

순환여과식 해산 어류 양식장의 수처리 공정 최적화 연구

1. 회전원판법에 의한 해수 중의 암모니아 제거 동력학

조영개 · 이재관 · 이헌모 · 양병수

부산수산대학교 환경공학과

Optimization Studies on Water Treatment Process of Seawater Recirculation Fish Culture Systems

1. Ammonia Removal Kinetics in Seawater Using Rotating Biological Contactor Process

Young-Gae CHO, Jae-Kwan LEE, Heon-Mo LEE, and Byung-Soo YANG

Department of Environmental Engineering, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea

ABSTRACT

Ammonia accumulation is regarded as the limiting factor of the first priority in water qualities of aquatic culture systems.

Nitrification efficiency and characteristics in seawater were evaluated using Rotating Biological Contactor (RBC) process as a part of the recycling water treatment facilities for marine fish culture system. Ammonia removal efficiency regarded 99.7 to 83.7% at the ammonia surface loading rates of 48 to 393 mg/m²-day. RBC process was able to withstand to the fluctuation of influent ammonia concentrations and loading and produced the stable effluent.

The mathematical model on the fixed-film biological reactor developed by Kornegay seemed to be suitable to RBC process kinetic evaluation for the recycling water treatment of the marine fish culture system. Area capacity constant (P) and half-velocity constant (Ks) in the model were 0.188 g/m²-day and 1.25 mg/ℓ, respectively.

서 론

우리 나라 해산 어류 양식은 1964년부터 동해안의 감포, 삼척, 포항 등지에서 방어 축양을 효시로 양식이 시작되었다. 1970년 후반에는 방어, 치어의 수출을 위한 자연산 방어, 치어 수산업이 경남, 충무를 중심으로 발전하면서 급진적으로 확산되어 1980대 어류의 중요 생산 기술과 함께 해산 어

류의 양식이 본격화되기 시작하여 현재는 넙치, 조피볼락, 방어, 참돔, 복어, 능성어 같은 고급 어종이 주된 양식 대상종으로 부각되고 있다. 이중 넙치는 양식업자들의 주관심 대상 어종으로 주목받고 있으며, 우리 나라 기후 및 해양 환경의 여건상 사육 수온 조건이 알맞고 값도 비싸므로 해상 가두리식 양식보다는 사육 및 관리 조건이 안정된 육상 수조식 사육에 의한 넙치 양식이 전국적으로 확산되고 있다 (장과 유 1988).

고밀도 양식장의 사육조는 어류의 양에 비하여 면적이 좁기 때문에 인위적인 환경 관리가 쉽고 목적에 따라 생산성 증대를 위한 수온 등 일부 환경 요인의 조절이 가능하여 자연 환경에서는 양식이 불가능하거나 생산성이 낮은 생물도 대량 생산할 수 있다는 잇점이 있다. 그러나 이러한 폐쇄적 양식장은 비교적 좁은 사육조에서 많은 생물을 수용하므로 생물의 활동에 의한 환경 요소의 변화를 가져오기 쉽고 또 양식 생물의 밀도가 높아짐에 따라 노폐물의 축적이 사육조의 수질을 악화시키는 심각한 문제점을 야기시키고 있다. 사육조 내에는 어류의 대사 배설물이나 먹고 남은 사료 등이 침전, 또는 현탁 물질로 부유하고 있으며 이들 고형 물질이 분해되는 과정에서 수중의 용존 산소를 감소시키고 또 분해 과정 중에 생성되는 암모니아는 어류에 대해 강한 독성을 야기시켜 결국 치사까지 이르게 한다. 따라서 고밀도 양식장의 생산성 제고를 위해서는 사육조 내에 양질의 수질을 유지하여야 하며 이를 위해서 순환수의 적절한 처리 공법의 개발이 요구되고 있다.

양식장 수처리 방법으로는 크게 물리적 처리, 생물학적 처리, 물리-화학적 처리 방법이 포함되며 이중 생물학적 암모니아 제거 방법으로는 회전 원판법, 살수 여상법, 잠수 여상법 등이 주로 적용되고 있다. Rogers and Klemeton (1985)는 이들 세가지 공법의 암모니아 제거율을 비교한 결과 회전 원판법이 가장 효율이 좋았으며 수리학적 부하 $0.06 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-day}$ 까지는 90% 이상의 제거율을 보인 것으로 보고 하였다. 현재 우리 나라 해산 어류 양식장 수처리에도 비교적 회전 원판법 (Rotating Biological Contactor: RBC)이 높은 비중을 차지하고 있으나, 이러한 수처리 장치를 설치하거나 운전할 때 양식 어류량에 따른 암모니아와 유기물 부하량에 적합한 수처리 시설의 용량, 그리고 수리학적 부하율 등을 정확히 계산하여 설치 운전하지 않고 있기 때문에 수처리 효율이 비교적 좋지 않은 실정이다 (양 등 1992).

