

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 สรุปลักษณะการเปลี่ยนรูป (ความสัมพันธ์) ของไนโตรเจนแต่ละรูป

การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนด้วยความสัมพันธ์ทางชีวเคมีที่มีตัวแปรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ ภายภาค และเคมีเกี่ยวข้อง ภายใต้สมมติฐาน “ความสัมพันธ์หรือกระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนในรูปปฏิกิริยาเคมีหรือความสัมพันธ์ทางชีวเคมีเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์” ซึ่งสามารถแบ่งการเปลี่ยนรูปได้ 2 ลักษณะ คือ การลดลงและการเกิดของไนโตรเจน

4.1.1 ลักษณะการลดลงของไนโตรเจนแต่ละรูป สรุปดังตาราง 15

ตาราง 15 สรุปลักษณะการลดลงของไนโตรเจนแต่ละรูปในบ่อ ฯ

N แต่ละรูป	การลดลงของ N แต่ละรูป	กระบวนการ/ความสัมพันธ์	หมายเหตุ*
Org N	amino acid $\xrightarrow{\text{heterotrophic bact.}}$ NH_3	deamination	1
	urea $\xrightarrow{\text{heterotrophic bact.}}$ NH_3	hydrolysis	1
	Org N \longrightarrow Org N in sediment	sedimentation	-
NH_4^+	NH_4^+ $\xrightarrow{\text{nitrosomonas bact.}}$ NO_2^-	nitritation	1, 2, 3
	NH_4^+ $\xrightarrow{\text{pH}}$ NH_3 in atmosphere	volatilization	-
	NH_4^+ $\xrightarrow{\text{pH, Temp.}}$ NH_4^+ in sediment	auto-flocculation & soil adsorption	3, 4
	NH_3 \longrightarrow cell (plant)	assimilation by plant	5
	NH_4^+ \longrightarrow cell (algae)	assimilation by algae	3

ตาราง 15 (ต่อ)

N แต่ละรูป	การลดลงของ N แต่ละรูป	กระบวนการ/ความสัมพันธ์	หมายเหตุ*
NH_4^+ (ต่อ)	$\text{NH}_4^+ \longrightarrow \text{cell (bacteria)}$	assimilation by bacteria	1
NO_2^-	$\text{NO}_2^- \xrightarrow{\text{nitrobacter bact.}} \text{NO}_3^-$	nitratation	1, 2, 3
NO_3^-	$\text{NO}_3^- \xrightarrow{\text{chlorella algae}} \text{NO}_2^-$	reduction by chlorella	4
	$\text{NO}_3^- \xrightarrow{\text{denitrifying bact.}} \text{NH}_4^+$	assimilatory denitrification	1
	$\text{NO}_3^- \xrightarrow{\text{denitrifying bact.}} \text{N}_2 \text{ in atmosphere}$	dissimilatory denitrification	1, 2, 3
	$\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{NO}_3^- \text{ in sediment}$	leaching	-

หมายเหตุ : - เครื่องหมาย “ * ” คืออ้างอิงต่าง ๆ ของตาราง 15 ดังนี้

1. ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544
2. เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2543
3. ชีระ เกรอด, 2539
4. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวด, 2536
5. มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544

- ไนโตรเจนที่ไม่ได้ระบุนั้นตะกอนหรือในอากาศ คือ ไนโตรเจนที่อยู่ในชั้นน้ำ

- กระบวนการหรือความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่ทำให้ไนโตรเจนลดลงในบ่อนอกจากที่กล่าวในตาราง 15

ยังมีตัวแปรสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องดังตารางภาคผนวก ก 3

4.1.2 ลักษณะการเกิดของไนโตรเจนแต่ละรูปในบ่อ ๆ สรุปดังตาราง 16

ตาราง 16 สรุปลักษณะการเกิดของไนโตรเจนแต่ละรูปในบ่อ ๆ

N แต่ละรูป	การเกิดของ N แต่ละรูป	กระบวนการ/ความสัมพันธ์	หมายเหตุ*
Org N	$\text{cell (plant)} \longrightarrow \text{Org N}$	remaining of plant	-
	$\text{cell (algae)} \longrightarrow \text{Org N}$	remaining of algae	-
	$\text{cell (bacteria)} \longrightarrow \text{Org N}$	remaining of bacteria	-

ตาราง 16 (ต่อ)

N แต่ละรูป	การเกิดของ N แต่ละรูป	กระบวนการ/ความสัมพันธ์	หมายเหตุ*
Org N (ต่อ)	Org N in sediment $\xrightarrow{\text{wind}}$ Org N	floating	1
NH ₄ ⁺	cell (bacteria) \longrightarrow NH ₃	auto-oxidation	2
	heterotrophic bact. organic matter \longrightarrow NH ₃ , NH ₄ ⁺	decomposition	3
	N ₂ in atmosphere $\xrightarrow{\text{blue green algae}}$ NH ₄ ⁺	fixation	4

หมายเหตุ : - เครื่องหมาย “ * ” คืออ้างอิงต่าง ๆ ของตาราง 15 ดังนี้

1. Stowell *et al.*, 1981 อ้างถึงใน ธนินยา, 2545 2. ชงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544

3. ชีระ เกรอต, 2539 4. สมศักดิ์ วังโน, 2543

- ไนโตรเจนที่ไม่ได้ระบุนั้นตะกอนหรือในอากาศ คือ ไนโตรเจนที่อยู่ในชั้นน้ำ

- กระบวนการหรือความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่ทำให้ไนโตรเจนลดลงในบ่อนอกจากที่กล่าวในตาราง 16

ยังมีตัวแปรสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องดังตารางภาคผนวก ก 3

4.2 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องและสมมติฐานต่าง ๆ

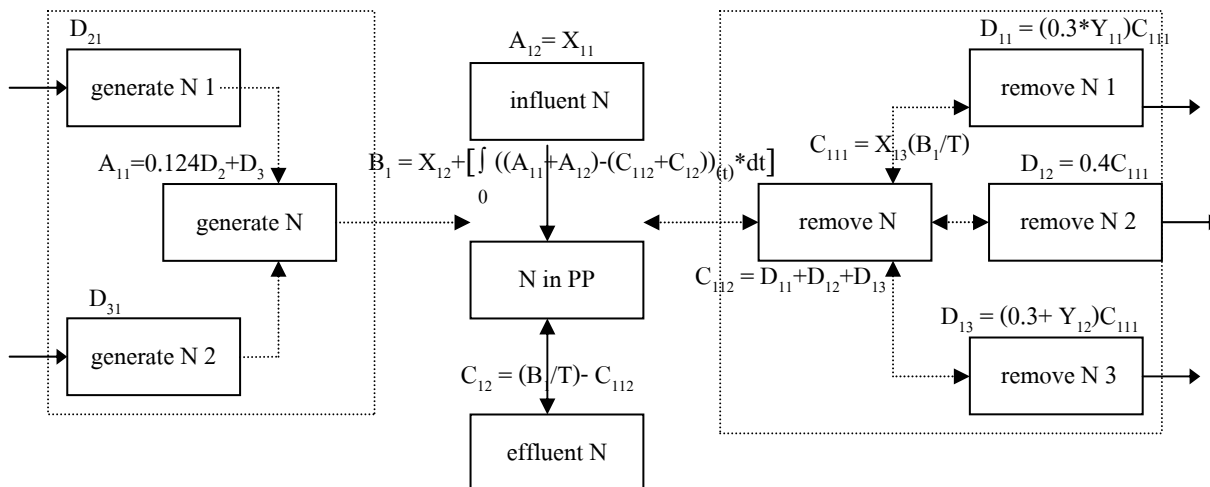
4.2.1 ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง

จากลักษณะการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนดังตาราง 15 และ 16 สามารถเชื่อมต่อกันเป็นชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง ดังนี้

4.2.1.1 รูปแบบของความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง

ได้ออกแบบให้ชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องมีรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมือนกัน

ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 รูปแบบของชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง

- โดย A_i = อัตราการเพิ่มไนโตรเจนโดยรวมของบ่อ, $i = 1-2$
- B_j = ปริมาณไนโตรเจนในบ่อ $j = 1$
- C_k = อัตราการลดไนโตรเจนโดยรวมของบ่อ, $k = 1-2$
- D_l = อัตราการลดลงของไนโตรเจนในบ่อด้วยกระบวนการต่าง ๆ, $l = 1-3$
- X_{11}, X_{12}, X_{13} = ค่าเริ่มต้นของแต่ละตัวแปร
- Y_{11}, Y_{12} = ความสัมพันธ์จากตัวแปรสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุ : ในแต่ละชุดความสัมพันธ์มีตัวแปร A, B และ C เหมือนกัน แต่ตัวแปร D สามารถแยกย่อยมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับชุดความสัมพันธ์นั้น ๆ

จากภาพประกอบ 21 ความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันคำนึงถึงความสอดคล้องกับหลักการต่าง ๆ ดังนี้

ก. คำนึงถึงความสอดคล้องกับการทำงานของบ่อบำบัด คือ ปริมาณไนโตรเจนในบ่อ (N in PP) เปลี่ยนแปลง โดยเพิ่มขึ้นจากไนโตรเจนที่ไหลเข้า (influent N) และไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อ (generate N) ส่วนกรณีลดลง ไนโตรเจนในบ่อลดลง (remove N) ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ส่วนที่เหลือถูกปล่อยออกจากบ่อ (effluent N)

ข. คำนึงถึงความสอดคล้องกับหลักการของแบบจำลองพลวัตระบบ

(1) ตัวแปรของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในแบบจำลอง (เปรียบเทียบกับภาพประกอบ 21 กับภาพประกอบ 15) ได้แก่

- N in PP คือ ตัวแปรของสัญลักษณ์ stock ในแบบจำลอง

- influent N, generate N, remove N และ effluent N คือ ตัวแปรของสัญลักษณ์ flow ในแบบจำลองที่ทำให้ stock เปลี่ยนแปลง

- generate N 1, 2 และ remove N 1, 2, 3 คือ ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง (สัญลักษณ์ auxiliary ดังภาพประกอบ 15) ที่ทำให้ flow ต่าง ๆ เปลี่ยนแปลง

(2) ตัวแปรเหตุและตัวแปรผล

ตัวแปรเหตุและตัวแปรผลในภาพรวมจะกล่าวในภาพประกอบภาคผนวก ค 11 ส่วนในภาพประกอบ 21 ตัวแปรเหตุและตัวแปรผล มีดังนี้

- ตัวแปรเหตุ ได้แก่ N in PP และ remove N

- ตัวแปรผล ได้แก่ effluent N

โดยตัวแปรเหตุบางกลุ่มต้องมีค่าเริ่มต้นที่ต้องใส่ในแบบจำลอง (ดังการสรุปตัวแปรที่เป็นค่าเริ่มต้นทั้งหมดในตารางภาคผนวก ค 7) ซึ่งค่าเริ่มต้นในสมการภาพประกอบ 21 ได้แก่

- X_{11} ของ influent N คือ อัตราการไหลเข้าของไนโตรเจนสู่บ่อเริ่มต้น

- X_{12} ของ N in PP คือ ปริมาณไนโตรเจนในบ่อเริ่มต้น

- X_{13} คือ สัดส่วน (ประสิทธิภาพ) การกำจัดไนโตรเจนในบ่อเริ่มต้น

(3) สมการเฉพาะตัวแปรและหน่วยของตัวแปร

ในแบบจำลองตัวแปรที่มีสมการเฉพาะ ได้แก่ ตัวแปร stock โดยมีลักษณะการคำนวณดังสมการ (31) ส่วนหน่วยของตัวแปร ตัวแปร stock มีหน่วยเป็น kg และตัวแปร flow มีหน่วยเป็น kg/day (Harries, 2000)

ในภาพประกอบ 21 ลักษณะสมการของตัวแปรมีดังนี้

(3.1) ตัวแปร stock คือ ตัวแปร N in PP คำนวณดังสมการ (33)

จากสมการ (31)

$$\text{Stock}_{(t)} = \int_0^t \Delta \text{Flow}_{(t)} * dt$$

$$\text{N in PP}_{(10)} = B_1 = X_{12} + \left[\int_0^{10} \Delta ((A_{11} + A_{12}) - (C_{112} + C_{12}))_{(10)} * 1 \right] \dots\dots(33)$$

เมื่อ

$t = 10 \text{ day}, \quad dt = 1 \text{ day}$

$\text{N in PP}_{(10)}$ = ปริมาณไนโตรเจนในบ่อ ณ ช่วงเวลา 10 วัน, kg

X_{12} = ปริมาณไนโตรเจนในบ่อเริ่มต้น, kg

$\Delta ((A_{11} + A_{12}) - (C_{112} + C_{12}))_{(10)}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน ณ ช่วงเวลา

10 วัน, kg/day

(3.2) ตัวแปร flow

- ตัวแปร remove N จำนวนตั้งสมการ (34)

$$\text{remove N} = C_{111} = X_{13}(B_1/T)$$

.....(34)

เมื่อ

remove N = C_{111} = อัตราการลดลงของไนโตรเจนในบ่อเริ่มต้น, kg/day

X_{13} = สัดส่วน (ประสิทธิภาพ) การกำจัดไนโตรเจนในบ่อเริ่มต้น, Dmnl

B_1 = ปริมาณไนโตรเจนในบ่อ, kg

T = ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (HRT), day

- ตัวแปร effluent N จำนวนตั้งสมการ (35)

$$\text{effluent N} = C_{112} = (B_1/T) - C_{111}$$

.....(35)

เมื่อ

effluent N = อัตราการปล่อยไนโตรเจนจากบ่อ (หรือไนโตรเจนส่วนที่เหลือจากที่ลดลงในบ่อ), kg/day

C_{112} = remove N (ตั้งสมการ (34)), kg/day

- ตัวแปร generate N จำนวนตั้งสมการ (36)

$$\text{generate N} = A_{11} = 0.124D_2 + D_3$$

.....(36)

เมื่อ

generate N = อัตราการเกิดไนโตรเจนในบ่อ, kg/day

โดย generate N เป็นผลจากการ remove ของตัวแปรไนโตรเจนรูปอื่น ๆ หรือตัวแปรสิ่งแวดล้อม

ยกตัวอย่าง ถ้า D_2 = ซากแบคทีเรีย, D_2 จะเป็นตัวแปร remove bacteria ในชุดความสัมพันธ์ของแบคทีเรีย ในขณะเดียวกัน D_2 เป็นที่มาของไนโตรเจนรูป Org N ซึ่ง $0.124D_2$ คือ ส่วนที่เป็นไนโตรเจนในซากแบคทีเรียมีสัดส่วนเพียง 0.124 เท่านั้น (ดังตารางภาคผนวก ก 2) เป็นต้น

- ตัวแปร influent N จำนวนตั้งสมการ (37)

$$\text{influent N} = A_{12} = X_{11}$$

.....(37)

เมื่อ influent N = อัตราการไหลเข้าของไนโตรเจนสู่อบ่, kg/day
 X_{11} = อัตราการไหลเข้าของไนโตรเจนสู่อบ่เริ่มต้น คำนวณดังสมการ (38), kg/day

$$X_{11} = N_{in} Q (1\text{kg}/1,000\text{g}) \quad \dots\dots (38)$$

N_{in} = ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่จุดเข้าสู่อบ่, g/m^3

Q = อัตราการไหลของน้ำ, m^3/day

ก. คำนึงถึงความสอดคล้องกับสมมติฐาน ที่ว่า “ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนในบ่อเปลี่ยนแปลงตามความสัมพันธ์จากตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง” เช่น เมื่อปริมาณสาหร่ายเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงตาม เป็นต้น

โดยตัวแปร remove N ที่เกิดขึ้นในบ่อมีความสัมพันธ์จากตัวแปรสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างตัวแปร remove N1 ในภาพประกอบ 21 คำนวณดังสมการ (39)

$$\text{remove N1} = D_{11} = (0.3 * Y_{11}) C_{111} \quad \dots\dots(39)$$

เมื่อ remove N1 = อัตราการลดลงของไนโตรเจนในบ่อ ๆ โดยถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ของสาหร่าย, kg/day

0.3 = สัดส่วนที่ไนโตรเจนถูกใช้โดยสาหร่าย 0.3, Dmnl

Y_{11} = สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาหร่ายในบ่อ โดย Y_{11} เริ่มต้นเท่ากับ 1, Dmnl

C_{111} = อัตราการลดลงของไนโตรเจนในบ่อเริ่มต้น (ดังสมการ (34))

โดยสรุปตัวแปร Y_{11} จะส่งผลให้สัดส่วน 0.3 เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาที่พิจารณา ดังนั้นหากรวมผลของ remove N1 (D_{11}), remove N2 (D_{12}) และ remove N3 (D_{13}) ที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้จะได้เป็น อัตราการลดลงของไนโตรเจนในบ่อ ๆ ที่เปลี่ยนแปลงตามตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ดังสมการ (40)

$$\text{remove N} = C_{112} = D_{11} + D_{12} + D_{13} \quad \dots\dots(40)$$

4.2.1.2 การแบ่งกลุ่มชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง

สามารถแบ่งกลุ่มชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องได้ 2 กลุ่ม (ตามลักษณะตัวแปรที่ได้แบ่งกลุ่มในหัวข้อวิธีวิจัยข้อ 3.1.1) ได้แก่ ชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของไนโตรเจนและชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของตัวแปรสิ่งแวดล้อม โดยแต่ละกลุ่มประกอบด้วยชุดความสัมพันธ์ย่อย ดังนี้

ก. ชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของไนโตรเจน ประกอบด้วย 6 ชุด ได้แก่

- (1) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ Org N ในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ค 1)
- (2) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ NH_4^+ -N ในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ค 2)
- (3) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ NO_2^- -N ในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ค 3)
- (4) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ NO_3^- -N ในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ค 4)
- (5) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ TN ในตะกอนของบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ค 5)
- (6) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ N_2 ในอากาศบริเวณบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ค 6)

การแบ่งชุดความสัมพันธ์ 6 ชุดดังกล่าวพิจารณาจากทิศทางการไหลของไนโตรเจนที่เป็นวัฏจักร (ดังทฤษฎีภาพประกอบ 6) ไนโตรเจนในน้ำส่วนหนึ่งลดลงเพราะตกตะกอนและถูกกำจัดเป็นก๊าซ ส่วนไนโตรเจนในตะกอนมีโอกาสลอยขึ้นสู่ชั้นน้ำและไนโตรเจนในอากาศมีโอกาสถูกตรึงเข้าสู่บ่อใหม่ เป็นความสัมพันธ์ที่เชื่อมต่อกันแบบต่อเนื่อง และที่สำคัญไนโตรเจนแต่ละชุดที่พิจารณาสามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ ซึ่งสามารถแทนเป็นตัวแปร stock ในแบบจำลอง (ดังภาพประกอบ 15)

ข. ชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของตัวแปรสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย 4 ชุดความสัมพันธ์ ได้แก่

- (1) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของ Org ในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ค 7)
- (2) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของแบคทีเรียในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ค 8)

(3) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของสาหร่ายในบ่อ ฯ

(ภาพประกอบภาคผนวก ก 9)

(4) ความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของพืชในบ่อ ฯ

(ภาพประกอบภาคผนวก ก 10)

การแบ่งชุดความสัมพันธ์ 4 ชุดดังกล่าวพิจารณาจากตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่มีการเกิดขึ้นในบ่อ ฯ และการลดลงในบ่อ ฯ เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจน คือ ใช้ไนโตรเจนในการเจริญเติบโตหรือทำปฏิกิริยา และให้ไนโตรเจนกลับสู่น้ำเมื่อตายหรือมีการย่อยสลาย และที่สำคัญตัวแปรสิ่งแวดล้อมแต่ละชุดที่พิจารณาสามารถวัดได้ในเชิงปริมาณ ซึ่งสามารถแทนเป็นตัวแปร stock ในแบบจำลอง (ดังภาพประกอบ 15)

4.2.2 สมมติฐานต่าง ๆ มีดังนี้

(1) ความสัมพันธ์ในรูปปฏิกิริยาชีวเคมีทุกสมการเกิดขึ้นโดยสมบูรณ์ 100%

(2) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนแต่ละรูปที่ตรวจวัดได้ในเชิงปริมาณ จะมีตัวแปรสิ่งแวดล้อมเกี่ยวข้อง ได้แก่ ตัวแปรกายภาพ ชีวภาพ เคมี และอื่น ๆ (ดังหัวข้อวิธีวิจัย 3.1.1.2 หน้า 46)

(3) Org N ที่เกิดขึ้นในบ่อมีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของ N ที่เกิดขึ้นจากซากพืช สาหร่าย และแบคทีเรีย โดย N ที่เกิดจากซากดังกล่าว (เฉพาะส่วนที่เกิดขึ้นในบ่อทั้งหมด) จะถูกเปลี่ยนรูปเป็น N รูป Org ในชั้นน้ำทั้งหมด โดยไม่มีสัดส่วนที่ตกตะกอน (เพราะขาดข้อมูล)

(4) อัตราการเกิดปฏิกิริยา ammonification nitrification และ denitrification จะเปลี่ยนแปลงตามความสัมพันธ์จาก pH DO และอุณหภูมิ โดย

ก. pH

- ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อแบคทีเรีย heterotrophic อยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 (ดังข้อมูลทฤษฎีตาราง 4) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากผลการคำนวณของสมการ (27) โดยมีลักษณะแนวโน้มดังภาพประกอบทฤษฎี 14

- ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อแบคทีเรีย nitrifying (แบคทีเรีย nitrosomonas และ nitrobacter) อยู่ในช่วง 7.2 – 9 (ดังข้อมูลทฤษฎีตาราง 4) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากผลการคำนวณของสมการ (18) โดยมีลักษณะแนวโน้มดังภาพประกอบทฤษฎี 12

ข. DO

- อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย heterotrophic และ nitrifying (ต้องการ O_2) มีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของ DO โดยอัตราการเจริญเติบโตจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อ $DO > 2$

g/m^3 (ตั้งข้อมูลทฤษฎีตาราง 4) ซึ่งเป็นผลจากสมการภาคผนวก ข (4) และมีลักษณะแนวโน้มดังทฤษฎีภาพประกอบ 10

- อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย denitrifying (ไม่ต้องการ O_2) จะผกผันกับการเปลี่ยนแปลงของ DO คือ เมื่อ DO ของน้ำมากกว่า 0.2 g/m^3 อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะน้อยมากหรือเป็นศูนย์ แต่เมื่อ DO ของน้ำในบ่อดำกว่า 0.2 g/m^3 อัตราการเจริญเติบโตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการคำนวณของสมการ (26) และมีลักษณะแนวโน้มดังภาพประกอบทฤษฎี

13

ค. อุณหภูมิ

- อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (สมมติฐานว่าทุกชนิดที่เกี่ยวข้องกับ N) มีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยเป็นผลจากการคำนวณของสมการ (19)

(5) NH_4^+-N ที่ลดลงในบ่อโดยพืช สาหร่าย และแบคทีเรียมีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพืช สาหร่าย และแบคทีเรียในบ่อ

(6) NH_4^+-N ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซ จะเปลี่ยนแปลงด้วยอิทธิพลของ pH คือ เมื่อ pH ของน้ำสูงกว่า 7 NH_4^+-N จะถูกกำจัดในรูปก๊าซเพิ่มขึ้นตามระดับ pH ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อ pH ของน้ำต่ำกว่า 7 จะไม่เกิดการกำจัดของแอมโมเนียไนโตรเจนในรูปก๊าซ โดยเป็นผลจากการคำนวณของสมการ (28) มีลักษณะของแนวโน้มดังทฤษฎีภาพประกอบ 7

(7) NH_4^+-N ที่ถูกกำจัดด้วยปฏิกิริยา nitrification จะเปลี่ยนแปลงด้วยอิทธิพลของสัดส่วน $\text{BOD}_5:\text{TKN}$ เมื่อสัดส่วน $\text{BOD}_5:\text{TKN}$ มากกว่า 0.5 โอกาสเกิดปฏิกิริยา nitrification มีน้อยลง (ถ้าอยู่ในช่วง 0.5 – 4 แนวโน้มจะลดลง - 0.074 d^{-1} ถ้า > 4 แนวโน้มจะลดลง - 0.08 d^{-1} ดังภาคผนวก ข 2) และเมื่อสัดส่วนดังกล่าวน้อยกว่า 0.5 ปฏิกิริยา nitrification เกิดได้ปกติ

(8) NH_4^+-N และ NH_3-N ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของ Org (ดังสมการปฏิกิริยาชีวเคมี (15) และ (16)) ทั้งหมดจะเข้าสู่การเปลี่ยนรูปเป็นปริมาณ NH_4^+-N ในบ่อโดยตรงก่อนที่จะถูกกำจัดหรือใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยพืช สาหร่าย และแบคทีเรีย

(9) ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนในบ่อจะอยู่ในรูป NH_4^+ เท่านั้นโดย NH_3 ที่เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบ่อ (ดังสมการปฏิกิริยาชีวเคมี (4) (10) และ (16)) จะถูกเปลี่ยนรูปเป็น NH_4^+ ในบ่อก่อนที่จะกำจัดในรูปก๊าซหรือถูกใช้ประโยชน์ด้วยกรณีอื่น ๆ ในบ่อ

(10) บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำขนาดใหญ่มีผักตบชวาและผักกระเฉดปะปนกันสามารถกำจัด SS ได้ 91% (อธิบายการกำหนดสมมติฐาน ดังหมายเหตุของตารางภาคผนวก ค 6)

