ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม | วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพในระบบเติมอากาศที่มีการสะสมโพลีไฮดรอกซีบิวทิเรท

Biological Nitrogen Removal under Aerobic Condition with Poly-β-hydroxybutyrate Accumulation.

นามผู้วิจัย นายพนธวิชญ์ เอี่ยมสินธร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพในระบบเติมอากาศที่มีการสะสมโพลีไฮดรอกซีบิวทิเรท

Biological Nitrogen Removal under Aerobic Condition with Poly-β-hydroxybutyrate Accumulation

โดย

นายพนธวิชญ์ เอี่ยมสินธร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2558

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พนธวิชญ์ เอี่ยมสินธร 2558: การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพในระบบเติมอากาศที่มีการสะสมโพลีไฮดรอกซีบิวทิเรท ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์, Ph.D. 69 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ (SND) โดยแบ่งสภาวะในการศึกษาการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศในระบบแบบทีละเท โดยแบ่งออกเป็น สองแบบ คือมีการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 mg/L และทำการเติมอากาศแบบเต็มที่ โดยมีอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอน และในการศึกษาดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศยังแบ่งค่าความเข้มข้นของอะซิเตทออกเป็น สองความเข้มข้น คือ 300 และ 500 mg/L รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนกับการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ

เมื่อระยะเวลาผ่านไปถึง 8 ชั่วโมง การทดลองเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศแบบแรก คือ ทำการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ ความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 mg/L และ 500 mg/L ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 31.73 และ 46.9 ส่วนแบบสองเป็นการเติมอากาศแบบเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 และ 500 mg/L ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 19.73 และ 28.81 ในการทดลองการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศจากผลการทดลองนั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการนี้มีค่าเท่ากับร้อยละ 100

ส่วนของอัตราการย่อยสลายของพีเอชบีเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และอัตราการกำจัดแอมโมเนียม-ไนโตรเจนเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ผลการทดลองสภาวะคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับกับ 0.5 mg/L ค่าความเข้มข้นอะซิเตท 300 และ 500 mg/L มีค่าเฉลี่ยของอัตราการย่อยสลายและอัตรากำจัดเท่ากับ 6.74 กับ 7.3 mgPHB/gVSS.hr และ 2.94 กับ 2.37 mgN/g VSS.hr ตามลำดับ และสภาวะเติมอากาศแบบเต็มที่ ค่าความเข้มข้นอะซิเตท 300 และ 500 mg/L มีค่าเฉลี่ยของอัตราการย่อยสลาย และอัตรากำจัดเท่ากับ 3.87 กับ 5.61 mgPHB/gVSS.hr และ 4.44 กับ 3.27 mgN/g VSS.hr ตามลำดับ

_____ _____ __/__/__

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Pontawit Aeimsintorn 2015: Biological Nitrogen Removal under Aerobic Condition with Poly-β-hydroxybutyrate Accumulation. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Pongsak Noopan, Ph.D. 69 pages.

The objective of this study was to investigate the efficiency of simultaneous nitrification and denitrification (SND) in the sequencing batch reactors. The experimental work consisted of two types. Type one, dissolved oxygen concentration was controlled at 0.5 mg/L and type two, dissolved oxygen concentration was aerated until saturation. The acetate concentrations as a carbon source in both types of experiment were 300 and 500 mg/L.

In the first type, after the experimental simultaneous nitrification and denitrification (SND) was operated until 8 hr of the reaction, nitrogen removal efficiencies of acetate concentrations of 300 and 500 mg/L were 31.73% and 46.5%, respectively. In the second type, nitrogen removal efficiencies of acetate concentrations of 300 and 500 mg/L were 19.73% and 28.81%, respectively. At the experimental control (denitrification process), the nitrogen removal efficiency was 100%.

The degradation rate of Poly-β-hydroxybutyrate, (PHB) in the experimental work was a first-order reaction. In the first type, the degradation rate of PHB as acetate concentrations of 300 mg/L and 500 mg/L were 6.74 and 7.3 mgPHB/gVSS.hr, respectively. In the second type, the degradation rate of PHB were 3.87 and 5.61 mgPHB/gVSS.hr, respectively. The kinetic of ammonia removal was a zero-order reaction. At the dissolved oxygen concentration of 0.5 mg/L, acetate concentrations of 300 and 500 mg/L, the ammonia removal rates were 2.94 and 2.37 mgN/g VSS.hr. The saturation oxygen aeration, acetate concentrations of 300 and 500 mg/L, the ammonia removal rates were 4.44 and 3.27 mgN/g VSS.hr, respectively.

_____ _____ __ / __ / __

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักของข้าพเจ้าที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งคำสั่งสอนต่างๆ ข้อคิดที่ดี หรือความรู้ที่เป็นประโยชน์ มิใช่แค่คอยช่วยเหลือข้าพเจ้าในเรื่องการศึกษาเท่านั้น ท่านยังคอยช่วยเหลือตลอดจนเรื่องอื่นๆ และยังกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าจนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.เฉลิมราช วันทวิน ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และรศ.ดร.สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย ของข้าพเจ้า รวมทั้งคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขอขอบพระคุณโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ที่ค่อยอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสียและตะกอนตัวอย่างให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ พี่ น้อง และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ในภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ค่อยให้คำปรึกษา แนะนำในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ค่อยส่งเสริมในการศึกษาครั้งนี้ และยังคอยเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าตลอดจนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

พนธวิชญ์ เอี่ยมสินธร

มกราคม 2558

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	28
ผล	28
วิจารณ์	31
สรุปและข้อเสนอแนะ	46
สรุป	46
ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	48
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	53
ภาคผนวก ข การเตรียมสาร และวิธีการวิเคราะห์	58
ประวัติการศึกษาและทำงาน	69

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณโลหะที่ยับยั้งไนตริฟิเคชัน	9
2	ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีผลยับยั้งไนตริฟิเคชัน	10
3	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่อายุสลัดจ์ และอุณหภูมิต่างกัน	14
4	คุณสมบัติการละลายของพีเอชบี	16
5	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1 (ดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ)	23
6	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 2 (ดีไนตริฟิเคชันแบบไม่มีอากาศ)	23
7	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์	25
8	สรุปผลการทดลองการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ	42

ตารางผนวกที่

ก1	ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเติมอากาศแบบเปิด-ปิด และค่าออกซิเจนละลายน้ำ	54
ก2	ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศแบบเปิด-ปิด ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L	54
ก3	ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L	54
ก4	ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L	55
ก5	ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ โดยเติมอากาศแบบเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L	56
ก6	ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ โดยเติมอากาศแบบเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L	56
ก7	การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ	57
ก8	ทดลองการกำจัดไนโตรเจนโดยไม่มีการเติมอะซิเตท โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L และเติมอากาศเต็มที่	57
ก9	ทดลองการสะสมของพีเอชบี โดยไม่มีการเติมอะซิเตท	57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วัฏจักรไนโตรเจน	4
2	กระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ	5
3	เปรียบเทียบประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันที่พีเอชต่างกัน	12
4	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ	13
5	แกรนูลที่สะสมพีเอชบีไว้ภายในเซลล์แบคทีเรีย	15
6	โครงสร้างทางเคมีของพีเอชบี	15
7	กระบวนการสังเคราะห์พีเอชบี	17
8	รายละเอียดแผนผังแบบจำลองถังปฏิกรณ์	22
9	แผนผังวิธีการทดลอง	26
10	ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเติมอากาศแบบเปิด-ปิด และค่าออกซิเจนละลายน้ำ	28
11	การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศแบบเปิด-ปิด ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L	29
12	อัตราการย่อยสลายของพีเอชโดยเติมอากาศแบบเปิด-ปิด ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2992 mg/L)	30
13	อัตราการกำจัดแอมโมเนียมโดยเติมอากาศแบบเปิด-ปิด (MLVSS = 2992 mg/L)	30
14	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนแบบเติมอากาศเปิด-ปิด	31
15	สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (เติมอากาศแบบเปิด-ปิด)	31
16	การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L	32
17	อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2916 mg/L)	33
18	อัตราการกำจัดแอมโมเนียมโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L (MLVSS = 2916 mg/L)	33
19	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนคุมค่าออกซิเจน 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L	34

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (คุมค่าออกซิเจน 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L)	34
21	การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L	35
22	อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L (MLVSS = 2844 mg/L)	35
23	อัตราการกำจัดแอมโมเนียมโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L (MLVSS = 2844 mg/L)	36
24	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนคุมค่าออกซิเจน 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L	36
25	สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (คุมค่าออกซิเจน 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L)	37
26	การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L	37
27	อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2885.2 mg/L)	38
28	อัตราการกำจัดแอมโมเนียมแบบเติมอากาศเต็มที่ (MLVSS = 2885.2 mg/L)	39
29	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L	39
30	สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (เติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L)	39
31	การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L	40
32	อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2625.3 mg/L)	41
33	อัตราการกำจัดแอมโมเนียมแบบเติมอากาศเต็มที่ (MLVSS = 2625.33 mg/L)	41

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

34 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L 41

35 สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (เติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L) 42

36 การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ ความเข้มข้นของอะซิเตทในระบบเท่ากับ 300 mg/L (MLVSS = 880 mg/L) 43

37 อัตราการกำจัดไนเตรท (MLVSS = 880 mg/L) 44

ภาพผนวกที่

ข1 เส้นมาตรฐานสารละลายพีเอชบี 60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

SND	=	Simultaneous nitrification and denitrification คือ การเกิดกระบวนไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมกัน
PHB	=	Poly-β-hydroxybutyrate คือ แหล่งคาร์บอนจากภายในที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นและสะสมไว้เซลล์
COD	=	Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ทั้งในรูปที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำด้วยวิธีทางเคมี
NH_4	=	ปริมาณแอมโนเนียในน้ำเสีย
NO_3	=	ปริมาณไนเตรทในน้ำเสีย
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solids คือ ของแข็งแขวนลอย (Mixed Liquor) ในถังเติมอากาศ
MLVSS	=	Mixed Liquor Volatile Suspended Solidsคือ ของแข็งแขวนลอยระเหยในน้ำตะกอน (Mixed Liquor) ในถังเติมอากาศ
pH	=	Power of Hydrogen ion คือค่าแสดงความเป็นกรด-ด่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพในระบบเติมอากาศที่มีการสะสมโพลีไฮดรอกซีบิวทิเรท

Biological Nitrogen Removal under Aerobic Condition with Poly-β-hydroxybutyrate Accumulation

คำนำ

ปัญหาแหล่งน้ำในแม่น้ำ ลำคลอง มีความเน่าเสียอย่างเห็นได้ชัดเจน สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความเน่าเสีย คือการปล่อยน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ และธาตุอาหารเป็นจำนวนมากลงสู่แหล่งน้ำ ส่งผลกระทบให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลงลด การปล่อยน้ำเสียที่มีธาตุอาหารประเภทไนโตรเจนลงสู่แหล่งน้ำเป็นอีกสาเหตุอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำอย่างมากเช่นเดียวกับสารอินทรีย์ ด้วยเหตุนี้การปล่อยน้ำเสียทั้งสารอินทรีย์ ธาตุอาหารลงสู่แหล่งน้ำจำเป็นต้องผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียเสียก่อน น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่แล้วสามารถกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในรูปค่าความสกปรกของบีโอดี และซีโอดีออกจากแหล่งน้ำได้ แต่ยังคงเหลือส่วนที่เป็นธาตุอาหารไนโตรเจนที่ไม่สามารถทำการกำจัดให้หมดไปได้ ซึ่งในส่วนที่เป็นธาตุอาหารนี้ยังคงต้องมีการกำจัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนีย มีค่ามากกว่าความต้องการออกซิเจนในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์คาร์บอนทางชีวภาพ ถึง 4.57 เท่า ดังนั้นหากในแหล่งน้ำนั้นมีธาตุอาหารไนโตรเจนปนเปื้อนอยู่ในรูปแบบต่างๆ สามารถก่อให้เกิดปัญหาที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และมลพิษทางน้ำได้ อาทิเช่น การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสีย และสัตว์น้ำตายได้ เนื่องจากสภาวะการขาดออกซิเจน การทำให้เกิดโรคเด็กตัวเขียว (Blue Baby) ซึ่งเกิดจากการที่เด็กอ่อนบริโภคน้ำที่มีไนเตรตสูงเกิดไป อาจทำให้เด็กเสียชีวิตได้ (ธงชัย, 2545) นอกจากนี้แอมโมเนียไนโตรเจนอิสระเพียง 0.2 mg/L ส่งผลเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายได้ (U.S. EPA, 1987a)

กระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพที่ใช้กันทั่วไป คือ กระบวนการไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน อย่างไรก็ตามในการบำบัดน้ำเสียที่มีแอมโมเนียมในปริมาณสูงแต่มีปริมาณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารอินทรีย์คาร์บอนต่ำ เมื่อนำมาบำบัดด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชัน ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนไม่เพียงพอต่อการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในการเติมอากาศ และสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกเข้าไปในระบบ เช่นกรณีของโรงควบคุมคุณภาพน้ำในกรุงเทพฯ อาทิ เช่น โรงควบคุมคุณภาพน้ำโดยดินแดง โดยมีอัตราส่วน C/N ประมาณ 2.5 เท่า (โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง, 2556) ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับความต้องการสำหรับการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยทางทฤษฎีแล้วอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการดีไนติฟิเคชันควรอยู่ในช่วง 6 - 8 เท่า ของซีโอดีต่อไนเตรต (พงศ์ศักดิ์, 2554) ดังนั้นหากมีความต้องการในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน/ดีไนตริฟิเคชันแล้ว ก็ไม่สามารถที่หลีกเลี่ยงการเติมสารอินทรีย์จากภายนอกเข้าไปในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในหลายๆปีที่ผ่านมามีงานวิจัยได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการเกิดดีไนตริฟิเคชันในสภาวะแอโรบิกโดยกลุ่มเฮเทอโรทรอฟแบคทีเรีย ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการกำจัดไนโตรเจน โดยกลไกนี้มีชื่อว่า " การเกิดไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมกัน " (Simultaneous nitrification and denitrification, SND) SND เป็นกลไกการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมกัน กลไกนี้เป็นการหายใจร่วมกันของเชื้อแบคทีเรียโดยใช้ทั้งออกซิเจนและไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และใช้แหล่งคาร์บอนจากภายนอก และภายใน (Poly-β-hydroxybutyrate, PHB) เป็นตัวให้อิเล็กตรอน กลไกนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในถังปฏิกรณ์เดียวไม่จำเป็นต้องมีการแยกถังปฏิกรณ์ หรือเรียกว่าเป็นการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบใช้อากาศ ซึ่งข้อดีของ SND มีด้วยกันดังนี้คือ 1) สามารถเกิดกระบวนไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันได้ภายในถังปฏิกรณ์ใบเดียว ซึ่งช่วยลดพื้นที่ในการก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในการสร้าง 2) เป็นการประหยัดเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในการปรับพีเอช เนื่องจากมีกลุ่มดีไนติฟายเออร์ในถังเติมอากาศ ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีส่วนสำคัญในการเพิ่มพีเอชในระบบ 3) ประหยัดพลังงาน และลดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ เนื่องจากกระบวนการ SND จำเป็นต้องดำเนินระบบไว้ที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำๆ (Huang and Tsong, 2001)

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ (SND) โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนกับการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ รวมทั้งเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียที่เกิดขึ้นของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทั้ง 2 แบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ (SND) และกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไม่มีอากาศ โดยใช้อะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอน

ขอบเขตการวิจัย

1. ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง (น้ำเสียชุมชน)

2. ใช้อะซิเตท (Acetate) ความเข้มข้น 300 และ 500 mg/L เป็นแหล่งคาร์บอนจากภายนอก ใช้แอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N) และไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N) ความเข้มข้นเท่ากับ 50 mg/L

3. การทดลองการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศจะแบ่งเป็น 2 แบบคือควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ 0.5 mg/L และเติมอากาศแบบเต็มที่

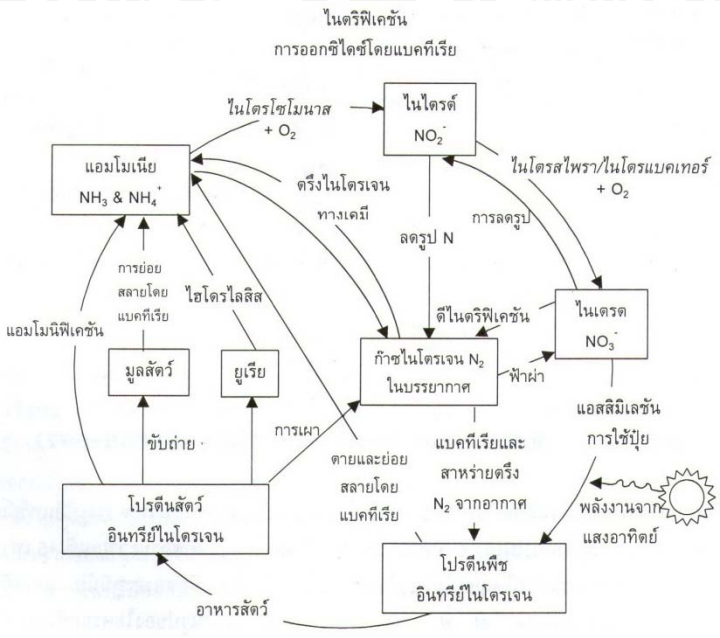
4. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ และการเกิดดีไนตริฟิเคชัน ได้แก่ แอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4^+-N), ไนเตรต-ไนโตรเจน (NO_3^--N), พีเอชบี (PHB), ซีโอดี (COD), ของแข็งแขวนลอย (SS) และของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. วัฏจักรของไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสังเคราะห์กรดอะมิโน ซึ่งกรดอะมิโนเป็นส่วนประกอบในโปรตีนทุกชนิดของสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนจึงเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทุกรูปแบบไม่ว่าจะเป็นจุลินทรีย์ พืช และสัตว์ เมื่อพืช และสัตว์ หรือมีการขับถ่าย ไนโตรเจนก็จะกลับสู่ธรรมชาติอีกครั้งซึ่งจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจน จุลินทรีย์จึงมีบทบาทมากที่สำคัญมากในการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนแล้วนำมาใช้โดยจะผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชันให้กลายเป็นแอมโมเนีย จากนั้นแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ต่อด้วยจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิงผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชันให้กลายเป็นไนไตรต์ และไนเตทต และเมื่ออยู่ในสภาวะไร้อากาศจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริฟายอิงจะเปลี่ยนรูปไนไตรต์ และไนเตทต ผ่านกระชวนการดีไนตริฟิเคชันได้เป็นก๊าซไนโตรเจนคืนสู่บรรยากาศอีกครั้ง จากนั้นจุลินทรีย์จะทำการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศกลับมาใช้อีกครั้ง และเริ่มเข้าสู่วัฏจักรไนโตรเจนต่อไปดังภาพที่ 1 (ธงชัย, 2545)