우리 나라의 경우, 고밀도 양식장의 순환수 처리에 대해서는 담수에 대한 연구는 비교적 진행되어 왔고 (김 등 1987; 이 등 1992), 해수에 대해서는 장과 유 (1988)에 의해 연구된 바 있으나 연구의 핵심이 양식 생물에 집중되어 있고 수처리 장치의 최적화 설계를 위한 체계적인 연구는 비교적 미진한 상태에 있다.

그러므로 본 연구에서는 해산 어류 순환여과식 양식장의 순환수 처리를 위한 회전 원판법의 최적 설계의 일환으로 순환수 중 주요 제거 대상 물질인 암모니아 처리도를 평가하고 회전 원판 설계를 위한 설계 인자를 도출하는데 본 연구의 목적을 두었다.

실험 장치 및 방법

1. 실험 장치

본 연구에 사용된 실험실 규모의 실험 장치는 Fig. 1 과 같이 두께가 5mm인 아크릴 판을 이용하여 병렬 다단으로 4 개를 제작하였으며, 운전 온도차에 의한 오차를 방지하기 위해 반응조는 20 ± 0.5 °C의 항온실에 설치하여 운전하였다. 저류조는 약 50 L 용량의 플라스틱 용기를 사용하였으며, 여기에 유입수를 채워 미량 유량 조절 펌프 (Cassette Pump, YSI 57)를 통해 반응조로 유입시켰다.

본 실험에 사용된 각 반응조 및 매질의 물리적 특성은 Table 1 과 같다.

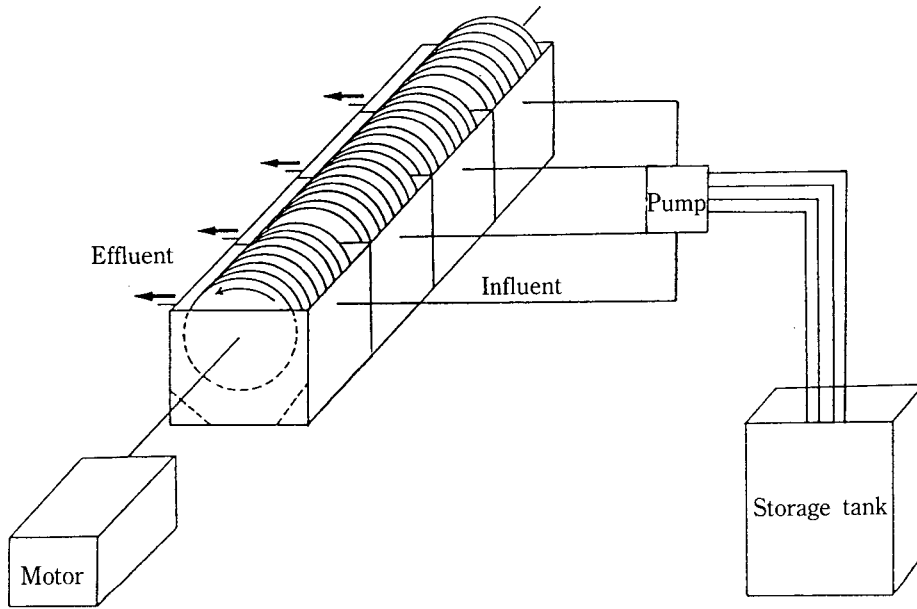


Fig. 1. Schematic diagram of experimental parallel RBC apparatus.

Table 1. Dimensions and parameters of the each experimental unit of the parallel RBC

Parameter	Single-stage unit
Reactor, a1(cm)	17.0 L×14.5 W×10 H
Number of discs	8
Disc material	Polyethylene
Diameter, cm	15
Thickness, cm	0.01
Submergence, %	45
Tip speed, m/min	4.71
Surface area, cm ²	3,149
Revolution rate, rpm	10
Volume of tank, L	1.3

2. 실험 방법

해수는 청정 해역에서 직접 채수하여 실험실로 옮긴 후 미량의 영양 염류를 주입하여 유입수로 사용했으며 이용된 영양 염류는 Table 2에 제시하였다. 암모니아 제거 효율 및 암모니아 표면 부하율에 따른 반응조의 운전 특성을 평가하기 위하여 유입수 암모니아 농도를 평균 12 mg/ℓ으로 고정하고, 암모니아 표면 부하율을 47.06, 98.48, 158.30, 392.62 mg/m²-day로 변화시키면서 실험하였다.