(11) อัตราการเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำในบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำขนาดใหญ่เกิดขึ้น 0.65 d^{-1} (อธิบายการกำหนดสมมติฐาน ดังหมายเหตุของตารางภาคผนวก ค 6)

(12) อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายในบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำขนาดใหญ่ เกิดขึ้น 0.25 d^{-1} (อธิบายการกำหนดสมมติฐาน ดังหมายเหตุของตารางภาคผนวก ก 6)

(13) TN ในตะกอนไม่มีการลอยตัวสู่ชั้นน้ำ (เพราะขาดข้อมูล) แต่มีการกำจัดในรูปก๊าซ ด้วยปฏิกิริยา denitrification

(14) TN ในตะกอนจะลดลงด้วยกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียเท่านั้นและเกิดขึ้นในสัดส่วนเดียวกับกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียในชั้นน้ำ แต่ต้องพิจารณาความเหมาะสมของ O_2 ในตะกอนต่อการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ (รายละเอียดเพิ่มเติมดังภาคผนวก ก หัวข้อ 1.5.2)

(15) ไม่มี N_2 จากอากาศเข้าสู่บ่อบำบัดด้วยการนำพาของฝน (เพราะขาดข้อมูล)

(16) ไม่มีการตรึงไนโตรเจนจากอากาศเข้าสู่บ่อโดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (เพราะขาดข้อมูล)

(17) สัดส่วนการกำจัดไนโตรเจนรูปต่าง ๆ ในชั้นน้ำและตะกอนของบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำขนาดใหญ่เกิดขึ้นดังการประมาณการในภาคผนวก ก

4.3 โครงสร้างแบบจำลอง

โครงสร้างแบบจำลองได้ออกแบบระบบย่อยตามชุดความสัมพันธ์แบบต่อเนื่องของไนโตรเจนและตัวแปรสิ่งแวดล้อม ดังนี้

4.3.1 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของไนโตรเจน แบ่งเป็น 2 กลุ่มโครงสร้าง

4.3.1.1 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของไนโตรเจนกลุ่มหลัก (ดังภาพประกอบ 22) ประกอบด้วย 4 โครงสร้าง

ก. โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ Org N ในบ่อ ฯ

(ภาพประกอบภาคผนวก ง 1)

ข. โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ ฯ

(ภาพประกอบภาคผนวก ง 2)

ค. โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ในบ่อ ฯ

(ภาพประกอบภาคผนวก ง 3)

ง. โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ในบ่อ ฯ

(ภาพประกอบภาคผนวก ง 4)

4.3.1.2 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของไนโตรเจนกลุ่มรอง ประกอบด้วย 2 โครงสร้าง (ดังภาพประกอบ 23)

ก. โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ TN ในตะกอนของบ่อ
(ภาพประกอบภาคผนวก ง 5)

ข. โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ N_2 ในอากาศบริเวณบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ง 6)

4.3.2 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของตัวแปรสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย 4 โครงสร้าง (ดังภาพประกอบ 24)


4.3.2.1 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของ Org ในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ง 7)


4.3.2.2 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของแบคทีเรียในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ง 8)


4.3.2.3 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของสาหร่ายในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ง 9)

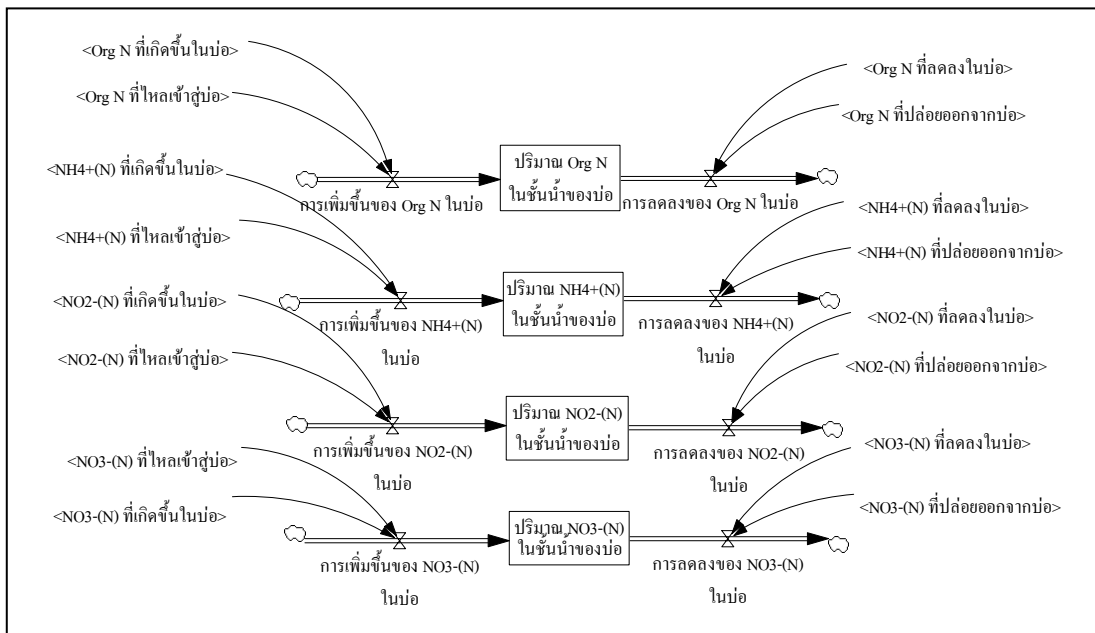
4.3.2.4 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของพืชในบ่อ ฯ
(ภาพประกอบภาคผนวก ง 10)

บางองค์ประกอบในโครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบจะแทนสัญลักษณ์เฉพาะ เพื่อความสะดวกในการแทนค่า สัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

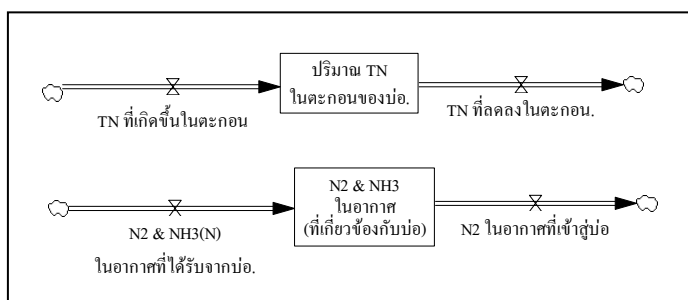
สัญลักษณ์  คือ ตัวแปรสำหรับใส่ค่าเริ่มต้นของสัดส่วนการลดลงและเกิดขึ้นของไนโตรเจนและตัวแปรสิ่งแวดล้อมดังภาคผนวก ก รวมไปถึงค่าของตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากวิจัยเอกสารทั้งหมด เช่น ค่าที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างบ่อบำบัด เช่น ปริมาตรของบ่อ อัตราการไหลของน้ำ เป็นต้น ค่าของตัวแปรเคมี ชีวภาพที่เกี่ยวข้องในรูปสมการปฏิกิริยาชีวเคมี (ดังตารางภาคผนวก ก 3) ฯลฯ

สัญลักษณ์  คือ ตัวแปรสำหรับใส่ค่าเริ่มต้นที่ต้องทำการตรวจวัดหรือประมาณการจากพื้นที่จริง ตัวแปรต่าง ๆ ดังตารางภาคผนวก ค 7

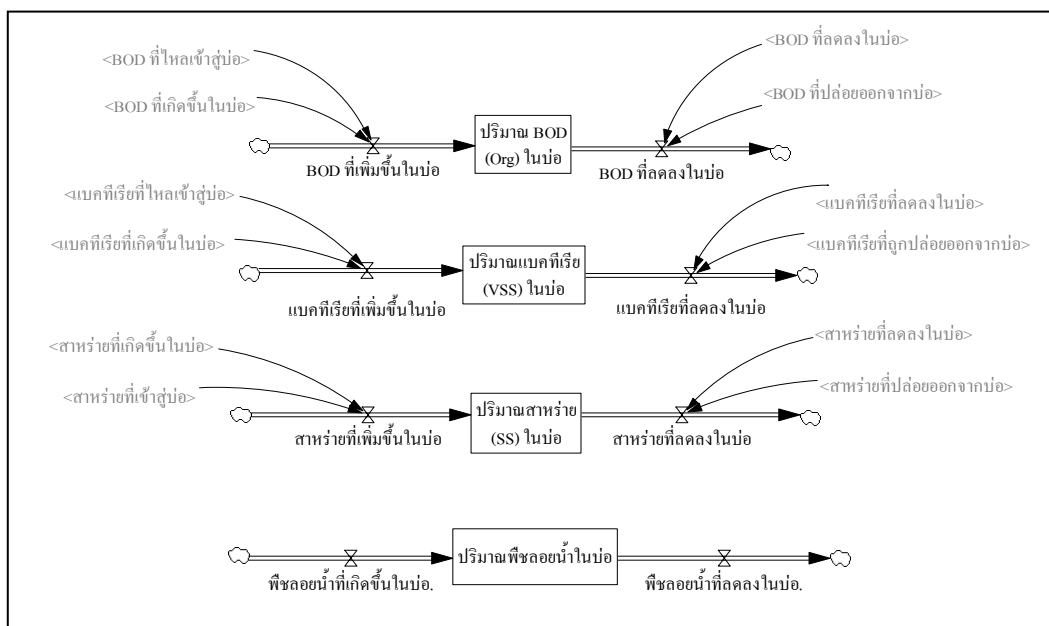
สัญลักษณ์  คือ ตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่แทนสัญลักษณ์ทั้ง 2 ชนิดที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งจะใช้สำหรับปรับเปลี่ยนค่าเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรผลในระดับต่าง ๆ หรือปรับให้สอดคล้องกับค่าที่ต้องการ



ภาพประกอบ 22 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของไนโตรเจนกลุ่มหลัก



ภาพประกอบ 23 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของไนโตรเจนกลุ่มรอง



ภาพประกอบ 24 โครงสร้างแบบจำลองพลวัตระบบของตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจน

4.4 ผลการทดสอบสมมติฐาน

แบบจำลองในขั้นทดสอบสมมติฐานจะมีค่าเริ่มต้นดังตารางภาคผนวก ค 8 ซึ่งเป็นข้อมูลไนโตรเจนและตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับบ่อบำบัดร่วมกับฟิซลอยน้ำขนาดใหญ่ในช่วงเวลาที่ผ่านมา โดยประมวลจากรายงานผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำของทางเทศบาล ฯ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับบ่อบำบัดร่วมกับฟิซลอยน้ำขนาดใหญ่โดยตรง ซึ่งในการทดสอบแต่ละสมมติฐานนั้น จะมีการทดลองปรับเปลี่ยนค่าในระดับต่าง ๆ เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เป็นผลจากความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลอง ว่าสอดคล้องกับสมมติฐานหรือไม่

4.4.1 ทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

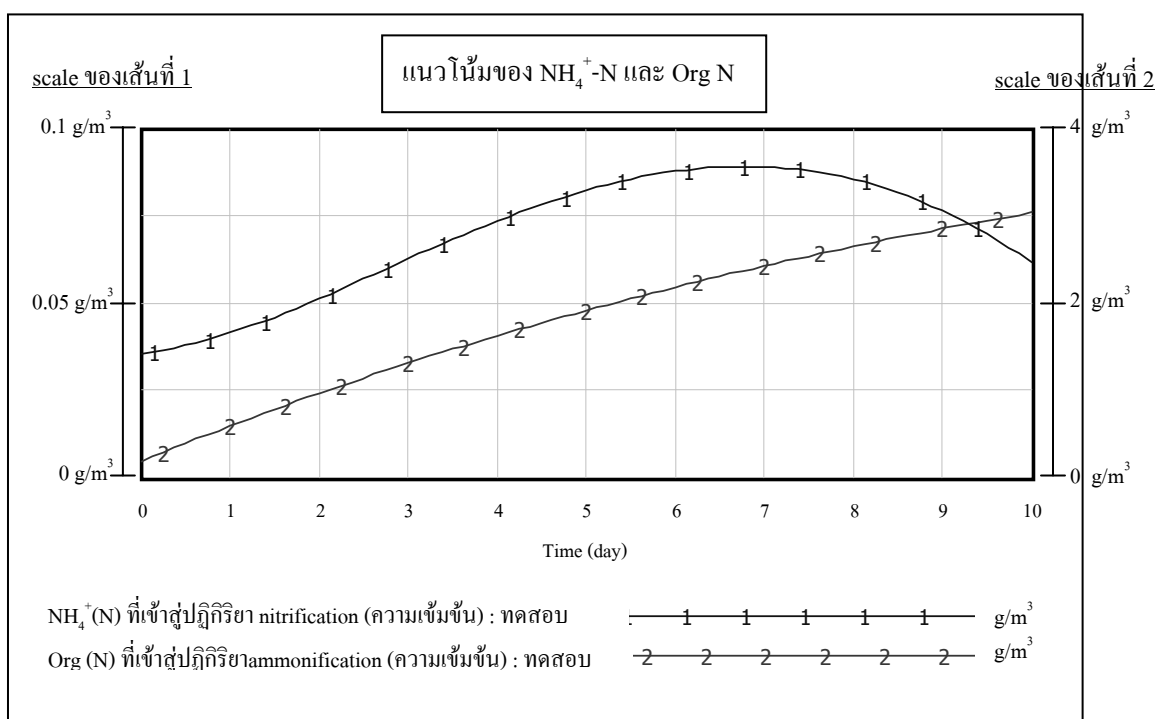
จากสมมติฐาน 1.1 (ในตารางภาคผนวก ค 1) สมมติฐาน 2.3 (ในตารางภาคผนวก ค 2) สมมติฐาน 3.1 (ในตารางภาคผนวก ค 3) และสมมติฐาน 4.4 (ในตารางภาคผนวก ค 4) อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่ละชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อ pH อยู่ในช่วงเหมาะสมต่อแบคทีเรียชนิดนั้น ๆ และอัตราการเจริญเติบโตมีแนวโน้มลดลง เมื่อ pH ต่ำกว่าหรือสูงกว่าช่วงที่เหมาะสม

- ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียที่เรีย nitrosomonas และ nitrobacter อยู่ในช่วง 7.2 – 9 (ดังข้อมูลทฤษฎีตาราง 4) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากผลการคำนวณของสมการ (18) โดยมีลักษณะแนวโน้มดังภาพประกอบทฤษฎี 12

- ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียที่เรีย heterotrophic อยู่ในช่วง 6.5 – 7.5 และแบคทีเรีย denitrifying อยู่ในช่วง 6.5 – 8.5 (ดังข้อมูลทฤษฎีตาราง 4) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากผลการคำนวณของสมการภาคผนวก ข (4) ร่วมกับสมการ (27) โดยมีลักษณะแนวโน้มดังภาพประกอบทฤษฎี 14

ก. การทดสอบ

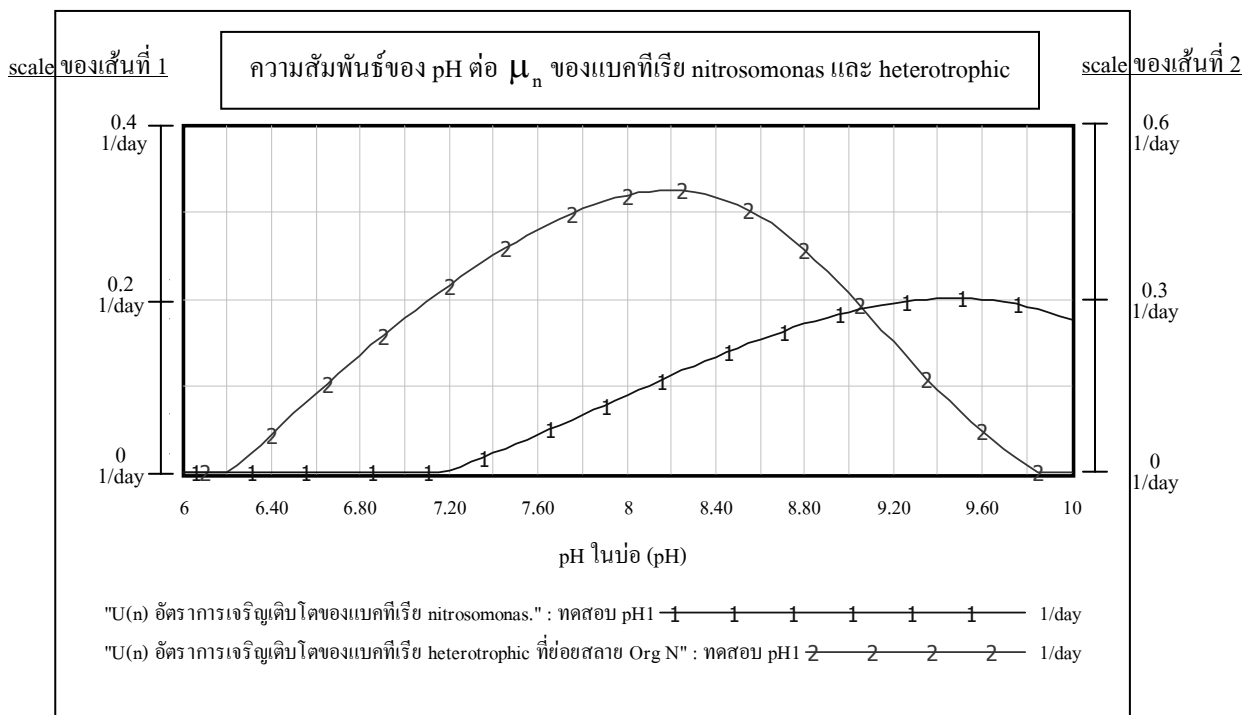
ดูผลการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrosomonas และ heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N เป็นตัวอย่าง ในช่วง pH 6 – 10 ซึ่งถ้า pH ไม่มีผลกับแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจะเหมือนดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 แนวโน้มของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่เข้าสู่ปฏิกิริยา nitritation และ Org N ที่เข้าสู่ปฏิกิริยา ammonification

หมายเหตุ : กรณีที่ pH ไม่มีผลในความสัมพันธ์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแบคทีเรีย nitrosomonas จะเปลี่ยนแปลงตามเส้นที่ 1 และแบคทีเรีย heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N จะเปลี่ยนแปลงตามเส้นที่ 2

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 26 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrosomonas และ heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N

จากภาพประกอบ 26 อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrosomonas ปรากฏขึ้นเมื่อ pH 7.2 และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกับความสัมพันธ์ของ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (ดังเส้นที่ 1 ภาพประกอบ 25) ส่วนอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย heterotrophic ปรากฏขึ้นเมื่อ pH 6.2 มีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และสูงสุดที่ pH 8.2 จากนั้นมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงจนเป็น 0 เมื่อ pH 9.8 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีภาพประกอบ 14 แต่ต่างกับแนวโน้มความสัมพันธ์ของ Org (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 25) ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

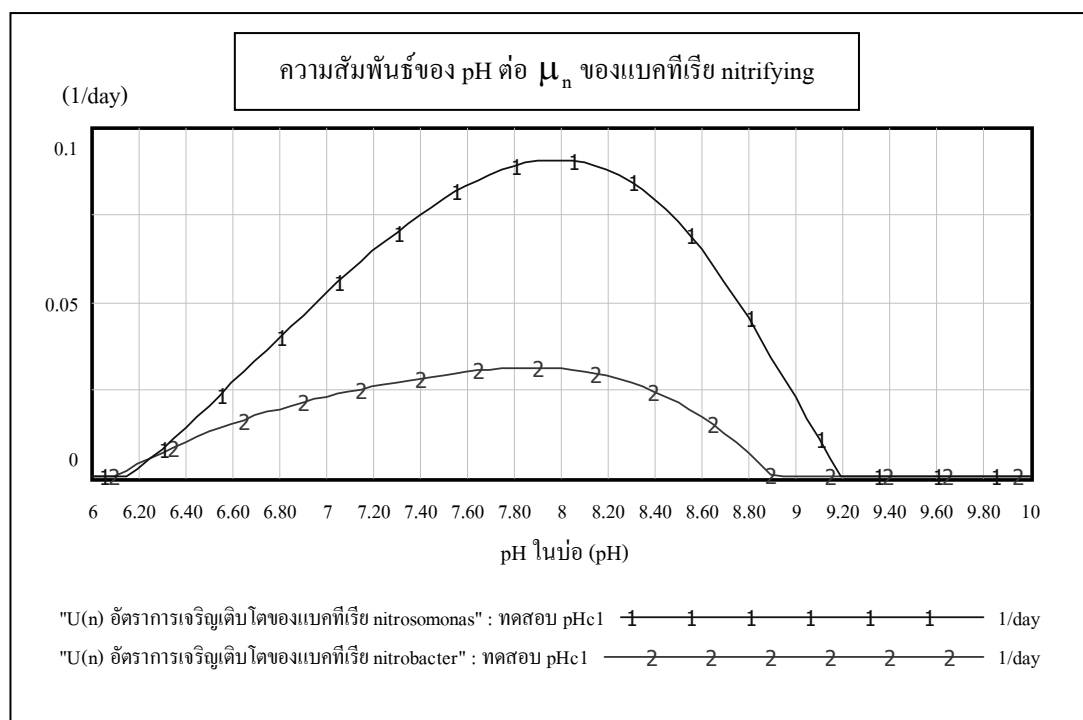
ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนค่าความสัมพันธ์ของ N แต่ละรูปในระดับต่างๆ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในช่วง pH 6 - 10 หลายครั้งพบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่คำนวณ

ดั่งสมการ (18) เปลี่ยนแปลงไม่สอดคล้องกับทฤษฎีภาพประกอบ 12 ซึ่งเมื่อ pH สูงกว่าระดับที่เหมาะสมอัตราการเจริญเติบโตยังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนที่คำนวณดั่งสมการ (27) เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับทฤษฎีภาพประกอบ 14 ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตปรากฏโดยเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง pH ที่เหมาะสม

ง. การปรับแก้ (อธิบายรายละเอียดของการปรับแก้ในภาคผนวก จ (4) หน้า 219-224)

แก้สมมติฐานใหม่ โดยเปลี่ยนสมการ จากสมมติฐานเดิมอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrosomonas และ nitrobacter จำนวนดั่งสมการ (18) ผลการทดสอบจากแบบจำลองได้แนวโน้มไม่สอดคล้องดั่งทฤษฎี (ดั่งเส้นที่ 1 ภาพประกอบ 26) จึงเปลี่ยนสมมติฐานให้การคำนวณอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียดังกล่าวเกิดขึ้นดั่งการคำนวณของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย heterotrophic และ denitrifying ทำให้ได้ผลการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องดั่งทฤษฎีภาพประกอบ 12 ดั่งภาพประกอบ 27



ภาพประกอบ 27 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrosomonas และ nitrobacter

4.4.2 ทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

จากสมมติฐาน 1.2 (ในตารางภาคผนวก ค 1) สมมติฐาน 2.3 (ในตารางภาคผนวก ค 2) สมมติฐาน 3.1 (ในตารางภาคผนวก ค 3) และสมมติฐาน 4.4 (ในตารางภาคผนวก ค 4) อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแต่ละชนิดมีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงตาม โดยเป็นผลจากการคำนวณของสมการ (19)

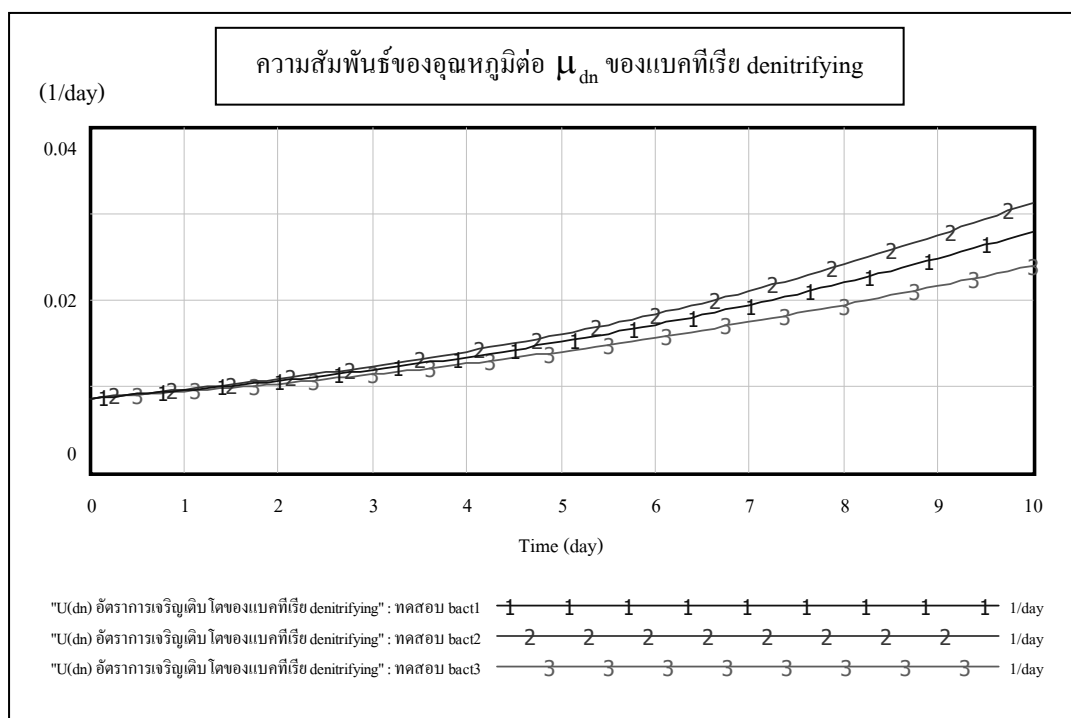
ก. การทดสอบ โดยดูผลการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย denitrifying เป็นตัวอย่าง การทดสอบมี 3 กรณี