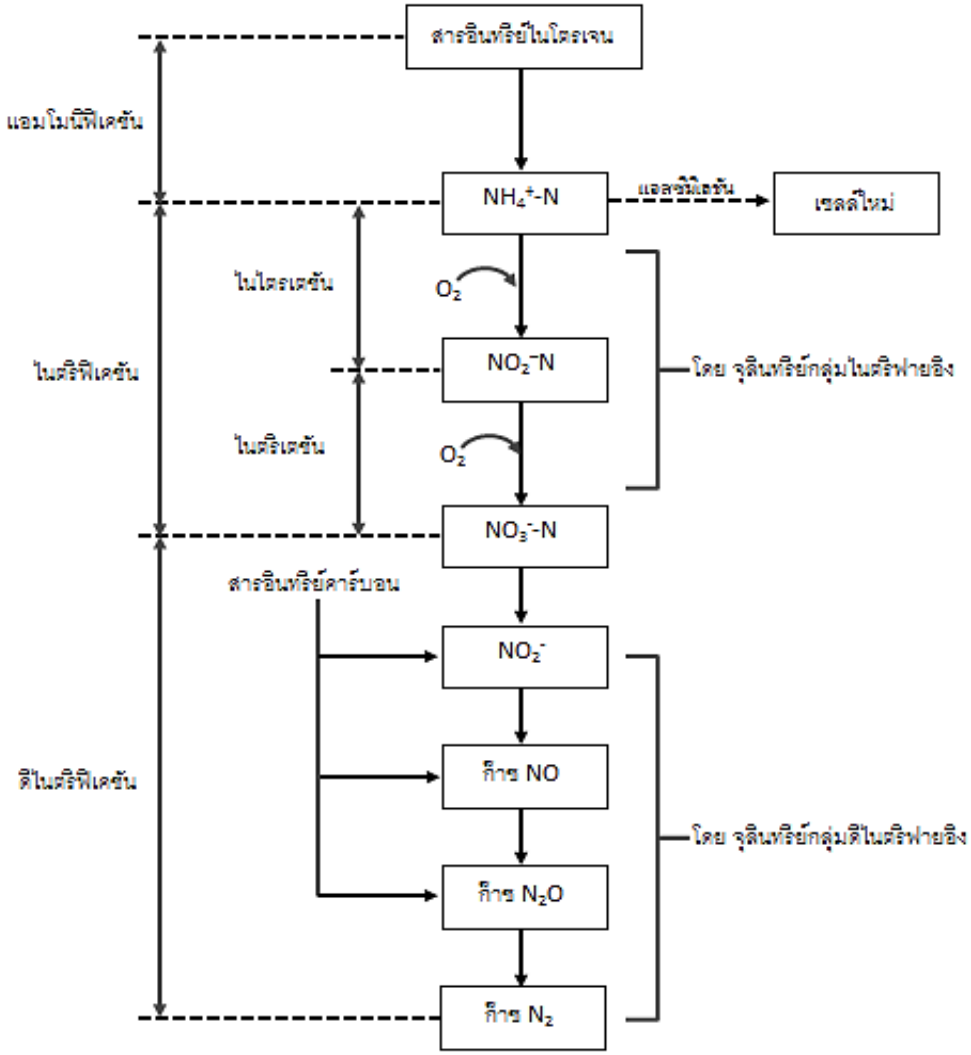
ภาพที่ 1 วัฏจักรไนโตรเจน

ที่มา : ธงชัย (2545)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

การกำจัดไนโตรเจนทางชีววิทยาอาศัยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิงซึ่งมีหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรต และจุลินทรีย์กลุ่มที่สองคือกลุ่มดีไนตริฟายอิงซึ่งจากเปลี่ยนรูปไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพแสดงดังภาพที่ 2 (ธงชัย, 2545)



ภาพที่ 2 กระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ

ที่มา: ธงชัย (2545)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1 กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification)

แอมโมนิฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นแอมโมเนีย สารประกอบโปรตีนจะแปรรูปเป็นแอมโมเนียมได้ จะต้องผ่านขั้นตอนแปรรูปเป็นกรดอะมิโนก่อน จากนั้นกรดอะมิโนจะถูกลดอะมีนโดยผ่านกระบวนการดีเอมิเนชัน (Deamination) เป็นแอมโมเนียม การลดอะมีนในกระบวนการดีเอมิเนชันของกรดอะมิโนมีอยู่ 2 แบบ คือ ออกซิเดทิฟ และรีดักทิฟ (Bitton, 1994) ดังสมการที่ 1 และ 2

กระบวนการดีเอมิเนชันแบบออกซิเดทิฟ

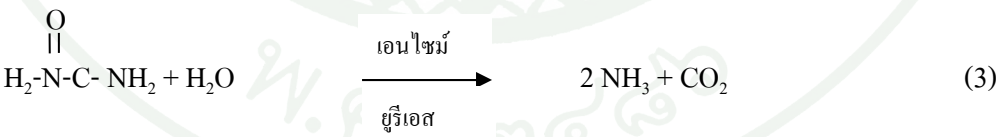
(1)

กระบวนการดีเอมิเนชันแบบรีดักทิฟ

(2)

นอกจากนี้การเปลี่ยนรูปของยูเรียโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสโดยมีเอนไซม์ยูรีเอสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดเป็นแอมโมเนียได้ดังสมการที่ 3

กระบวนการไฮโดรไลซิสยูเรียเป็นแอมโมเนีย



(3)

โดยปกติแล้วแอมโมเนียที่พบเจอในน้ำเสียจะไม่อยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระ แต่จะอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียม (NH_4^+) เนื่องจากมีค่าพีเอชเป็นกรดหรือเป็นกลาง และเมื่อพีเอชถูกปรับให้สูงขึ้นแอมโมเนียมจึงเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียอิสระ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

กระบวนการไนตริฟิเคชันเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรต์ และไนเตรต โดยผ่านขั้นตอนย่อยซึ่งแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ไนไตรเตชัน (nitritation) และไนเตรเตชัน (nitratation) ซึ่งในขั้นตอนไนตริฟิเคชัน จะเกิดปฏิกิริยาอยู่ 2 รูปแบบ คือ การหายใจแบบแอโรบิก และการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ ซึ่งมีสมการที่ 4, 5 และ 6 (Henze *et al*., 2002) โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในขั้นตอนนี้ได้แก่ *Nitrosomonas* spp., *Nitrosococcus* spp., *Nitrosospora* spp., *Nitrosolobus* spp., *Nitrobactor* spp. และ *Nitrocystis* spp. (พงศ์ศักดิ์, 2554)

สมการการหายใจแบบแอโรบิก

1) การหายใจในขั้นตอนไนไตรเตชัน

$$2\ NH_4^+ + 3\ O_2 \longrightarrow 2\ NO_2^- + 2\ H_2O + 4\ H^+ + E \qquad (4)$$

2) การหายใจในขั้นตอนไนเตรเตชัน

$$2\ NO_2^- + O_2 \longrightarrow 2\ NO_3^- + E \qquad (5)$$

จากนั้น เมื่อนำสมการที่ 4 และ 5 มารวมกันจะได้เป็นสมการรวมการหายใจของไนตริฟิเคชันดังสมการที่ 6

$$NH_4^+ + 2\ O_2 \longrightarrow NO_3^- + 2\ H_2O + 2\ H^+ + E \qquad (6)$$

สมการการสังเคราะห์เซลล์

จุลินทรีย์กลุ่มออโตทรอฟสามารถสังเคราะห์เซลล์ใหม่ได้จากอนินทรีย์คาร์บอน ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือไบคาร์บอเนตได้ (HCO_3) โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์CO_2 เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และมีแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่งเซลล์ที่สังเคราะห์ได้นี้มักมีโครงสร้างเฉลี่ยเป็น $C_5H_7O_2N$ ซึ่งการสังเคราะห์เซลล์เป็นไปตามสมการที่ 7 และ 8

1) การสังเคราะห์เซลล์ในไตรติฟิเคชัน

$$15\ CO_2 + 13\ NH_4^+ \longrightarrow 10\ NO_2^- + 3\ C_5H_7O_2N + 4\ H_2O + 23\ H^+ \qquad (7)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) การสังเคราะห์เซลล์ในเตรติฟิเคชัน

$$5\ CO_2 + NH_4^+ + 10\ NO_2^- + 2\ H_2O \longrightarrow 10\ NO_3^- + C_5H_7O_2N + 4\ H^+ \quad (8)$$

จากนั้น เมื่อนำสมการที่ 6, 7 และ 8 มารวมกันจะได้สมการรวมของไนตริฟิเคชันดังสมการที่ 9

$$NH_4^+ + 1.89\ O_2 + 1.98\ HCO_3^- \longrightarrow 0.02\ C_5H_7O_2N + 0.98\ NO_3^- + 1.88\ H_2CO_3 + 1.04\ H_2O \quad (9)$$

ผลกระทบต่อไนตริฟิเคชัน

สภาวะแวดล้อมที่สามารถมีผลต่ออัตราไนตริเคชันมีอยู่หลายอย่าง ได้แก่ อุณหภูมิ ออกซิเจน พีเอช อายุสลัดจ์ และสารพิษ ฯลฯ

1) อุณหภูมิ : อุณหภูมิที่ดีสำหรับไนตริฟิเคชันคือช่วง 30 - 36 องศาเซลเซียส (ธงชัย, 2545)

2) ออกซิเจน : จุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิง (ออโตทรอฟ) มีความไวต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ความเข้มข้นต่ำมากกว่ากลุ่มจุลินทรีย์เฮเทอโรทรอฟ (Henze *et al*., 2002) ดังนั้นจึงต้องควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 1 mg/L แต่ในทางปฏิบัติแล้วหากต้องการความมั่นใจว่าจุลินทรีย์ไม่ขาดแคลน ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิงแบคทีเรียควรมีค่าออกซิเจน 2.5 - 3 mg/L (พงศ์ศักดิ์, 2554)

3) พีเอช : ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน จุลินทรีย์เปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมไปเป็นไนไตรต์และไนเตรต ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวเกิดสภาพความเป็นกรดออกมา พีเอชของถังปฏิกรณ์จึงอาจลดลง โดยเฉพาะในกรณีที่น้ำเสียมีสภาพความเป็นด่างต่ำ พีเอชจึงเป็นอีกหนึ่งพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิง ซึ่งค่าพีเอชในช่วงที่แนะนำ และเหมาะสมกับจุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่ที่ 7.8 - 8.3 ถ้าหากในระบบมีความเป็นกรดมากขึ้นควรใช้โซดาไฟ (NaOH) เพื่อปรับค่าพีเอชให้จุลินทรีย์ทำงานได้มีประสิทธิภาพ (พงศ์ศักดิ์, 2554)

4) สารพิษ : มีสารหลายชนิดที่สามารถยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสียได้ แสดงดังตารางที่ 1 และ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ปริมาณโลหะที่ยับยั้งไนตริฟิเคชัน

โลหะ	ความเข้มข้น (mg/L)	ผลกระทบต่อเชื้อจุลินทรีย์
โคบอลต์	0.08 - 0.5	ยับยั้ง *Nitrosomonas* spp. (เชื้อบริสุทธิ์)
โครเมียม$^{+3}$	> 0.25	ยับยั้งการเกิด *Nitrosomonas* spp. (เชื้อบริสุทธิ์)
	118	ยับยั้งร้อยละ 75 ของแอกทิเวเต็ดสลัดจ์
ทองแดง	0.05 - 0.56	ยับยั้งการทำงานของ *Nitrosomonas* spp. (เชื้อบริสุทธิ์)
	4	ไม่เห็นผลการยับยั้งในแอกทิเวเต็ดสลัดจ์
	150	ยับยั้งการทำงานของ *Nitrosomonas* spp. (เชื้อบริสุทธิ์)
นิกเกิล	>0.25	ยับยั้งการทำงานของ *Nitrosomonas* spp. (เชื้อบริสุทธิ์)
สังกะสี	0.08 - 0.5	ยับยั้งการทำงานของ *Nitrosomonas* spp. (เชื้อบริสุทธิ์)

ที่มา : Henze *et al*. (2002)

ตารางที่ 2 ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีผลยับยั้งไนตริฟิเคชัน

สารอินทรีย์	ความเข้มข้น (mg/L)	สารอินทรีย์	ความเข้มข้น (mg/L)
Acetone	2,000	Flavonids	0.01
Allyl isothiocyanate	1.9	8-Hydroxyquiniline mercaptobenzothiazole	1
Allyl thiourea	1.2	Methanol	160
2-Aminophenol	0.27	n-Methylaniline	<1
4-Aminophenol	0.07	Methyl isothiocyante	0.8
Benzene	13	Methyl mercaptan	300

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สารอินทรีย์	ความเข้มข้น (mg/L)	สารอินทรีย์	ความเข้มข้น (mg/L)
Carbamate	2	Nitrobenzene	50
Chlorine	1	Nitrorea	1
Chlorobenzene	0.71 - 500	Phenolic acids	0.01
Chloroform	18	n-Propanol	20
3-Chlorophenol	0.2	Pyruvate	400
4-Chlorophenol	0.73	Sodium methyl dithiocarbamate	0.9
m-Cresol	0.1 - 100	1,2,3,4-Tetrachlorobenzene	20
p-Cresol	12.8	1,1,2,2-Tetrachlorobenzene	1.4
Cyclohexylamine	0.5	1,2,3,5,6-Tetrachlorobenzene	1.3
1,1-Dichloroethane	0.91	Thiamine	0.53
2,3-Dichlorophenol	0.61	Thiosemicarbazide (Aminothiourea)	0.76
1,3-Dichloropropene	0.67	Thiourea	1
Diethyl dithiothiosemicarbazide	0.1	2,4,6-Tribromophenol	2.5
Dithio-oxamide	1	2,2,2-Trichloroethanol	2
Dodecylamide	<1	1,1,2-Trichloroethane	1.9
Ethanol	2,400	Trichloroethylene	0.81
Ethyl acetate	18	2,3,6-Trichlorophenol	0.42
Ethyl urethane	1,000	1-Valine	1.8

ที่มา : ธงชัย (2545)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

เมื่อไนโตรเจนถูกแปรรูปมาอยู่ในรูปของไนเตรตแล้ว จะสามารถถูกลดรูป หรือถูกกำจัดออกจากระบบบำบัดน้ำเสียได้ 2 ทาง คือ

1. วิธีแอสสิมิเลชัน (Assimilatory denitrification)

จุลินทรีย์ต้องการไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์เซลล์ และเจริญเติบโต ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมเป็นรูปแบบที่จุลินทรีย์สามารถนำไปสังเคราะห์เซลล์ได้ดีที่สุด จุลินทรีย์บางชนิดสามารถลดรูปไนเตรตไปเป็นแอมโมเนียม และเอามาใช้ในวิธีแอสสิมเลชันได้ ในวิธีนี้ไนเตรตจะถูกดีไนตริฟายด์ลดรูปไปเป็นแอมโมเนียมด้วยเอนไซม์ไนเตรตดักเทสหลายชนิด ก่อนที่จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน และสร้างเซลล์ กระบวนการนี้เรียกว่าแอสสิมิเลชัน ซึ่งมีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับวิธีดีไนตริฟิเคชันแบบดิสสิมิเลชัน (Gayle *et al*., 1989)

2. วิธีดิสสิมิเลชัน (Dissimilatory denitrification)

ในกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบดิสสิมิเลชันเกิดขึ้นได้เมื่อมีการใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนการใช้ออกซิเจน ดีไนตริฟิเคชันแบบดิสสิมิเลชันจะเกิดขึ้นในสภาวะที่เป็นแบบแอนนอกซิก (anoxic) คือมีไนเตรตแต่ไม่มีออกซิเจนอิสระ และในขั้นตอนนี้จุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรทรอฟมีบทบาทสำคัญในกระบวนการซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรทรอฟต้องการใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน และใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ดังนั้นในกระบวนการนี้จึงจำเป็นต้องเติมแหล่งคาร์บอนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้เกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่สมบูรณ์ กระบวนดีไนตริฟิเคชันเริ่มจากการลดรูปของไนเตรต (NO_3^-) ไปเป็นไนไตรต์ (NO_2^-) ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) ตามลำดับ (Gayle *et al*., 1989) จากนั้นก๊าซไนโตรเจนจะถูกขับออกจากน้ำไปสู่บรรยากาศ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในขั้นตอนนี้ได้แก่ *Achromobacter*, *Aerobacter, Bacillus, Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus, Pseudomonas* และ *Spirillum* (พงศ์ศักดิ์, 2554)

ในขั้นตอนดีไนตริฟิเคชัน จะเกิดปฏิกิริยาอยู่ 2 รูปแบบ คือ การหายใจ และการสังเคราะห์เซลล์ใหม่ ซึ่งแสดงดังสมการที่ 11 และ 12 (Henze *et al*., 2002)

สมการการหายใจในขั้นตอนดีไนไตรตริฟิเคชัน

$$NO_3^- + 0.833\ CH_3OH + 0.167\ H_2CO_3 \longrightarrow 0.5\ N_2 + HCO_3 + 1.33\ H_2O \qquad (11)$$

สมการการสังเคราะห์เซลล์ขั้นตอนดีไนไตรตริฟิเคชัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$3\ NO_3^- + 14\ CH_3OH + CO_2 + 3\ H^+ \longrightarrow 3\ C_5H_7O_2N + 19\ H_2O \quad (12)$$

จากนั้น เมื่อนำสมการที่ 11 และ12 มารวมกันจะได้เป็นสมการรวมของดีไนตริฟิเคชันดังสมการที่ 13

$$NO_3^- + 1.08\ CH_3OH + 0.24\ H_2CO_3 \longrightarrow 0.056\ C_5H_7O_2N + 0.47\ N_2 + HCO_3^- + 1.68\ H_2O \quad (13)$$

ผลกระทบต่อดีไนตริฟิเคชัน

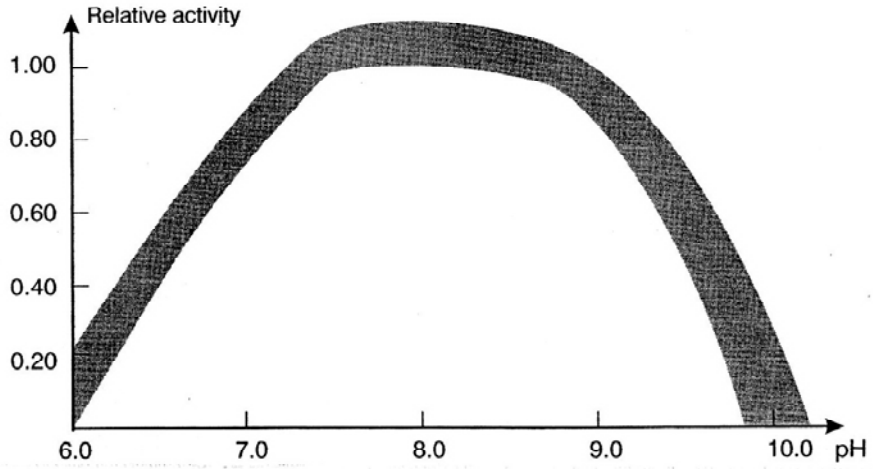
พารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อดีไนตริฟิเคชัน ได้แก่ พีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ ความเค็ม สลัดจ์ ความเข้มข้นของไนไตรต์ และอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน เป็นต้น