Table 3은 본 실험에서 운전된 암모니아 표면 부하율, 수리학적 부하율, 수리학적 체류 시간 및 유량을 나타낸 것이다.

Table 2. Composition of feed solution

Constituent	Concentration (mg/ℓ)
Yeast extract	10
Urea	5
Na ₂ HPO ₄	40
NaHCO ₃	125
MnSO ₄	2
NH ₄ Cl	38.21

Table 3. The operating characteristics of experimental units

Phase	Influent NH ₄ ⁺ -N (mg/ℓ)	NH ₄ ⁺ -N loading rate (mg/m ² -day)	Hydraulic loading rate (m ³ /m ² -day)	Hydraulic retention time (hours)	Flow rate (ℓ/day)
1	12	47.06	0.0038	26.2	1.20
2	12	98.48	0.0078	12.5	2.51
3	12	158.30	0.0136	6.7	4.65
4	12	392.62	0.0294	3.1	10.06

시료는 정상 상태 하에서 유입수 및 유출수를 채취하여 즉시 분석 하였으며, 본 실험의 분석 방법은 해수의 암모니아 질소(수질 오염·폐기물 공정 시험 방법, 1992)을 제외한 모든 항목은 Standard method (1989)에 따라 실험하였다.

결과 및 고찰

1. 암모니아 제거율

RBC 반응조에 의한 질산화율을 평가하기 위하여 약 75 일간의 미생물 부착 기간이 지난 후에 회전 원판에 진한 갈색의 미생물막이 균일하게 형성되었고 이 시스템이 안정됨에 따라 일정한 유출수를 얻을 수 있었다. 안정된 상태에서 서로 다른 암모니아 표면 부하율에서 암모니아의 질산화율을 평가하였다. Fig. 2은 운전 기간 중에 각 반응조별 동일 부하 조건에서 유출수 농도를 그리고 부하를 증가시켜감에 따라 유출수 농도가 증가하고 있는 경향을 보여주고 있다. 부하율을 단계적으로 거의 2배 증가시켜도 일주일 이내에 다시 안정된 상태로 회복이 되었고, 일단 정상 상태에 도달하면 유입수 중의 암모니아 농도가 비교적 큰 폭으로 변화하여도 4개의 반응조가 안정되게 거의 같은 유출수를 나타내고 있는 것으로 볼 때 RBC 반응조는 사료공급에 따른 사육조의 암모니아 농도 변화에도 잘 적응하여 일정한 유출수 농도를 유지할 수 있는 효과적인 수처리 공법으로 생각된다.

Table 4는 각 표면 부하율에서 4개 반응조의 정상 상태에서 얻어진 유출수 농도이다. 일정 부하율과 동일 조건에서 운전된 1, 2, 3 및 4 반응조에서 NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N의 농도가 비교적

회전원판법에 의한 해수 중의 암모니아 제거

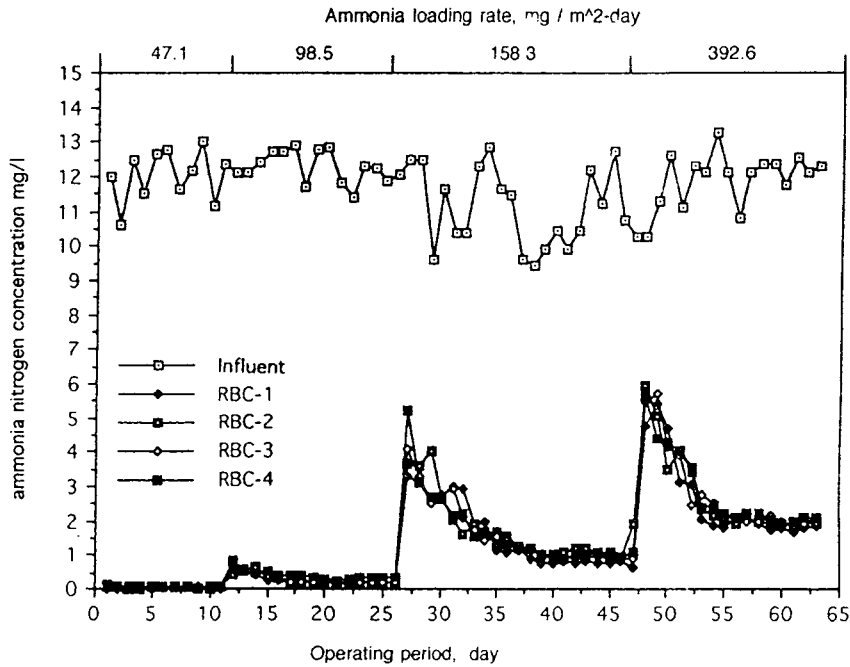


Fig. 2. Influent and effluent ammonia nitrogen concentrations versus ammonia loading rate during the operating period.