กรณีที่ 1 อุณหภูมิคงที่ 29.3 °C ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

กรณีที่ 2 อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 29.3 °C ในวันที่ 0 เป็น 31 °C ในวันที่ 10

กรณีที่ 3 อุณหภูมิมีแนวโน้มลดลงจาก 29.3 °C ในวันที่ 0 เป็น 27 °C ในวันที่ 10

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 28 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย denitrifying

ภาพประกอบ 28 ในสภาวะที่บ่อ ฯ มีอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย denitrifying มีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้น (เส้นที่ 1) โดยเปลี่ยนแปลงตามปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในบ่อ เมื่ออุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดนี้เพิ่มขึ้นตาม (เส้นที่ 2) และเมื่ออุณหภูมิลดลงส่งผลให้แนวโน้มลดลงตาม (เส้นที่ 3)

ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนระดับอุณหภูมิหลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทุกชนิดแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน

4.4.3 ทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของ DO ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

4.4.3.1 อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ต้องการ O_2

จากสมมติฐาน 1.3 (ในตารางภาคผนวก ค 1) สมมติฐาน 2.3 (ในตารางภาคผนวก ค 2) สมมติฐาน 3.1 (ในตารางภาคผนวก ค 3) อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ต้องการ O_2 มีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของ DO คือ เมื่อ DO เพิ่มขึ้นอัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้น และเมื่อ DO ลดลงอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงตาม โดยอัตราการเจริญเติบโตจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อ $\text{DO} > 2 \text{ g/m}^3$ (ดังข้อมูลทฤษฎีตาราง 4)

การเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrifying เป็นผลจากการคำนวณของสมการ (18) ส่วน heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N เป็นผลจากสมการภาคผนวก ข (4) และมีลักษณะแนวโน้มดังทฤษฎีภาพประกอบ 10

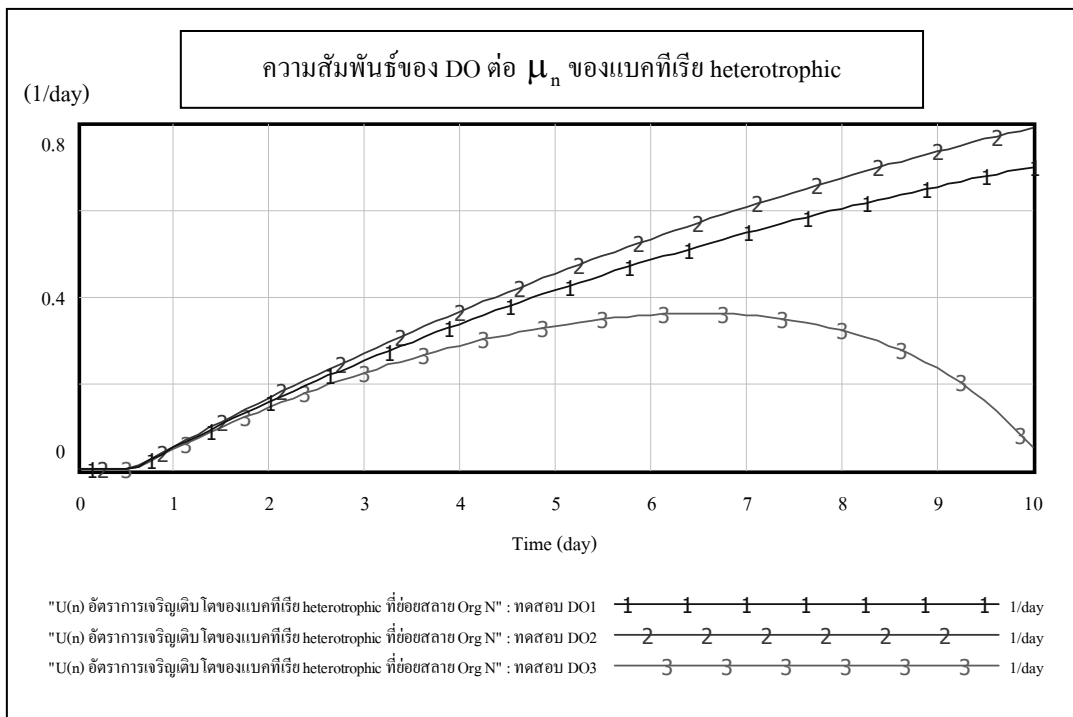
ก. การทดสอบ โดยดูผลการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N เป็นตัวอย่าง การทดสอบมี 3 กรณี

กรณีที่ 1 DO คงที่ 2 g/m^3 ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

กรณีที่ 2 DO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 2 g/m^3 ในวันที่ 0 เป็น 4 g/m^3 ในวันที่ 10

กรณีที่ 3 DO มีแนวโน้มลดลงจาก 2 g/m^3 ในวันที่ 0 เป็น 0.1 g/m^3 ในวันที่ 10

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 29 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ DO ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N

จากภาพประกอบ 29 ในสภาวะที่บ่อ ๑ มี DO คงที่ตลอดเวลา ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย heterotrophic ที่ย่อยสลาย Org N มีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้น (เส้นที่ 1) โดยเปลี่ยนแปลงตามปริมาณ Org N ในบ่อ เมื่อ DO มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดนี้เพิ่มขึ้นตาม (เส้นที่ 2) และเมื่อ DO ลดลงเข้าใกล้ 0 g/m^3 ส่งผลให้แนวโน้มลดลงเข้าใกล้ 0 (1/day) ดังเส้นที่ 3

ค. สรุปผลการทดสอบ

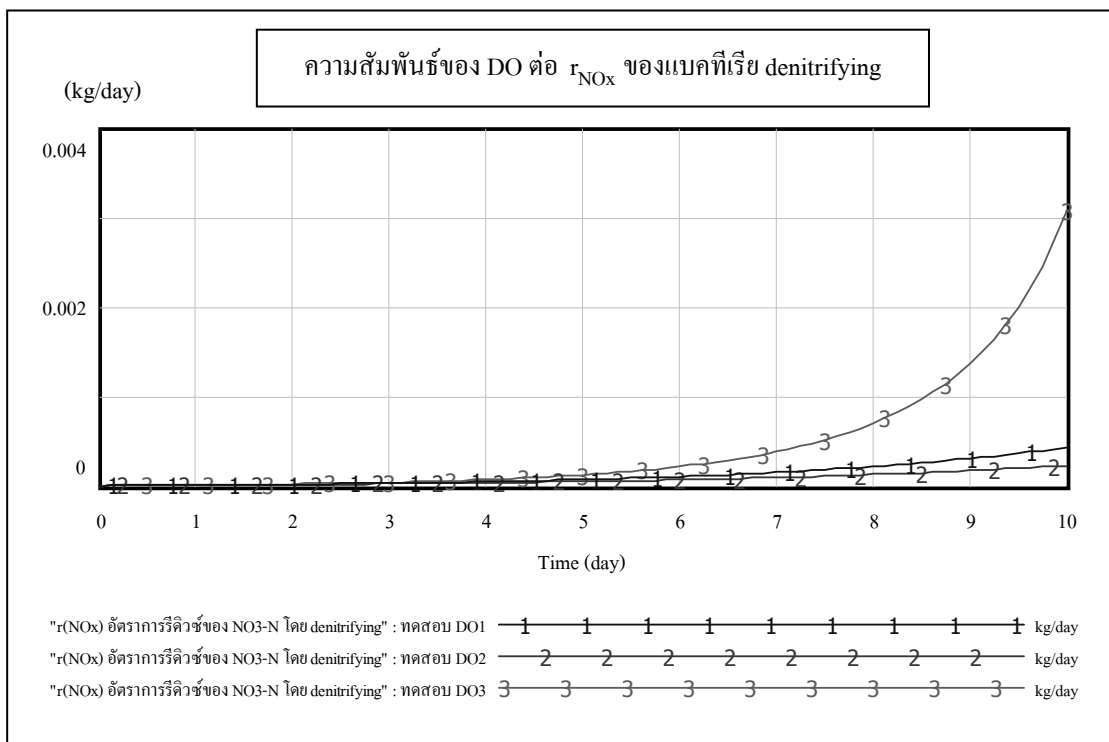
จากการทดลองเปลี่ยนระดับ DO หลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ต้องการ O_2 ทุกชนิดแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของ DO ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีภาพประกอบ 10

4.4.3.2 อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการ O₂

จากสมมติฐาน 4.5 (ในตารางภาคผนวก ก 4) อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการ O₂ จะผันผวนกับการเปลี่ยนแปลงของ DO คือ เมื่อ DO ของน้ำมากกว่า 0.2 g/m³ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะน้อยมากหรือเป็นศูนย์ แต่เมื่อ DO ของน้ำในบ่อต่ำกว่า 0.2 g/m³ อัตราการเจริญเติบโตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการคำนวณของสมการ (26) และมีลักษณะแนวโน้มดังภาพประกอบทฤษฎี 13

ก. การทดสอบ โดยดูผลการเปลี่ยนแปลงของอัตราการรีดิวซ์ NO₃⁻-N โดยแบคทีเรีย denitrifying (เพราะความสัมพันธ์ของ DO เกี่ยวข้องกับสมการ (26)) การทดสอบมี 3 กรณี แต่ละกรณีมีการเปลี่ยนแปลงระดับ DO เหมือนกับการทดสอบกับแบคทีเรียที่ต้องการ O₂

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 30 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ DO ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย denitrifying

ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนระดับ DO หลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้อัตราการรีดิวซ์ $\text{NO}_3\text{-N}$ โดยแบคทีเรีย denitrifying ผกผันกับการเปลี่ยนแปลงของ DO เมื่อ DO ต่ำกว่า 0.2 g/m^3 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีภาพประกอบ 13

4.4.4 ทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของพีช สาหร่าย และแบคทีเรียต่อการลดลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในบ่อ

จากสมมติฐาน 2.1, 2.2 และ 2.5 (ในตารางภาคผนวก ค 2) และสมมติฐาน 4.1, 4.2 และ 4.7 (ในตารางภาคผนวก ค 4) การลดลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในบ่อโดยพีช สาหร่าย และแบคทีเรียมีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพีช สาหร่าย และแบคทีเรียในบ่อ คือเมื่อปริมาณพีช สาหร่าย และแบคทีเรียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ถูกใช้โดยตัวแปรชีวภาพดังกล่าวเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณตัวแปรชีวภาพดังกล่าวมีแนวโน้มลดลง $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ถูกใช้ลดลงตาม

ก. การทดสอบ โดยดูผลการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกใช้โดยสาหร่ายเป็นตัวอย่าง การทดสอบมี 3 กรณี

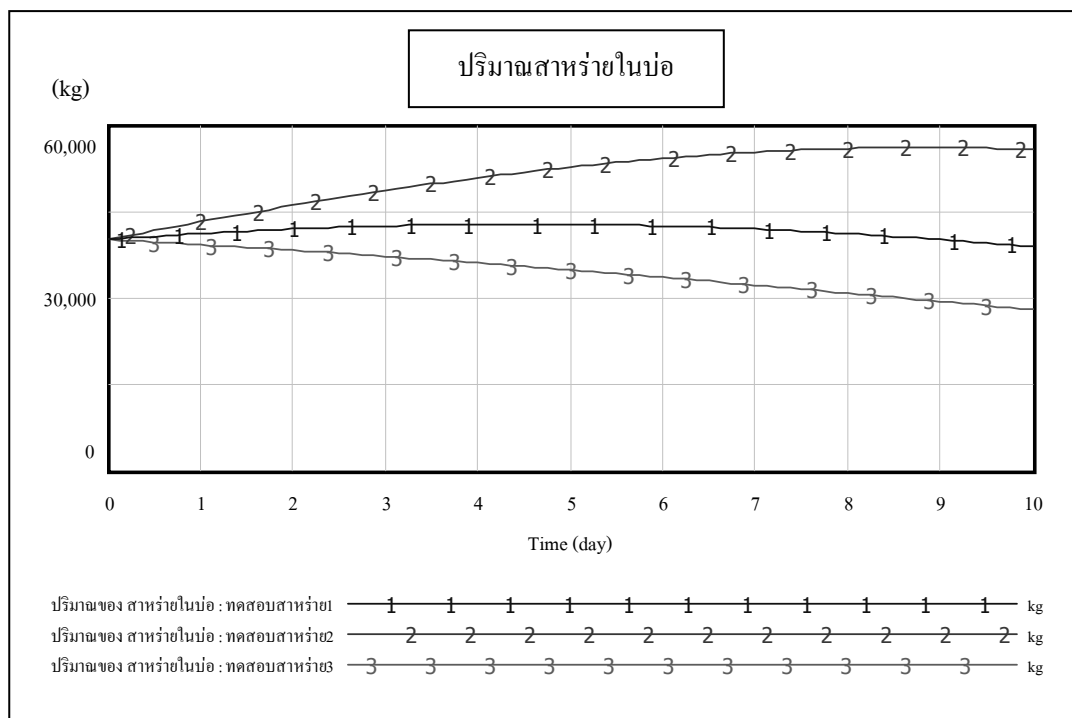
กรณีที่ 1 ปริมาณสาหร่ายในบ่ออยู่ในสภาวะปกติ (เป็นผลจากค่าเริ่มต้นดังตารางภาคผนวก ค 8)

กรณีที่ 2 ปริมาณสาหร่ายในบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเดิม 3%

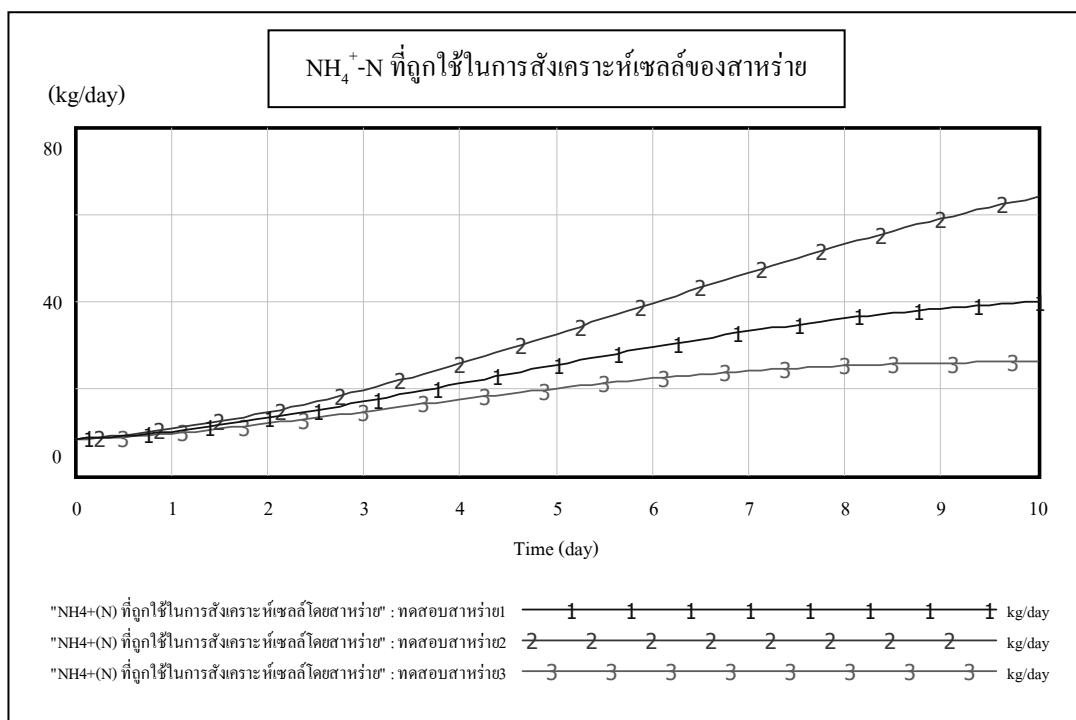
กรณีที่ 3 ปริมาณสาหร่ายในบ่อมีแนวโน้มลดลงจากเดิม 2%

หมายเหตุ: กรณีที่ 2 และ 3 ทดสอบแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและลดลงด้วย % ที่ต่างกัน เพื่อให้ผลการทดสอบแสดงให้เห็นระดับการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่าง

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 31 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของสาหร่ายต่อการใช้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$
: กรณีแนวโน้มของสาหร่าย



ภาพประกอบ 32 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของสาหร่ายต่อการใช้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$
: กรณีแนวโน้มของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกใช้โดยสาหร่าย

ในสภาวะที่บ่อ ๆ มีแนวโน้มของปริมาณสาหร่ายดังเส้นที่ 1 ภาพประกอบ 31 ส่งผลให้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่ายมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามแนวโน้มของปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อดังเส้นที่ 1 ภาพประกอบ 32 เมื่อปริมาณสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 31) ส่งผลให้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ถูกใช้เพิ่มขึ้น (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 32) และเมื่อปริมาณสาหร่ายมีแนวโน้มลดลง (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 31) ส่งผลให้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ น้อยลง (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 32)

ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนค่าเพื่อให้แนวโน้มของปริมาณสาหร่ายเปลี่ยนในระดับต่าง ๆ หลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่ายแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาหร่ายในบ่อ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน

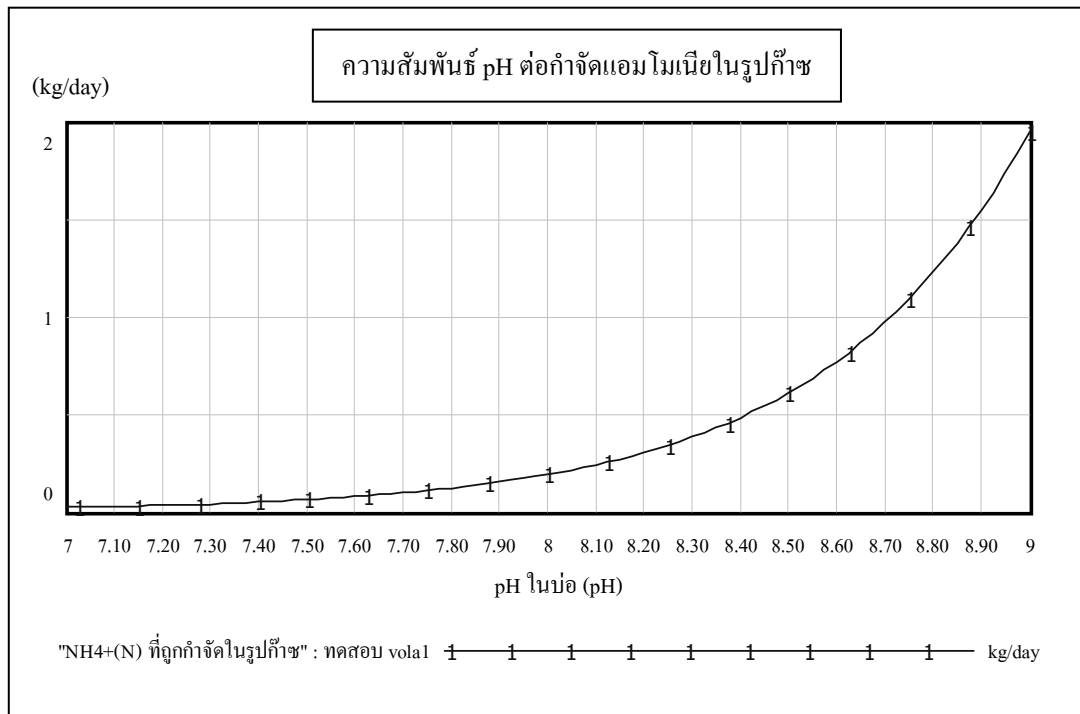
4.4.5 ทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของ pH ต่อการกำจัด $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในรูปก๊าซ ($\text{NH}_3\text{-N}$)

จากสมมติฐาน 2.5 (ในตารางภาคผนวก ค 2) เมื่อ pH ของน้ำสูงกว่า 7 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ จะถูกกำจัดในรูปก๊าซเพิ่มขึ้นตามระดับ pH ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อ pH ของน้ำต่ำกว่า 7 จะไม่เกิดการกำจัดของแอมโมเนียไนโตรเจนในรูปก๊าซ โดยเป็นผลจากการคำนวณของสมการ (28) มีลักษณะของแนวโน้มดังทฤษฎีภาพประกอบ 7

ก. การทดสอบ

ดูผลการเปลี่ยนแปลงของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซในช่วง pH 7 – 9

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 33 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ pH ต่อการกำจัด NH_4^+-N ในรูปก๊าซ

จากภาพประกอบ 33 NH_4^+-N ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซมีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระดับ pH ที่เพิ่มขึ้นจาก 7

ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนค่าปริมาณ NH_4^+-N ในบ่อ ๆ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ NH_4^+-N ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซในช่วง pH ต่าง ๆ หลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้ NH_4^+-N ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของ pH โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อ pH เป็นค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องดังทฤษฎีภาพประกอบ 7

4.4.6 ทดสอบความสัมพันธ์ของ COD ต่อการเกิดปฏิกิริยา denitrification

จากสมมติฐาน 4.6 (ในตารางภาคผนวก ก 4) การลดลงของ NO_3^--N ในบ่อโดยปฏิกิริยา denitrification มีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน COD: NO_3^--N โดยสัดส่วน COD: NO_3^--N เพิ่มขึ้นปฏิกิริยา denitrification มีโอกาสเกิดได้มากขึ้น และเมื่อสัดส่วน COD: NO_3^--N น้อยโอกาสเกิดปฏิกิริยานี้จะน้อยลง โดยแนวโน้มเป็นผลจากการคำนวณของสมการ (26)

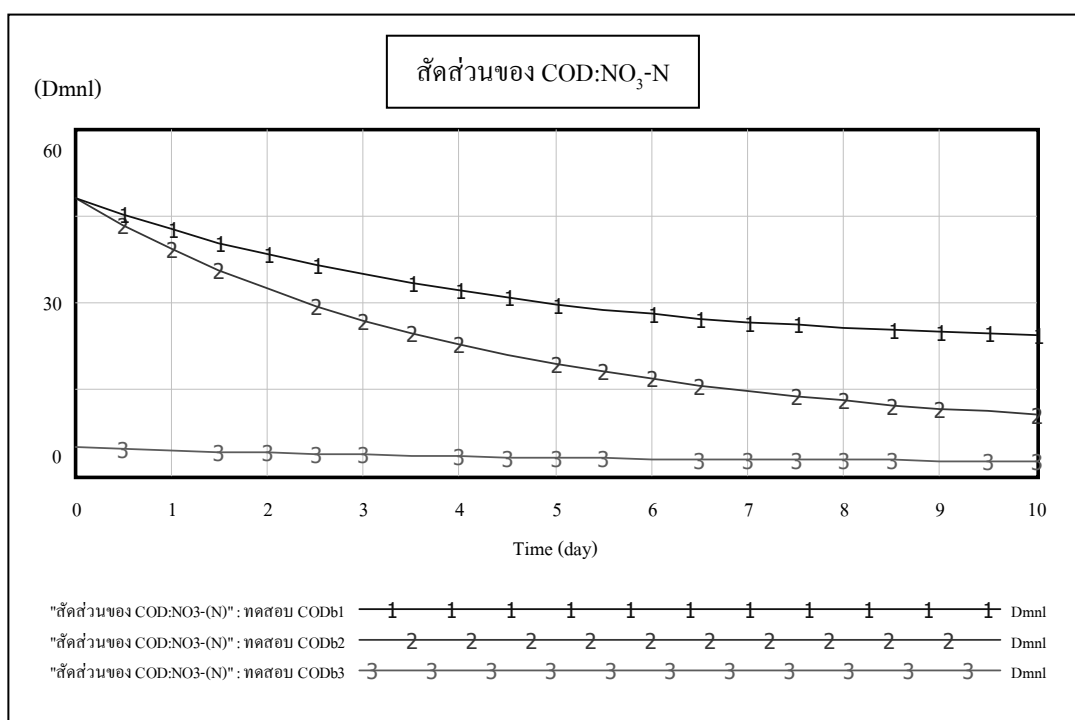
ก. การทดสอบ ดูผลการเปลี่ยนแปลงของอัตราการรีดิวซ์ $\text{NO}_3\text{-N}$ โดยแบคทีเรีย denitrifying (เพราะตัวแปร COD เกี่ยวข้องในสมการ (26)) การทดสอบมี 3 กรณี

กรณีที่ 1 สัดส่วน COD: $\text{NO}_3\text{-N}$ เริ่มต้นที่ 50 : 1 จากนั้นมีแนวโน้มลดลง