1) พีเอช : Henze *et al*. (2002) กล่าวว่าที่พีเอชในช่วง 7 - 9 เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อดีไนตริฟิเคชัน (ภาพที่ 3) กล่าวคือ พีเอชมีผลต่อจุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริฟายเออร์น้อยกว่าที่มีผลต่อจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายเออร์ ดังนั้นถ้านำค่าพีเอชนี้ไปรวมกับกระบวนการไนตริฟิเคชันแล้ว พีเอชของระบบสลัดจ์ผสมควรอยู่ในช่วง 7.5 - 8 จะดีที่สุด ถ้าพีเอชลดลงต่ำ เช่นต่ำกว่า 7 จะเกิดไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นผลสุดท้ายของดีไนตริฟิเคชันแทนที่จะเป็นก๊าซไนโตรเจน

2) ออกซิเจน : จุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถดำรงอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศ และไร้อากาศ ในกรณีที่ไร้อากาศจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะใช้ไนไตรต์ และไนเตรต เป็นตัวรับอิเล็กตรอน และมีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน จึงสามารถเกิดดีไนตริฟิเคชันได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นหากในระบบมีออกซิเจนอยู่จุลินทรีย์จะเลือกใช้ออกซิเจนมาใช้เป็นตัวรับอิเล็กตรอนก่อน กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ (พงศ์ศักดิ์, 2554)

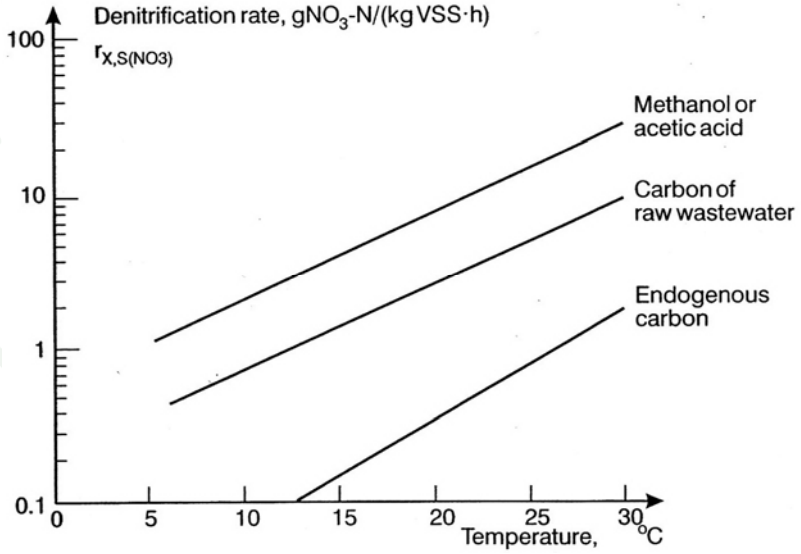
3) อุณหภูมิ : จุลินทรีย์กลุ่มดีไนตริฟายอิงแบคทีเรียมีความไวต่ออุณหภูมิต่ำ และทำงานได้ดีเมื่ออุณหภูมิเท่ากับ หรือมากกว่า 20 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4) อัตราการเกิดของดีไนตริฟิเคชันสูงสุดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิซึ่งแสดงดังตารางที่ 3 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส (ช่วง 5 - 25 องศาเซลเซียส) อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันเพิ่มขึ้นประมาณหนึ่งเท่าตัว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันที่พีเอชต่างกัน

ที่มา : Henze *et al*. (2002)



ภาพที่ 4 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ

ที่มา : Henze *et al*. (2002)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) อายุสลัดจ์ : จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่ออายุสลัดจ์เพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นในถังรวม หรือถังแอนน็อกซิก จะส่งผลให้อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ

5) ไนไตรต์ : ไนไตรต์ในรูปของกรดไนตรัสอิสระ (HNO_2) กล่าวคือไม่แตกตัวเป็นไอออน สามารถยับยังดีไนตริฟิเคชันได้ที่ความเข้มข้นเพียง 0.13 mg/L (ธงชัย, 2545)

ตารางที่ 3 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่อายุสลัดจ์ และอุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ °C	อายุสลัดจ์		mg NO_x^--N/gVSS-hr
	รวม	แอนอกซิก	
7	3.4	1	1.14
	10.3	3	0.48
15	2	0.6	1.4
	4	1.1	2.4
25	1.8	0.5	5.4
	5	1.4	4.1

ที่มา : ธงชัย (2545)

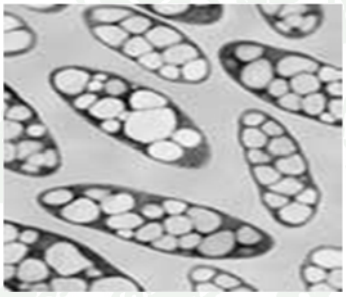
6) อัตราส่วนสารอินทรีย์ต่อไนโตรเจน : ในการเกิดดีไนตริฟิเคชัน แบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรทรอฟจำเป็นต้องใช้สารอินทรีย์เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนซึ่งเป็นตัวให้อิเล็กตรอนในการเปลี่ยนรูปไนเตรตไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นสัดส่วนสารอินทรีย์ต่อไนโตรเจนจึงมีความสำคัญมากในกระบวนการนี้ โดยอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมตามทฤษฎีอยู่ที่ประมาณ 3.7 เท่า แต่ในทางปฏิบัติแล้วควรอยู่ในช่วง 6 - 8 เท่า (พงศ์ศักดิ์, 2554)

3. โพลีไฮดรอกซีบิวทิเรท (Poly-β-hydroxybutyrate,PHB)

โพลีไฮดรอกซีบิวทิเรทเป็นโฮโมโพลิเมอร์ของ 3- hydroxybutyrate และเป็นสารในกลุ่ม PHAs ที่สังเคราะห์ได้จากจุลินทรีย์หลายชนิด พีเอชบีที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นถูกเก็บไว้ในแกรนูลภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์ (ภาพที่ 5) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 - 0.5 ไมครอน แกรนูลพีเอชบีถูกหุ้มด้วยเมมเบรนที่มีไขมัน และโปรตีนหนาประมาณ 2 นาโนเมตร พีเอชบีที่แยกได้จากเซลล์แบคทีเรียมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^5-10^6 อุณหภูมิหลอมละลายประมาณ 180 °C พีเอชบีเป็นโพลิ

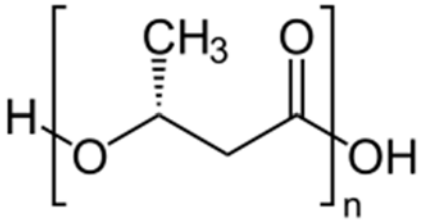
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมอร์ที่มีลักษณะคล้ายผลึก และมีโมเลกุลขนาดใหญ่สะสมอยู่ภายในเซลล์จุลินทรีย์ ประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิล เมทิล และออกซิเจน โดยโมโนเมอร์ต่อกันเป็นสายด้วยพันธะเอสเทอร์ จำนวนโมโนเมอร์ที่ต่อกันเป็นสายมีประมาณ 23,000 - 35,000 ดาลตัน ความยาวของสายพีเอชบีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือวิธีสกัดพีเอชบีออกจากเซลล์ ชนิดของแบคทีเรีย ระยะเวลาในการเลี้ยงเซลล์ ชนิดของสารอาหาร หรือแหล่งคาร์บอนที่ใช้เลี้ยงจุลินทรีย์ และสภาวะต่างๆในการเลี้ยงจุลินทรีย์ ซึ่งพบว่า มีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดที่สามารถสะสมพีเอชบีได้ เช่น *Actinomycetes* spp., *Beijerinckia* spp., *Azospirllium* spp., *Chromobacterium* spp., *Chromatium* spp., *Chlorogloea* spp., *Hyphomicrobium* spp., *Ferrobacillus* spp., *Derxia* spp., *Rhodospirillium* spp., *Micrococus* spp., *Lumpeopaedia* spp., *Streptomyces* spp., *Rhizobium* spp., *Nocardia* spp., *Spirillium* spp., และ *Sphaerotilus* spp., สำหรับจุลินทรีย์ที่นิยมนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อผลิตพีเอชบีได้แก่ *Alcaligenes* spp., *Azotobacter* spp., *Pseudomonas* spp., และ *Methylobacterium* spp., (สาโรจน์, 2547) ซึ่งโครงสร้างของพีเอชบี แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 แกรนูลที่สะสมพีเอชบีไว้ภายในเซลล์แบคทีเรีย

ที่มา : Schut (2008)



ภาพที่ 6 โครงสร้างทางเคมีของพีเอชบี

ที่มา : Wikipedia (2013)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณสมบัติของพีเอชบี

พีเอชบีจะมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว เป็นโพลิเมอร์ขนาดใหญ่ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟอร์ม เป็นต้น พีเอชบีมีลักษณะเป็นฟิล์มเมื่อระเหยคลอโรฟอร์มออก ไม่สามารถละลายในสารละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ เมทานอล เอทานอล (ตารางที่ 4) ความหนาแน่นของพีเอชบีอยู่ระหว่าง 1.171 - 1.260 g/cm^3 พีเอชบีที่มีความหนาแน่นต่ำจะไม่มีรูปร่างที่แน่นอน แต่ถ้าหากมีความหนาแน่นสูงจะสามารถตกผลึกได้ ส่วนจุดหลอมเหลวจะแปรผันระหว่าง 157 - 188 องศาเซลเซียส (สาโรจน์, 2547)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติการละลายของพีเอชบี

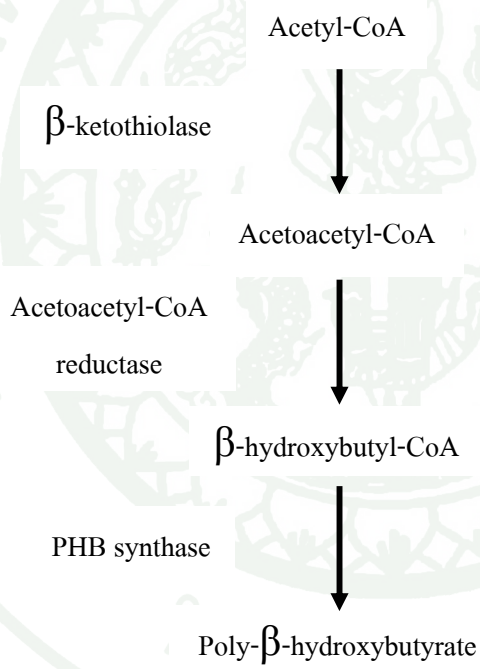
ละลายได้ดีมาก	ละลายได้ดี	ละลายไม่ได้
คลอโรฟอร์ม	ไดโอเซน	น้ำ
ไดคลอโรมีเทน	ออกทานอล	เมทานอล
ไดคลอโรแอซีเทต	โทลูอีน	เอทานอล
ทรีโอลีน	พิริดีน	1-โพรพานอล
เอทิลีนคาร์บอเนต		2-โพรพานอล
โพรพิลีนคาร์บอเนต		กรดเกลือแร่เจือจาง
ทรีฟลูโอโรเอทานอล		อัลคาไลน์ไฮเพอร์คลอไรต์
แอซีติกแอนไฮไดรด์		ไดเอทิลอีเทอร์
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 N		เอทีลีนแอซีเทต
ไดเมทิลฟอร์มามีน		เอทิลเมทิลคีโทน
เอทิลแอซีโตแอซีเทต		เททราไฮโดรฟูราน
ได-,ไตร-,เททรา-คลอโรอีเทน		เอทิลโฟร์มีเอต
กรดแอซีติก		บิวทิลแอซีเท
แอลกอฮอล์ (มี C > 3 อะตอม)		

ที่มา : สาโรจน์ (2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสังเคราะห์พีเอชบี

กระบวนการสังเคราะห์พีเอชบีมีเอมไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์พีเอชบีอยู่ 3 ชนิด คือ เอนไซม์ β-ketothiolase, เอนไซม์ Acetoacetyl-CoA reductase และเอมไซม์ PHB synthase การสังเคราะห์พีเอชบีเริ่มจากการที่จุลินทรีย์เปลี่ยนสารตั้งต้นที่เป็นแหล่งคาร์บอนให้เป็น Acetyl CoA แล้วเอนไซม์ β-ketothiolase เป็นตัวช่วยเร่งให้ Acetyl CoA เปลี่ยนเป็น Acetoacetyl-CoA ตามด้วยเอนไซม์ Acetoacetyl-CoA reductase ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ให้ acetoacetyl-CoA เปลี่ยนเป็น β-hydroxybutyl-CoA จากนั้นเอนไซม์ PHB synthase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Polymerization ให้ β-hydroxybutyl-CoA กลายเป็น Poly-β-hydroxybutyrate (Jo *et al,* 2006) กระบวนการสังเคราะห์พีเอชบีมีขั้นตอนการสังเคราะห์แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กระบวนการสังเคราะห์พีเอชบี

ที่มา : Jo *et al.* (2006)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน (Simultaneous Nitrification and Denitrification, SND)

SND เป็นกลไกการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันขึ้นพร้อมกัน กลไกนี้เป็นการหายใจร่วมกันของเชื้อแบคทีเรียโดยใช้ทั้งออกซิเจนและไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และใช้แหล่งคาร์บอนจากภายนอก และภายใน (PHB) เป็นตัวให้อิเล็กตรอน กลไกนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในถังปฏิกรณ์เดียวไม่จำเป็นต้องมีการแยกถังปฏิกรณ์ หรือเรียกว่าเป็นการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบใช้อากาศ โดยมีสภาวะหรือปัจจัยต่างๆ เข้ามาเป็นตัวจำกัด เช่น ออกซิเจน แหล่งคาร์บอน และขนาดของฟล็อก (Pochana and Keller, 1999)

กระบวนการแอมโมเนียมออกซิเดชันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นช้ากว่าการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ เนื่องจากแบคทีเรียเลือกย่อยสลายสารอินทรีย์จนใกล้หมดก่อนถึงเกิดการย่อยสลายแอมโมเนียม หรือนำแอมโมเนียมมาใช้ ดังนั้นในส่วนของดีไนตริฟิเคชันจึงเหลือสารอินทรีย์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดดีไนตริฟิเคชัน ขั้นตอนการเกิด SND จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งคาร์บอนที่มีลักษณะเป็นสารรีดิวเซอร์ที่สามารถให้พลังงานได้มาก และย่อยสลายได้ช้าเพื่อที่จะให้เกิดดีไนตริฟิเคชันได้ โพลีไฮดรอกซีบิวทิเรท (Poly-β-hydroxybutyrate,PHB) เป็นโพลีเมอร์ที่แบคทีเรียกลุ่มเฮเทอโรทรอฟสามารถสังเคราะห์ และเก็บสะสมเป็นแหล่งคาร์บอนจากภายในเซลล์ (Third *et al*., 2003) ซึ่งพีเอชบีเป็นแหล่งคาร์บอนจากภายในที่มีลักษณะเป็นตัวรีดิวเซอร์สูง (Reducing power) และย่อยสลายช้ามาก จึงสามารถใช้เป็นตัวให้อิเล็กตอนสำหรับการเกิดดีไนตริฟิเคชันได้ (Beun *et al*., 2001) ความสามารถของเฮเทอโรทรอฟแบคทีเรียสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งยังสะสมโพลีเมอร์ หรือแหล่งคาร์บอนที่ย่อยสลายช้าไว้ในเซลล์เพื่อใช้สำหรับเป็นตัวรีดิวเซอร์สำหรับ SND (Third *et al*, 2003)

การเกิด SND มีปัจจัยที่เข้ามาเป็นตัวจำกัดได้แก่ ความเข้มข้นของออกซิเจน ขนาดของฟล็อกและแหล่งคาร์บอน (Third *et al*., 2005) จากการศึกษาของ Pochana and Keller (1999) ได้ทำการทดลองความเข้มข้นของออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิด SND ระหว่างความเข้มข้นของออกซิเจนที่ 5, 1.5, 1, และ 0.5 ผลปรากฏว่าอัตราการเกิด SND เท่ากับ 31, 55, 61 และ 78 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ออกซิเจนต่ำๆ เท่ากับ 0.5 mg/L จะเหมาะสมต่อการเกิด SND ได้มากที่สุด และ ได้ทำศึกษาผลทางกายภาพเกี่ยวกับขนาดของฟล็อก โดยทำการลดขนาดฟล็อกลงจากขนาด 80 μm ลดลงเหลือ 40 μm ผลปรากฏว่าอัตราการเกิด SND ลดลงจาก 52% เหลือ 21% แต่ก็ไม่เสมอไปทั้งนี้ขนาดฟล็อกยังขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ได้รับอีกด้วย จากการศึกษาของ Beun *et al.* (2001) สามารถทำให้เกิด SND ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ค่าความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 1.6 mg/L เมื่อตะกอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จุลินทรีย์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 mm และที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 1.5 mg/L เกิด SND เพียง 55 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดฟล็อกน้อยกว่า 100 μm และจากการศึกษาของ Pochana and Keller (1999) ได้กำหนดค่าออกซิเจนละลายน้ำไว้ที่ 0.3 mg/L ขนาดฟล็อกน้อยกว่า 100 μm ซึ่งสามารถทำให้เกิด SND ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังได้ทำการทดลองเกี่ยวกับแหล่งคาร์บอนโดยเปรียบเทียบระหว่างการเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอกเข้าไปในถังเติมอากาศ และไม่เติม ผลปรากฏว่าการเติมคาร์บอนจากภายนอกเข้าไปจะช่วยกำจัดไนโตรเจนได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ผ่านกระบวนการSND ซึ่งต่างจากการปราศจากการเติมคาร์บอนจากภายนอกลงไปซึ่งสามารถลดการกำจัดไนโตรเจนได้เพียง 47 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ Majone (2001) ได้ทำการศึกษาชนิดของแหล่งคาร์บอนต่างๆที่ผลต่อการสะสมของพีเอชบี ได้แก่อะซิเตท เอทานอล กลูโคส และกลูตามิกแอซิด ในแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ผลปรากฏว่าแหล่งคาร์บอนที่ให้พีเอชบีได้มากที่สุดคือ อะซิเตท รองลงมาคือกูลโคส โดยมีอัตราเท่ากับ 36 และ 24 mgCOD/gCOD.hr ตามลำดับ และจากการศึกษาของ อรรนพ (2543) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์พีเอชเอในเซลล์จุลินทรีย์จากระบบแอนเอโรบิก-แอโรบิก ที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนจากภายนอกที่ต่างกัน โดยนำจุลินทรีย์ในระบบดังกล่าวมาทำการทดลองแบบแบตช์ที่สภาวะแอนแอโรบิกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งแบ่งสารอาหารออกเป็น 4 ลักษณะ คือ อะซิเตท กลูโคส กลูโคสต่ออะซิเตท (2:1) และ กลูโคสต่ออะซิเตท (1:2) โดยมีความเข้มข้นของสารอาหารรวม 1,500 mgCOD/L ผลปรากฏว่า สารอาหารอะซิเตทสามารถสะสมพีเอชเอได้สูงสุดที่ 105.2 mg/gVSS รองลงมาคือสารอาหารกลูโคสต่ออะซิเตท (1:2) กลูโคสต่ออะซิเตท (2:1) และกลูโคส ซึ่งมีค่า 81.5, 71.0 และ 51.0 mg/gVSS ตามลำดับ