Table 4. Performance of nitrification at different ammonia loading rates in RBCs units

Ammonia loading rate (mg/m ² -day)	Influent conc. (mg/ℓ) NH ₄ ⁺ -N	Unit	Effluent conc. (mg/ℓ)		
			NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N
47.06	12.65	1	0.0340	0.0124	9.8842
		2	0.0416	0.0111	9.5730
		3	0.0448	0.0148	9.3358
		4	0.0388	0.0271	8.8593
		Ave.	0.0398	0.0164	9.4132
98.48	12.35	1	0.1983	0.1071	9.5724
		2	0.1769	0.0392	10.4890
		3	0.1712	0.0755	10.2110
		4	0.3759	0.1719	8.3592
		Ave.	0.2306	0.0984	9.6557
158.30	10.72	1	0.8035	0.3541	8.5826
		2	1.1052	0.3064	8.6733
		3	0.9410	0.3757	9.2405
		4	1.0020	0.2250	8.0847
		Ave.	0.9629	0.3153	8.6453
392.62	12.29	1	1.8086	0.2436	8.8303
		2	1.9743	0.2188	8.3950
		3	2.0114	0.1606	8.7222
		4	2.2277	0.2293	7.7961
		Ave.	2.0055	0.2131	8.4359

유사하게 일정한 값을 얻고 있어 4 개의 반응조가 공히 안정되게 운전되었음을 알 수 있다. 암모니아 표면 부하율이 증가됨에 따라 유출수 암모니아 농도는 증가하고 있으며, 표면 부하율이 낮은 47.06 mg/m²-day에서 유입수 12.65 mg NH₄⁺-N/ℓ가 0.04 mg NH₄⁺-N/ℓ로 처리되어 암모니아 제거율은 99.17 %를 나타내고 있으며, 표면 부하율이 가장 높은 392.62 mg/m²-day에서 암모니아 제거율이 83.7%로 아주 높게 나타났다.

2. 양식장 수처리의 수학적 모델

RBC 반응조는 일반적으로 다단 반응조로 3 개 또는 4 개로 분리되어 직렬 흐름으로 운전되는 것이 일반적이다. 즉, 흐름의 형태를 플러그 흐름(Plug flow)으로 형태화시키면서 기질 제거 속도를 증대시키는 접근법이라 할 수 있다. 그러나 대부분의 경우, 기질 제거는 1 단에서 주로 이루어지고 2 단에서 3, 4 단으로 감에 따라 제거되는 속도는 적게 나타나므로 3 단 혹은 4 단으로 설계되어지는 것이 일반적이다. 그러나 남궁(1990)의 실험 결과에 의하면 고농도 암모니아 함유 폐수(유입수 NH₄⁺-N=345mg/ℓ)의 RBC를 이용한 폐수 처리 연구에서 단단 RBC 공정의 암모니아 제거 효율을 비교한 결과 암모니아 부하율 4.9 g/m²-day 미만에서는 두 공정 공히 99% 이상의 높은 제거 효율을 보였고 4.9 g/m²-day 이상의 부하율에서는 단단 RBC 공정이 오히려 효율이 더 좋은 것으로 밝혀졌고 그 이유를 3 단 RBC의 경우 두번째 단과 세번째 단의 회전 원판상의 미생물의 발달 상태가 상대적으로 빈약한데 그 원인이 있는 것으로 보고한 바 있다.

본 연구에서처럼 양어장내의 순환수 처리에 있어서는 사육조에 사료 공급시 발생하는 높은 암모니아 농도를 빨리 희석, 제거시키기 위해서는 순환 유속의 증대가 필수적이다. 따라서, 다단 RBC 반응조의 경우도 순환 유속의 증가로 인해 흐름 형태도 부분적인 플러그 흐름 형태에서 완전 혼합 흐름 형태로 바뀌게 된다. 또한 공학적인 측면에서 안전 계수(safety factor)를 고려하는 측면에서도 완전 혼합 상태를 가정하여 요구되는 회전 원판 소요 면적을 구하고 다단 RBC로 설계하면 분산 플러그 흐름 형태가 되어 암모니아 제거 속도를 증대시킬 수 있어 본 연구에서는 RBC 반응조의 흐름 형태를 완전 혼합 반응조로 가정하여 평가하였다.