กรณีที่ 2 สัดส่วน COD: $\text{NO}_3\text{-N}$ มีแนวโน้มลดลงกว่ากรณีแรก 2 เท่า

กรณีที่ 3 สัดส่วน COD: $\text{NO}_3\text{-N}$ มีสัดส่วนน้อยมากอยู่ในช่วง 3 : 1

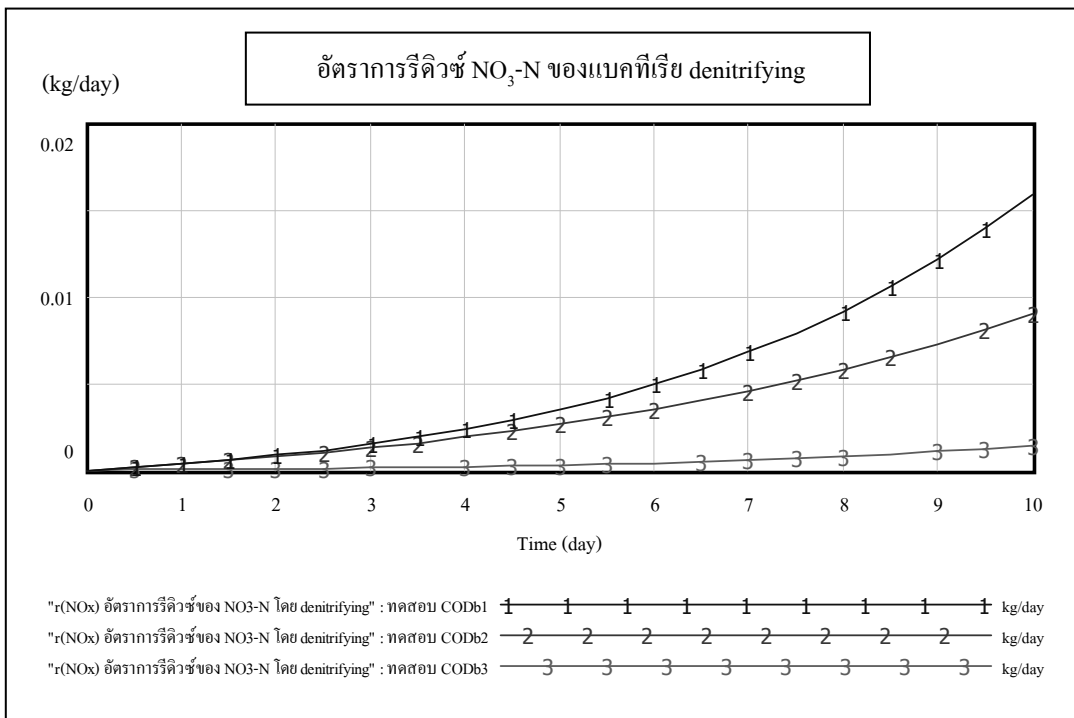
ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 34 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ COD ต่อการเกิดปฏิกิริยา denitrification

: กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน COD: $\text{NO}_3\text{-N}$

หมายเหตุ : Dimensionless (Dmnl) คือ ไม่มีหน่วย



ภาพประกอบ 35 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของ COD ต่อการเกิดปฏิกิริยา denitrification : กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการรีดิวซ์ NO₃-N โดยแบคทีเรีย denitrifying

เมื่อสัดส่วน COD:NO₃-N ในบ่อ ๆ มีแนวโน้มดังเส้นที่ 1 ภาพประกอบ 34 ส่งผลให้อัตราการรีดิวซ์ NO₃-N โดยแบคทีเรีย denitrifying มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเปลี่ยนแปลงตามปริมาณ NO₃-N ในบ่อดังเส้นที่ 1 ภาพประกอบ 35 เมื่อสัดส่วน COD:NO₃-N มีแนวโน้มลดลงกว่าเดิม (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 34) ส่งผลให้อัตราการรีดิวซ์ NO₃-N มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยกว่าเดิม (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 35) และเมื่อสัดส่วน COD:NO₃-N อยู่ในระดับที่น้อยมาก (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 34) ส่งผลให้อัตราการรีดิวซ์ NO₃-N เพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยมาก (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 35)

ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนค่าสัดส่วน COD:NO₃-N หลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้อัตราการรีดิวซ์ NO₃-N โดยแบคทีเรีย denitrifying มีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน COD:NO₃-N ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน

4.4.7 ทดสอบความสัมพันธ์ของพืชต่อการตายของสาหร่ายในบ่อ

จากสมมติฐาน 6.1 (ในตารางภาคผนวก ก 6) การลดลงของสาหร่ายในบ่อมีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวน้ำที่มีพืชลอยน้ำปกคลุม คือ เมื่อพืชลอยน้ำปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำในบ่อเพิ่มขึ้น โอกาสที่สาหร่ายจะตายเพิ่มขึ้น และเมื่อพืชลอยน้ำปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำในบ่อน้อยลง โอกาสที่สาหร่ายจะตายน้อยลง

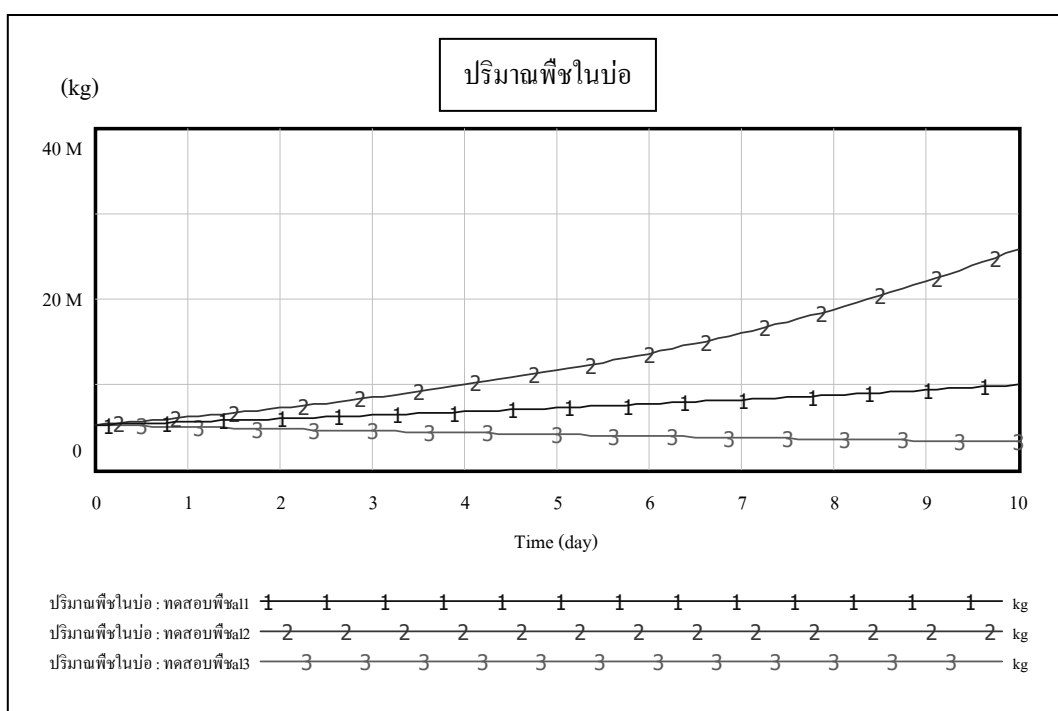
ก. การทดสอบ ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพืชในบ่อต่อปริมาณสาหร่ายในบ่อ การทดสอบมี 3 กรณี

กรณีที่ 1 ปริมาณของพืชในบ่อมี 60% ของพื้นที่

กรณีที่ 2 ปริมาณพืชในบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

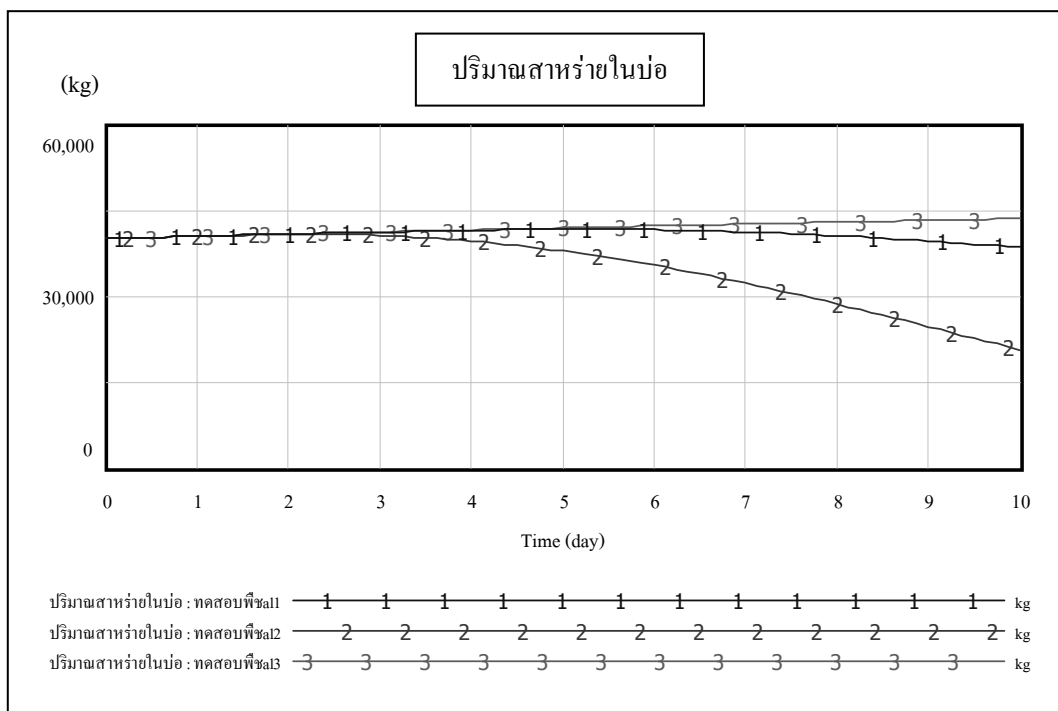
กรณีที่ 3 ปริมาณพืชในบ่อมีแนวโน้มลดลง

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 36 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของพืชต่อการตายของสาหร่ายในบ่อ

: กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพืชในบ่อ



ภาพประกอบ 37 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของพีชต่อการตายของสาหร่ายในบ่อ
 : กรณีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาหร่ายในบ่อ

ในสภาวะที่บ่อ ๑ มีแนวโน้มปริมาณพีชลอยน้ำในบ่อดังเส้นที่ 1 ภาพประกอบ 36 ส่งผลให้ปริมาณสาหร่ายในบ่อมีแนวโน้มดังเส้นที่ 1 ภาพประกอบ 37 เมื่อปริมาณพีชในบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 36) ส่งผลให้ปริมาณสาหร่ายในบ่อมีแนวโน้มลดลง (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 37) เนื่องจากบ่อ ๑ มีพื้นที่ผิวน้ำที่มีพีชลอยน้ำปกคลุมมากขึ้น ทำให้มีการบดบังการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สาหร่ายในบ่อตายเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณพีชในบ่อมีแนวโน้มลดลง (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 36) ส่งผลให้ปริมาณสาหร่ายในบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 37) เนื่องจากพื้นที่ผิวน้ำที่มีพีชลอยน้ำปกคลุมน้อยลง โอกาสที่สาหร่ายสังเคราะห์แสงมีมากขึ้น

ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนค่าแนวโน้มของปริมาณพีชในบ่อหลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้ปริมาณสาหร่ายในบ่อผูกพันกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพีชลอยน้ำในบ่อ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน

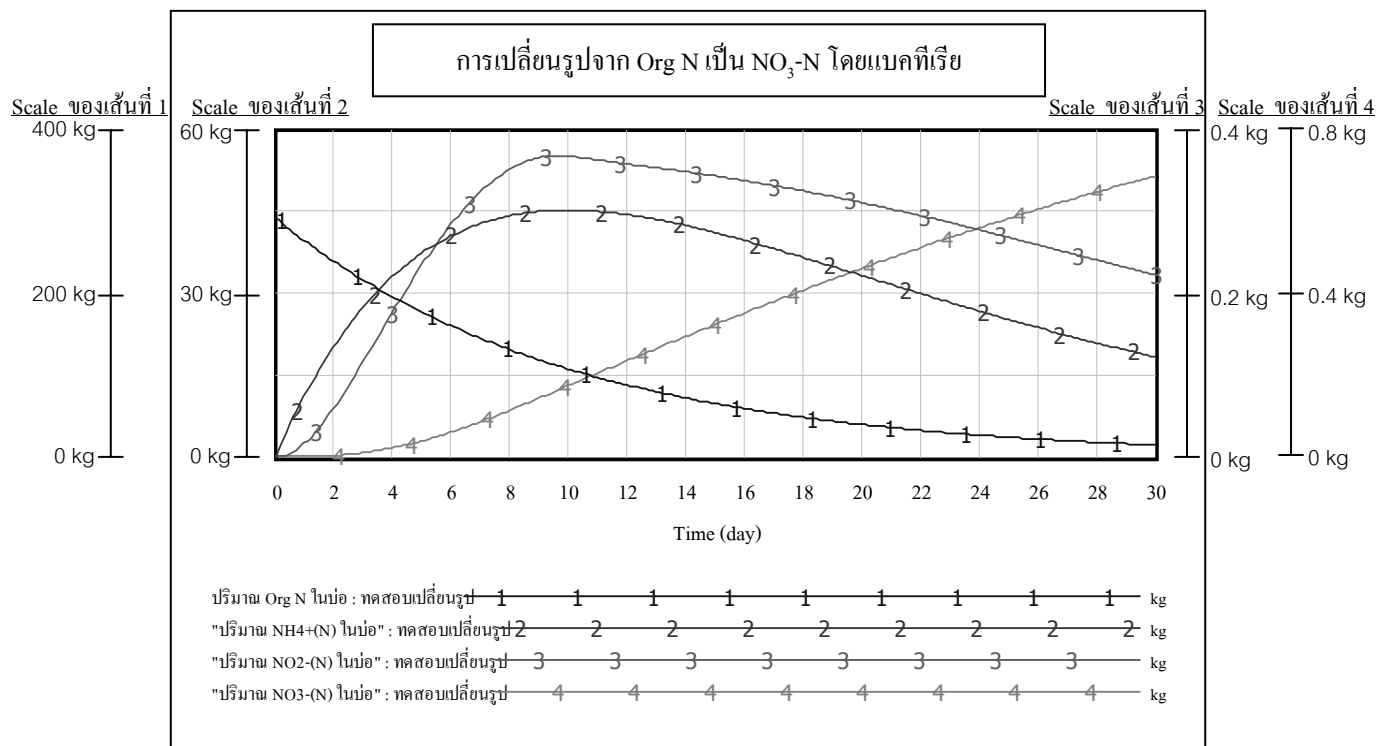
4.4.8 ทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนรูป N แต่ละรูปโดยแบคทีเรีย

จากสมมติฐาน 7 ความสัมพันธ์ของไนโตรเจนแต่ละรูปในบ่อกำหนดให้สอดคล้องกับทฤษฎีดังกล่าวประกอบ 5 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของไนโตรเจนแต่ละรูปกับระยะทางที่มีการปล่อยน้ำเสีย (โดยสมมติฐานให้การเปลี่ยนแปลงตามระยะทางเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงตามเวลา) ในเริ่มต้นพิจารณาเฉพาะ Org N ส่วน $\text{NH}_4^+\text{-N}$ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ และ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนโดยอาศัยแบคทีเรีย (ตามทฤษฎีข้อ 2.3.3.5) เพียงทางเดียว และผลสุดท้ายของความสัมพันธ์ไนโตรเจนจะอยู่ในรูปของ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ โดย $\text{NO}_3^-\text{-N}$ จะไม่ถูกกำจัดและถูกใช้ประโยชน์ในบ่อแต่อย่างใด

ก. การทดสอบ ได้กำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณไนโตรเจนในบ่อมีค่าเริ่มต้นเฉพาะ Org N (ดังผลของค่าเริ่มต้น ดังตารางภาคผนวก ก 4)
- $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ และ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ในบ่อมีค่าเริ่มต้นเป็น 0
- อัตราการไหลเข้าของ Org N $\text{NH}_4^+\text{-N}$ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ และ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ คู่อบ่เป็น 0
- อัตราการเกิด Org N ในบ่อเป็น 0
- อัตราการเกิด $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อมาจากปฏิกิริยา ammonification ทางเดียว
- อัตราการเกิด $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ในบ่อมาจากปฏิกิริยา nitritation ทางเดียว
- อัตราการเกิด $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ในบ่อมาจากปฏิกิริยา nitrataion
- ปริมาณ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ในบ่อไม่ถูกใช้ประโยชน์ในบ่อและไม่ถูกปล่อยออก

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 38 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนรูป N แต่ละรูปโดยแบคทีเรีย

จากภาพประกอบ 38 ปริมาณ Org N ที่มีอยู่อย่างจำกัดในบ่อมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง (เส้นที่ 1) เพราะตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดไนโตรเจนในบ่อมีปริมาณที่เหมาะสมทำให้เกิดการบำบัดทางชีวภาพขึ้น ส่วนหนึ่งของการบำบัด Org N จะถูกเปลี่ยนรูปเป็น NH₄⁺-N ในปฏิกิริยา ammonification ทำให้ NH₄⁺-N ที่มีค่าเริ่มต้นเป็น 0 เพิ่มขึ้นด้วยปริมาณที่สูงในช่วงแรกจากนั้นมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลง (เส้นที่ 2) เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของ Org N เริ่มน้อยลงและเกิดปฏิกิริยา nitrification ขึ้น NH₄⁺-N ถูกเปลี่ยนรูปเป็น NO₂⁻-N (ปฏิกิริยา nitritation) และ NO₂⁻-N ถูกเปลี่ยนรูปเป็น NO₃⁻-N (ปฏิกิริยา nitrataion) ตามลำดับ (เส้นที่ 3 และ 4) ซึ่งแนวโน้มของ NO₂⁻-N เปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มของ NH₄⁺-N แต่ปริมาณ NO₂⁻-N มีน้อยกว่า NH₄⁺-N มาก (สังเกตจาก scale) เนื่องจากแบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง (nitrobacter) มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงจึงไวต่อการเปลี่ยนรูป (ดังทฤษฎี 2.3.5.1 ภาพประกอบ 10) ส่วน NO₃⁻-N มีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะไม่ถูกเปลี่ยนรูปหรือกำจัดออกจากบ่อ

ก. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนค่าเริ่มต้นของ Org N ในบ่อหลายครั้งพบว่า ความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้ N มีการเปลี่ยนรูปเป็นลำดับจาก Org N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ และ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ รวมทั้งปริมาณของไนโตรเจนทั้ง 4 รูป ได้แก่ ปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ น้อยกว่า Org N, ปริมาณ $\text{NO}_2^-\text{-N}$ น้อยกว่า $\text{NH}_4^+\text{-N}$ พิจารณาจาก scale ของ N แต่ละรูปควบคู่) และปริมาณ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทฤษฎีดังกล่าวประกอบ 5

4.4.9 ทดสอบความสัมพันธ์ของของไนโตรเจนที่พิจารณาในลักษณะการทำงานของบ่อ ฯ

จากสมมติฐาน 8.1 (ภาคผนวกหน้า 177) ปริมาณของไนโตรเจนในบ่อจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อและไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อ แต่ปริมาณไนโตรเจนในบ่อจะผันผวนกับการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่ลดลงในบ่อและไนโตรเจนที่ปล่อยออกจากบ่อ

ก. การทดสอบ ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Org N ในบ่อเป็นตัวอย่างการทดสอบมี 5 กรณี

กรณีที่ 1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราใด ๆ

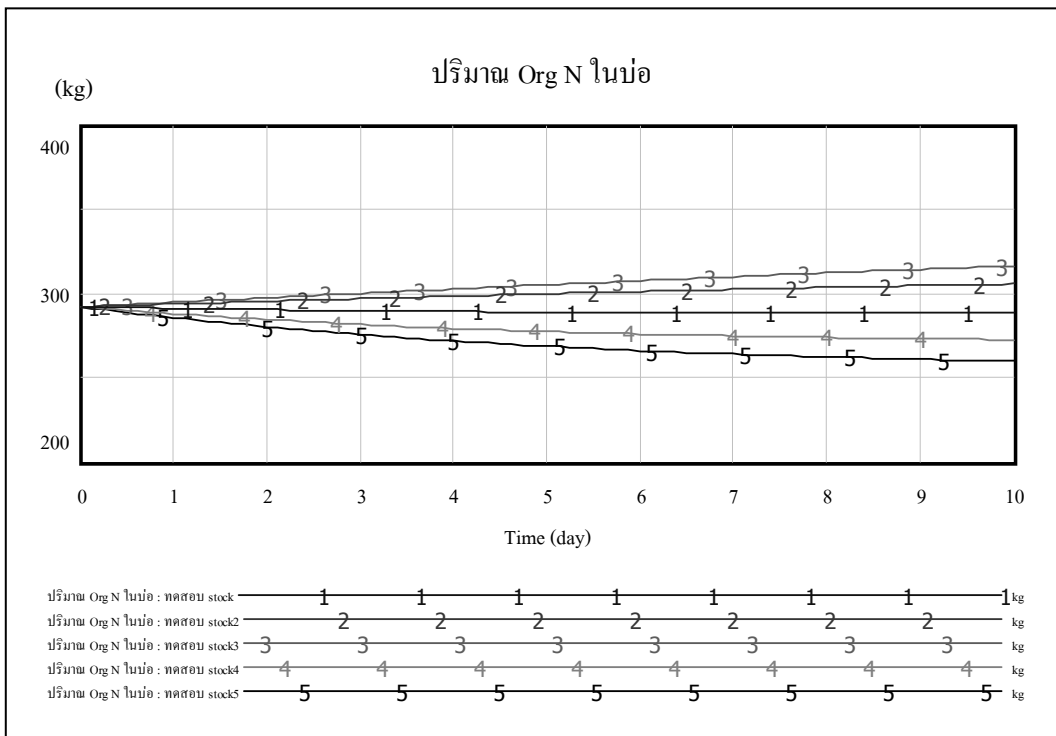
กรณีที่ 2 เพิ่มอัตราการไหลเข้าของ Org N สู่อบ่อ

กรณีที่ 3 เพิ่มเติมจากกรณีที่ 2 โดยเพิ่มอัตราการเกิดของ Org N ในบ่อ

กรณีที่ 4 เพิ่มเติมจากกรณีที่ 3 โดยเพิ่มอัตราการลดลงของ Org N ในบ่อ

กรณีที่ 5 เพิ่มเติมจากกรณีที่ 3 โดยเพิ่มอัตราการปล่อยออกของ Org N จากบ่อ แต่ปรับกรณีที่ 4 ให้คงเดิม

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 39 ผลการทดสอบสัมพันธ์ของปริมาณ Org N ในบ่อที่พิจารณาในลักษณะการทำงานของบ่อ ฯ

จากภาพประกอบ 39 ในสถานะที่บ่อ ฯ มีความสมดุลของอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของ Org N ในบ่อ ปริมาณ Org N ในบ่อ ฯ มีแนวโน้มคงที่ (ดั่งเส้นที่ 1) เมื่ออัตราการไหลเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ Org N ในบ่อ ฯ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม (ดั่งเส้นที่ 2) และเมื่อได้รับเพิ่มเติมจาก Org N ที่เกิดขึ้นในบ่อ ฯ ส่งผลให้แนวโน้มเพิ่มขึ้นกว่าเดิม (ดั่งเส้นที่ 3) แต่เมื่อความสามารถในการบำบัดทางชีวภาพในบ่อเพิ่มขึ้น ถึงแม้ Org N ในบ่อ ฯ จะได้รับเพิ่มเติมจากที่ไหลเข้าและเกิดขึ้นในบ่อ ฯ ก็ตาม ส่งผลให้ Org N ในบ่อ ฯ มีแนวโน้มลดลง (ดั่งเส้นที่ 4) และในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ที่ Org N ถูกปล่อยออกเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณ Org N ในบ่อ ฯ มีแนวโน้มลดลง (ดั่งเส้นที่ 5)

ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนอัตราทั้ง 4 หลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้ปริมาณ N รูปต่าง ๆ ในบ่อ ฯ แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเข้า

และอัตราการเกิดขึ้นในบ่อ แต่ผูกพันกับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการลดลงในบ่อและอัตราการปล่อยออกจากบ่อ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน

จากสมมติฐาน 8.2 (ภาคผนวกหน้า 177) ไนโตรเจนที่ลดลงในบ่อกับไนโตรเจนที่ปล่อยออกจากบ่อจะแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนในบ่อ และไนโตรเจนที่ปล่อยออกจากบ่อจะผูกพันกับการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่ลดลงในบ่อ

ก. การทดสอบ ผลของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Org N ในบ่อเป็นตัวอย่างการทดสอบมี 4 กรณีดังนี้