ข้อดีของ SND มีด้วยกันดังนี้ 1) สามารถเกิดกระบวนไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชันได้ภายในถังปฏิกรณ์ใบเดียว ซึ่งช่วยลดพื้นที่ในการก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในการสร้าง 2) เป็นการประหยัดเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีในการปรับพีเอช เนื่องจากมีการใช้ดีไนติฟายเออร์ในถังเติมอากาศ 3) ประหยัดพลังงาน และลดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ เนื่องจากกระบวนการ SND จำเป็นต้องดำเนินระบบไว้ที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำๆ (Huang and Tsong, 2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Third *et al*, (2003) ศึกษาผลกระทบของค่าออกซิเจนละลายน้ำที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายของพีเอชบี และผลต่อการเกิด Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND) ซึ่งมีผลต่อการกำจัดไนโตรเจน โดยทำการทดลองค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 0.5, 1, 1.5 และ 5 ผลปรากฏว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายของพีเอชบีต่อเวลา (df_{PHB}/dt) เท่ากับ $0.24*f_{PHB}$, $0.23*f_{PHB}$, $0.22*f_{PHB}$ และ $0.23*f_{PHB}$ ตามลำดับ และในส่วนของการเกิด SND ผลที่ได้จากการทดลองคือ 78, 61, 55 และ 31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองจึงเห็นว่าอัตราการย่อยสลายของพีเอชบีที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำต่างๆนั้น ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายของพีเอชบี และเปอร์เซ็นต์การเกิด SND แต่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน โดยประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนร้อยละ 93, 69, 63 และ 44 ตามลำดับ

Katarzyna and Irena (2007) ศึกษาความเป็นไปได้ของโพลีเบต้าไฮดรอกซีบิวทิเรทที่เก็บสะสมไว้ในแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ภายใต้สภาวะแอโรบิก และภายหลังต่อมาได้ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อให้เกิดดีไนตริฟิเคชัน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ถังปฏิกรณ์แบบกะ (Sequencing Batch Reactor, SBR) ตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มาจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองมีการปรับสภาพโดยให้อะซิเตทเป็นสารอาหารซึ่งมีค่าการสะสมของพีเอชบีที่ใช้ในการทดลองถึง 780 mg/L การทดลองแบ่งเป็นถังปฏิกรณ์ 2 ถัง ซึ่งมีลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ 2 แบบ 1) น้ำเสียที่ปราศจากสารอินทรีย์ และ 2) น้ำเสียที่มีอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอน (100 mgCOD/L) โดยน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 แบบมีแอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน (60 mgNH4-N/L) ผลการทดลองปรากฏว่าเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่ปราศจากสารอินทรีย์สามารถลดไนโตรเจนลง 4.54 mgN/L โดยใช้พีเอชบีที่สะสมไว้ 50 mgPHB/L และถังปฏิกรณ์ที่ 2 ซึ่งมีอะซิเตทเป็นแหล่งคาร์บอนสามารถลดไนโตรเจนลงได้ 22.5 mgN/L โดยใช้พีเอชบีที่สะสมไว้ 60 mgPHB/L ซึ่งผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าพีเอชบีที่สะสมในแอกทิเวเต็ดสลัดจ์สามารถใช้เป็นตัวให้อิเล็กตรอนสำหรับการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1.1 ถังปฏิกรณ์ (Reactor)

1.2 เครื่องเติมอากาศ (Air pump)

1.3 หัวให้ฟองอากาศ

1.4 เครื่องกวน (Magnetic Stirrer)

1.5 แท่งกวน (Magnetic Bar)

1.6 ชุดเครื่องกลั่นแอมโมเนีย

1.7 DO Controller

1.8 Oven

1.9 Pump

1.10 Spectrophotometer

1.11 Cuvettes Quartz

1.12 Centrifuge

1.13 Centrifuge tube

1.14 Glass marble

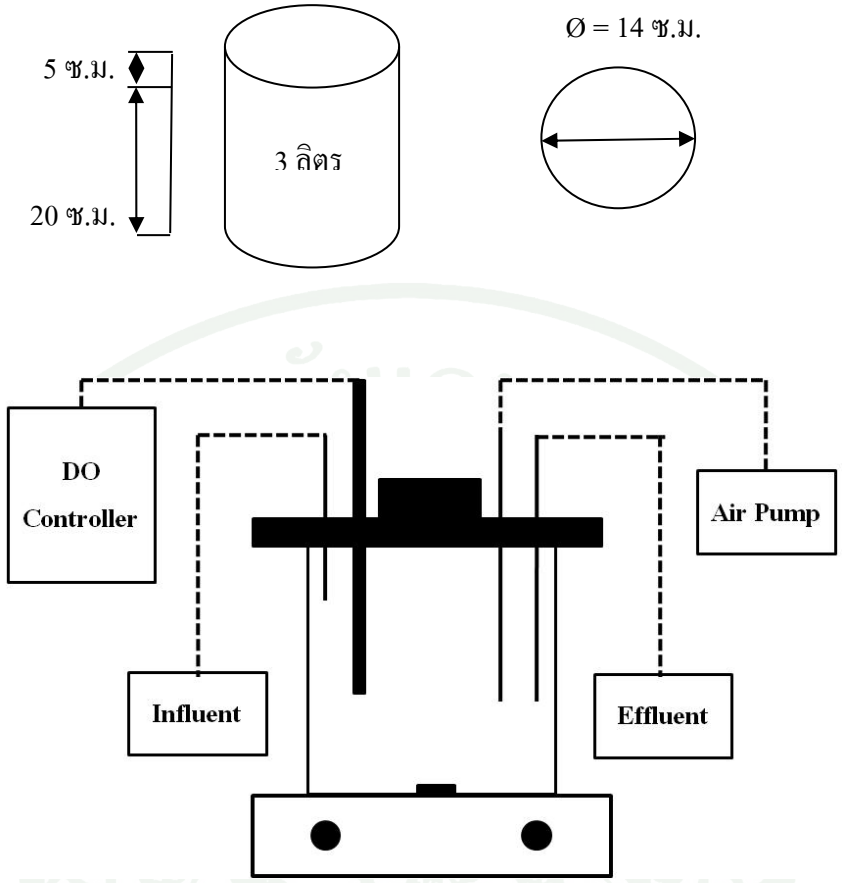
1.15 Boiling-water bath

1.16 Furnace

1.17 Desiccator

1.18 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 รายละเอียดแผนผังแบบจำลองถังปฏิกรณ์

2. สารเคมี และน้ำเสียสังเคราะห์

สารเคมีที่ใช้สกัดพีเอชบี

2.1 Sodium hypochlorite (Clorox)

2.2 Acetone

2.3 Ethanol

2.4 Chloroform

2.5 Sulfuric acid

น้ำเสียสังเคราะห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1 (ดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ)

สารอาหาร	ความเข้มข้น (mg/L)
NH_4Cl	189.3 (50 mgN/L)
$NaHCO_3$	243.3
Na_2CO_3	162.2
$Na_2HPO_4.12H_2O$	46.2
NaCl	10.1
KCl	4.7
$CaCl_2.2H_2O$	4.7
$MgSO_4.7H_2O$	16.7
$FeCl_3.\ 6H_2O$	0.18
$MnSO_4.H_2O$	0.18
$CuSO_4.\ 5H_2O$	0.28
$ZnSO_4 7H_2O$	0.32
CH_3COOH	300 , 500

ที่มา : ดัดแปลงจาก Coelho *et. al* (1999)

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 2 (ดีไนตริฟิเคชันแบบไม่มีอากาศ)

สารอาหาร	ความเข้มข้น (mg/L)
$NaNO_3$	303.6 (50 mgN/L)
$NaHCO_3$	243.3
KH_2PO_4	87
$MgSO_4.7H_2O$*	1000

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สารอาหาร	ความเข้มข้น (mg/L)
$CaCl_2.2H_2O$*	730
$FeSO_4.7H_2O$*	500
$MnCl_4.4H_2O$*	250
$ZnSO_4$ $7H_2O$*	220
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$*	50
$CoCl_2.6H_2O$*	50
$CuSO_4$. $5H_2O$*	20
CH_3COOH	300

หมายเหตุ : * (1 ml/L)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Visvanathan *et. al* (2008)

วิธีการ

1. การดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ ขั้นตอนการเตรียมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ และขั้นตอนการเดินระบบและทดลองผล

1.1 ขั้นตอนเตรียมเชื้อตะกอนจุลินทรีย์

สำหรับถังปฏิกรณ์แรก (ดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ, R1) ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มาจากบ่อเติมอากาศโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง โดยตะกอนที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแบบประเภทตะกอนผสม นำตะกอนจุลินทรีย์มาเลี้ยงในระบบเอสบีอาร์ ทำการเติมอากาศและเติมน้ำเสียสังเคราะห์สูตร1 เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสียสังเคราะห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สำหรับถังปฏิกรณสอง (ดีไนตริฟิเคชันแบบดั้งเดิม, R2) ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มาจากบ่อแอนน็อกซิกโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง โดยตะกอนที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแบบประเภทเฮเทอโรทรอฟดีไนตริฟายเออร์ นำตะกอนจุลินทรีย์มาเลี้ยงในระบบเอสบีอาร์ ทำให้ระบบอยู่ในสภาวะแอนน็อคซิก และเติมน้ำเสียสังเคราะห์สูตร 2 เพื่อให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสียสังเคราะห์ และสามารถกำจัดไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ขั้นตอนการเดินระบบและทดลองผล

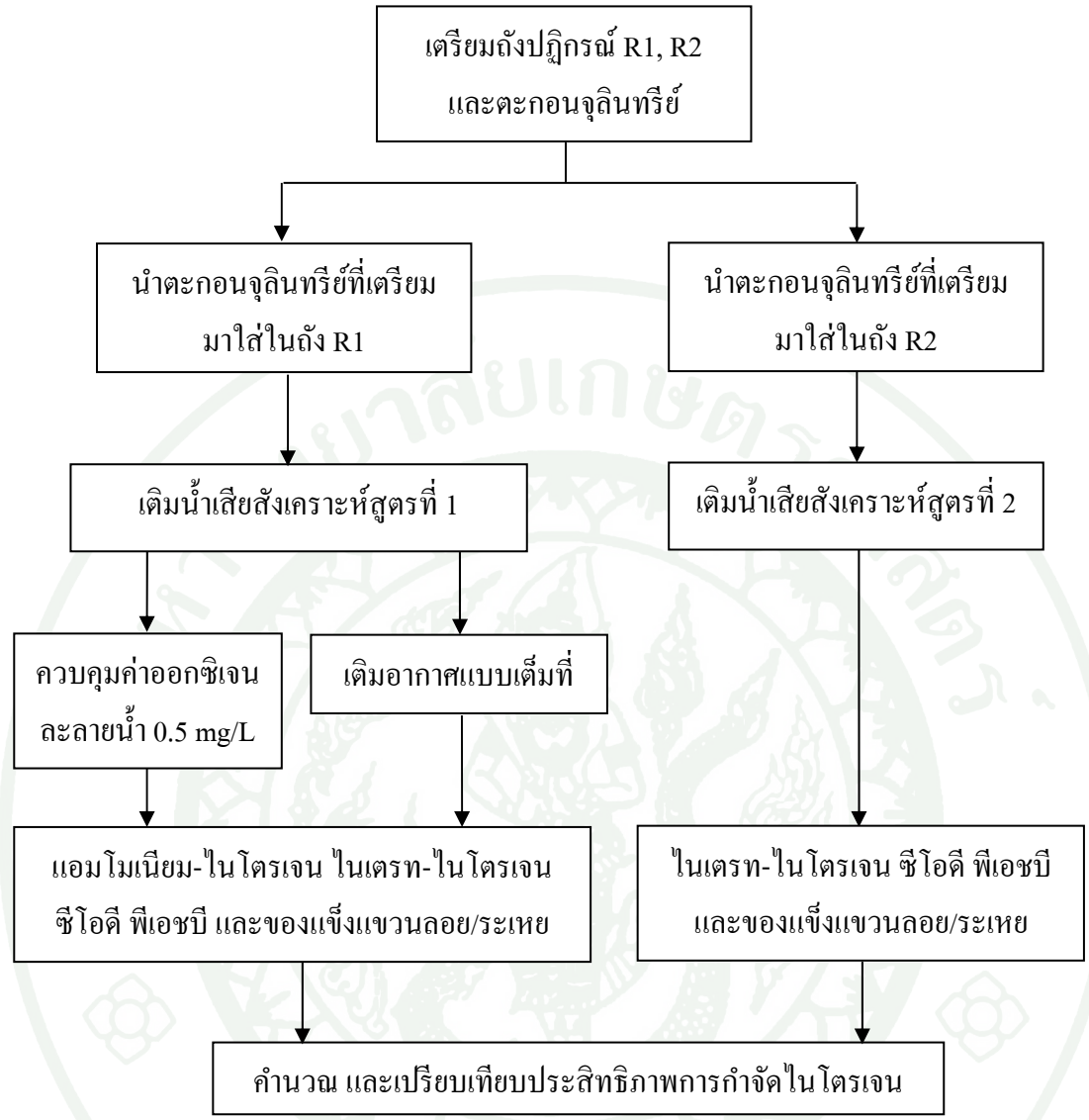
ส่วนของการเดินระบบและทดลองผลของถังปฏิกรณ์ R1 (ดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ) ได้แบ่งสภาวะการทดลองของระบบ และความเข้มข้นของอะซิเตทที่ใช้ออกเป็น 2 แบบ คือแบบแรกควบคุมระบบให้การเติมอากาศที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 0.5 mg/L และควบคุมระบบให้มีการเติมอากาศแบบเต็มที่ แบบสองความเข้มข้นของอะซิเตทที่ใช้มีความเข้มข้นอยู่ที่ 300 และ 500 mgCOD/L นำตะกอนจุลินทรีย์ที่เตรียมไว้มาใส่ในถังปฏิกรณ์นี้ ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 1 เข้าไปในระบบ วิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ แอมโมเนียม-ไนโตรเจน, ไนเตรต-ไนโตรเจน, พีเอชบี, ซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย (ตารางที่ 7) เพื่อดูประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน ถังปฏิกรณ์ R2 จะเป็นการควบคุมระบบแบบแอนน็อกซิก เพื่อให้มีสภาพเหมาะสมต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชัน นำตะกอนจุลินทรีย์ที่เตรียมมาใส่ในถังปฏิกรณ์นี้ ทำการทดลองโดยการเติมน้ำเสียสังเคราะห์สูตรที่ 2 เข้าไปในระบบ วิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ ไนเตรต-ไนโตรเจน, ซีโอดี, ของแข็งแขวนลอย และของแข็งแขวนลอยระเหย เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน กับถังปฏิกรณ์ R1 (ภาพที่ 9)

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์

ตารางที่ 7 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
แอมโมเนียม-ไนโตรเจน	Titration method
ไนเตรต-ไนโตรเจน	Ion Chromatography
ซีโอดี	Closed Reflux Method
พีเอชบี	Spectrophotometer
ของแข็งแขวนลอย/ระเหย	Gravimetric Method

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 แผนผังวิธีการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การสกัดพีเอชบี

ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ 2.5 - 5 ml ลงในหลอด Centrifuge จากนั้นเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์เท่ากับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใส่ลงในหลอด Centrifuge อบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง นำตะกอนจุลินทรีย์มาล้างด้วยอะซิโตนปริมาณ 5 ml จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง นำตะกอนจุลินทรีย์มาล้างด้วยเอเทอร์นอลปริมาณ 5 ml จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง นำตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้ไปสกัดต่อด้วยคลอโรฟอร์มปริมาณ 3 ml ต้มให้คลอโรฟอร์มเดือดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสเก็บไว้ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 ml จากนั้นนำตะกอนจุลินทรีย์ไปสกัดต่อด้วยคลอโรฟอร์มเดือดอีก 2 รอบ เก็บส่วนใสของคลอโรฟอร์มรวมกัน จากนั้นปรับปริมาตรด้วยคลอโรฟอร์มให้ได้ 10 ml ถ้าตัวอย่างไม่ใสให้นำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง What man No.1 (ขณะที่กรองคลอโรฟอร์มต้องร้อน) ถ่ายตัวอย่างใส่หลอดแก้ว แล้วนำไประเหยจนแห้ง ใส่ลูกแก้ว (Glass marble) ลงไปในหลอด จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% ปริมาณ 10 ml ลงในหลอดแก้ว ปิดผาแล้วนำไปต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (จุ่มทั้งหลอด) เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ตัวอย่างให้เย็น และกวนผสมให้เข้าด้วยกัน จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดที่เครื่องดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น A235 (Gerhardt, 1994)

4. สารละลายสแตนดาร์ดพีเอชบี

ตัวสแตนดาร์ดของพีเอชบีจะใช้สารละลาย 3-hydroxybutyric acid เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่าง โดยนำ 3-hydroxybutyric acid มาเจือจาง (Dilute) ด้วยเอทานอลให้ได้ความเข้มข้นที่เราต้องการ สแตนดาร์ดที่ทำควรมี 5 -10 จุด เช่นทำตัวอย่างที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ไมโครg จากนั้นนำสแตนดาร์ดของแต่ละความเข้มข้นไประเหยจนแห้ง ใส่ลูกแก้ว (Glass marble) ลงไปในหลอด จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% ปริมาณ 10 ml ลงในหลอดแก้ว ปิดผาแล้วนำไปต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (จุ่มทั้งหลอด) เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ตัวอย่างให้เย็น และกวนผสมให้เข้าด้วยกัน จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดที่เครื่องดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น A235 (Gerhardt, 1994)

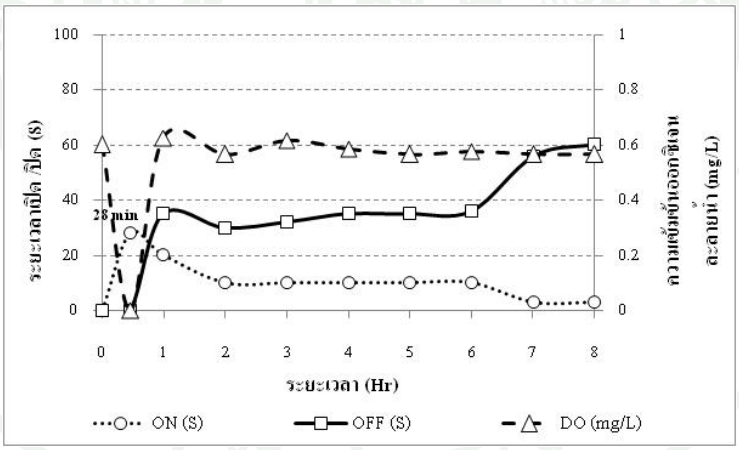
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