폐쇄순환식 양어장의 순환수 처리를 위해서는 수처리 장치 설계를 위한 수학적 모델 적용이 필요하다. 생물막 공법에 관련된 수학적 모델은 비교적 많이 연구되어져 있다(Williamson and McCarty 1976; Rittman and McCarty 1978; 1981). 그러나 이러한 모델의 적용을 위해서는 물질 전달 flux의 수학적 수치 해석에 의한 접근이 필요하다. 따라서 미생물막 바로 외층에 존재하는 고정 액체 film 평가와 생물막 내부에서의 기질 확산 계수, 농도 구배, film의 두께, 기질 제거 속도 등 비교적 측정하기가 용이하지 않은 모델 상수의 실측이 필요하다. 따라서 이러한 모델들은 생물막 공법의 기질 제거 동력학적 연구에는 크게 기여하고 있으나, 실제 수처리 장치 적용에는 다소 제한을 받고 있다. Kornegay(1968)가 개발한 모델을 발전시켜 Clark et al.(1978)에 의해 보완 제안된 모델은 미생물막 내부로의 기질 전달 및 기질 제거 동력학 인자들이 포괄적으로 수용된 모델로서 보편적으로 미생물막 공법에서 크게 인정을 받고 있음은 물론, RBC에도 쉽게 응용이 가능하므로 본 연구에서는 RBC 최적화 설계를 위하여 Clark에 의해서 보완 제안된 Kornegay의 모델을 이용하여 양식장 수처리 공법의 수학적 모델을 고려하였다.

고정 생물막 공법의 반응조에 유입된 암모니아는 매질에 부착된 미생물과 미량의 부유 성장 미생물에 의해 제거되며 생물학적으로 제거되지 않는 암모니아는 유출수로 방류된다. 이때 반응조를 완전 혼합 상태라고 가정하면, 물질 수지식은 다음과 같다.

$$V \cdot \left(\frac{dS}{dt} \right) = Q \cdot S_0 - \left[\left(\frac{dS}{dt} \right)_{uA} \cdot A_w + \left(\frac{dS}{dt} \right)_{uS} \cdot V_s + Q \cdot S \right] \dots\dots\dots (1)$$

여기서, $\left(\frac{dS}{dt} \right)_{uA}$: 부착생물의 단위표면적당 암모니아 이용속도 $[ML^{-2}T^{-1}]$

$\left(\frac{dS}{dt} \right)_{uS}$: 부유 미생물의 단위부피당 암모니아 이용속도 $[ML^{-3}T^{-1}]$

A_w : 미생물에 의해 부착된 매질의 표면적 $[L^2]$

V_s : 반응조 액상 부피 $[L^3]$

S_0 : 유입수의 암모니아 농도 $[ML^{-3}]$

S : 유출수의 암모니아 농도 $[ML^{-3}]$

Q : 유입 유량 $[L^3T^{-3}]$

식 (1)에서 부유 성장 미생물의 양은 부착 성장 미생물에 비해 대단히 적으므로 부유 성장 미생물에 의한 암모니아 이용 속도를 무시할 수 있다 (Clark et al 1978). 부착 미생물에 의한 단위 표면적당 암모니아 제거 속도가 Michaelis-Menten 식을 따른다고 가정하면,

$$\left(\frac{dS}{dt} \right)_{uA} = \frac{(\mu m)_A}{Y_A} \cdot \frac{X_A \cdot S}{K_S} \dots\dots\dots (2)$$

여기서, Y_A = 유입수의 암모니아 농도 $[ML^{-3}]$

X_A = 단위 표면적당 미생물량, $[ML^{-2}]$

K_S = 반포화 상수 $[ML^{-3}]$

μm = 부착 미생물의 비증식 속도 $[T^{-1}]$

미생물의 자산화 속도 (decay rate)는 미생물의 증식 속도 (growth rate)에 비해 미미하므로 이를 무시하면, 식 (1)과 (2)는 식 (3)과 같다.

$$V \cdot \left(\frac{dS}{dt} \right) = Q \cdot S_0 - Q \cdot S - \frac{(\mu m)_A}{Y_A} \cdot \frac{X_A \cdot S}{K_S + S} \cdot A_w \dots\dots\dots (3)$$