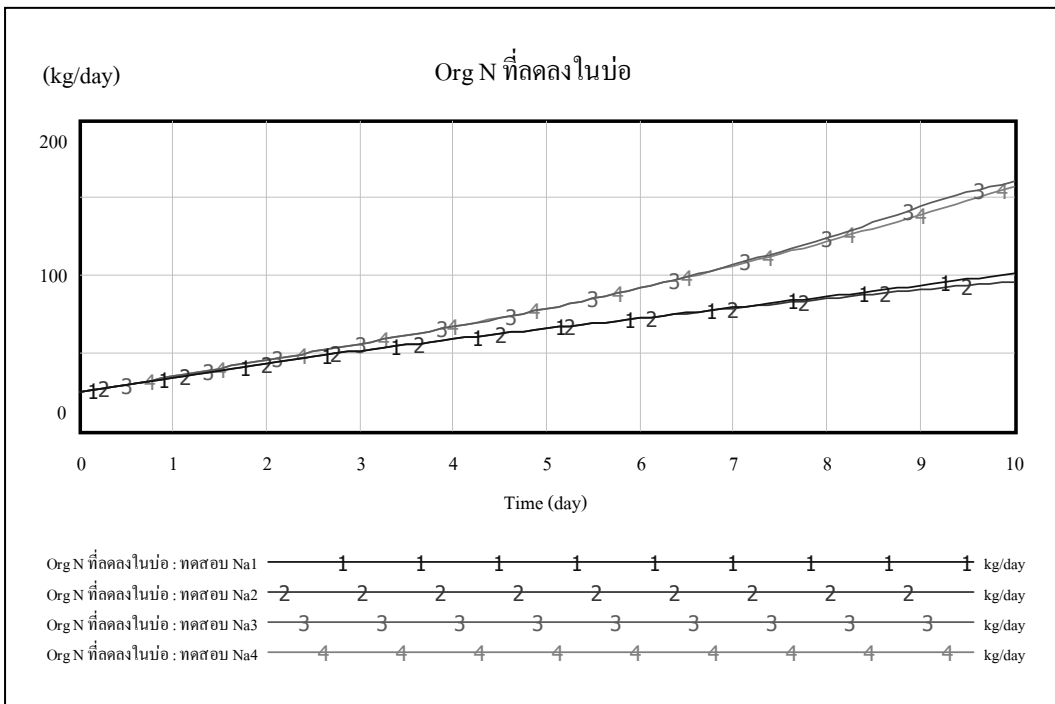
กรณีที่ 1 Org N ที่ไหลเข้าสู่บ่อคงที่ที่ความเข้มข้น 2 g/m^3 และในบ่อมีตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูง ดังนี้ อุณหภูมิคงที่ที่ $29.27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pH คงที่ที่ 8.15 และ DO คงที่ที่ 8.5 g/m^3

กรณีที่ 2 Org N ที่ไหลเข้าสู่บ่อคงที่เท่ากับกรณีที่ (1) แต่ตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียมีแนวโน้มลดลงจากกรณีที่ (1) ดังนี้ อุณหภูมิลดลงเหลือ $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pH ลดลงเหลือ 6 และ DO ลดลงเหลือ 2 g/m^3 ในวันที่ 10

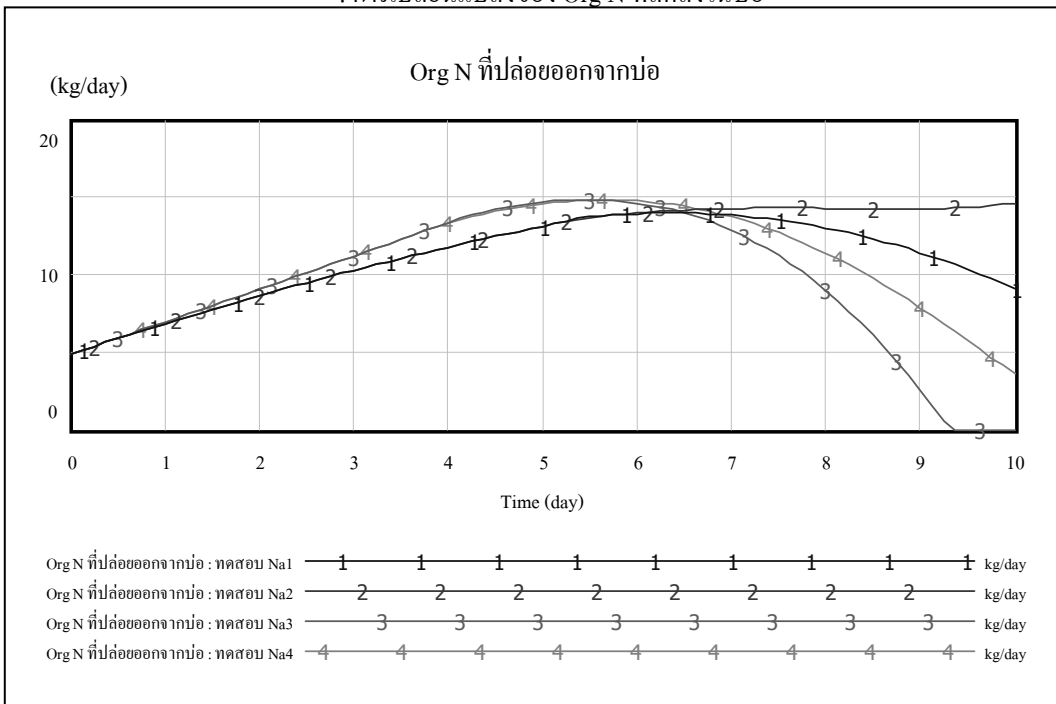
กรณีที่ 3 Org N ที่ไหลเข้าสู่บ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ (1) เป็น 4 g/m^3 ในวันที่ 10 ส่วนอุณหภูมิ pH และ DO คงที่เหมือนกรณีที่ (1)

กรณีที่ 4 Org N ที่ไหลเข้าสู่บ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังกรณีที่ (3) ส่วนอุณหภูมิ pH และ DO มีแนวโน้มลดลงดังกรณีที่ (2)

ข. ผลการทดสอบ



ภาพประกอบ 40 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปริมาณ Org N ในบ่อต่อ Org N ที่ลดลงในบ่อและ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ และความสัมพันธ์ของ Org N ที่ลดลงในบ่อต่อ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ : การเปลี่ยนแปลงของ Org N ที่ลดลงในบ่อ



ภาพประกอบ 41 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของปริมาณ Org N ในบ่อต่อ Org N ที่ลดลงในบ่อและ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ และความสัมพันธ์ของ Org N ที่ลดลงในบ่อต่อ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ : การเปลี่ยนแปลงของ Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ

ในสภาวะที่บ่อ ๑ มีแวนไน้มของปริมาณ Org N เพิ่มขึ้น (Org N ไหลเข้ามีความเข้มข้น 2 g/m^3) และมีอุณหภูมิ pH DO อยู่ในระดับที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูงคงที่ตลอดเวลา ส่งผลให้อัตราการลดลงของ Org N ในบ่อมีแวนไน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (เส้นที่ 1 ภาพประกอบ 40) ส่วน Org N ที่ถูกปล่อยออกจากบ่อมีอัตราเพิ่มขึ้นในช่วงแรกตามแวนไน้มของปริมาณ Org N ในบ่อ แต่แวนไน้มลดลงในช่วงหลังเพราะ Org N ถูกบำบัดในบ่อสูง ทำให้ส่วนที่เหลือถูกปล่อยออกน้อยลง (เส้นที่ 1 ภาพประกอบ 41) แต่เมื่ออุณหภูมิ pH DO มีแวนไน้มลดลงส่งผลให้อัตราการลดลงของ Org N ในบ่อมีอัตราเพิ่มขึ้นที่น้อยลงกว่าเดิม (เส้นที่ 2 ภาพประกอบ 40) ทำให้ Org N มีโอกาสถูกปล่อยออกจากบ่อเพิ่มขึ้นกว่าเดิม (เส้นที่ 2 ภาพประกอบ 41)

และในสภาวะที่บ่อ ๑ มีแวนไน้มของปริมาณ Org N ในบ่อเพิ่มขึ้นกว่าเดิม (Org N ไหลเข้ามีความเข้มข้น 4 g/m^3) และมีอุณหภูมิ pH DO อยู่ในระดับที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูงคงที่ตลอดเวลา ส่งผลให้อัตราการลดลงของอินทรีย์ในโตรเจนในบ่อและอัตราการปล่อยออกจากบ่อมีแวนไน้มเพิ่มขึ้นกว่าเดิมอย่างเห็นได้ชัด (เส้นที่ 3 ภาพประกอบ 40 และ 41) แต่เมื่ออุณหภูมิ pH DO มีแวนไน้มลดลง ส่งผลให้อัตราการลดลงของ Org N ในบ่อมีแวนไน้มเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่าเดิม (เส้นที่ 4 ภาพประกอบ 40) ทำให้ Org N มีโอกาสถูกปล่อยออกจากบ่อเพิ่มขึ้นกว่าเดิม (เส้นที่ 4 ภาพประกอบ 41)

ค. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองเปลี่ยนค่า N ที่ไหลเข้าสู่บ่อ (ที่ส่งผลให้ปริมาณ N ในบ่อเปลี่ยน) หลายครั้ง พบว่าความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรในแบบจำลองส่งผลให้ N ที่ลดลงในบ่อกับ N ที่ถูกปล่อยออกจากบ่อแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของ N ในบ่อ และ N ที่ถูกปล่อยออกจากบ่อผกผันกับการเปลี่ยนแปลงของ N ที่ลดลงในบ่อ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน

สรุปผลการทดสอบสมมติฐานโดยรวม

จากการทดสอบทั้งหมดพบว่า มีความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrifying คำนวณดังสมการ (18) เท่านั้นที่เปลี่ยนแปลงไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน (ในหัวข้อ 4.4.1) แต่ได้ปรับให้สอดคล้องกับสมมติฐานแล้ว โดยได้สมมติฐานใหม่คือ ความสัมพันธ์ของ pH ต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrifying ในแบบจำลองพลวัตระบบของการกำจัดไนโตรเจนในบ่อบำบัดร่วมกับพีชลอยน้ำขนาดใหญ่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับแบคทีเรีย heterotrophic ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrifying มีการเปลี่ยนแปลงในช่วง pH 7.2 – 9 คำนวณดังสมการ (27)

นอกเหนือจากการทดสอบสมมติฐานข้อ 4.4.1 ที่ได้ปรับแก้ ความสัมพันธ์ทั้งหมด สอดคล้องกับสมมติฐาน (ผลการทดสอบสมมติฐานเพิ่มเติมดังภาคผนวก จ ข้อที่ 1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มในกรณีต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับหลักการทางทฤษฎีและสมมติฐาน พร้อมทั้งจะนำไปใช้ทดสอบกับข้อมูลจริง โดยบางความสัมพันธ์ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในขั้นถัดไป ได้แก่ ความสัมพันธ์ของความชื้นในตะกอนต่อพื้นที่ตะกอนที่มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาที่ต้องการออกซิเจน และความสัมพันธ์ของพีชต่อโอกาสที่ Org N จากตะกอนลอยตัวขึ้นสู่ชั้นน้ำ ทั้งนี้เป็นเพราะขาดข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นที่เปลี่ยนแปลงและอิทธิพลของลมที่มีต่อการลอยตัวของตะกอน

4.5 ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจริง

4.5.1 ค่าเริ่มต้นจากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง

จากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำและสำรวจลักษณะทางกายภาพของบ่อ 2 ครั้ง ได้แก่ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2546 และวันที่ 6 มีนาคม 2546 โดยมีระยะเวลาที่พิจารณา 10 วัน (ดังภาคผนวก จ) มาใช้เป็นค่าเริ่มต้นในแบบจำลอง (ดังตารางภาคผนวก ค 9) เพื่อให้ค่าและความสัมพันธ์ต่าง ๆ ในแบบจำลองใกล้เคียงกับข้อมูลจริง

4.5.2 ผลการทดสอบด้วยข้อมูลจริงและปรับแก้แบบจำลอง

เมื่อแทนค่าเริ่มต้นของตัวแปรเหตุ ได้แก่ ไนโตรเจนรูปต่าง ๆ ที่เข้าสู่บ่อ ตัวแปรสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่บ่อ ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรูปต่าง ๆ และประสิทธิภาพการกำจัดตัวแปรสิ่งแวดล้อมในแบบจำลอง (ดังตารางภาคผนวก ค 9) จากนั้นดูความสอดคล้องของค่าตัวแปรผลหลัก ได้แก่ Org N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ และ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อในวันที่ 0 และ 10 โดยเทียบจากแบบจำลองกับข้อมูลจริง หากไม่สอดคล้องปรับแก้แบบจำลอง ซึ่งจากการทดลองปรับแก้ค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนแต่ละรูป (ตามวิธีวิจัยข้อ 3.6 หน้า 52) จนค่าของตัวแปรผลในวันที่ 0 และ 10 ใกล้เคียงข้อมูลจริง ซึ่งการปรับแก้ค่าในรายละเอียดดังนี้

4.5.2.1 การแทนค่าและควบคุมค่าตัวแปรในแบบจำลอง

ก. การแทนค่า ได้แทนค่าตัวแปรที่ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในพื้นที่จริงและค่าตัวแปรที่ได้จากการประมาณการ ได้แก่ พื้นที่ผิวน้ำที่ปกคลุมด้วยพืชลอยน้ำในแต่ละบ่อ (ค่าของตัวแปรทั้งหมดดังตารางภาคผนวก ก 9) ตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้แทนค่าดังนี้

(1) Org N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ที่เข้าสู่บ่อและความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนแต่ละรูปในบ่อ

(2) TN ในตะกอนและความชื้นในตะกอน

(3) สาหร่าย (SS) อินทรีย์สาร (BOD_5) แบคทีเรีย (VSS) และความสามารถในการกำจัดตัวแปรสิ่งแวดล้อมดังกล่าวในบ่อ

(4) DO, pH และอุณหภูมิที่เข้าสู่บ่อ

(5) พื้นที่ที่พืชลอยน้ำปกคลุมผิวน้ำแต่ละบ่อ

(6) สภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ฝนตก

ข. การควบคุมค่า ได้ควบคุมค่าของตัวแปรในแบบจำลอง 2 กลุ่ม ดังนี้

(1) ตัวแปรในแบบจำลองไนโตรเจนกลุ่มรอง ได้แก่ แบบจำลองของ TN ในตะกอนและแบบจำลอง N_2 ในอากาศบริเวณบ่อ

(2) ตัวแปรในแบบจำลองของตัวแปรสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แบบจำลองของแบคทีเรียแบบจำลองของอินทรีย์สาร แบบจำลองของสาหร่าย และแบบจำลองของพืชลอยน้ำ (ดังวิธีวิจัยหัวข้อ 3.6 หน้า 52)

4.5.2.2 ผลหลังการแทนค่าและควบคุมค่าตัวแปรในแบบจำลอง

หลังการควบคุมค่าในแบบจำลอง 2 กลุ่ม เพื่อให้ค่าของตัวแปรผลในแบบจำลองทั้ง 2 กลุ่มใกล้เคียงกับข้อมูลจริง พบว่ามีสมมติฐานบางส่วนที่ต้องปรับแก้ ดังนี้

ก. จากสมมติฐานเดิม ในหัวข้อ 4.2.2 ข้อย่อย (11) อัตราการเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำในบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำขนาดใหญ่เกิดขึ้น 0.65 d^{-1} ซึ่งหลังจากได้ควบคุมค่าตัวแปรสมมติฐานดังกล่าวถูกปรับเป็นสมมติฐานใหม่ คือ อัตราการเจริญเติบโตของพืชลอยน้ำในบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำขนาดใหญ่เกิดขึ้นเพียง 0.065 d^{-1}

ข. จากสมมติฐานเดิม ในหัวข้อ 4.2.2 ข้อย่อย (12) อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายในบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำขนาดใหญ่ เกิดขึ้น 0.25 d^{-1} ซึ่งหลังจากได้ควบคุมค่าตัวแปรสมมติฐานดังกล่าวถูกปรับเป็นสมมติฐานใหม่ คือ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายในบ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำขนาดใหญ่ เกิดขึ้น 0.025 d^{-1}

ก. จากสมมติฐานเดิม ในหัวข้อ 4.2.2 ข้อย่อย (14) TN ในตะกอนจะลดลงด้วยกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียเท่านั้นและเกิดขึ้นในสัดส่วนเดียวกับกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียในชั้นน้ำ แต่ต้องพิจารณาความเหมาะสมของ O_2 ในตะกอนต่อการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ซึ่งหลังจากได้ควบคุมค่าตัวแปรสมมติฐานดังกล่าวถูกปรับเป็นสมมติฐานใหม่คือ TN ในตะกอนจะลดลงด้วยกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียเท่านั้นและเกิดขึ้นในสัดส่วนที่มากกว่าที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำ 5 เท่า

เมื่อปรับแก้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามสมมติฐานใหม่ ส่งผลให้ค่าในวันที่ 0 และวันที่ 10 ของตัวแปรผลในแบบจำลองอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากแบบจำลอง Org N, NH_4^+-N , NO_2-N และ NO_3-N (ได้แก่ แบบจำลองของไนโตรเจนกลุ่มรองและแบบจำลองของตัวแปรสิ่งแวดล้อม) สอดคล้องกับข้อมูลจริง แต่เมื่อผ่านขั้นตอนการปรับแก้ ตัวแปรผลที่สำคัญ ได้แก่ Org N, NH_4^+-N , NO_2-N และ NO_3-N ที่ปล่อยออกจากบ่อยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลจริง ซึ่งจะต้องเลือกปรับแก้บางตัวแปรในแบบจำลองไนโตรเจนหลักทั้ง 4 แบบจำลอง (ได้แก่ แบบจำลอง Org N, NH_4^+-N , NO_2-N และ NO_3-N)

4.5.2.3 ผลการทดสอบข้อมูลจริงและการปรับแก้ในแต่ละแบบจำลองหลักของไนโตรเจน

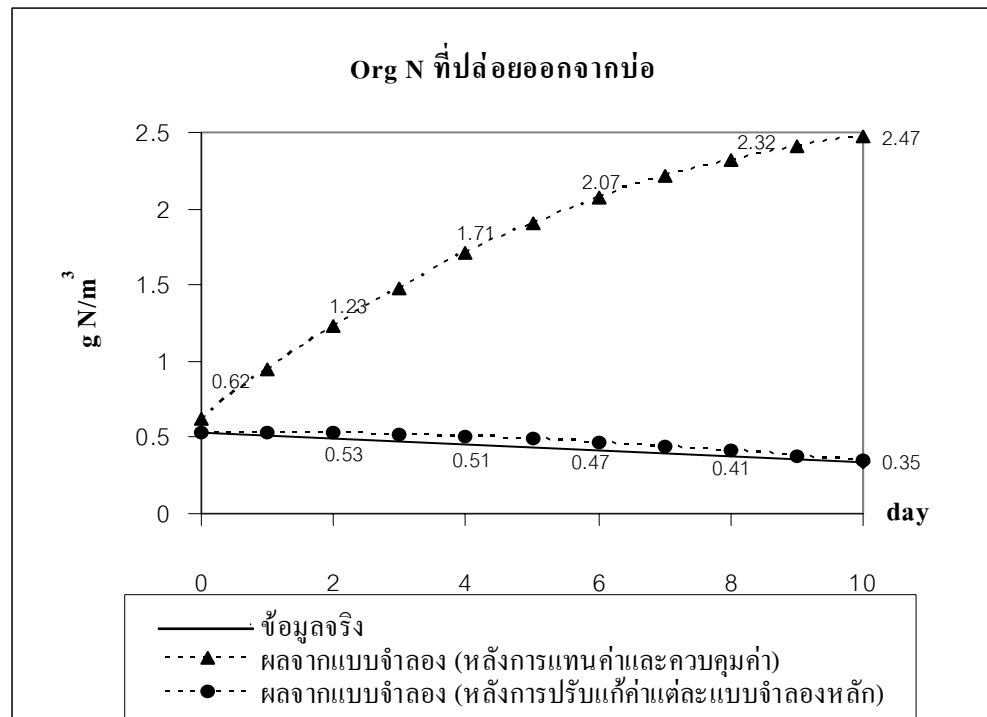
ก. ผลการทดสอบข้อมูลจริงและการปรับแก้ในแบบจำลอง Org N

(1) ผลหลังการแทนค่าและควบคุมค่า (ดังภาพประกอบ 42)

หลังจากแทนค่าข้อมูลจริงในทุกแบบจำลองย่อยและควบคุมค่าในแบบจำลองไนโตรเจนกลุ่มรองและแบบจำลองของตัวแปรสิ่งแวดล้อม (ตามขั้นตอนในวิธีวิจัยข้อ 3.6 หน้า 52) พบว่าค่าในวันที่ 10 ของตัวแปร Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อเพิ่มขึ้นต่างจากค่าของข้อมูลจริงสูงมาก เนื่องจากตัวแปรที่ส่งผลให้ปริมาณ Org N ในบ่อเปลี่ยนแปลงมากที่สุดคือตัวแปรซากต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อ โดยมาจากสมมติฐานในหัวข้อ 4.2.2 ข้อย่อย (3) คือ Org N ที่เกิดขึ้นในบ่อมีแนวโน้มแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของ N ที่เกิดขึ้นจากซากพืช สาหร่าย และแบคทีเรีย โดย N ที่เกิดจากซากดังกล่าว (เฉพาะส่วนที่เกิดขึ้นในบ่อทั้งหมด) จะถูกเปลี่ยนรูปเป็น N รูป Org ในชั้นน้ำทั้งหมด โดยไม่มีสัดส่วนที่ตกตะกอน (เพราะขาดข้อมูล)

(2) ผลหลังการปรับแก้ค่าในแต่ละแบบจำลอง (ดังภาพประกอบ 42)

ได้ปรับแก้สมมติฐานดังกล่าวใหม่ คือ ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากซากพืช สาหร่าย และแบคทีเรีย จะถูกเปลี่ยนรูปเป็น Org N ในชั้นน้ำเพียง 1% นอกเหนือจากนี้จะตกตะกอนในบ่อ



ภาพประกอบ 42 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงและการปรับแก้
: แนวโน้มของตัวแปร Org N ที่ปล่อยออกจากบ่อ

ข. ผลการทดสอบข้อมูลจริงและการปรับแก้ในแบบจำลอง $\text{NH}_4^+\text{-N}$

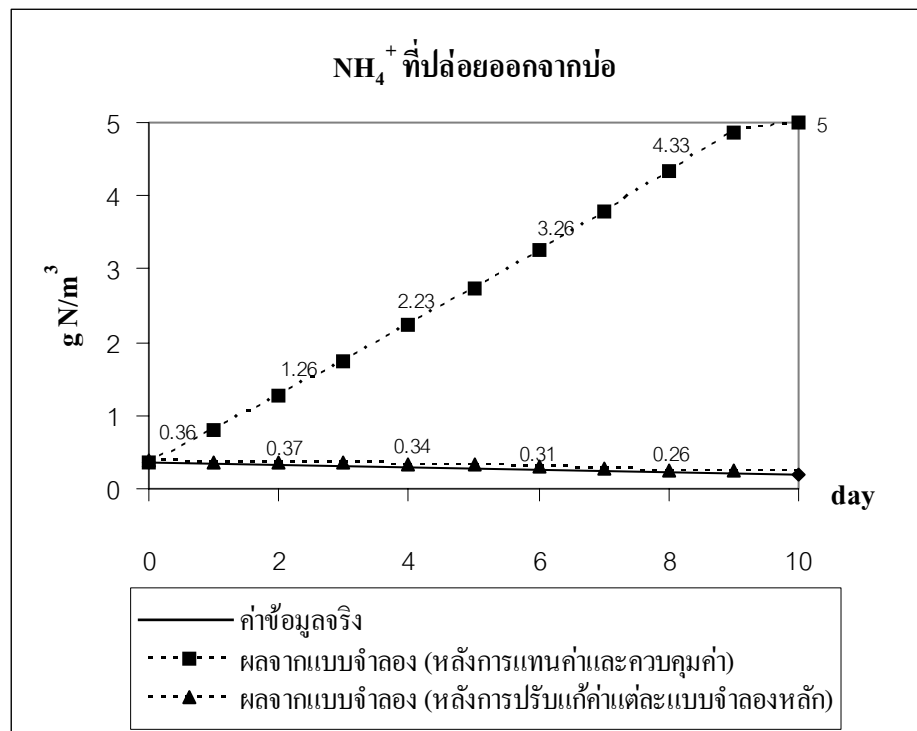
(1) ผลหลังการแทนค่าและควบคุมค่า (ดังภาพประกอบ 43)

หลังจากแทนค่าข้อมูลจริงในทุกแบบจำลองย่อยและควบคุมค่าในแบบจำลองไนโตรเจนกลุ่มรองและแบบจำลองของตัวแปรสิ่งแวดล้อม พบว่าค่าในวันที่ 10 ของตัวแปร $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อเพิ่มขึ้นต่างจากค่าของข้อมูลจริงสูงมาก เนื่องจากตัวแปรที่ส่งผลให้ปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ผลผลิตของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่มาจากการย่อยสลาย Org (ดังสมการปฏิกิริยาชีวเคมี (15) และ (16)) โดยมาจากสมมติฐานในหัวข้อ 4.2.2 ย่อย (8) คือ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของ Org ทั้งหมดจะเข้าสู่การเปลี่ยนรูปเป็นปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อโดยตรง ก่อนที่จะถูกกำจัดหรือใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยพืช สาหร่าย และแบคทีเรีย

(2) ผลหลังการปรับแก้ค่าในแต่ละแบบจำลอง (ดังภาพประกอบ 43)

ได้ปรับแก้สมมติฐานดังกล่าวใหม่ คือ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ และ $\text{NH}_3\text{-N}$ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของ Org เพียง 0.1% ที่เข้าสู่การเปลี่ยนรูปเป็นปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อโดยตรง

ซึ่งส่วนที่เหลือจะถูกใช้ประโยชน์โดยแบคทีเรียหรืออาจถูกกำจัดในรูปก๊าซโดยอิทธิพลของ pH โดยตรง



ภาพประกอบ 43 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงและการปรับแก้ : แนวโน้มของตัวแปร NH₄⁺-N ที่ปล่อยออกจากบ่อ