การศึกษาก่อนการเริ่มวิจัยการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ (SND) ได้ดำเนินการทดลองการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศแบบเปิด-ปิด โดยใช้เครื่อง DO Meter วัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละช่วงเวลา ทำการทดลองเริ่มต้นชั่วโมงที่ 0 ถึงชั่วโมงที่ 8 และบันทึกระยะเวลาการเติมอากาศและหยุดเติมอากาศ โดยพยามควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ในช่วง 0.5 – 1 mg/L ทำซ้ำกันจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมในการเปิด-ปิดการเติมอากาศ การเดินระบบทำแบบเอสบีอาร์ในถังปฏิกรณ์ขนาด 3 L ที่มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ประมาณ 3000 mg-VSS/L และทำการกวนผสมอยู่ตลอดเวลา โดยใช้อะซิเตทความเข้มข้นเท่ากับ 300 mg/L หรือ 300 mgCOD/L โดยประมาณ เป็นแหล่งคาร์บอนในการศึกษาครั้งนี้

1. ระยะการเติมอากาศแบบเปิด-ปิด



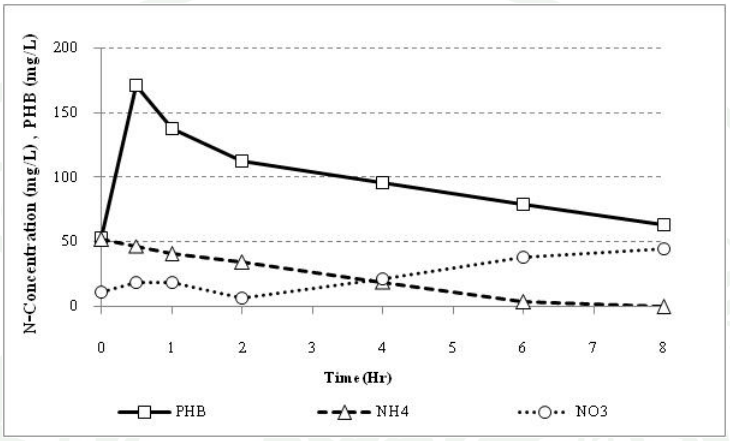
ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเติมอากาศแบบเปิด-ปิด และค่าออกซิเจนละลายน้ำ

จากภาพที่ 10 สามารถสรุปผลการทดลองค่าการเติมอากาศแบบเปิด-ปิดได้เป็น 4 ช่วงเวลา ในช่วงแรกที่เวลา 0 – 28 นาทีจะทำการเติมอากาศแบบเต็มที่ หลังจากนั้นในนาทีที่ 28 – 60 ทำการเติมอากาศเป็นเวลา 20 วินาที และหยุดการเติมอากาศ 30 วินาที ต่อมาในชั่วโมงที่ 1 – 6 ทำการเติมอากาศเป็นเวลา 10 วินาที และหยุดการเติมอากาศ 35 วินาที และช่วงสุดท้าย ในชั่วโมงที่ 6 – 8 ทำการเติม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อากาศเป็นเวลา 3 วินาที และหยุดการเติมอากาศ 1 นาที และจากผลการทดลองค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 0.45 – 0.65 mg/L

2. ผลทดลองการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ โดยทำการเติมอากาศแบบเปิด-ปิด ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L

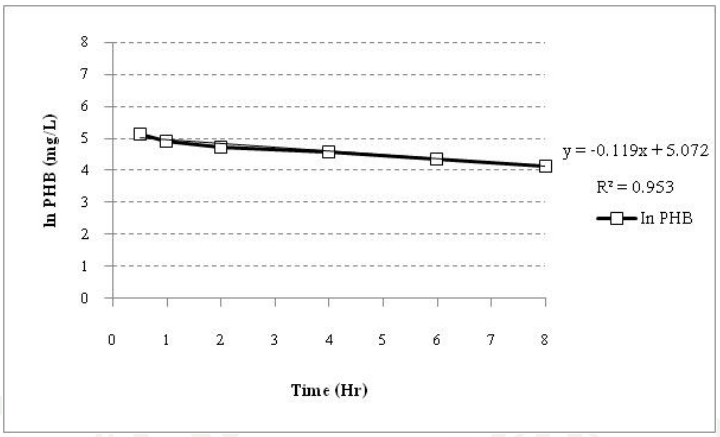


ภาพที่ 11 การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศแบบเปิด-ปิด ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L

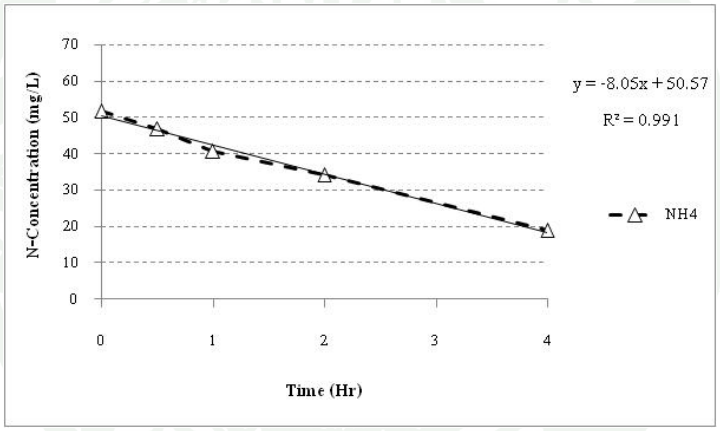
ผลการทดลอง (ภาพที่ 11) พบว่าอะซิเตทที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนปริมาณ 300 mg/L สามารถสะสมพีเอชบีได้มากสุดในช่วง 30 นาทีแรกโดยมีค่าการสะสมพีเอชบีอยู่ 170.67 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 พีเอชบีที่สะสมถูกใช้ไปลดลงเหลือ 63.33 mg/L และจากภาพที่ 12 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของการย่อยสลายพีเอชบีมีค่าเท่ากับ 0.119 hr^{-1} ซึ่งคิดเป็นอัตราการย่อยสลายของพีเอชบีเท่ากับ 12.77 mgPHB/L.hr หรือเท่ากับ 4.27 mgPHB/gVSS.hr

ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดที่ค่าเริ่มต้นมีความเข้มข้นเท่ากับ 62.56 mg/L โดยแบ่งเป็นแอมโมเนียม-ไนโตรเจนเท่ากับ 51.8 mg/L และไนเตรต-ไนโตรเจนเท่ากับ 10.76 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 ไนโตรเจนทั้งหมดเหลือมีความเข้มข้นเท่ากับ 44.69 mg/L (คิดเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน 44.69 mg/L) จากภาพที่ 13 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของการกำจัดแอมโมเนียมนั้นมีค่าเท่ากับ 8.05 mgN/L.hr ซึ่งคิดเป็นอัตราการกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 2.69 mgN/gVSS.hr

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีโดยเติมอากาศแบบเปิด-ปิด ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2992 mg/L)

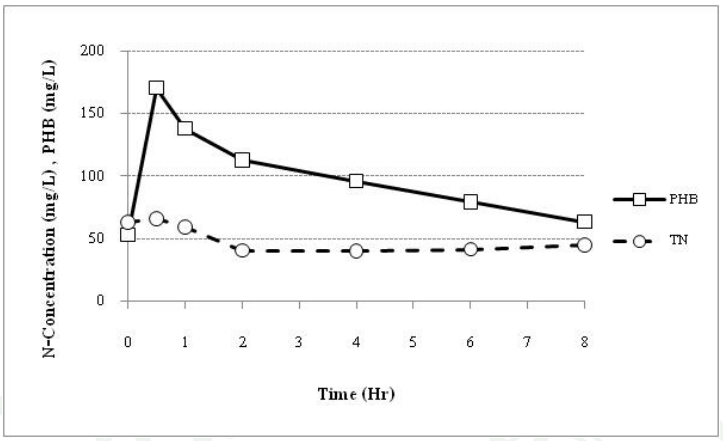


ภาพที่ 13 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมโดยเติมอากาศแบบเปิด-ปิด (MLVSS = 2992 mg/L)

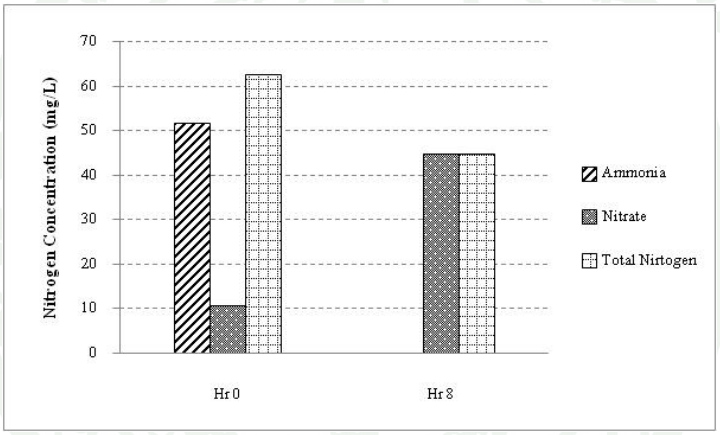
จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ โดยทำการควบคุมการเติมอากาศแบบเปิด-ปิด ความเข้มข้นของอะซิเตท 300 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 28.56 (ภาพที่ 14-15)

จากการศึกษาข้างต้นจึงคิดว่าหากทำการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้ได้ตามที่เราต้องการคือ ประมาณ 0.5 mg/L จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้มากขึ้นหรือไม่ จึงนำมาสู่การศึกษาดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 14 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนแบบเติมอากาศเปิด-ปิด



ภาพที่ 15 สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (เติมอากาศแบบเปิด-ปิด)

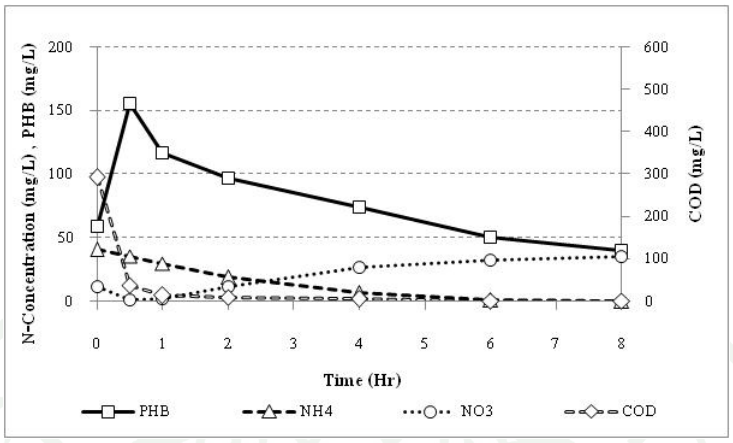
วิจารณ์

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ (SND) โดยแบ่งสภาวะการศึกษาการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศออกเป็น 2 แบบ คือมีการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 mg/L และทำการเติมอากาศแบบเต็มที่ และในการศึกษาดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศยังแบ่งค่าความเข้มข้นของอะซิเตทออกเป็น 2 ความเข้มข้น โดยทำการทดลองความเข้มข้น 300 และ 500 mg/L รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนกับการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ และเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียที่เกิดขึ้นของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทั้ง 2 แบบ

1. การทดลองการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1 ค่าความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 mg/L

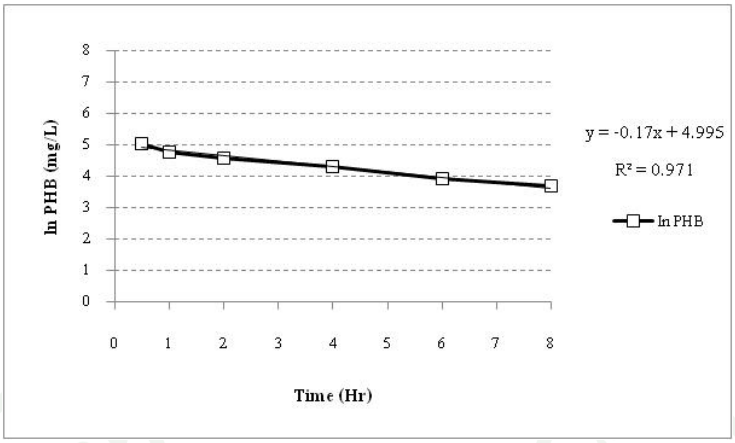


ภาพที่ 16 การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L

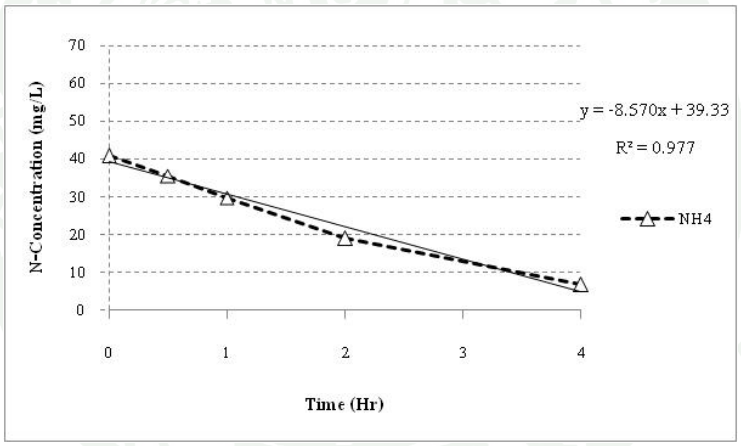
จากผลการทดลอง (ภาพที่ 16) พบว่าอะซิเตทที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนปริมาณ 300 mg/L ให้ค่าซีโอดีวัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 292.67 mg/L ซึ่งสามารถสะสมพีเอชบีได้มากสุดในช่วง 30 นาทีแรกโดยมีค่าการสะสมพีเอชบีเฉลี่ยอยู่ที่ 156 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 พีเอชบีที่สะสมถูกใช้ไปลดลงเหลือ 40.44 mg/L และจากภาพที่ 17 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของการย่อยสลายพีเอชบีมีค่าเท่ากับ 0.17 hr^{-1} ซึ่งคิดเป็นอัตราการย่อยสลายของพีเอชบีเท่ากับ 19.64 mgPHB/L.hr หรือเท่ากับ 6.74 mgPHB/gVSS.hr

ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มต้นมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 52.46 mg/L โดยแบ่งเป็นแอมโมเนียม-ไนโตรเจนเท่ากับ 41.06 mg/L และไนเตรต-ไนโตรเจนเท่ากับ 11.4 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 ไนโตรเจนทั้งหมดที่เหลือมีความเข้มข้นเท่ากับ 35.81 mg/L (คิดเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน 35.81 mg/L) จากภาพที่ 18 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของการกำจัดแอมโมเนียมนั้นมีค่าเท่ากับ 8.57 mgN/L.hr ซึ่งคิดเป็นอัตราการกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 2.94 mgN/gVSS.hr

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



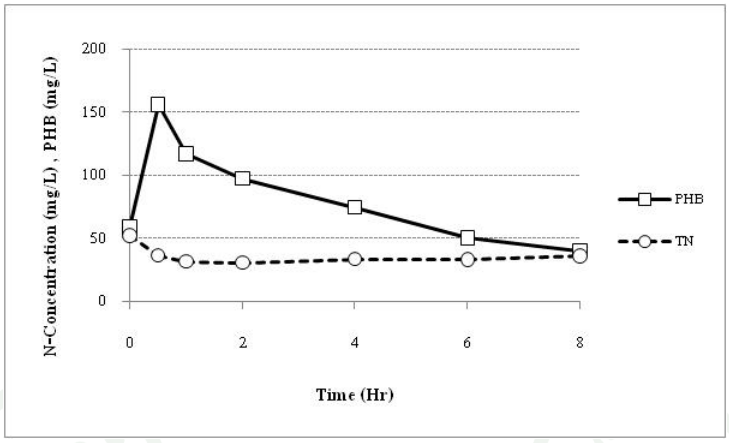
ภาพที่ 17 อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2916 mg/L)



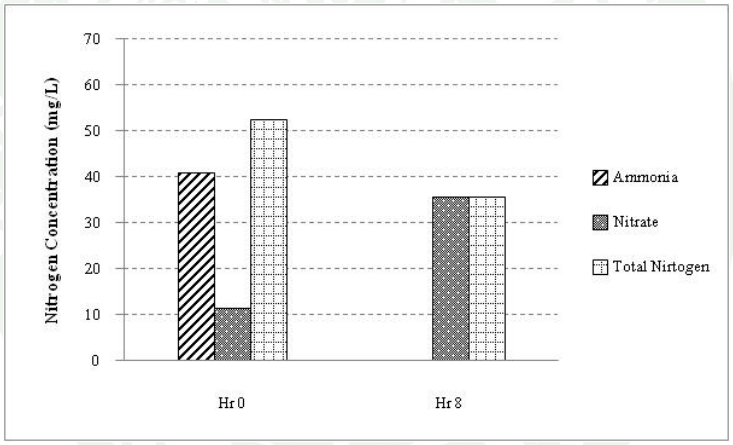
ภาพที่ 18 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L (MLVSS = 2916 mg/L)

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นของอะซิเตท 300 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 31.73 (ภาพที่ 19-20)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนคุมค่าออกซิเจน 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L

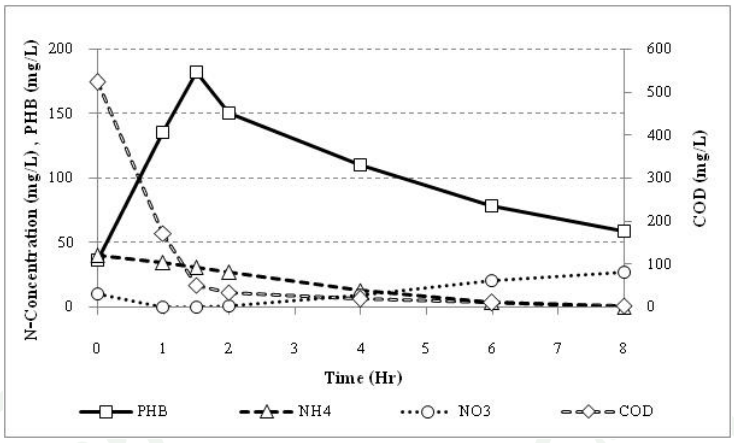


ภาพที่ 20 สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (คุมค่าออกซิเจน 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L)

1.2 ค่าความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 500 mg/L

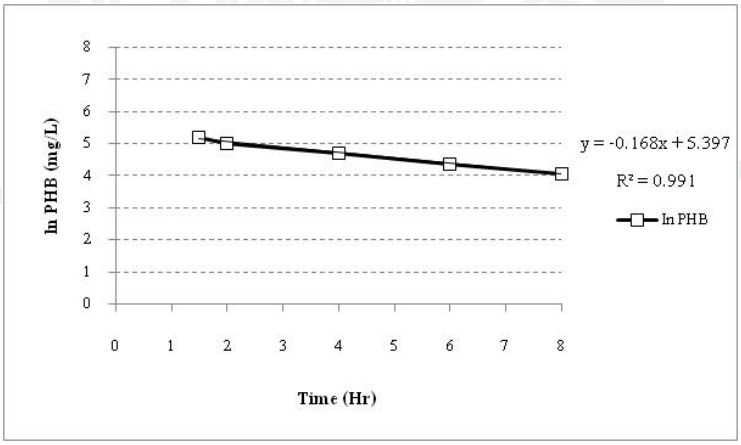
ผลการทดลอง (ภาพที่ 21) พบว่าอะซิเตทที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนปริมาณ 500 mg/L ให้ค่าซีโอดีวัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 523.95 mg/L ซึ่งสามารถสะสมพีเอชบีได้มากสุดในช่วง 90 นาทีแรกโดยมีค่าการสะสมพีเอชบีเฉลี่ยอยู่ที่ 182.22 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 พีเอชบีที่สะสมถูกใช้ไปลดลงเหลือ 58.67 mg/L และจากภาพที่ 22 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของการย่อยสลายพีเอชบีมีค่าเท่ากับ 0.168 hr^{-1} ซึ่งคิดเป็นอัตราการย่อยสลายของพีเอชบีเท่ากับ 20.76 mgPHB/L.hr หรือเท่ากับ 7.3 mgPHB/gVSS.hr