정상 상태 $\left(\frac{dS}{dt} = 0 \right)$ 에서 식 (3)을 정리하면,

$$Q \cdot (S_0 - S) = \frac{Y_A \cdot K_S}{(\mu m)_A \cdot X_A \cdot S} + \frac{Y_A \cdot S}{(\mu m)_A \cdot X_A \cdot S} \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{K_S}{P} \cdot \frac{1}{S} + \frac{1}{P} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, $P = \frac{(\mu m)_A \cdot X_A}{Y_A}$ (area capacity constant, $mg/m^2 \cdot d$)

$R = \frac{Q \cdot (S_0 - S)}{A_w}$ (removal coefficient, $mg/m^2 \cdot d$)

식 (4)을 다시 A_w 에 대해서 정리하면 식 (6)와 같다.

$$A_w = Q \cdot (S_0 - S) \cdot \left(\frac{K_s}{P} \cdot \frac{1}{S} + \frac{1}{P} \right) \dots\dots\dots (6)$$

식 (5)는 기율기가 K_s/P 이고 절편이 $1/P$ 인 직선이 되어 P, K_s 값이 결정되면 식 (6)으로부터 유출수 수질을 만족시킬 수 있는 매질의 표면적을 구할 수 있다.

3. 순환수 처리 적용

RBC의 동력학적 모델을 폐쇄 순환 양식장의 순환수 처리에 적용하기 위하여 양식장의 모식도를 Fig. 3 과 같이 나타내었다.

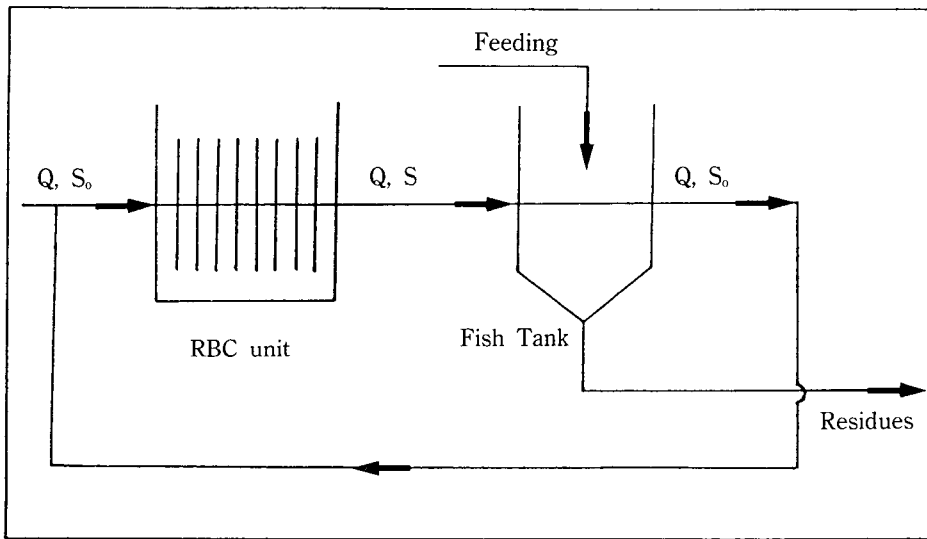


Fig. 3. Diagram of aquaculture system.

RBC unit의 암모니아의 물질 수지를 취하면,

$$V \cdot \left(\frac{dS}{dt} \right) = Q \cdot S_0 - Q \cdot S - \left(\frac{dS}{dt} \right)_{uA} \cdot A_w \dots\dots\dots (7)$$

사육조에 항상 일정한 수량과 수질을 공급해야 하므로 정상 상태에서

$$V \cdot \left(\frac{dS}{dt} \right) = 0 \text{가 되므로}$$

$$\left(\frac{dS}{dt} \right)_{uA} \cdot A_w = Q \cdot S_0 - Q \cdot S \dots\dots\dots (8)$$

따라서, RBC unit 에서 제거되어야 할 암모니아의 양은 사육조에서 발생되어지는 암모니아의 양으로써 이는 사료 찌꺼기와 배설물의 제한된 체류 시간에서 발생하는 양이다. 양식장 수질 평가

(Yang et al 1992)에 의하면 사료 공급 후 2 시간 이내에 수질 악화가 최대 농도를 나타내고 있어서 사료 공급 이후의 사료 및 사료 찌꺼기에 의한 수질 변화가 큰것으로 나타났다. 따라서, 사료를 사육조에 투입시켜 암모니아 용출율을 구하고 이 용출된 암모니아 양이 RBC 반응조에서 산화, 제거 됨으로써 항상 일정한 수질을 사육조에 유지시킬 수 있다.