ก. ผลการทดสอบข้อมูลจริงและการปรับแก้ในแบบจำลอง NO₂-N

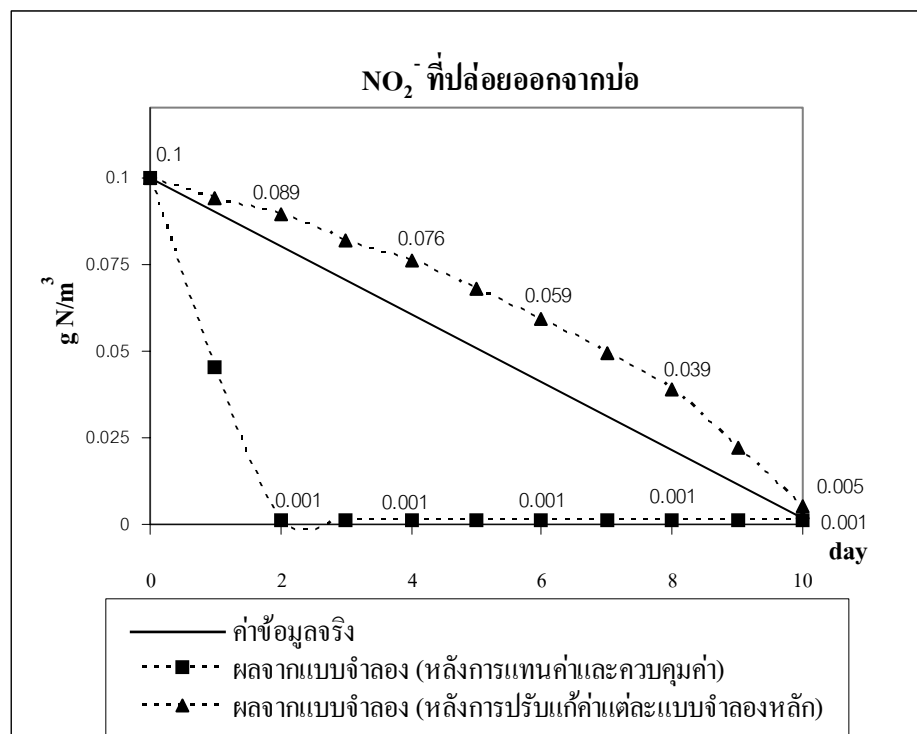
(1) ผลหลังการแทนค่าและควบคุมค่า (ดังภาพประกอบ 44)

หลังจากแทนค่าข้อมูลจริงในทุกแบบจำลองย่อยและควบคุมค่าในแบบจำลองไนโตรเจนกลุ่มรองและแบบจำลองของตัวแปรสิ่งแวดล้อม พบว่าค่าในวันที่ 10 ของตัวแปร NO₂-N ที่ปล่อยออกจากบ่อลดลงจนถึงศูนย์อย่างรวดเร็ว (มีค่าเป็น 0 ตั้งแต่วันที่ 2) เนื่องจากตัวแปรที่ส่งผลให้ปริมาณ NO₂-N ในบ่อเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrobacter ซึ่งมีความสามารถในการเปลี่ยนรูป NO₂⁻ เป็น NO₃⁻ มากเกินไป โดยผลดังกล่าวมาจากสมมติฐานในหัวข้อ 4.2.2 ข้อย่อย (4) คือ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrobacter เกิดขึ้นดังการคำนวณของสมการ (18) และเปลี่ยนแปลงตามระดับ pH, DO และอุณหภูมิ โดยระดับ pH ที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียชนิดนี้อยู่ในช่วง 7.2 – 9 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากผล

การคำนวณของสมการ (18) ส่วนระดับ $DO > 2 \text{ g/m}^3$ เป็นผลจากการคำนวณของสมการภาคผนวก ข (4) และระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง $32 - 40 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นผลจากการคำนวณของสมการ (19)

(2) ผลหลังการปรับแก้ค่าในแต่ละแบบจำลอง (ดังภาพประกอบ 44)

ได้ปรับแก้สมมติฐานดังกล่าวใหม่ คือ อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงระดับ pH DO และอุณหภูมิ มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย nitrobacter เพียง 1 – 1.5 % (ของผลจากการคำนวณจากสมการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง)



ภาพประกอบ 44 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงและการปรับแก้ : แนวโน้มของตัวแปร NO₂-N ที่ปล่อยออกจากบ่อ

ง. ผลการทดสอบข้อมูลจริงและการปรับแก้ในแบบจำลอง NO₃-N

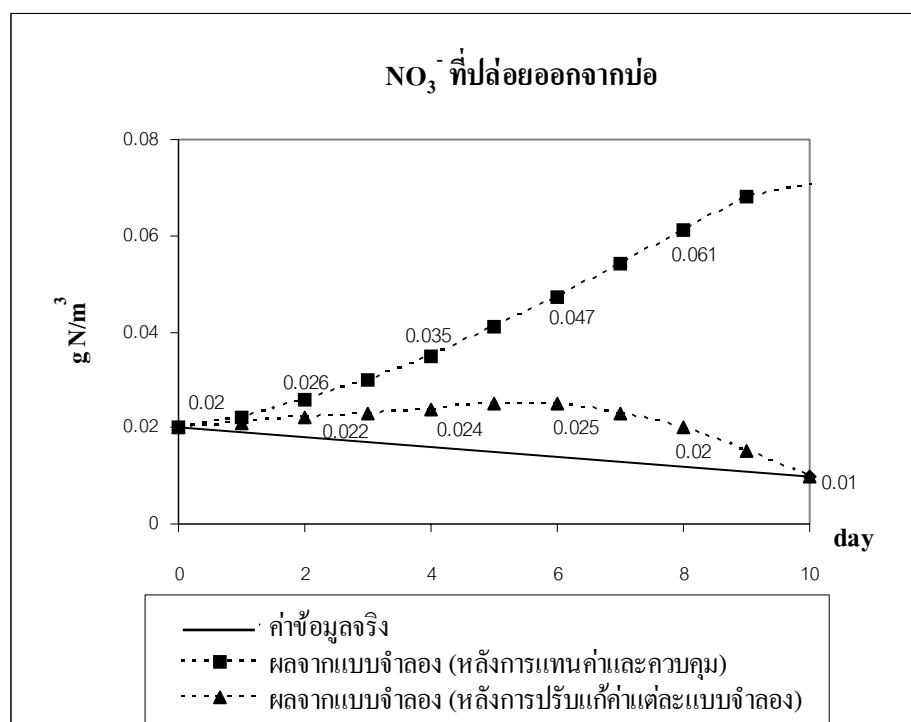
(1) ผลหลังการแทนค่าและควบคุมค่า (ดังภาพประกอบ 45)

หลังจากแทนค่าข้อมูลจริงในทุกแบบจำลองย่อยและควบคุมค่าในแบบจำลองไนโตรเจนกลุ่มรองและแบบจำลองของตัวแปรสิ่งแวดล้อม พบว่าค่าในวันที่ 10 ของตัวแปร NO₃-N ที่ปล่อยออกจากบ่อเพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากตัวแปรที่ส่งผลให้ปริมาณ NO₃-N ในบ่อเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ การเกิดปฏิกิริยา denitrification โดยผลดังกล่าวมาจากสมมติฐานในหัวข้อ 4.2.2 ซ้อย่อย (19) คือ สัดส่วนการกำจัดไนโตรเจนรูปต่าง ๆ ในชั้นน้ำและตะกอนของบ่อ

บ้ำบ้ร่วมกับพีชลอยน้ำหาคใหญ่เกิดขึ้นด้งการประมาณการในภาคผนวก ก โดยในส่วนของ การเกิดปฏิกิริยา denitrification เกิดขึ้น 26.3 % (ด้งภาคผนวก ก ข้อย่อ 1.4)

(2) ผลหลังการปรับแก้ค่าในแต่ละแบบจำลอง (ด้งภาพประกอบ 45)

ได้ปรับแก้สมมติฐานด้งกล่าวใหม่ คือ โอกาสเกิดปฏิกิริยา denitrification ในแบบจำลองการกำจัคไนโตรเจนของบ่อบ้ำบ้ร่วมกับพีชลอยน้ำหาคใหญ่ เกิดขึ้น 26.3 - 51.3 % เพราะจากการสำรวจพื้นที่พบว่า บ่อที่ 3 มีพีชลอยน้ำปกคลุมเต็มบ่อ ซึ่งมีโอกาสเอื้อให้เกิดสภาวะ anoxic ได้ดี



ภาพประกอบ 45 ผลของการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลจริงและการปรับแก้ : แนวโน้มของตัวแปร NO₃-N ที่ปล่อยออกจากบ่อ

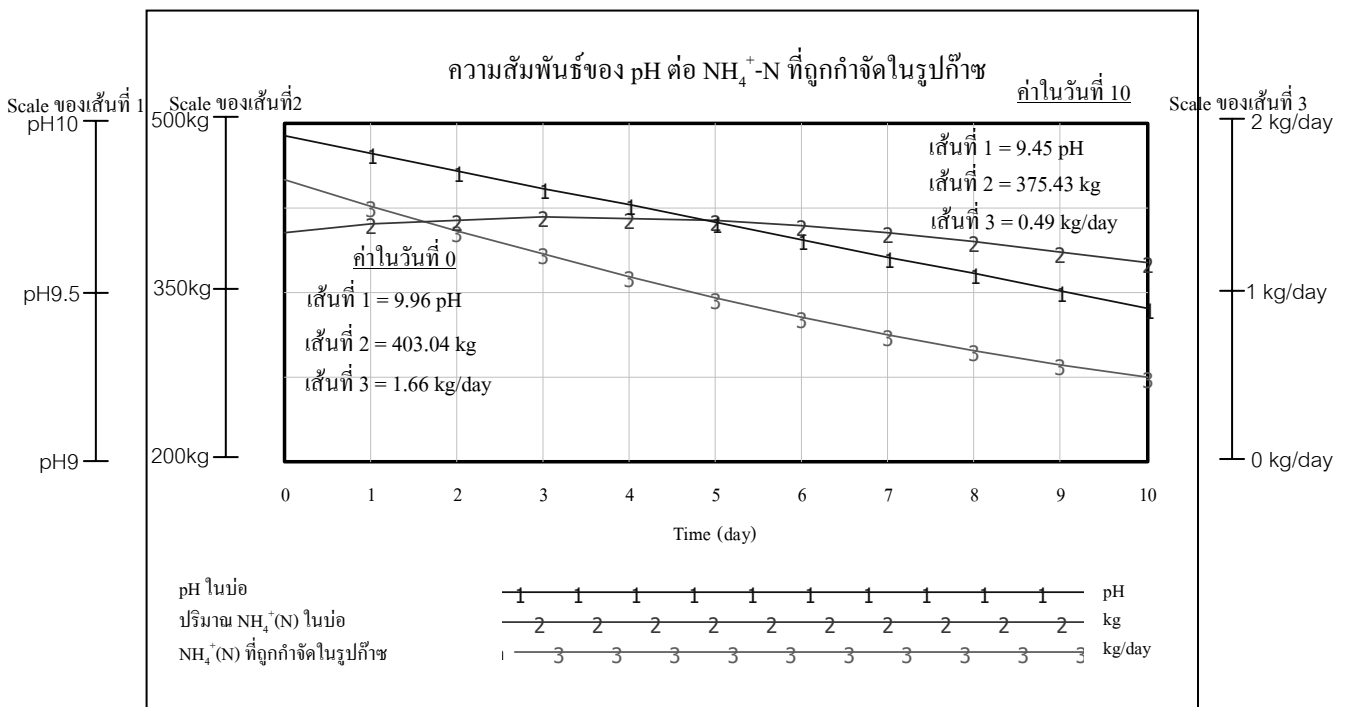
สรุปผลการทดสอบข้อมูลจริงและปรับแก้แบบจำลอง

เมื่อแบบจำลองผ่านการแทนค่าจากข้อมูลในพื้นที่จริง ควบคุมค่าบางส่วนในแบบจำลองไนโตรเจนกลุ่มรองและตัวแปรสิ่งแวดล้อม และปรับแก้ค่าของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในแต่ละแบบจำลองหลัก พบว่าต้องปรับแก้สมมติฐานบางส่วนใหม่ โดยสมมติฐานที่ถูกปรับแก้จากหัวข้อ 4.2.2 ได้แก่ สมมติฐาน (3), (8), (11), (12), (14) และ (17) ซึ่งผลที่ได้หลังการปรับแก้ทำให้แบบจำลองมีค่าของตัวแปรต่าง ๆ ในวันที่ 0 และวันที่ 10 สอดคล้องกับ

ข้อมูลจริง พร้อมทั้งจะใช้สร้างสถานการณ์จำลองต่าง ๆ ในขั้นต่อไปได้ เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

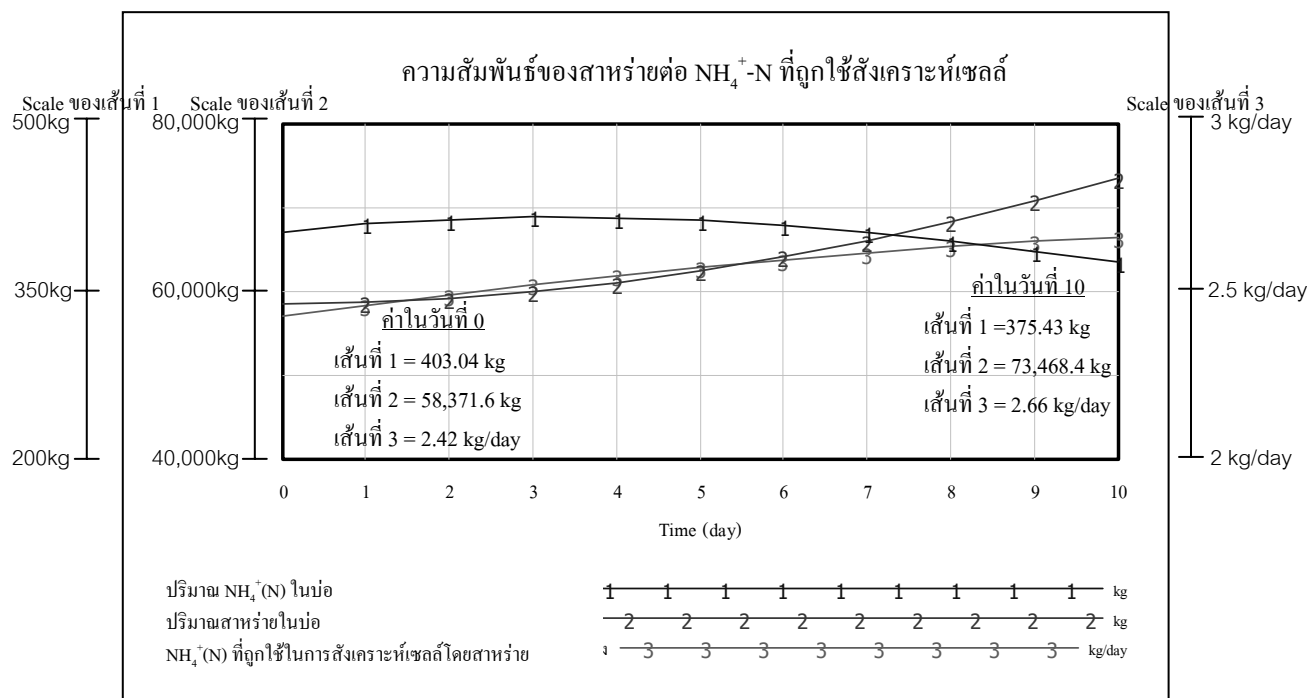
4.5.3 การนำเสนอผลจากความสัมพันธ์ในแบบจำลองที่สอดคล้องกับข้อมูลจริง

แบบจำลองที่ผ่านการทดสอบด้วยข้อมูลจริง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟแต่ละตัวแปรในแบบจำลอง สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้สอดคล้องกับทฤษฎี ดังตัวอย่าง ความสัมพันธ์ของ pH ต่อ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซ (ดังภาพประกอบ 46) ความสัมพันธ์ของสาหร่าย ต่อ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ (ดังภาพประกอบ 47) และความสัมพันธ์ BOD_5 ต่อ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่เข้าสู่ปฏิกิริยา nitritation (ดังภาพประกอบ 48)



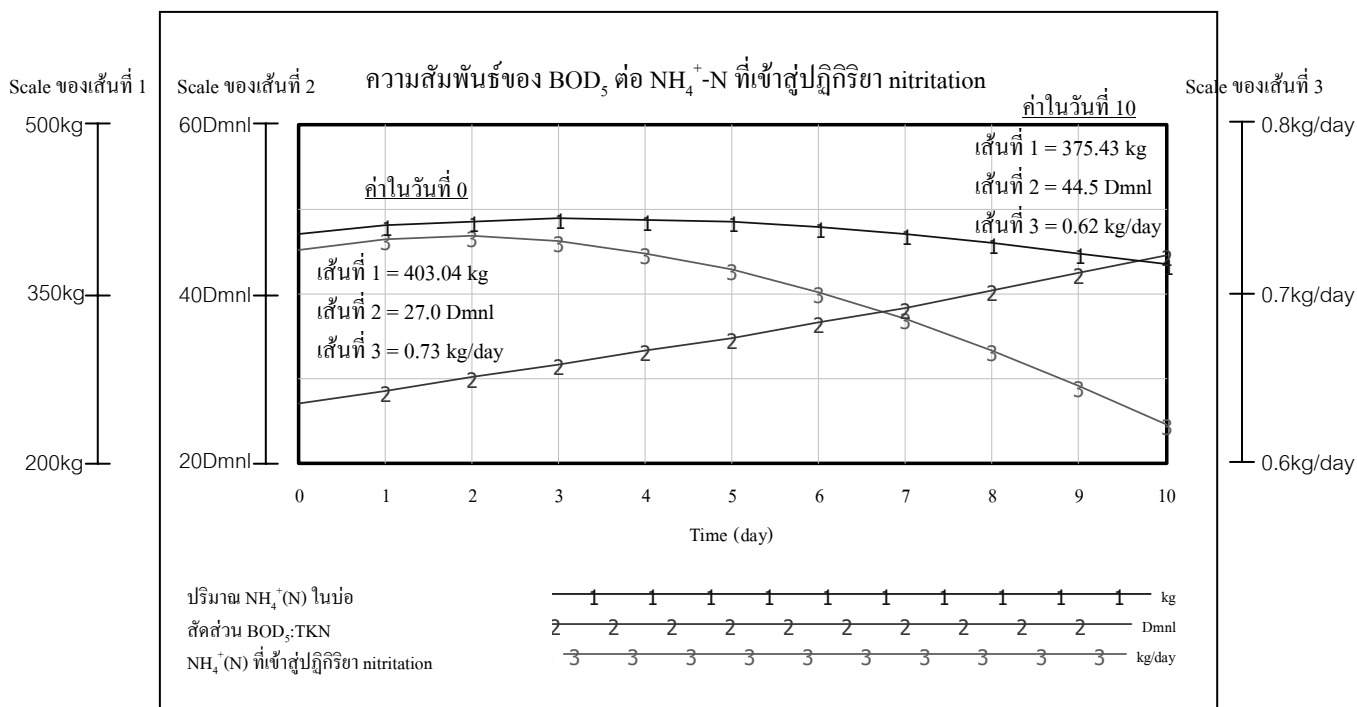
ภาพประกอบ 46 ผลจากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของ pH ต่อ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซ

จากภาพประกอบ 46 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซมีแนวโน้มดังเส้นที่ 3 โดยมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ (เส้นที่ 2) และลดลงตามระดับ pH ในบ่อ (เส้นที่ 1)



ภาพประกอบ 47 ผลจากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของสาหร่ายต่อ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ที่ถูกใช้
ในการสังเคราะห์เซลล์

จากภาพประกอบ 47 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังเส้นที่ 3 โดยเพิ่มขึ้นตามแนวโน้มของปริมาณสาหร่ายในบ่อ (เส้นที่ 2) แต่การเพิ่มขึ้นของ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ที่ถูกใช้ประโยชน์ดังกล่าวเกิดขึ้นไม่มากนัก เพราะปริมาณ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ในบ่อมีแนวโน้มลดลง (เส้นที่ 1)



ภาพประกอบ 48 ผลจากแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของ BOD_5 ต่อ NH_4^+-N ที่เข้าสู่ปฏิกิริยา nitritation

หมายเหตุ : Dimensionless (Dmnl) คือ ไม่มีหน่วย

จากภาพประกอบ 48 NH_4^+-N ที่เข้าสู่ปฏิกิริยา nitritation มีแนวโน้มดังเส้นที่ 3 โดยเปลี่ยนแปลงตามปริมาณ NH_4^+-N ในบ่อ (เส้นที่ 1) และเปลี่ยนแปลงผกผันกับสัดส่วน $BOD_5:TKN$ (เส้นที่ 2) เมื่อสัดส่วนดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โอกาสเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้น้อยลง

4.6 การทดสอบความอ่อนไหวและสร้างสถานการณ์จำลอง

4.6.1 การทดสอบความอ่อนไหวเพื่อนำไปสู่การสร้างสถานการณ์จำลอง

ก่อนการสร้างสถานการณ์จำลองจำเป็นต้องเลือกตัวแปรที่มีความอ่อนไหวเพื่อนำมาสร้างสถานการณ์จำลอง เนื่องจากตัวแปรที่มีความอ่อนไหวจะเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและส่งผลกระทบต่อตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งระบบ โดยตัวแปรที่เลือกมาวิเคราะห์ความอ่อนไหว ได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม (อธิบายด้วยหัวข้อวิธีวิจัย 3.7 หน้า 54) ดังนี้

- ก. กลุ่มตัวแปรที่มีข้อมูลความอ่อนไหวทางทฤษฎี ได้แก่ อุณหภูมิ pH และ DO
- ข. กลุ่มตัวแปรที่ไม่มีข้อมูลความอ่อนไหวทางทฤษฎี ได้แก่
 - N แต่ละรูปที่เข้าสู่บ่อ
 - Org ที่เข้าสู่บ่อ และ Org ที่เกิดขึ้นในบ่อ
 - แบคทีเรียที่เข้าสู่บ่อและแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในบ่อ
 - ฟีซที่เกิดขึ้นในบ่อ
 - สาหร่ายที่เข้าสู่บ่อและสาหร่ายที่เกิดขึ้นในบ่อ

หลักเกณฑ์และวิธีการทดสอบดำเนินการตาม (วิธีวิจัยข้อ 3.7) ได้ผลการทดสอบดังตาราง 17 และ 18

ตาราง 17 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีความอ่อนไหวต่อความเข้มข้นของ N ที่ปล่อยออกจากบ่อในวันที่ 20 : กรณีทดสอบกับตัวแปรที่มีข้อมูลความอ่อนไหวทางทฤษฎี

ตัวแปรที่วิเคราะห์ความอ่อนไหว	ฐานเดิมของ N ที่ปล่อยออก (g/m^3)	ผลเมื่อเพิ่ม 10% (g/m^3)	ผลเมื่อลด 10% (g/m^3)	%ผลต่าง
1. อุณหภูมิ	0.561	0.560	0.562	± 0.18
2. pH	0.561	0.503	0.576	± 6.51
3. DO	0.561	0.561	0.561	± 0.00

ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์หัวแปรที่มีความอ่อนไหวต่อความเข้มข้นของ N ที่ปล่อยออกจากบ่อใน วันที่ 20 : กรณีทดสอบกับหัวแปรที่ไม่มีข้อมูลความอ่อนไหวทางทฤษฎี

หัวแปรที่วิเคราะห์ความอ่อนไหว	ฐานเดิมของ N ที่ปล่อยออก (g/m ³)	ผลเมื่อเพิ่ม 20% (g/m ³)	ผลเมื่อลด 20% (g/m ³)	%ผลต่าง
1. N แต่ละรูปที่เข้าสู่บ่อ	0.561	0.673	0.449	±19.96
2. Org ที่เข้าสู่บ่อ และที่เกิดขึ้นในบ่อ	0.561	0.562	0.560	±0.18
3. แบคทีเรียที่เข้าสู่บ่อและที่เกิดขึ้นในบ่อ	0.561	0.552	0.573	+1.87
4. ฟิชที่เกิดขึ้นในบ่อ	0.561	0.547	0.579	±2.86
5. สาหร่ายที่เข้าสู่บ่อและที่เกิดขึ้นในบ่อ	0.561	0.555	0.609	±4.82

สรุปผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

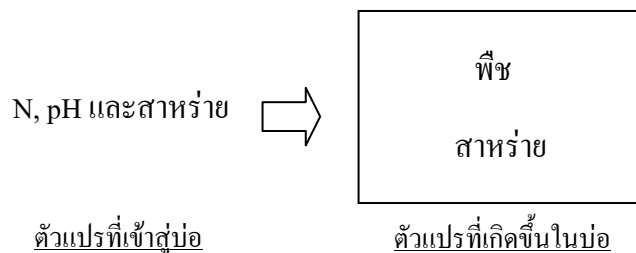
หัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูงสุดจาก 2 กลุ่มหัวแปร คือ

- กลุ่มที่มีข้อมูลความอ่อนไหวทางทฤษฎี ได้แก่ pH
- กลุ่มที่ไม่มีข้อมูลความอ่อนไหวทางทฤษฎี ได้แก่