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



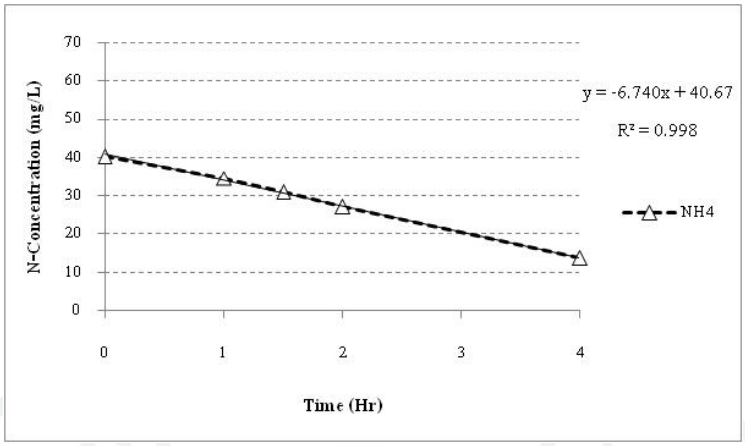
ภาพที่ 21 การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L

ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดที่ค่าเริ่มต้นมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 50.87 mg/L โดยแบ่งเป็นแอมโมเนียม-ไนโตรเจนเท่ากับ 40.13 mg/L และไนเตรต-ไนโตรเจนเท่ากับ 10.74 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 ไนโตรเจนทั้งหมดที่เหลือมีความเข้มข้นเท่ากับ 26.99 mg/L (คิดเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน 26.99 mg/L) จากภาพที่ 23 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของการกำจัดแอมโมเนียมนั้นมีค่าเท่ากับ 6.74 mgN/L.hr ซึ่งคิดเป็นอัตราการกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 2.37 mgN/gVSS.hr



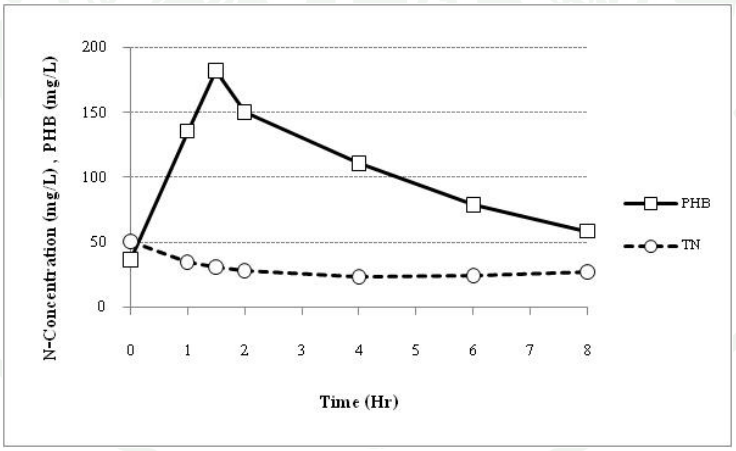
ภาพที่ 22 อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L (MLVSS = 2844 mg/L)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



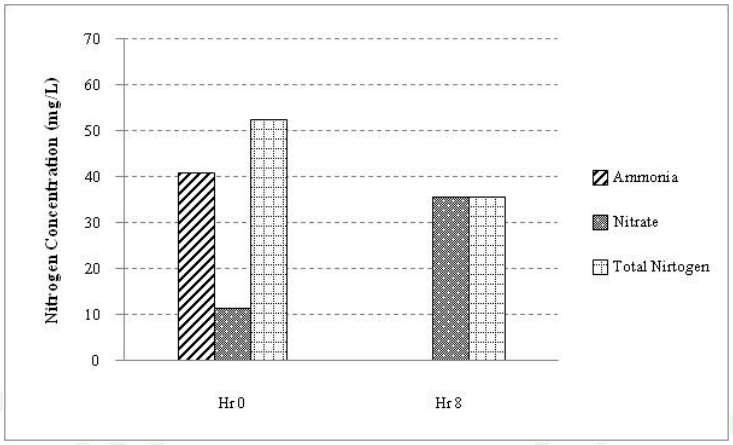
ภาพที่ 23 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L (MLVSS = 2844 mg/L)

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นของอะซิเตท 500 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 46.9 (ภาพที่ 24-25)



ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนคุมค่าออกซิเจน 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L

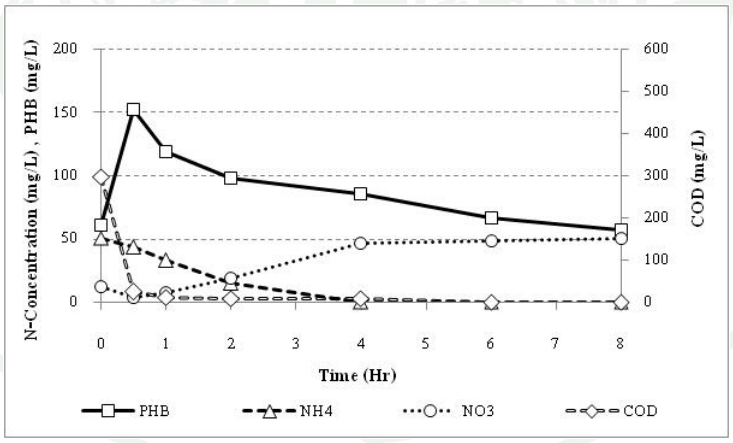
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 25 สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (คุมค่าออกซิเจน 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L)

2. การทดลองการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยทำการเติมอากาศแบบเต็มที่

2.1 ค่าความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 mg/L

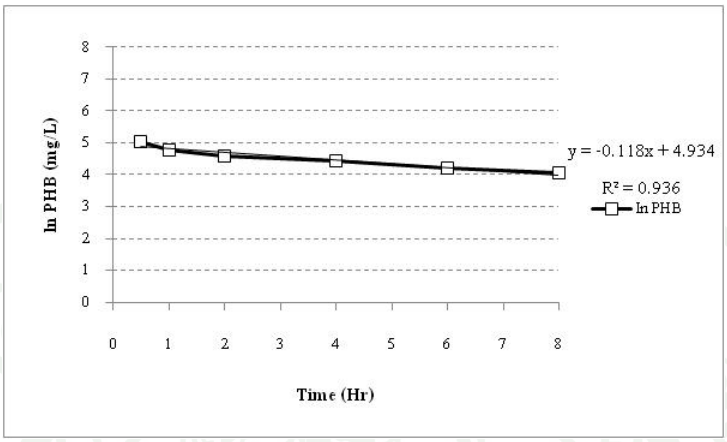


ภาพที่ 26 การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 26) พบว่าอะซิเตทที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนปริมาณ 300 mg/L ให้ค่าซีโอดีวัดได้เท่ากับ 297.92 mg/L ซึ่งสามารถสะสมพีเอชบีได้มากสุดในช่วง 30 นาทีแรกโดยมีค่าการสะสมพีเอชบีอยู่ที่ 152 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 พีเอชบีที่สะสมถูกใช้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไปลดลงเหลือ 57.3 mg/L และจากภาพที่ 27 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของการย่อยสลายพีเอชบีมีค่าเท่ากับ 0.118 hr^{-1} ซึ่งคิดเป็นอัตราการย่อยสลายของพีเอชบีเท่ากับ 11.17 mgPHB/L.hr หรือเท่ากับ 3.87 mgPHB/gVSS.hr

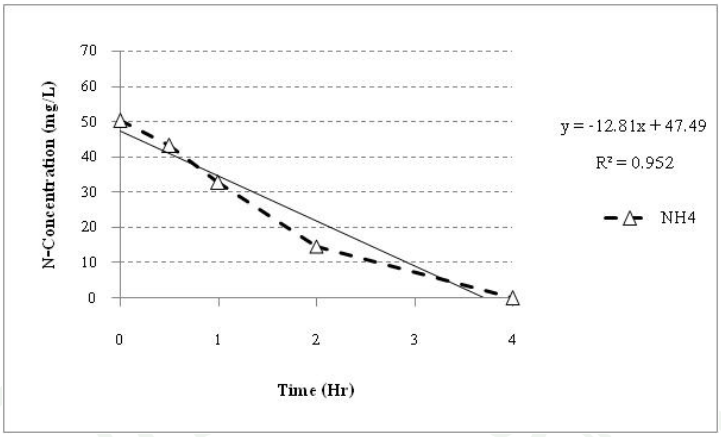


ภาพที่ 27 อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2885.2 mg/L)

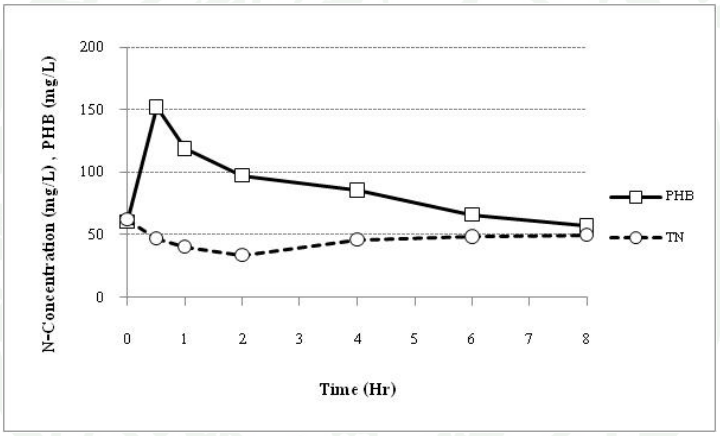
ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดที่ค่าเริ่มต้นมีความเข้มข้นเท่ากับ 62.21 mg/L โดยแบ่งเป็นแอมโมเนียม-ไนโตรเจนเท่ากับ 50.4 mg/L และไนเตรต-ไนโตรเจนเท่ากับ 11.81 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 ไนโตรเจนทั้งหมดที่เหลือมีความเข้มข้นเท่ากับ 49.93 mg/L (คิดเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน 49.93 mg/L) จากภาพที่ 28 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของการกำจัดแอมโมเนียมนั้นมีค่าเท่ากับ 12.81 mgN/L.hr ซึ่งคิดเป็นอัตราการกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 4.44 mgN/gVSS.hr

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยทำการเติมอากาศแบบเต็มที่ ความเข้มข้นของอะซิเตท 300 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 19.73 (ภาพที่ 29-30)

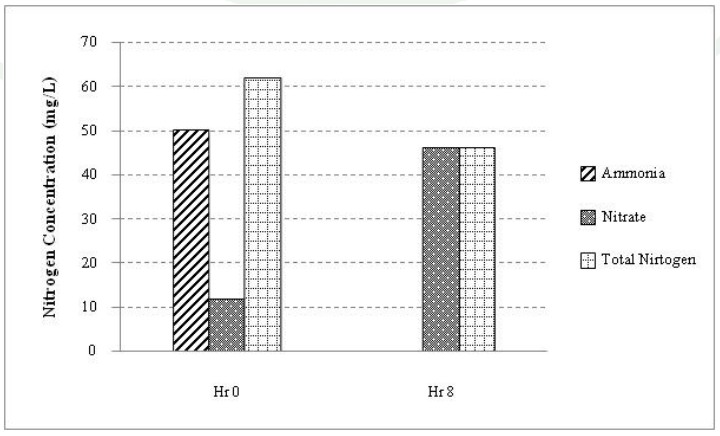
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 28 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมแบบเติมอากาศเต็มที่ (MLVSS = 2885.2 mg/L)



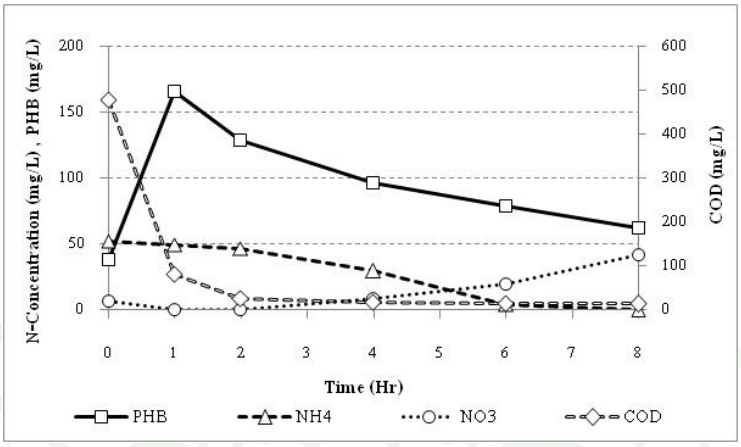
ภาพที่ 29 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L



ภาพที่ 30 สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (เติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ค่าความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 500 mg/L



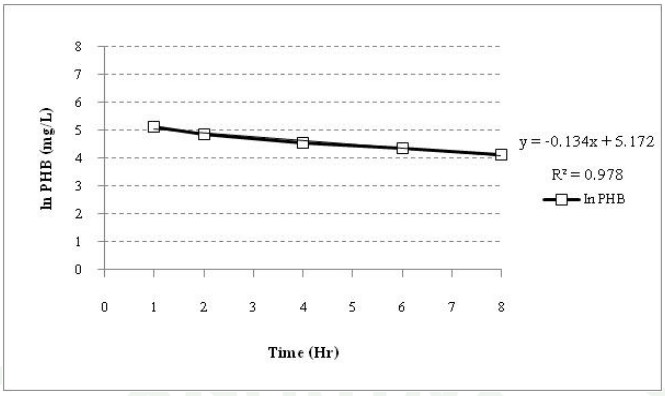
ภาพที่ 31 การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 31) พบว่าอะซิเตทที่ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนปริมาณ 500 mg/L ให้ค่าซีโอดีวัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 479.58 mg/L ซึ่งสามารถสะสมพีเอชบีได้มากสุดในช่วง 60 นาทีแรกโดยมีค่าการสะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 166.26 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 พีเอชบีที่สะสมถูกใช้ไปลดลงเหลือ 62.11mg/L และจากภาพที่ 32 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับหนึ่งของการย่อยสลายพีเอชบีมีค่าเท่ากับ 0.134 hr^{-1} ซึ่งคิดเป็นอัตราการย่อยสลายของพีเอชบีเท่ากับ 13.96 mgPHB/L.hr หรือเท่ากับ 5.61 mgPHB/gVSS.hr

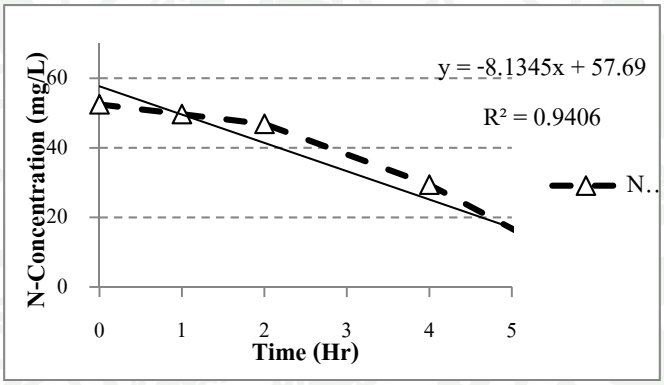
ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดที่ค่าเริ่มต้นมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 59.44 mg/L โดยแบ่งเป็นแอมโมเนียม-ไนโตรเจนเท่ากับ 52.5 mg/L และไนเตรต-ไนโตรเจนเท่ากับ 6.94 mg/L เมื่อระยะเวลาในการทดลองผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 8 ไนโตรเจนทั้งหมดที่เหลือมีความเข้มข้นเท่ากับ 42.32 mg/L (คิดเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน 42.32 mg/L) จากภาพที่ 33 พบว่าค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของการกำจัดแอมโมเนียมนั้นมีค่าเท่ากับ 8.13 mgN/L.hr ซึ่งคิดเป็นอัตราการกำจัดแอมโมเนียมเท่ากับ 3.27 mgN/gVSS.hr

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยทำการเติมอากาศแบบเต็มที่ ความเข้มข้นของอะซิเตท 500 mg/L มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 28.81 (ภาพที่ 34-35)

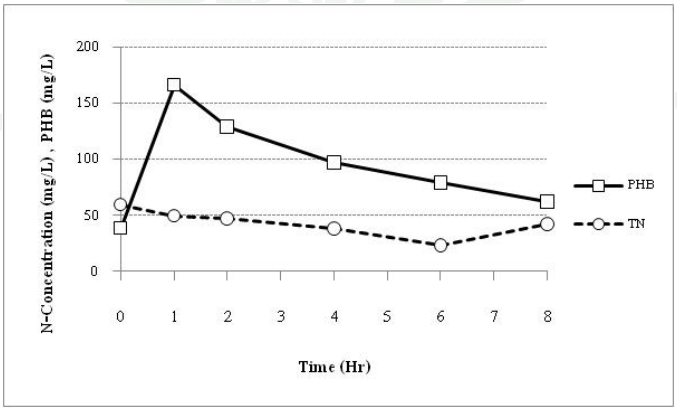
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 32 อัตราการย่อยสลายของพีเอชบีแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2486.7 mg/L)

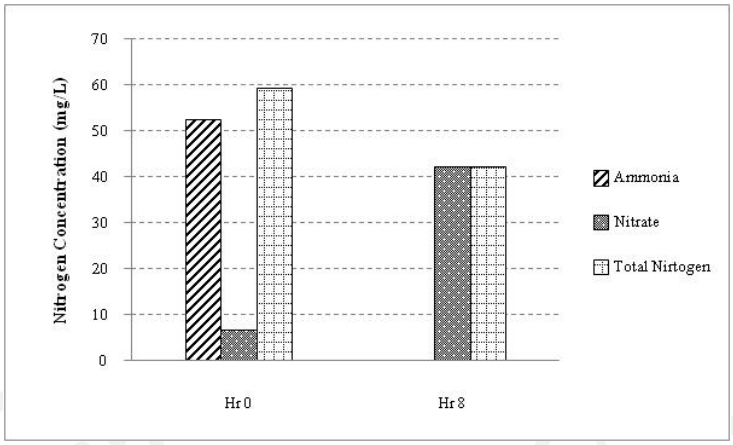


ภาพที่ 33 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมแบบเติมอากาศเต็มที่ (MLVSS = 2486.7 mg/L)



ภาพที่ 34 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 35 สัดส่วนไนโตรเจนทั้งหมด (เติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L)

ตารางที่ 8 สรุปผลการทดลองการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ

