตราส่วนของน้ำหนักของสารอินทรีย์ที่ส่งเข้ามา

กำจัดต่อน้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งวัดได้ในรูปของตะกอนแขวนลอย (MLSS) หรือตะกอนแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) ให้มีค่าคงที่ตามต้องการ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ MLSS



ขั้นตอนการวิเคราะห์ MLVSS



การคำนวณหาค่า MLVSS ดังสมการที่ 24

$$\text{มก./ล.} = \frac{(B - C) \times 1,000}{\text{มล. ของตัวอย่าง}} \quad \dots\dots(24)$$



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวมลทิษา กำเนิดทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 มกราคม พ.ศ. 2529
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2547 จบการศึกษา วท.บ. (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
นำเสนอผลงานที่	งาน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17 (17 th National Convention on Civil Engineering) วันที่ 9-11 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 โรงแรมเซ็นทาราไฮเทล แอนด์คอนเวนชันเซ็นเตอร์ อุดรธานี