1. N แต่ละรูปที่เข้าสู่บ่อ
2. สาหร่ายที่เข้าสู่บ่อและที่เกิดขึ้นในบ่อ
3. ฟิชที่เกิดขึ้นในบ่อ

4.6.2 การสร้างสถานการณ์จำลอง

หัวแปรที่มีความอ่อนไหวที่เลือกมา 4 หัวแปรขั้นต้น สามารถจัดกลุ่มได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ หัวแปรที่เข้าสู่บ่อและหัวแปรที่เกิดขึ้นในบ่อ



การสร้างสถานการณ์จำลอง สามารถจำลองได้ 2 สถานการณ์ ดังนี้

4.6.2.1 สถานการณ์จำลองที่ 1

ก. ลักษณะสถานการณ์จำลอง

สถานการณ์จำลองที่ 1 ตัวแปรที่เข้าสู่บ่อมีโอกาสเพิ่มขึ้นและลดลงจากเดิม แต่ตัวแปรที่เกิดขึ้นในบ่อเกิดขึ้นดังเดิม

สถานการณ์จำลองที่ 1.1 ตัวแปรที่เข้าสู่บ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเดิม

น้ำเสียที่ถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบบำบัด ๑ หากใหญ่มีโอกาสที่ในโตรเจนจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เมื่อบ้านเรือนปล่อยน้ำทิ้งที่มีอินทรีย์สารประเภทโปรตีนเจือปนสูง และเมื่อน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการบำบัดในบ่อบำบัดเบื้องต้น บ่อแบบผสม และบ่อบ่ม (ก่อนที่จะเข้าสู่บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ) จะไม่เกิดกระบวนการกำจัดไนโตรเจนขึ้นในบ่อบำบัดเหล่านี้ เพราะน้ำเสียยังมีความเข้มข้นของอินทรีย์สาร (BOD_5) สูงอยู่ สภาวะจึงยังไม่เอื้อต่อการกำจัด แต่สภาวะในบ่อทั้ง 3 เอื้อต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เพราะมีสารอาหารเพียงพอ และได้รับแสงแดดเต็มที่ สาหร่ายจึงมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น และ pH มีโอกาสเพิ่มขึ้นตามการสังเคราะห์แสง

จากสถานการณ์ดังกล่าวจึงส่งผลให้ค่าตัวแปรที่เข้าสู่บ่อทั้ง 3 ตัวแปรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเดิม (วันที่ 10) จนในวันที่ 20 เท่ากับค่าสูงสุดดังตารางภาคผนวก ก 1

สถานการณ์จำลองที่ 1.2 ตัวแปรที่เข้าสู่บ่อมีแนวโน้มลดลงจากเดิม

น้ำเสียที่ถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบบำบัด ๑ หากใหญ่มีโอกาสที่ในโตรเจนจะมีความเข้มข้นลดลง หากบ้านเรือนมีการกรองหรือแยกกำจัดอินทรีย์สารประเภทโปรตีนจากน้ำเสียก่อนระบายสู่กระแสน้ำ และเมื่อน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการบำบัดใน 3 บ่อแรก (ก่อนที่จะเข้าสู่บ่อบำบัดร่วมกับพืชลอยน้ำ) ในโตรเจนที่ยังไม่ถูกกำจัดนั้น อาจมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของสาหร่าย ทำให้สาหร่ายมีแนวโน้มลดลง และ pH มีโอกาสลดลงตามการสังเคราะห์แสงที่น้อยลง

จากสถานการณ์ดังกล่าวจึงส่งผลให้ค่าตัวแปรที่เข้าสู่บ่อทั้ง 3 ตัวแปรมีแนวโน้มลดลงจากเดิม (วันที่ 10) จนในวันที่ 20 เท่ากับค่าต่ำสุดดังตารางภาคผนวก ก 1

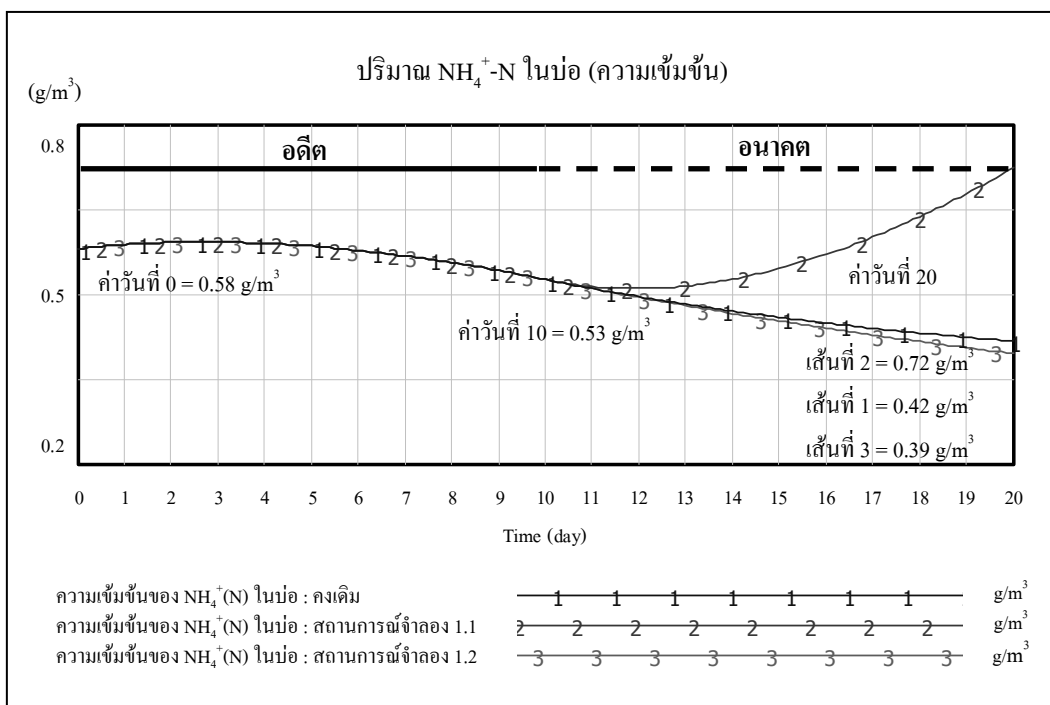
ข. ผลของการจำลองสถานการณ์ที่ 1

เมื่อตัวแปรที่เข้าสู่บ่อมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงหลังวันที่ 10 โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (สถานการณ์จำลอง 1.1) และมีแนวโน้มลดลง (สถานการณ์จำลอง 1.2) ส่งผลให้เส้นกราฟของบางตัวแปรในแบบจำลองเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

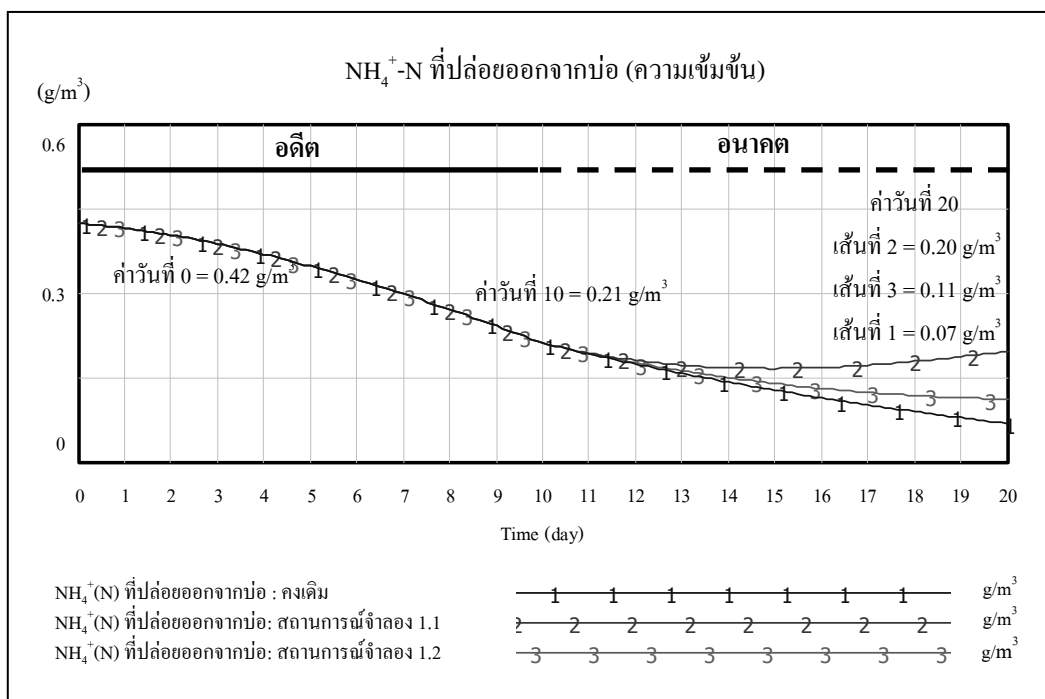
(1) การเปลี่ยนแปลงในแบบจำลอง $\text{NH}_4^+\text{-N}$

แนวโน้มของตัวแปร $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อมีการเปลี่ยนแปลงสวนทางกับแนวโน้มของตัวแปรปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อ คือ เมื่อตัวแปรที่เข้าสู่บ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (สถานการณ์จำลองที่ 1.1) ส่งผลให้แนวโน้มของปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อเพิ่มขึ้นตาม (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 49) แต่กลับส่งผลให้แนวโน้มของอัตรา $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อมีแนวโน้มลดลง (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 50) ทั้งนี้เป็นเพราะส่วนหนึ่งของตัวแปรที่เข้าสู่บ่อที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นนั้น ได้แก่ pH (ดังภาพประกอบ 51) และสาหร่าย (ดังภาพประกอบ 53) ซึ่งเมื่อ pH เพิ่มขึ้น (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 51) ความสามารถในการกำจัดในรูปก๊าซเพิ่มขึ้นตาม (ดังภาพประกอบ 52) และเมื่อสาหร่ายที่เข้าสู่บ่อเพิ่มขึ้น (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 53) $\text{NH}_4^+\text{-N}$ จะถูกดูดซับเพิ่มขึ้น (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 54)

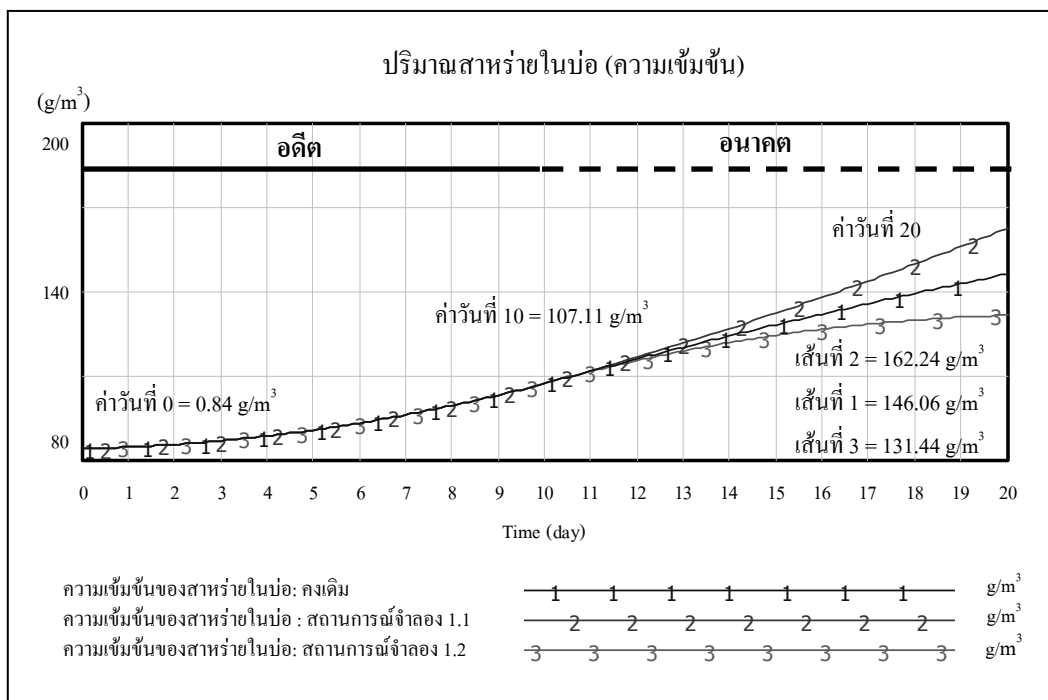
และเมื่อตัวแปรที่เข้าสู่บ่อมีแนวโน้มลดลง (สถานการณ์จำลอง 1.2) ส่งผลให้แนวโน้มของปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อลดลงตาม (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 49) ในขณะเดียวกันกลับส่งผลให้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ที่ปล่อยออกจากบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 50) เนื่องจาก pH และสาหร่ายที่เข้าสู่บ่อมีแนวโน้มลดลง (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 51 และ 53) ความสามารถในการกำจัด $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในรูปก๊าซ และโอกาสที่ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ถูกสาหร่ายดูดซับจึงมีน้อยลง (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 52 และ 54)



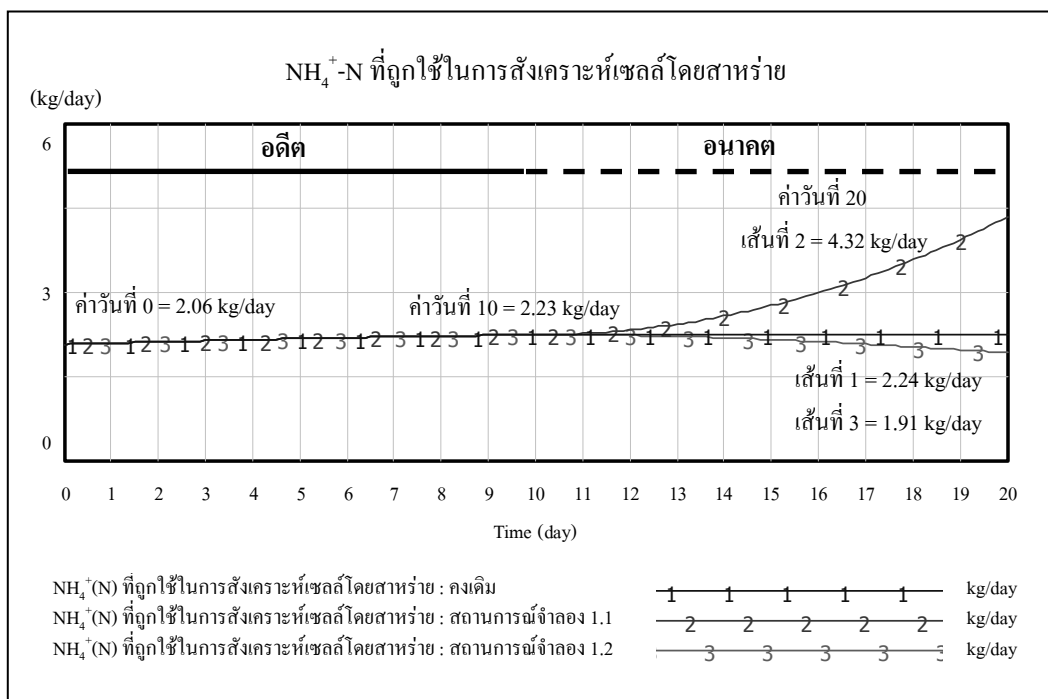
ภาพประกอบ 49 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ NH_4^+ -N ในบ่อจากการสร้างสถานการณ์จำลอง 1



ภาพประกอบ 50 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ NH_4^+ -N ที่ปล่อยออกจากบ่อจากการสร้างสถานการณ์จำลอง 1



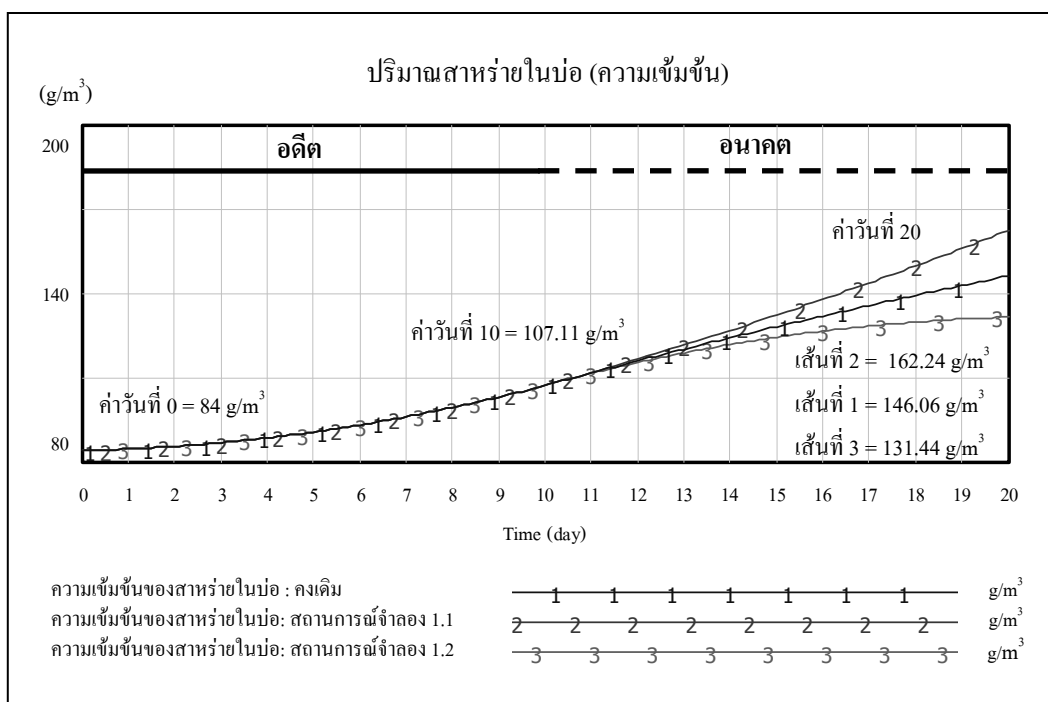
ภาพประกอบ 53 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาหร่ายในบ่อจากการสร้างสถานการณ์จำลอง 1



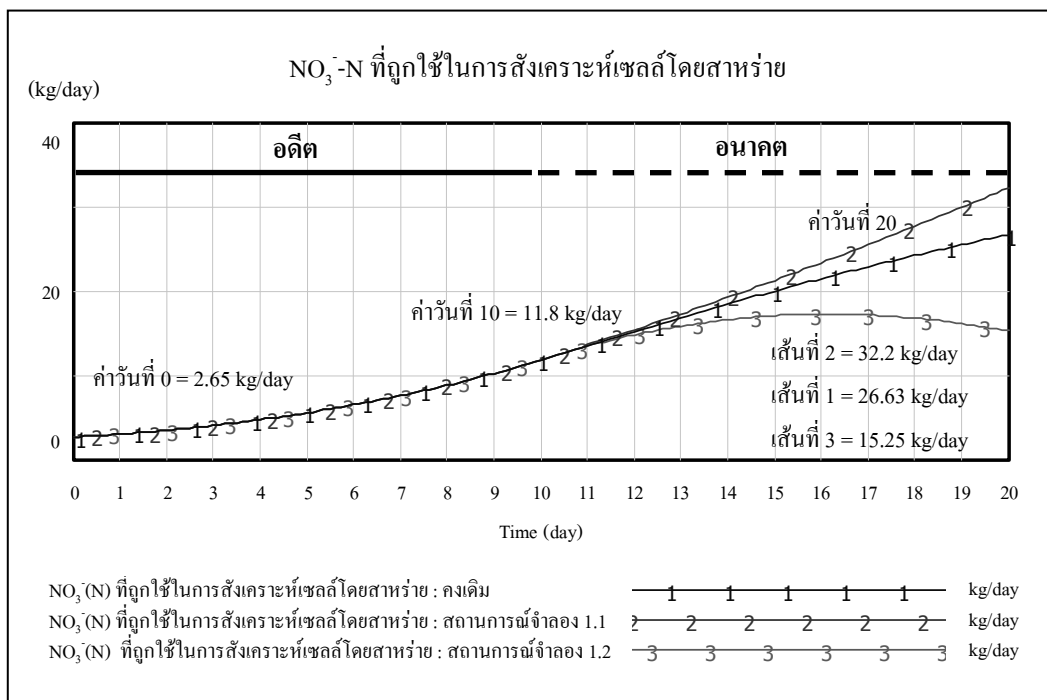
ภาพประกอบ 54 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ NH₄⁺-N ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่าย
จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 1

(2) การเปลี่ยนแปลงในแบบจำลอง NO₃-N

แนวโน้มของตัวแปร NO₃-N ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่ายเปลี่ยนแปลงสอดคล้องตามปริมาณสาหร่ายในบ่อ คือ เมื่อปริมาณสาหร่ายในบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (สถานการณ์จำลองที่ 1.1 ผลดั่งเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 55) ส่งผลให้แนวโน้มของอัตรา NO₃-N ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์เพิ่มขึ้นตาม (ดั่งเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 56) และเมื่อปริมาณสาหร่ายในบ่อมีแนวโน้มลดลง (สถานการณ์จำลองที่ 1.2 ผลดั่งเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 55) ส่งผลให้แนวโน้มของอัตรา NO₃-N ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์ลดลงตาม (ดั่งเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 56)



ภาพประกอบ 55 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาหร่ายในบ่อ
 จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 1



ภาพประกอบ 56 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ NO_3^- -N ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่าย
 จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 1

4.6.2.2 สถานการณ์จำลองที่ 2

ก. ลักษณะสถานการณ์จำลองที่ 2

สถานการณ์จำลองที่ 2 ตัวแปรที่เข้าสู่บ่อคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ตัวแปรที่เกิดขึ้นในบ่อมีโอกาสเปลี่ยนแปลงจากเดิม

ในการจำลองสถานการณ์โดยเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่เกิดขึ้นในบ่อนี้ จะเปลี่ยนค่าเฉพาะตัวแปรพีช (ส่วนสาหร่ายเกิดขึ้นในบ่อเดิม) เพราะพีชจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง (การตาย) ของสาหร่ายอยู่ก่อนแล้ว และการจำลองสถานการณ์จะนำเสนอแนวทางการจัดการที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ ดังสถานการณ์จำลอง 2.2

สถานการณ์จำลองที่ 2.1 พีชมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงและมีการตายเพิ่มขึ้น

จากสภาพบ่อที่ 1, 2, 4 และ 5 (ดังภาพประกอบภาคผนวก ง 1, 2, 4 และ 5) ที่มีพีชลอยน้ำเจริญเติบโตเพียงบริเวณขอบบ่อ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการเจริญเติบโตของพีชลอยน้ำที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และบางส่วนของพื้นที่บ่อมีซากผักตบชวาปะปนเป็นหย่อม ๆ (ดังภาพประกอบภาคผนวก ง 1) โดยอาจเป็นเพราะมีเชื้อรา ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดการตายเพิ่มขึ้น

จากสถานการณ์ดังกล่าวจึงส่งผลให้ค่าของอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการตายของพีชเปลี่ยนแปลง ดังนี้

- อัตราการเจริญเติบโตของพีชในวันที่ 10 เท่ากับ 0.007 d^{-1} จากนั้นลดลงจนในวันที่ 20 มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0 d^{-1}

- อัตราการตายของพีชในวันที่ 10 เป็น 0 d^{-1} จากนั้นมีแนวโน้มปรากฏขึ้น โดยมีการตายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนในวันที่ 20 มีอัตราการตายเท่ากับ 0.2 d^{-1}

สถานการณ์จำลองที่ 2.2 พีชมีอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการตายดังสถานการณ์จำลองที่ 2.1 แต่มีเก็บเกี่ยวซากพีช

พีชในบ่อบัจฉนี้ต้องมีการเก็บเกี่ยวในทุก ๆ 4 เดือน (เทศบาลนครหาดใหญ่, 2540) ดังนั้นจึงได้จำลองสถานการณ์ กรณีที่ผู้ดูแลระบบตรวจสอบสภาพบ่อ พบว่ามีการตายของพีชเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ จึงได้ป้องกันและจัดการโดยการเก็บเกี่ยวหรือตัดส่วนที่เหี่ยวเฉาออกจากบ่อ