	On-Off	DO 0.5		DO Full	
	Ac 300 (mg/L)	Ac 300 (mg/L)	Ac 500 (mg/L)	Ac 300 (mg/L)	Ac 500 (mg/L)
R_{PHB} (mgPHB/gVSS.hr)	4.27	6.74	7.3	3.87	5.61
R_{NH4} (mgN/gVSS.hr)	2.69	2.93	2.37	4.44	3.27
%N-removal	28.56	31.73	46.9	19.73	28.81

R_{PHB} = อัตราการย่อยสลายของพีเอชบี (mgPHB/gVSS.hr)
R_{NH4} = อัตราการกำจัดแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (mgN/gVSS.hr)
%N-removal = ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด

จากการทดลองข้างต้นจึงสามารถบอกได้ว่าหากควบคุมค่าอกซิเจนละลายน้ำให้คงที่แล้ว (0.5 mg/L) จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่าควบคุมการเติมอากาศแบบเปิด-ปิด (0.1-1 mg/L) 3.17% ที่ความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 mg/L

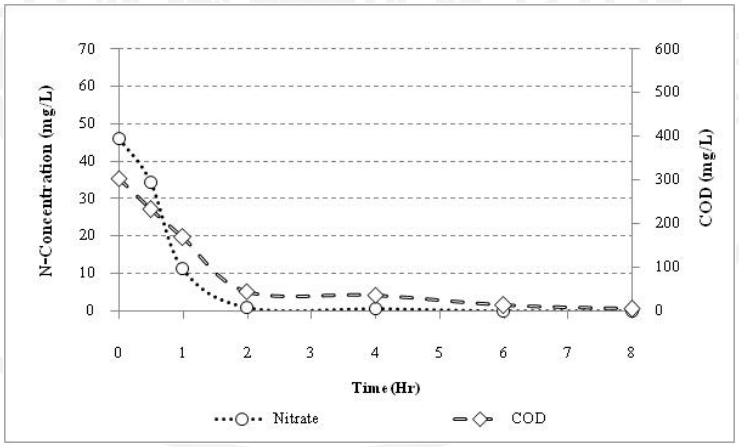
การทดลองการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ ทั้ง 2 สภาวะคือ การควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L และการเติมอากาศแบบเต็มที่ ค่าความเข้มข้นของอะซิเตทเท่ากับ 300 และ 500 mg/L แสดงให้เห็นว่าการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้ได้ 0.5 mg/L สามารถกำจัดไนโตรเจนได้มีประสิทธิภาพดีกว่าการเติมอากาศแบบเต็มที่ ถึงร้อยละ 31.73 กับ 46.9 และร้อยละ 19.73 กับ 28.81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ (SND) นั้นค่าออกซิเจนละลายน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญมากปัจจัยหนึ่งในการควบคุมสภาวะต่างๆของจุลินทรีย์ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อกระบวนการ หากจุลินทรีย์ในระบบได้รับออกซิเจนละลายน้ำที่มีค่ามากเกินไป การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ (SND) จึงเกิดขึ้นได้ยาก และมีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Third *et al*, (2003) ศึกษาผลกระทบของค่าออกซิเจนละลายน้ำซึ่งมีผลต่อการกำจัดไนโตรเจน โดยทำการทดลองค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ 5, 1.5, 1. และ0.5 ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนร้อยละ 44, 63, 69 และ 93 ตามลำดับ

นอกจากนี้ปริมาณอะซิเตทที่เติมในระบบก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสะสมพีเอชบี และประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนอีกด้วย จากผลการทดลองเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอะซิเตทในระบบจาก 300 mg/L เป็น 500 mg/L ตะกอนจุลินทรีย์สามารถสะสมพีเอชบีเพิ่มขึ้นจากเดิม 97.33 mg/L เป็น 145.33 mg/L และมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนมากขึ้นกว่าเดิม 15%

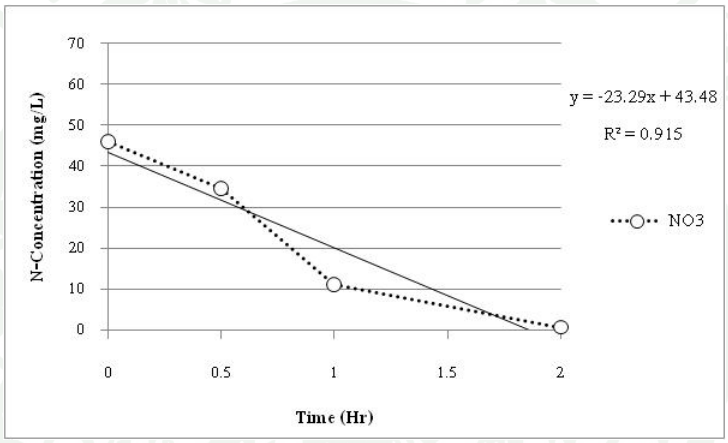
3. การทดลองการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ ความเข้มข้นของอะซิเตทในระบบเท่ากับ 300 mg/L



ภาพที่ 36 การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ ความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 mg/L (MLVSS = 880 mg/L)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 36) พบว่าการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศเป็นกระบวนการกำจัดไนโตรเจนที่มีประสิทธิภาพตามทฤษฎี ซึ่งได้กำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการดีไนติฟิเคชันควรอยู่ในช่วง 6 - 8 เท่า ของซีโอดีต่อไนเตรต (พงศ์ศักดิ์, 2554) และผลในการทดลองจากกราฟข้างต้นวัดปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนที่ค่าเริ่มต้นได้เท่ากับ 46 mg/L และมีค่าซีโอดีในระบบเริ่มต้นเท่ากับ 304 mg/L ซึ่งคิดเป็นประมาณ 6 เท่าของซีโอดีต่อไนเตรต เมื่อระยะเวลาผ่านไปเพียง 4 ชั่วโมง ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนทั้งหมดก็ถูกกำจัดไป คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 100 โดยมีค่าความชันของการเกิดปฏิกิริยาอันดับศูนย์ของการกำจัดไนเตรท-ไนโตรเจนเท่ากับ 23.29 mgN/L.hr ซึ่งคิดเป็นอัตราการกำจัดไนเตรทเท่ากับ 26.47 mgN/gVSS.hr (ภาพที่ 37)



ภาพที่ 37 อัตราการกำจัดไนเตรท (MLVSS = 880 mg/L)

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการทั้ง 2 แบบ คือ การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ และดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศนั้น สามารถสรุปได้ว่าการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศตามทฤษฎีนั้นสามารถกำจัดไนโตรเจนได้มีประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศถึงร้อยละ 68.27 และในส่วนของข้อดี-ข้อเสียของกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศนั้น กระบวนการนี้อาจมีประสิทธิการกำจัดไนโตรเจนไม่สูงเท่ากับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอะซิเตทที่ใส่เข้าไปในระบบ หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศให้มากขึ้นนั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มปริมาณอะซิเตทเข้าไปในระบบ เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์สามารถสะสมพีเอชบีซึ่งใช้เป็นแหล่งคาร์บอนจากภายในที่จุลินทรีย์สามารถสะสมได้จากปริมาณอะซิเตทที่เติมเข้าไปในระบบ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งสามารถ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำจัดได้ทั้งแอมโมเนียม และไนเตรทได้บางส่วนภายในถังเดียว อีกทั้งยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศได้อีกด้วย เนื่องจากการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพต้องทำการเดินระบบที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำๆ จึงช่วยประหยัดพลังงานในการเติมอากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ (SND) โดยแบ่งสภาวะการศึกษาการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศออกเป็น 2 แบบ คือมีการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 mg/L และทำการเติมอากาศแบบเต็มที่ และในการศึกษาดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศยังแบ่งค่าความเข้มข้นของอะซิเตทออกเป็น 2 ความเข้มข้น โดยทำการทดลองความเข้มข้น 300 และ 500 mg/L รวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนกับการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบไม่มีอากาศ สามารถสรุปได้ดังนี้

จากผลการทดลองการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศแบบแรก คือ ทำการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 และ 500 mg/L ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 31.73 และ 46.9 ส่วนแบบสองเป็นการเติมอากาศแบบเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 และ 500 mg/L ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนเฉลี่ยร้อยละ 19.73 และ 28.81 ในการทดลองการเกิดดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศจากผลการทดลองนั้นประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนในกระบวนการนี้มีค่าเท่ากับร้อยละ 100

โดยสรุปแล้วเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของกระบวนการทั้ง 2 แบบ คือ การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ และดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศนั้น พบว่าการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศตามทฤษฎีนั้นสามารถกำจัดไนโตรเจนได้มีประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศถึงร้อยละ 68.27 (ความเข้มข้นอะซิเตทเท่ากับ 300 mg/L) การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศนั้น อาจมีประสิทธิการกำจัดไนโตรเจนไม่สูงเท่ากับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ ทั้งนี้หากต้องการเพิ่มประสิทธิในการกำจัดไนโตรเจนสามารถทำได้โดยเพิ่มปริมาณอะซิเตทเข้าไปในระบบ จากผลการทดลองยังสรุปได้ว่าการกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศ สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งสามารถกำจัดได้ทั้งแอมโมเนียม และไนเตรทได้บางส่วนภายในถังเดียว อีกทั้งยังสามารถประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศได้อีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาในเรื่องของก๊าซซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ตัวสุดท้ายจากระบบว่าเป็นก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนหรือไม่ มากเพียงใด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2545. **การกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.** พิมพ์ครั้งที่ 2 สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์. 2554. **ระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กและบำบัดแบบติดกับที่.** ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง. 2556. **โครงการงานเดินระบบ บำรุงรักษา และบริหารจัดการโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง.** โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง, กรุงเทพฯ.

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล. 2547. **เทคโนโลยีชีวภาพ การหมัก และสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่1 ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรรนพ ฤทธิปัญญาวงศ์. 2543. **ผลของสารอินทรีย์คาร์บอนภายนอกต่างๆ กันต่อการสังเคราะห์พีเอชเอในเซลล์จุลินทรีย์จากระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Beun, J.J., JJ. Heijnen and MCM. Van Loosdrecht. 2001. N-removal in granular sludge sequencing batch airlift reactor. **Biotechnol Bioeng.** 75: 82-92.

Bitton, G. 1994. **Wastewater Microbiology.** Wiley-Liss, New York..

Coehlo, M.A.Z., C. Russo and O.Q.F. Araujo. 2000. Optimalization of a sequencing batch reactor for biological nitrogen removal. **Water Res.** 34 (16): 2809-2817.

Gayle, B.P., G.D. Boardman., J.H. Sherrard and R.E. Benoit. 1989. Biological Denitrification of Water. **J. Environ. Eng.** 155: 930.

Gerhardt, P., W.A. Murray., R.G.E. Wood and N.R. Krieg. 1994. **Methods for general and molecular bacteriology**. Am Soc Microbiol, Washington.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Henze, M., P. Harremoes.,J. Jansen and E. Arvin. 2002. **Wastewater Treatment – Biological and Chemical Processes.** Springer, 3rd edition, Berlin.

Huang, H.K. and S.K. Tseng. 2001. Nitrate reduction by *Citrobacter diversus* under aerobic environment. **Microbiol Biotechnol.** 55: 90-94.

Jo, S.J., M. Maeda., T. Ooi and S. Taguchi. 2006. Production system for biodegradable polyester polyhydroxybutyrate by Corynebacterium glutamicum. **Biodegradable and Bioengineering.** 102: 233-236.

Katarzyna, B and W. Irena. 2007. Carbon source in aerobic denitrification. **Biochemical Engineering.** 36: 116-122.

Katarzyna, B and W. Irena. 2007. Carbon source in aerobic denitrification. **Biochemical Engineering.** 36 : 116 - 122. *Cited* Pochana K. and J. Keller. 1999. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND). **Water Sci. Technol.** 39 (6): 61-68.

Saroj, S. 2547. **Biotechnology Fermentation and Environment**. First edition. Faculty of Agricultural Industry. Kasetsart University, Bangkok. *Cited* D. Byrom. 1987. Polymer synthesis by microorganism: Technology and economic. **Biotechnol.** 5: 246- 250.

Saroj, S. 2547. **Biotechnology Fermentation and Environment**. First edition. Faculty of Agricultural Industry. Kasetsart University, Bangkok. *Cited* R.M. Lafferty, B. Korsatko and W. Korsatko. 1988. Microbial production of poly-β -hydroxybutric acid. **Biotechnol.** 6: 135-176.

Schut, J.H. 2008. **Plastics technology.** Available Source: http://www.ptonline.com/articles/what's-ahead-for-'green'-plastics-look-for-more-supply-more-varieties-better-properties, November 4, 2013.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Third, K.A., B. Gibbs. M. Newland and R. Cord-Ruwisch. 2005. Long-term aeration management for improved N-removal via SND in a sequencing batch reactor. **Water Research**. 39: 3523-3530.

Third, K.A., B. Gibbs. M. Newland and R. Cord-Ruwisch. 2005. Long-term aeration management for improved N-removal via SND in a sequencing batch reactor. **Water Research**. 39: 3523 - 3530. *Cited* Pochana K. and J. Keller. 1999. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND). **Water Sci. Technol.** 39 (6): 61-68.

Third, K.A., B. Natalie and R. Cord-Ruwisch. 2003. Simultaneous Nitrification and Denitrification Using Stored Substrate (PHB) as the Electron Donor in an SBR. **Biotech. Bioeng.** 83 (6): 706-720. *Cited* C. Collivignarelli and B. Bertanza, 1999. Simultaneous nitrificationdenitrification processes in activated sludge plants: performance and applicability. Water Sci Technol. 40:187-194.

Third, K.A., B. Natalie and R. Cord-Ruwisch. 2003. Simultaneous Nitrification and Denitrification Using Stored Substrate (PHB) as the Electron Donor in an SBR. **Biotech Bioeng.** 83(6): 706-720. *Cited* J.J. Beun, JJ. Heijnen and MCM. Van Loosdrecht. 2001. N-removal in granular sludge sequencing batch airlift reactor. **Biotechnol Bioeng.** 75: 82-92.

Third, K.A., B. Natalie and R. Cord-Ruwisch. 2003. Simultaneous Nitrification and Denitrification Using Stored Substrate (PHB) as the Electron Donor in an SBR. **Biotech Bioeng.** 83 (6): 706-720.

Visvanathan, C., N.Q. Hung and V. Jegatheesan. 2008. Hydrogenotrophic denitrification of synthetic aquaculture wastewater using membrane bioreactor. **Process Biochemistry.** 43 : 673-682.

Water Environment Federation. 1998. **Biological and Chemical System for Nutrient Removal.** A special publication under Techical Practice Committee, Alexandria, Va., USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wikipedia. 2013. **Poly-ß-hydroxybutyrate.** Available Source : http://en.wikipedia.org/wiki/Polyhydroxybutyrate, November 10, 2013.

U.S. Environmental Protection Agency. 1987a. **Ambient Water Quality Criteria for Ammonia**. USEPA-440/5-85-001, Washington, D.C.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเติมอากาศแบบเปิด-ปิด และค่าออกซิเจนละลายน้ำ

	Time (hr)									
	0	0.47	1	2	3	4	5	6	7	8
ON (S)	0	28	20	10	10	10	10	10	3	3
OFF (S)	0	0	35	30	32	35	35	36	56	60
DO (mg/L)	0.6	0	0.62	0.56	0.61	0.58	0.56	0.57	0.56	0.56

ตารางผนวกที่ ก2 ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศแบบเปิด-ปิด ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2992)

Hr	PHB mg/L	NH4 mg/NL	NO3 mgN/L	TN mgN/L	E
0	52.67	51.8	10.76	62.56	28.56%
0.5	170.67	46.9	18.93	65.83	
1	138	40.6	18.14	58.74	
2	112.67	34.3	6.11	40.41	
4	96	18.9	21.01	39.91	
6	79.33	3.5	37.71	41.21	
8	63.33	0	44.69	44.69	

ตารางผนวกที่ ก3 ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L (MLVSS = 2916)

HR	COD mg/L	PHB mg/L	NH4 mg/NL	NO3 mgN/L	TN mgN/L	E
0	292.67	58.67	41.06	11.40	52.46	31.73%
0.5	37.69	156.00	35.62	1.06	36.69	
1	14.175	116.89	29.87	2.00	31.87	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

HR	COD mg/L	PHB mg/L	NH4 mg/NL	NO3 mgN/L	TN mgN/L	E
2	8.945	97.33	19.05	11.78	30.83	
4	5.34	74.67	6.77	27.07	33.83	
6	1.265	50.22	0.93	32.25	33.18	
8	1.265	40.44	0.00	35.81	35.81	

ตารางผนวกที่ ก4 ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศโดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L (MLVSS = 2844)

HR	COD mg/L	PHB mg/L	NH4 mg/NL	NO3 mgN/L	TN mgN/L	E
0	523.95	36.89	40.13	10.74	50.87	
1	172.43	135.56	34.53	0.00	34.53	
1.5	51.12	182.22	30.80	0.00	30.80	
2	34.67	150.22	27.07	1.26	28.33	46.90%
4	18.93	110.67	13.53	9.90	23.43	
6	11.21	79.11	3.73	21.00	24.74	
8	3.44	58.67	0.00	26.99	26.99	

ตารางผนวกที่ ก5 ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 300 mg/L

HR	COD mg/L	PHB mg/L	NH4 mg/NL	NO3 mgN/L	TN mgN/L	E
0	297.92	60.33	50.40	11.81	62.21	
0.5	23.52	152.00	43.40	3.73	47.13	19.73
1	11.76	118.67	32.90	7.50	40.40	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

HR	COD mg/L	PHB mg/L	NH4 mg/NL	NO3 mgN/L	TN mgN/L	E
2	7.84	97.67	14.70	19.11	33.81	19.73
4	7.84	85.33	0.00	46.24	46.24	
6	0.00	66.00	0.00	48.70	48.70	
8	0.00	57.30	0.00	49.93	49.93	

ตารางผนวกที่ ก6 ค่าเฉลี่ยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบเติมอากาศเต็มที่ ความเข้มข้นอะซิเตท 500 mg/L (MLVSS = 2625)

HR	COD mg/L	PHB mg/L	NH4 mg/NL	NO3 mgN/L	TN mgN/L	E
0	479.58	38.48	52.50	6.94	59.44	28.81%
1	81.56	166.26	49.70	0.00	49.70	
2	26.42	128.67	46.90	0.00	46.90	
4	18.24	96.67	29.40	8.70	38.10	
6	15.08	78.78	4.20	19.22	23.42	
8	13.73	62.11	0.00	42.32	42.32	

ตารางผนวกที่ ก7 การกำจัดไนโตรเจนผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชันแบบไร้อากาศ (MLVSS = 880)

Hr	NO3 mgN/L	COD mgCOD/L
0	46	304.00
0.5	34.5	232.00
1	11.18	168.00
2	0.74	44.00
4	0.4	36.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

Hr	NO3 mgN/L	COD mgCOD/L
6	0	12.00
8	0	4.00

ตารางผนวกที่ ก8 ทดลองการกำจัดไนโตรเจนโดยไม่มีการเติมอะซิเตท โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ 0.5 mg/L และเติมอากาศเต็มที่