$$\left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{net}} \cdot A_w = F \cdot Q \cdot S_0 - Q \cdot S$$

$$\therefore S_0 = S + F/Q \quad \dots\dots\dots (9)$$

여기서, F=사료 및 사료 잔유물로부터의 암모니아 용출율(MT⁻¹) 식 (9)를 식 (6)에 대입하면,

$$A_w = F \cdot \left[\frac{K_s}{P \cdot S} + \frac{1}{P} \right] \quad \dots\dots\dots (10)$$

식 (10)으로부터 원하는 RBC의 암모니아 유출수 농도(S)를 얻기 위한 표면적 A_w을 구할 수 있다. 또한 실제 양어장의 사육조에서는 사육조 내의 암모니아 농도(S₀)가 중요시 되므로 식 (9)에서 S에 대하여 정리하여 식 (6)에 대입하면

$$A_w = F \cdot \left[\frac{K_s \cdot Q}{P \cdot (Q \cdot S_0 - F)} + \frac{1}{P} \right] \quad \dots\dots\dots (11)$$

식 (11)로부터 폐쇄 순환식 양어장의 사육조 내에서 생성되는 일정 암모니아 발생율에서 순환수 처리를 위해 RBC 처리 시스템을 도입할 경우 사육조 내에서 유지시키고자 하는 암모니아 농도 S₀에 대한 유량과 표면적의 관계식을 얻을 수 있으며 이로부터 RBC의 설계를 위한 최적 조건이 구해질 수 있다.

4. RBC 공법의 동력학적 인자 도출

암모니아 질산화의 최적화 모델 도입을 위한 질산화 동력학적 계수를 도출하였다.

Table 4에 제시된 질산화 자료를 식 (5)에 적용하여 그래프로 나타낸 것이 Fig. 4이다. 직선의 기울기로부터 암모니아 제거 속도인 P는 0.188 g NH₄⁺-N/m²-day이고, 절편으로부터 반포화 상수인 K_s 값은 1.248 mg NH₄⁺-N/ℓ로 나타났다. 이들의 결과는 Nijhof and Bovendeur (1990)의 살수 여상법에서 도출된 P 및 K_s 값인 0.28 g NH₄⁺-N/m²-day와 3.0 mg NH₄⁺-N/ℓ에 비교할 때 공법은 다르지만 비교적 유사한 수치를 보이고 있음을 알 수 있다.

유유 성분을 유입 기질로 하여 만든 담수 합성 폐수를 직경 2 mm의 플라스틱 망을 매디아로 이용한 잠수 여상의 유기물 제거 동력학에서 얻어진 P와 K_s 값은 0.93 mg SBOD/cm²-day과 8.49 mg SBOD/ℓ (서와 류 1993)와 남궁 (1990)의 담수 고농도 암모니아 폐수 처리시 RBC 공법에서 얻은 P 및 K_s 값 16.1 g NH₄⁺-N/m²-day, 2.4 mg NH₄⁺-N/ℓ, 그리고 Nijhof and Bovendeur (1990)의 살수 여상법에 의한 저농도 담수 암모니아 합성 폐수의 P 및 K_s 값인 0.69 g NH₄⁺-N/m²-day, 2.2 mg NH₄⁺-N/ℓ와 비교할 때 다소 차이가 있는 것으로 나타났으나, 이것은 운전 시스템의 차이 및 해수와 담수에서의 동력학적 인자의 차이에 기인된 것으로 판단된다.