จากสถานการณ์จำลองดังกล่าวทำให้สามารถกำจัดซากพีชได้ 50% ของส่วนที่ตาย

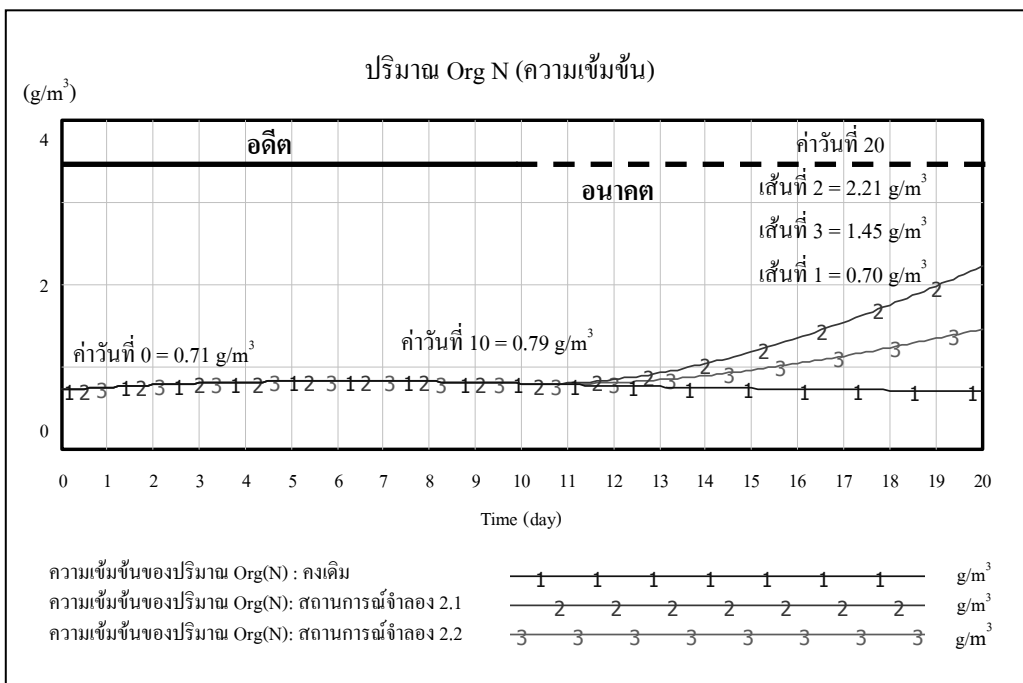
ข. ผลของการจำลองสถานการณ์ที่ 2

เมื่อตัวแปรพีชที่เกิดขึ้นในบ่อมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงหลังวันที่ 10 โดยมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง พร้อมกับมีอัตราการตายเพิ่มขึ้น (สถานการณ์จำลอง 2.1) หรือมีการเก็บเกี่ยวซากพีชเกิดขึ้น (สถานการณ์จำลอง 2.2) ส่งผลให้เส้นกราฟของบางตัวแปรในระบบจำลองเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

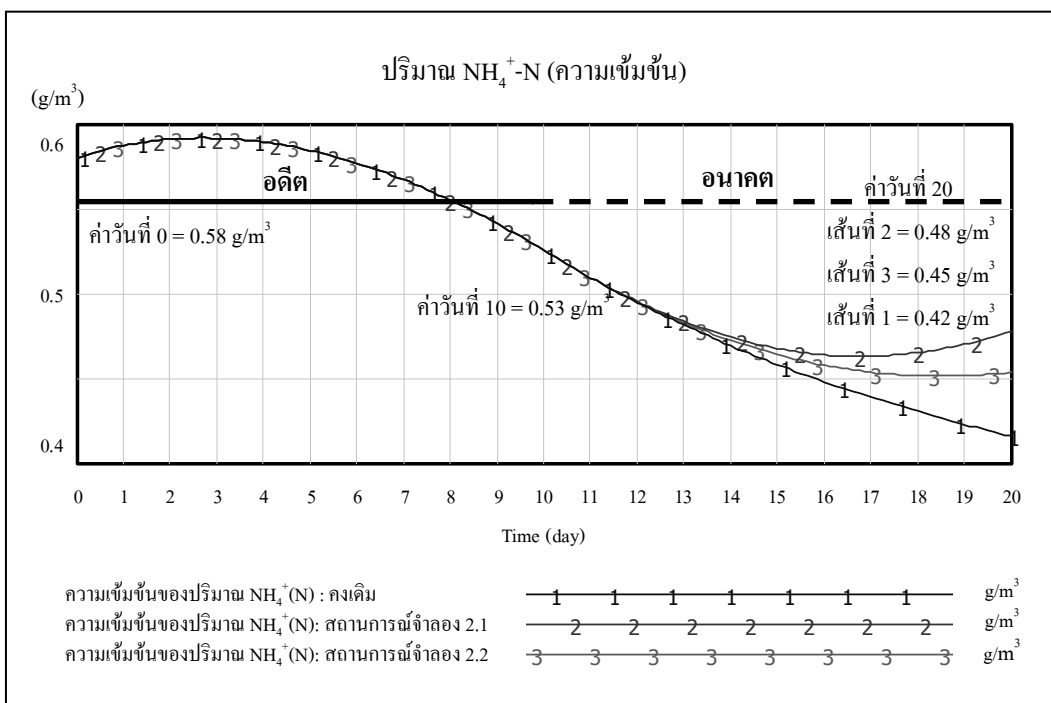
(1) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนรูปต่าง ๆ เนื่องจากการเกิดซากพีช

จากผลที่พีชมีอัตราการตายเพิ่มขึ้น (สถานการณ์จำลอง 2.1) ส่งผลให้ปริมาณ Org N ในบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม (ดังเส้นที่ 2 ภาพประกอบ 57) เนื่องจากกรดอะมิโนในซากพีชได้เปลี่ยนรูปเป็นสารละลาย Org N ในน้ำ และเมื่อมีการเก็บเกี่ยวซากพีชบางส่วนเกิดขึ้น (สถานการณ์จำลอง 2.2) ส่งผลให้อัตราการเพิ่มขึ้นของ Org N เพิ่มขึ้นในระดับที่น้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการเก็บเกี่ยว (ดังเส้นที่ 3 ภาพประกอบ 57)

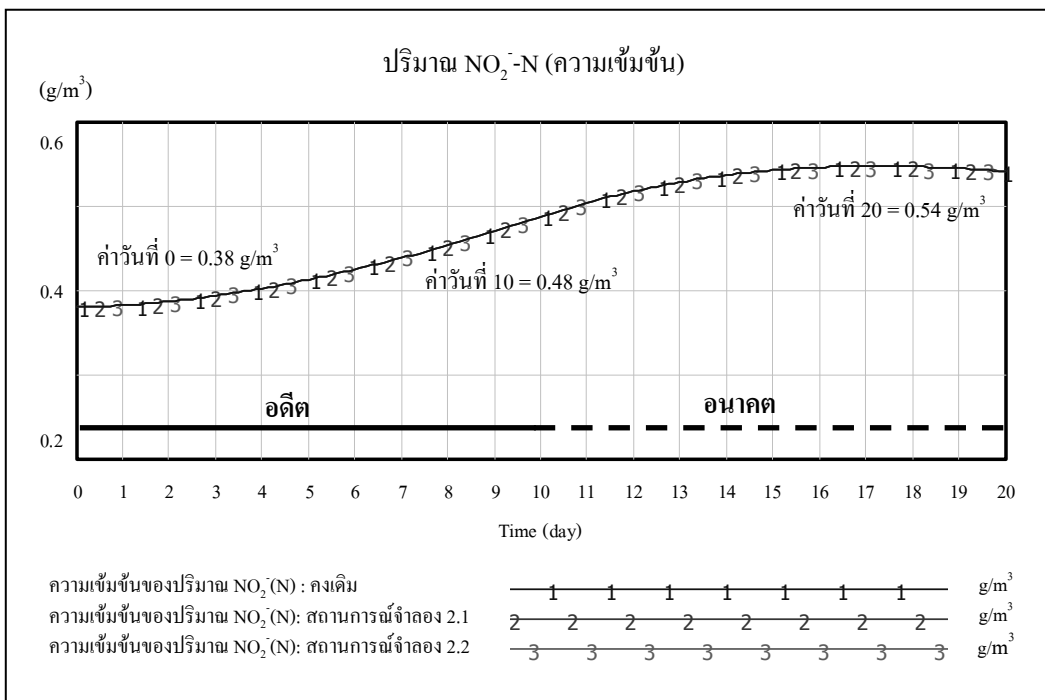
ในขณะเดียวกันส่งผลต่อเนื้อให้ปริมาณ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในบ่อเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Org N ในบ่อ (ดังเส้นที่ 2 และ 3 ภาพประกอบ 58) โดยการย่อยสลายในปฏิกิริยาคีเอมิเนชัน (deamination) และปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แต่ไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของปริมาณ $\text{NO}_2\text{-N}$ และ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในบ่อ (ดังเส้นที่ 2 และ 3 ภาพประกอบ 59 และ 60) เนื่องจากสัดส่วนที่ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ เปลี่ยนรูปเป็น $\text{NO}_2\text{-N}$ เกิดขึ้นได้น้อยมาก เพราะได้รับอิทธิพลจากอัตราส่วน BOD_5 ต่อ TKN ในบ่อ ทำให้ปริมาณ $\text{NO}_2\text{-N}$ ในบ่อเปลี่ยนแปลงดังเดิม และปริมาณ $\text{NO}_3\text{-N}$ ในบ่อมีแนวโน้มดังเดิมตามปริมาณ $\text{NO}_2\text{-N}$ ในบ่อ



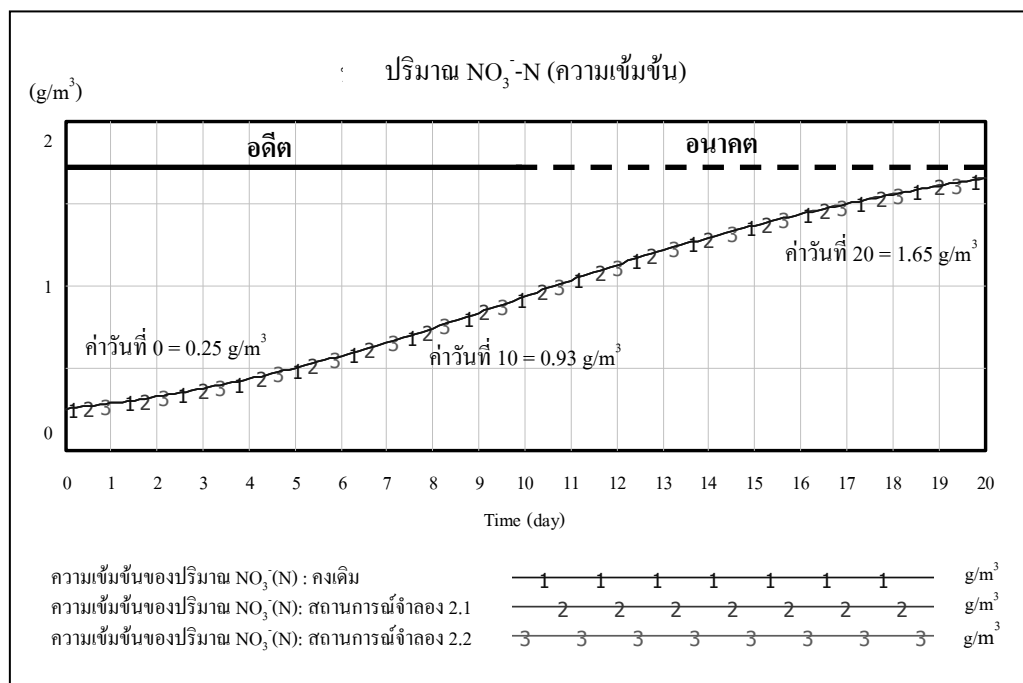
ภาพประกอบ 57 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Org N ในบ่อ
จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2



ภาพประกอบ 58 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ NH₄⁺-N ในบ่อ
จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2



ภาพประกอบ 59 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ NO₂-N ที่ปล่อยออกจากบ่อ
จากการสร้างสถานีการณ์จำลอง 2

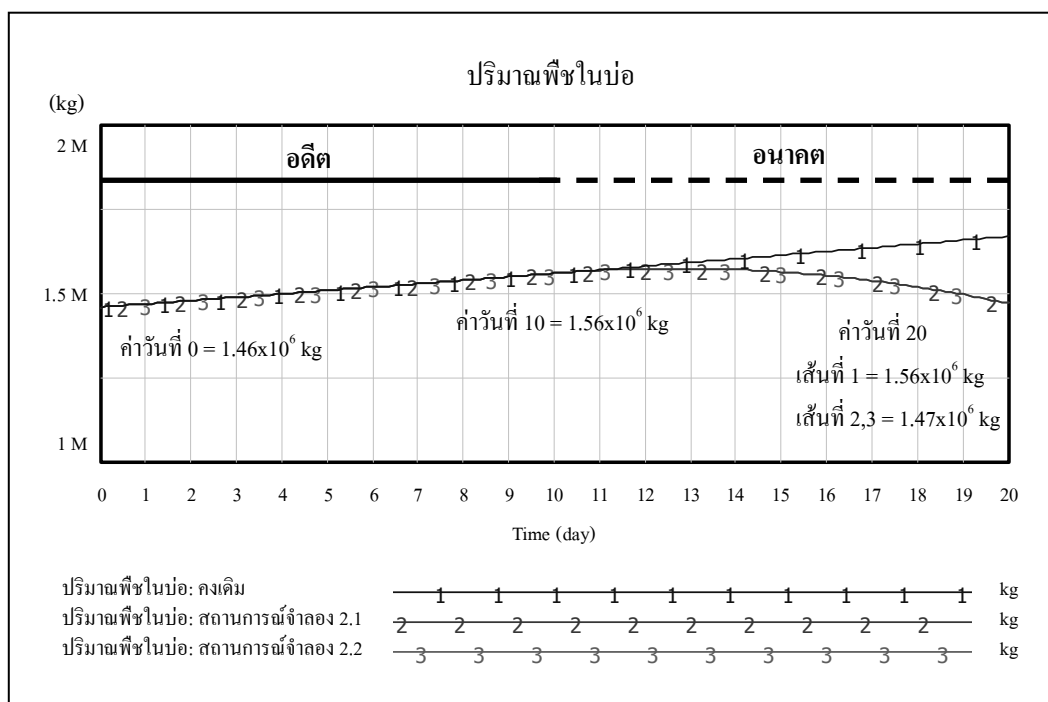


ภาพประกอบ 60 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ NO₃-N ในบ่อ
จากการสร้างสถานีการณ์จำลอง 2

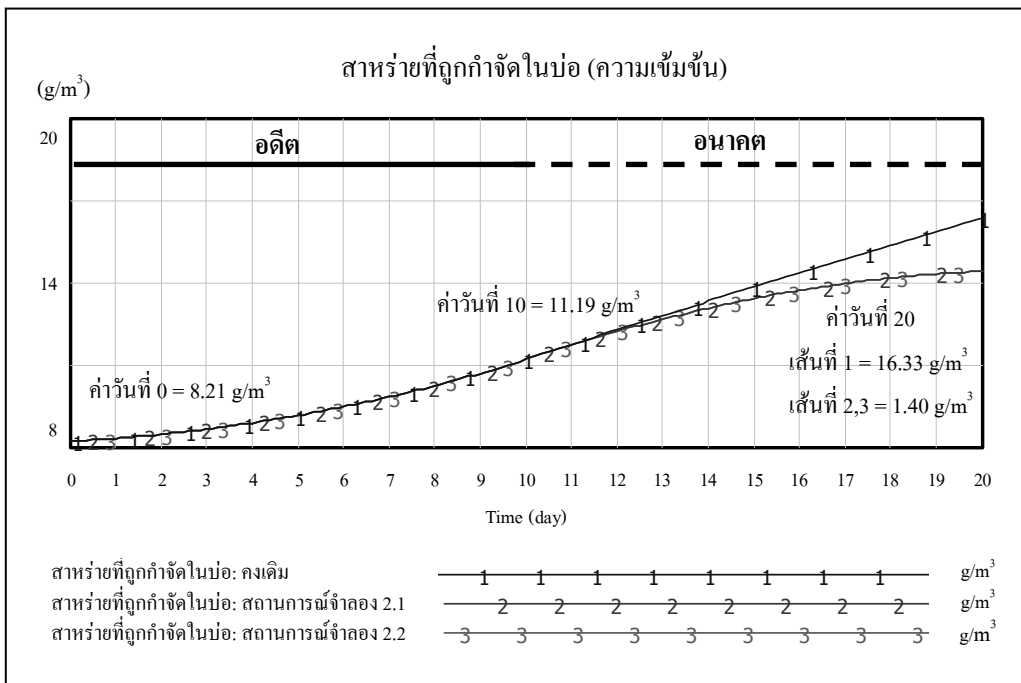
(2) การเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองสาหร่ายและ $\text{NO}_3\text{-N}$ เนื่องจากพื้นที่ผิวน้ำที่พืชปกคลุมลดลง

จากผลที่พืชมีแนวโน้มลดลงจากสถานการณ์จำลอง 2.1 และ 2.2 (ดั่งเส้นที่ 2 และ 3 ภาพประกอบ 61) ส่งผลให้สาหร่ายถูกกำจัดในบ่อลดลง (ดั่งเส้นที่ 2 และ 3 ภาพประกอบ 62) เนื่องจากพื้นที่ผิวน้ำที่พืชปกคลุมมีน้อยลง สาหร่ายจึงมีโอกาสรังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น $\text{NO}_3\text{-N}$ ในบ่อจึงถูกดูดซับเพิ่มขึ้น (ดั่งเส้นที่ 2 และ 3 ภาพประกอบ 63)

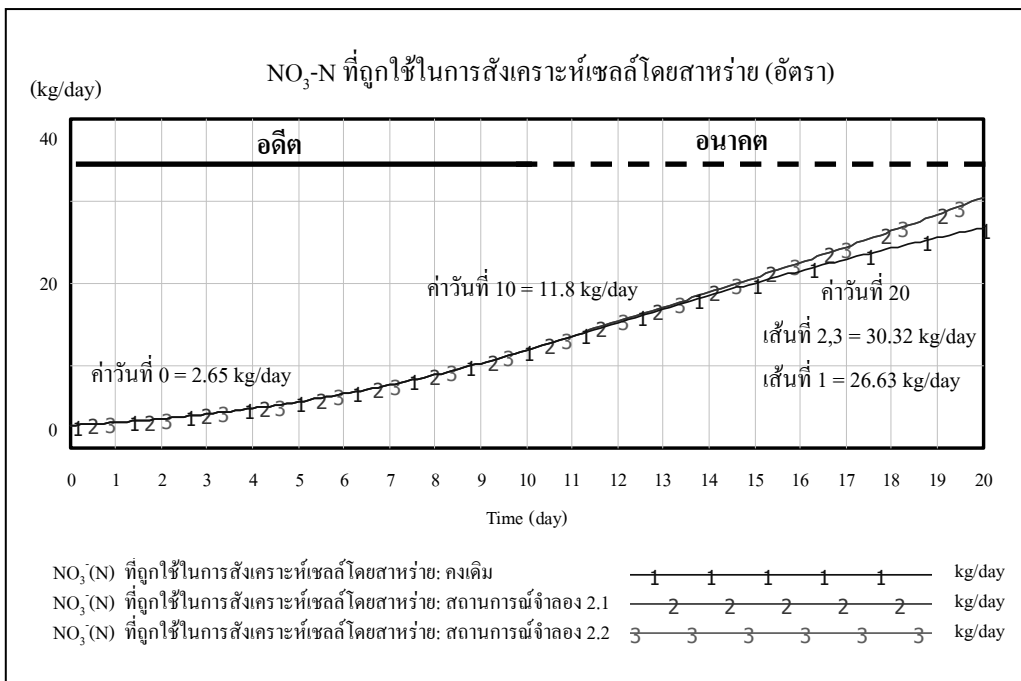
นอกจากนี้พืชปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำลดลง ยังส่งผลให้โอกาสเกิดสภาวะแอนน็อกซิก (anoxic condition) ที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันลดลงอีกด้วย (ดั่งเส้นที่ 2 และ 3 ภาพประกอบ 64)



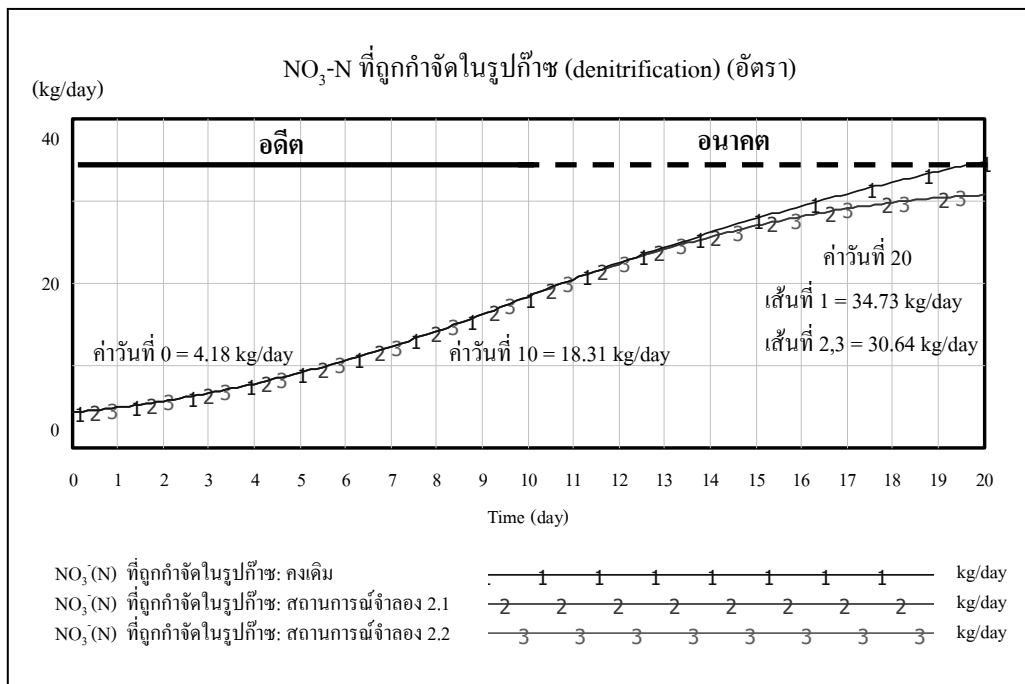
ภาพประกอบ 61 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณพืชในบ่อจากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2



ภาพประกอบ 62 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายที่ถูกกำจัดในบ่อ
จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2



ภาพประกอบ 63 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ NO₃-N ที่ถูกใช้ในการสังเคราะห์เซลล์โดยสาหร่าย
จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2



ภาพประกอบ 64 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง $\text{NO}_3\text{-N}$ ที่ถูกกำจัดในรูปก๊าซ (denitrification)
จากการสร้างสถานการณ์จำลอง 2

สรุปการจำลองสถานการณ์

จาก 2 สถานการณ์จำลอง ทำให้ทราบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่มีตัวแปรสิ่งแวดล้อมเกี่ยวข้องใน 10 วันข้างหน้า ดังนี้ คือ ความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนในบ่อจะแปรผันตามแนวโน้มของ pH พืช และสาหร่าย แต่จะต้องคำนึงถึงไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อซึ่งเป็นตัวแปรจากข้างนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ และไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในบ่อซึ่งจากสถานการณ์จำลองที่ 2.1 และ 2.2 เห็นได้ชัดว่ากรณีที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องจากพืชนั้นส่งผลให้ระดับ Org N และ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ เพิ่มขึ้นต่างกันอย่างไร โดยเป็นสาเหตุหนึ่งของการเจริญเติบโตได้ดีของสาหร่ายในบ่อ ซึ่งในความเป็นจริงถึงแม้ว่าไนโตรเจนที่เข้าสู่บ่อจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังสถานการณ์จำลองที่ 1.1 ก็ตาม แต่ในบ่อนั้นมีตัวแปรสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่ พืชและสาหร่าย ที่ต้องการไนโตรเจนในการสังเคราะห์เซลล์สูง และในบ่อที่มีการสังเคราะห์เซลล์สูงนี้มักจะมียุทธศาสตร์ pH ที่เป็นค่าสูง ทำให้ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ถูกกำจัดในรูปก๊าซได้ดี ดังนั้นไนโตรเจนจึงไม่เป็นปัญหาต่อความสามารถในการกำจัดของบ่อ แต่หากพืชในบ่อหากไม่จัดการจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าไนโตรเจนที่ปล่อยออกจากบ่อสูงกว่าค่าที่เข้าสู่บ่อนั่นเอง

ส่วนตัวแปรสาหร่ายที่เป็นปัญหาของบ่อบำบัด ๆ หากใหญ่ในปัจจุบัน เป็นเพราะความสามารถในการกำจัดสาหร่ายของบ่อมีจำกัด โดยพื้นที่ผิวน้ำที่มีพืชปกคลุม โดยเฉลี่ยมีเพียง

31% (เฉลี่ยจากตารางภาคผนวก ค 9) ของพื้นที่บ่อ ซึ่งจากสถานการณ์จำลองที่ 2.1 ถึงแม้ปริมาณของพีชีมีแวนโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่กลับส่งผลต่อการตายของสาหร่ายที่ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นถึงแม้แวนโน้มของสาหร่ายที่เข้าสู่บ่อจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มหรือลดลง (ดังสถานการณ์จำลองที่ 1.1 และ 1.2) บ่อมีความสามารถในการกำจัดอย่างจำกัด อีกทั้งยังมีส่วนทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีจากไนโตรเจนที่ได้จากซากพีชี ดังนั้นจึงไม่ผิดปกติที่ค่าสาหร่ายที่ปล่อยออกจะน้อยกว่าค่าสาหร่ายที่เข้าสู่บ่อเพียงเล็กน้อย หรือสาหร่ายที่ปล่อยออกมีค่าสูงกว่าสาหร่ายที่เข้าสู่บ่อเกือบเท่าตัว

ดังนั้นเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของผลที่ได้ในแบบจำลองจากการจำลองสถานการณ์ทั้ง 2 นี้ ทำให้ทราบว่า การที่จะดูแลสุขภาพปัญหาที่เกิดขึ้นของบ่อบำบัดนี้ได้ จะต้องมีการจัดการกับซากพีชีที่เกิดขึ้นในบ่ออย่างสม่ำเสมอ พร้อมทั้งหาวิธีการกระจายการปกคลุมผิวน้ำของพีชีให้ทั่วทั้งบ่อ เพื่อให้สามารถกำจัดสาหร่ายได้ทั่วถึง และเอื้อให้กระบวนการกำจัดไนโตรเจนในรูปก๊าซ (denitrification) เกิดขึ้นโดยสมบูรณ์