Hr	SS=3240 MLVSS = 2916			SS = 2980 MLVSS = 2862		
	DO 0.5 mg/L			DO Full		
	NH4 mgN/L	NO3 mgN/L	TN mgN/L	NH4 mgN/L	NO3 mgN/L	TN mgN/L
0	65.80	43.10	108.90	67.20	42.50	109.70
1	49.00	42.80	91.80	58.80	61.29	120.09
2	34.30	47.37	81.67	46.20	59.89	106.09
4	9.10	62.67	71.77	15.40	82.99	98.39
6	0.00	83.04	83.04	0.00	109.72	109.72
8	0.00	101.59	101.59	0.00	117.96	117.96

ตารางผนวกที่ ก9 ทดลองการสะสมของพีเอชบี โดยไม่มีการเติมอะซิเตท (MLVSS = 2916)

HR	0	30	60	90
PHB mg/L	12.16	9.23	8.60	10.10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและการเตรียมสารเคมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

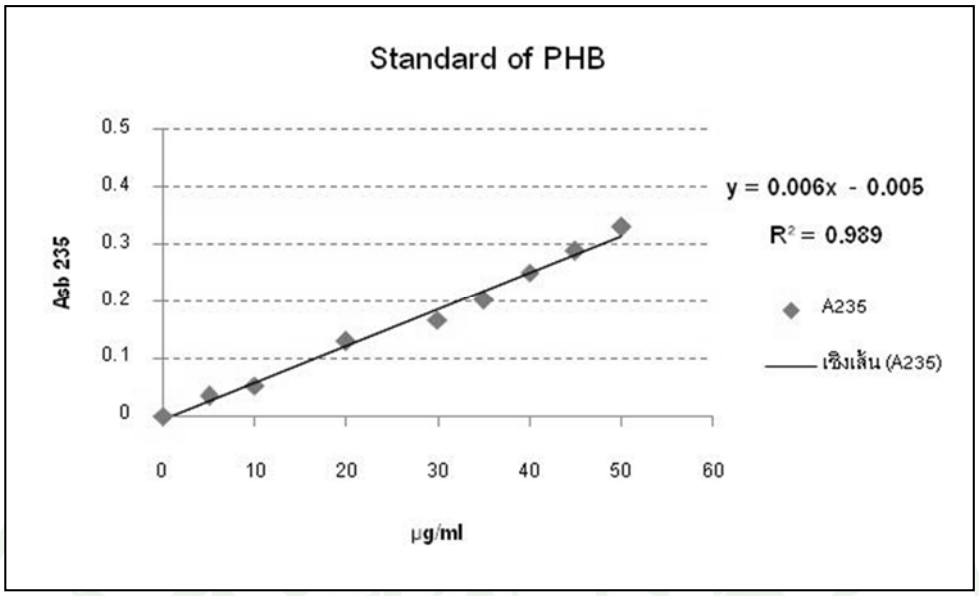
1. การสกัดพีเอชบี

ใส่ตะกอนจุลินทรีย์ 2.5 - 5 ml ลงในหลอด Centrifuge จากนั้นเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์เท่ากับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ใส่ลงในหลอด Centrifuge อบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง นำตะกอนจุลินทรีย์มาล้างด้วยอะซิโตนปริมาณ 5 มิลL จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง นำตะกอนจุลินทรีย์มาล้างด้วยเอเทอร์นอลปริมาณ 5 ml จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสทิ้ง นำตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้ไปสกัดต่อด้วยคลอโรฟอร์มปริมาณ 3 ml ต้มให้คลอโรฟอร์มเดือดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 × g เป็นเวลา 15 นาที แยกเอาส่วนใสเก็บไว้ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 ml จากนั้นนำตะกอนจุลินทรีย์ไปสกัดต่อด้วยคลอโรฟอร์มเดือดอีก 2 รอบ เก็บส่วนใสของคลอโรฟอร์มรวมกัน จากนั้นปรับปริมาตรด้วยคลอโรฟอร์มให้ได้ 10 ml ถ้าตัวอย่างไม่ใสให้นำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรอง What man No.1 (ขณะที่กรองคลอโรฟอร์มต้องร้อน) ถ่ายตัวอย่างใส่หลอดแก้ว แล้วนำไประเหยจนแห้ง ใส่ลูกแก้ว (Glass marble) ลงไปในหลอด จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% ปริมาณ 10 ml ลงในหลอดแก้ว ปิดผาแล้วนำไปต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (จุ่มทั้งหลอด) เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ตัวอย่างให้เย็น และกวนผสมให้เข้าด้วยกัน จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดที่เครื่องดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น A235

2. สารละลายสแตนดาร์ดพีเอชบี

ตัวสแตนดาร์ดของพีเอชบีจะใช้สารละลาย 3-hydroxybutyric acid เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่าง โดยนำ 3-hydroxybutyric acid มาเจือจาง (Dilute) ด้วยเอทานอลให้ได้ความเข้มข้นที่เราต้องการ สแตนดาร์ดที่ทำควรมี 5 -10 จุด เช่นทำตัวอย่างที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 ไมโครg จากนั้นนำสแตนดาร์ดของแต่ละความเข้มข้นไประเหยจนแห้ง ใส่ลูกแก้ว (Glass marble) ลงไปในหลอด จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98% ปริมาณ 10 ml ลงในหลอดแก้ว ปิดผาแล้วนำไปต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (จุ่มทั้งหลอด) เป็นเวลา 10 นาที ทำให้ตัวอย่างให้เย็น และกวนผสมให้เข้าด้วยกัน จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดที่เครื่องดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น A235

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพภาคผนวกที่ ข1 เส้นมาตรฐานสารละลายพีเอชบี

น้ำหนักความหนาแน่นสาร 1.126 g/ml มีความบริสุทธิ์ 95%
ดังนั้นสารมีน้ำหนัก = 1.126×0.95 =1.069.7 g/ml หรือ 1,069.7 mg/ml
เตรียม Standard ให้ได้ 0.5 mg/ml

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$\frac{1{,}069.7 \text{ mg/ml} \times 9.348 \text{ µl of STD}}{20 \text{ ml of Ethanol} \times 1000 \text{ µl/ml}} = 0.5 \text{ mg/ml of STD}$$

จากนั้นทำการเจือจาง Standard 8 จุด ความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 35, 40,45 และ 50 µg/ml

3. การวิเคราะห์หาแอมโมเนียโดยวิธีการไตเตรท

ก่อนที่จะนำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์จะต้องนำน้ำตัวอย่างมาผ่านกระบวนการกลั่นก่อน เพื่อแยกแอมโมเนียออกจากสารรบกวนต่างๆ โดยแอมโมเนียไนโตรเจนจะถูกกลั่นออกมากับไอน้ำ ภายใต้สภาวะที่มีพีเอชสูงกว่า 9.3 แอมโมเนียที่ถูกกลั่นออกมาจะรวมตัวกับกรดบอริกเกิดเป็นไอออนแอมโมเนีย (NH_4^+) และอิออนบอเรต ($H_2BO_3^-$) แอมโมเนียจะทำให้สารละลายกรดบอริก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลายเป็นสีเขียว ปริมาณแอมโมเนียหาได้โดยการไตเตรทด้วยสารละลายกรดซัลฟุริค 0.02 N ซึ่ง H^+ จะรวมกับ $H_2BO_3^-$ เกิดเป็น H_3BO_3 พีเอชของสารละลายจะลดลงจนเท่ากับค่าเริ่มต้น ดังนั้น ปริมาณของกรดแก่ที่เติมลงไปจะสมดุลกับปริมาณแอมโมเนียที่มีจุดยุติดูได้จากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์จากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน

$$(NH_4)_3BO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 + H_3BO_3$$

เขียว ม่วงอ่อน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการหาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน

1) สารละลาย Mix – indicator เตรียมโดย

ก. ชั่ง Methyl red 200 mg ใส่บีกเกอร์ นำมาละลายด้วย 95% Ethyl alcohol แล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml

ข. ชั่ง Methylene blue 100 mg ใส่บีกเกอร์ นำมาละลายด้วย 95% Ethyl alcohol แล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 50 ml

2) สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3) เตรียมโดย

ก. ชั่งกรดบอริก (H_3BO_3) 20 g ใส่บีกเกอร์ นำมาละลายด้วยน้ำปราศจากอิออน (DI) แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดปรับปริมาตรจนครบ 1000 ml

ข. ปิเปตสารละลาย Mix – indicator มา 10 ml นำมาผสมกับ สารละลายในข้อ ก. แล้วปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 ml (ได้สารละลาย เป็นสีม่วง)

3) สารละลายกรดซัลฟุริค 0.02 N H_2SO_4 เตรียมโดย

ก. เตรียมสารละลายกรดซัลฟุริค (H_2SO_4) 0.1 N โดยการปิเปต Conc. H_2SO_4 มา 3 ml แล้วปรับปริมาตรจนครบ 1000 ml โดยใช้น้ำ DI

ข. เตรียมสารละลายกรดซัลฟุริค (H_2SO_4) 0.02 N โดยการปิเปต สารละลายกรดซัลฟุริค 0.1 N จากข้อก. มา 200 ml แล้วปรับปริมาตรจนครบ 1000 ml โดยใช้น้ำ DI

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N NaOH เตรียมโดย ชั่ง NaOH มา 240 g นำมาละลายด้วยน้ำ DI แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดปรับปริมาตรจนได้ปริมาตรครบ 1000 ml

5) สารละลาย Borate Buffer เตรียมโดย

เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N 88 ml ลงในสารละลายโซเดียม เตตระบอเรต 500 ml (เตรียมโดย $Na_2B_4O_7.10H_2O$ 9.5 g แล้วปรับปริมาตรจนครบ 1 L) ผสมให้เข้ากันแล้ว
เจือจางด้วยน้ำ DIจนได้ปริมาตร 1 L

3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

ตวงน้ำตัวอย่าง 20 mlหรือน้อยกว่าแล้วเจือจางให้ครบ 300 ml ใส่ในขวดเคลดาห์ล

↓ ใส่ลูกแก้ว 2-3 เม็ด

หยดฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 ml ปรับพีเอชให้เป็น 9.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 N ใส่สารละลายบอเรตบัฟเฟอร์ 25 ml ต่อเข้ากับเครื่องกลั่น (ควรนำตัวอย่างเข้ากลั่นทันที)

↓

ตวงสารละลายกรดบอริกที่มีอินดิเคเตอร์ 50 ml ใส่ขวดรูปชมพู่ต่อเข้ากับชุดกลั่นให้ปลายหลอดที่ต่อกับ Condenser จุ่มอยู่ใต้สารละลายกลั่นจนได้สารละลายอย่างน้อย 200 ml

↓

สารละลายที่ได้จากการกลั่นถ้ามีแอมโมเนียอยู่สารละลายที่ได้จะมีสีเขียวนำสารละลายที่ได้มาไตเตรทด้วยกรดซัลฟุริค 0.02 N ไตเตรทจนถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การคำนวณ

$$\text{แอมโมเนียไนโตรเจน (มก./ล.)} = \frac{(A - B) \times 0.02 \times 14000 \text{ ml}}{\text{ml ตัวอย่างน้ำ}}$$

A = ml H_2SO_4ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างน้ำ

B = ml H_2SO_4ที่ใช้ไตเตรทแบลงค์

4. การวิเคราะห์ไนเตรตไนโตรเจนด้วยเครื่องไอออนโครมาโตรกราฟฟี่

ไอออนโครมาโตรกราฟฟีที่ใช้เป็นประเภท Liquid-Solid Chromatography คอลัมน์ที่ใช้แยกเป็นวัสดุที่เป็นของแข็ง (Stationary phase) ทำด้วย Rasin และ Silica และมีเฟสเคลื่อนที่เป็นของเหลว วัสดุที่เป็นโพลีเมอร์ความยาวตั้งแต่ 5-30 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-9 นาโนเมตร พวกอนุภาคของ Rasin หรือ Silica จะถูกบรรจุอย่างสม่ำเสมอในคอลัมน์นี้ จะติดต่อกับ High Pressure Pump และมีอัตราการไหลประมาณ 1-2 mlต่อนาที ต่อกับ Injection ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเครื่องมือที่เอาไว้บรรจุสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าสู่ระบบ ก่อนที่จะผ่านไปแยกในคอลัมน์ หลังจากนั้นสารที่ผ่านการแยกจะออกจากคอลัมน์และผ่านเข้าสู่Detector การวิเคราะห์ Anion จะใช้อุปกรณ์ Suppressor Column เพื่อเพิ่ม Sensitivity ในการวิเคราะห์และลดสัญญาณรบกวน

วิธีวิเคราะห์ไนเตรต

กรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรองใยแก้ว GF/Cขนาดรู 0.45 μm

↓

นำน้ำตัวอย่างที่กรองได้ มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ค่าสแตนดาร์อ่านได้
(ตัวอย่างที่เจือจางแล้วประมาณ15-30 ml)

↓

ส่งตัวอย่างให้เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม 1 ทำการตรวจวิเคราะห์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

ภายใต้สภาวะการรีฟลักซ์ในสารละลายกรดซัลฟุริคเข้มข้นที่มีอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดส์โดยสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมตที่ทราบความเข้มข้นและมีปริมาณเกินพอที่ทราบจำนวน หลังจากรีฟลักซ์ วัดปริมาณโปแตสเซียมไดโครเมตที่เหลือโดยนำไปไตเตรทกับเฟรัสแอมโมเนียซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate) และใช้เฟอโรอิน (Ferroin) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำให้ทราบปริมาณโปแตสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์

5.1 การเตรียมสารเคมี

1) สารละลาย Digestion reagent เตรียมโดยการสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย 0.1 N ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ ซึ่งอบแห้งที่ 130 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มา 4.913 g ละลายในน้ำ DI500 ml เติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 167 ml และเติม $HgSO_4$ 33.3 gทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็นจึงเจือจางด้วยน้ำ DIเป็น 1 L

2) สารละลายกรดซัลฟุริค เตรียมโดยการเติม Ag_2SO_4 8.8 g ลงในกรดซัลฟุริค เข้มข้น 1 Lตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน

3) สารละลายเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยการละลาย Phenanthroline Monohydrate 1.485 g กับ $FeSO_4.7H_2O$ 695 mg ในน้ำ DIแล้วเจือจางเป็น 100 ml

4) สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 N (FAS) เตรียมโดยการละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ 19.6 g ในน้ำ DIเติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 20 ml ทิ้งให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำ DI ให้ได้ 1 L นำสารละลายนี้มาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายมาตรฐานไดโครเมต (Standardization)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การหาความเข้มข้น $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$0.05 N โดยปิเปต $K_2Cr_2O_7$ 0.10 N 5 ml ในขวดรูปกรวย เติมน้ำ DI50 mlเติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 15 ml ทิ้งให้เย็น หยดสารละลายเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์จำนวน 2-3 หยด นำไปไตเตรทกับ สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต0.05 N สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็น
สีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

$$\text{ความเข้มข้น } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \text{ (N)} = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \times 0.10}{\text{ml } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \text{ ที่ใช้}}$$

5.2 วิธีวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

ตัวอย่างน้ำ 5 ml+ $K_2Cr_2O_7$ 3 ml+ conc.H_2SO_4-$AgSO_4$ 7 ml (ถ้าเป็นการวิเคราะห์ SCOD ให้กรองน้ำตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง GF/C ก่อนนำมาวิเคราะห์)

↓ เขย่าให้เข้ากัน

ย่อยที่ตู้อบที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

↓ ทิ้งไว้ให้เย็น

เทใส่ขวดรูปชมพู่ล้างด้วยน้ำ DI2-3 ครั้ง

↓ หยดเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์

ไตเตรทด้วย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$จากสีเหลืองเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.3 การคำนวณค่าซีโอดี

$$\text{ค่าซีโอดี (มก./ ล.)} = \frac{(A-B) \times C \times 8{,}000 \times D \text{ ml}}{\text{ml ตัวอย่างน้ำ}}$$

A = mlของ FAS ที่ใช้ไตเตรทแบลงค์

B = mlของ FAS ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างน้ำ

C = Nลิตี้ของ FAS

D = อัตราการเจือจางของตัวอย่างน้ำ (dilution of sample)

6. การวิเคราะห์ MLSS และ MLVSS

MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids) หมายถึง ปริมาณหรือความเข้มข้น โดยประมาณของจุลชีพในถังเติมอากาศในระบบ Activated sludge คิดเป็นปริมาณสารแขวนลอยหรือ Mixed liquor ซึ่งเป็นของผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลชีพในถังเติมอากาศส่วน MLVSS (Mixed liquid volatile suspended solids) คือ ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (VSS) ของตะกอนในถังเติมอากาศ ซึ่ง การหาค่า MLSS และ MLVSS มีประโยชน์ในการควบคุมระบบบาบัดน้ำเสีย โดยจะใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนของอาหารต่อมวลของจุลชีพ (Food/Microorganism Ratio; F/M) เพื่อดูว่า ตะกอนจุลินทรีย์มีสมรรถภาพในการทางานดีหรือไม่ จุลินทรีย์จะทางานได้ดีจะต้องมีปริมาณ อาหารที่พอเหมาะ ซึ่งควบคุมได้โดยการรักษาอัตราส่วนของน้ำหนักของสารอินทรีย์ที่ส่งเข้ามา บำบัดต่อน้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งวัดได้ในรูปของตะกอนแขวนลอย (MLSS) หรือตะกอน แขวนลอยระเหย (MLVSS) ให้มีค่าคงที่ตามต้องการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ MLSS

นำกระดาษกรองอบให้แห้งในตู้อบ 103 -105 °C นาน 1 ชั่วโมง
เก็บในโถดูดความชื้น (Desicator) นาน 30 นาที

นำมาชั่งน้ำหนัก (A)

ปิเปตตัวอย่างน้ำเสียมา 10 ml ลงบนกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้ว
นำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองแล้วไปอบที่ 103 – 105 °C นาน 1 ชั่วโมง
เก็บในโถดูดความชื้น (Desicator) นาน 30 นาที

นำมาชั่งน้ำหนัก (B)

6.2 การคำนวณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

$$\text{ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)} = \frac{(B-A) \times 10^6}{\text{ml น้ำตัวอย่าง}}$$

A = น้ำหนักกระดาษกรองอย่างเดียว, g
B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง, g

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ MLVSS

นำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองและอบแล้ว นำมาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C
นาน 15-20 นาที เก็บในโถดูดความชื้น (Desicator) นาน 30 นาที

ชั่งน้ำหนัก (C)

6.4 การคำนวณค่า MLVSS

$$\text{ของแข็งแขวนลอยระเหย (มก./ล.)} = \frac{(B-C) \times 10^6}{\text{ml น้ำตัวอย่าง}}$$

B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง, g

C = น้ำหนักกระดาษกรองที่ผ่านการเผา, g

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัตการศึกษา และทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นายพนธวิชญ์ เอี่ยมสินธร
เกิดวันที่	24 มิถุนายน พ.ศ. 2532
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	จบการศึกษา วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
นำเสนอผลงานที่	งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 13 13th Nationnal Environmental Conference วันที่ 26-28 มีนาคม 2557 ณ โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ รองเมือง กรุงเทพฯ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์