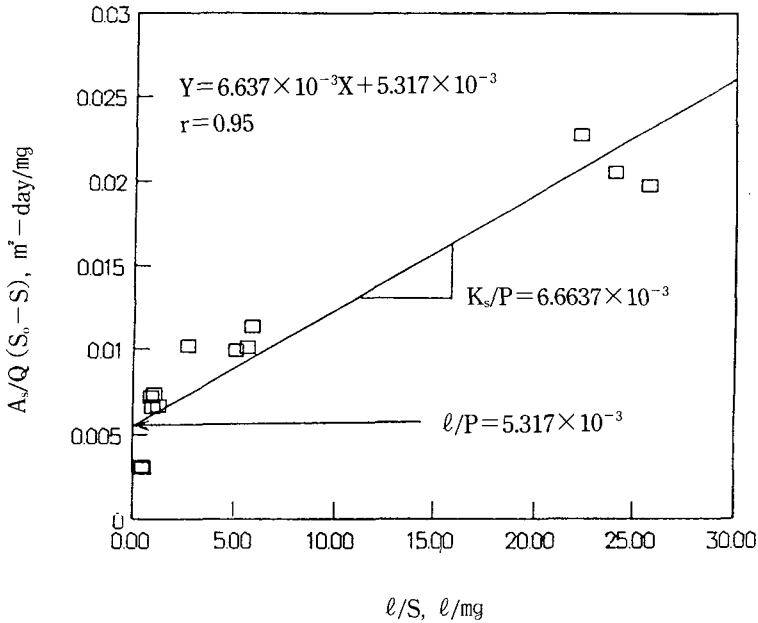


Fig. 4. Graphical determination of kinetic coefficients.

결 론

해산 어류 순환 양식장의 순환수 처리를 위한 회전 원판법 최적 설계의 일환으로 양식장 순환수 중 주요 제거 대상 물질인 암모니아를 회전 원판법 (RBC)으로 제거하는 경우 제거 특성 및 동력학적 인자 도출을 위한 연구 결과를 요약하면 아래와 같다.

양식장 순환수 중의 암모니아 제거를 위한 RBC 반응조는 유입수의 농도 변화 및 부하 변동에 효과적으로 적응할 수 있을 것으로 평가되었으며 암모니아 표면 부하율 47.61~392.62 mg/m²-day의 범위에서 99.7~83.7%의 아주 높은 암모니아 제거 효율을 얻을 수 있었다.

양식장 순환수 처리를 위한 회전 원판법 모델의 구성을 비교한 결과 Kornegay의 고정 미생물막 공법의 수학적 모델이 비교적 단순하고 편리하게 양식장 순환수 처리를 위한 동력학적 모델 구성 및 적용에 비교적 합당한 모델로 평가되었으며 양식장 순환수 처리를 위한 RBC 설계 인자로서 단위 표면적당 암모니아 제거 속도인 P 값은 0.188 g NH₄⁺-N/m²-day이고 반포화 상수 K_s 값은 1.248 mg NH₄⁺-N/l로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 부산수산대학교 해양산업개발연구소 (RCOID)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- APHA-AWWA-WPCF. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17th ed., Washington, D. C.
- Chang, Y. J. and S. K. Yoo. 1988. Rearing density of a flounder in a closed recirculating sea water system, *J. Aquaculture* 1(1): 13~24.
- Clark, J. H., E. M. Moseng and T. Asano. 1978. Performance of rotating biological contactor under varying wastewater flow. *J. Water Pollution Control Federation* 50:896~911.
- Kornegay, B. H. and J. F. Andrews. 1968. Kinetics of Fixed-Film biological reactors. *J. Water Pollution Control Federation* 40:R460~468.
- Rittman, B. E. and P. L. McCarty. 1978. Variable order model of bacterial film kinetics *J. Environmental Engineering Division. ASCE* 104:889~899.
- Rittman, B. E. and P. L. McCarty. 1981. Substrate flux into biofilms of any thickness *J. Environmental Engineering Division. ASCE* 107:831~849.
- Rogers, G. L. and S. L. Klemeton. 1976. Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilter. *Aquacultural Engineering* 4:135~154.
- Williamson, K. and P. L. McCarty. 1976. A model of substrate utilization by bacterial films. *J. Water Pollution Control Federation* 48:9~24.
- Williamson, K. and P. L. McCarty. 1976. Verification studies of the biofilm model for bacterial substrate utilization. *J. Water Pollution Control Federation* 48(2):281~296.
- Yang, B. S., H. M. Lee and B. G. Jeong. 1992. Water quality control in the semiclosed culture system growing a flounder, *Paralichthys Olivaceus*. *Bull. Korean Fish. Soc.* 25(3): 197~204.
- 김인배, 김병기, 지영옥. 1987. 여과지에 따른 암모니아 제거 능력. *한국수산학회지* 561.
- 남궁 완. 1990. 회전원판을 이용한 고농도 암모니아 폐수 처리 가능성. *대한상하수도 학회지* 4(1):35~41.
- 서형석, 류설호. 1993. 군용 시설물 폐수 처리를 위한 고정 생물막 공법의 연구. *대한상하수도 학회지* 7(1):37~45.
- 수질 오염·폐기물 공정시험방법. 1992. 동화 기술. 258~259.
- 이석모, 김도희, 송교육. 1992. 순환 여과식 양어장의 암모니아 제어를 위한 최적 수리학적 부하. *한국수산학회지* 25(3):176~180.