

循環濾過式 養魚場의 암모니아 制御를 위한 最適 水理學的 負荷

李錫謨 · 金道熙 · 宋教旭
釜山水產大學校 環境工學科

Optimal Hydraulic Loading for Ammonia Control in Water Recycling Fish Culture System

Suk-Mo LEE, Do-Hee KIM and Kyo-Ouk SONG

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

Nitrification is an important facet of water recycling fish culture system, because the toxic cation ammonia is converted to the innocuous anion nitrate.

This study was attempted to find the optimal design factor of submerged filter for ammonia removal in water recycling fish culture system.

The experimental system was designed submerged filter with corrugated skylight plate, and operated in the fish farm, National Fisheries University of Pusan. When the influent ammonia concentration was about 10mg/ℓ(9.43~13.66mg/ℓ), nitrification rates were tested for the removal of ammonia over a four stage of the hydraulic loadings.

The submerged filter removed 76.24, 62.88, 39.09 and 9.20% of the ammonia to hydraulic load of 0.028, 0.037, 0.056 and 0.111m³/m² · day, respectively.

We can apply the above data to the material balance on the ammonia concentration in a fish reservoir, and conclude that the maximum allowable ammonia production was 1.52 mg/min, and the optimal hydraulic loading was 0.047m³/m² · day, in order to maintain the ammonia concentration below 10mg/ℓ in the fish reservoir.

緒 論

어류의 濫獲과 천연수의 水質汚染 등으로 인하여 水域의 水産資源이 감소됨에 따라 양식에 의한 고급어류 생산의 필요성이 증대되고 있다. 內水面 養殖業은 댐湖, 대형저수지 등에 설치한 가두리 양식과 수질을 조절,관리하면서 시행하는 循環濾過式 방법이 있으나 우리나라는 低水溫期가 길어 越冬을 위해 가온과 보온으로 필요한 온도를 유지시켜야 하고 양식 가능한 內水面積이 충분하지 못하기 때문에 가두리양식이나 못양식은 적합하지 못하다(金, 1989). 또한 가두리 양식의 경우는 부수적으로 야기되는 水質環境의 오염문제 때문에 循環濾過式

양식의 필요성이 고조되고 있다.

그러나 어류를 高密度 循環濾過式으로 양식할 경우, 순환수의 수질이 악화되어 적절한 水處理가 요구된다. 특히 淡水魚를 高密度 循環濾過式으로 양식할 경우, 어류의 배설물이나 사료에 의해서 발생하는 암모니아가 어류의 성장을 阻害하거나 때로는 폐사의 요인이 되기 때문에 암모니아 제거가 養殖場 水處理의 주가 된다(金, 1987 ; Michael and Willina, 1988 ; Otto, 1976).

養殖場의 암모니아 제거방법으로는 Rotating Biological Contactor(RBC), Biodrum, Trickling Filter(撒水濾床), Submerged Filter(潛水濾床) 등으로 처리한 후 재사용 할 수 있으나 이들 공정들

의 선택은 설치비용, 운전조건, 청소의 난이도, 처리효율 등에 따라서 선택 할 수 있다(Rogers and Klemetson, 1976).

국내 담수어류 양식업자들은 循環濾過式 高密度 養殖場 수처리방법으로서 일반적으로 Submerged filter를 많이 채택하고 있으며 여과재로는 스카이라이트 골판(corrugated skylight plate)을 이용하고 있다.

그러나 스카이라이트 골판을 濾過材로 구성된 호기성 潛水濾床 장치를 설치한 담수어류 양식장에서는 放養魚種에 따른 암모니아 負荷量에 적합한 수처리 시설의 용량, 水理學的 負荷 등을 정확히 계산하여 설치, 운전하지 않고 단순히 경험적으로 실시되고 있기 때문에 수처리 효율이 극히 좋지 않은 실정이다.

따라서 본 논문에서는 循環濾過式 養殖場의 수처리에 있어서 현재 濾過材로서 가장 많이 사용되고 있는 스카이라이트 골판을 사용한 潛水濾床을 이용해서 水理學的 負荷率에 따른 암모니아 처리효율을 실험적으로 조사하여 효율적인 양어장 水質管理를 위한 최적의 운전 조건을 도출하고자 하였다.

裝置 및 方法

1. 實驗裝置

실험장치는 Fig.1과 같이 아크릴로 제작된 反應槽에 단회로(shortcircuit)를 방지하기 위해 2개의 정류판(baffle)을 설치해서 유입수와 미생물과의 접촉을 좋도록 했다.

濾過材로는 스카이라이트 골판을 反應槽에 채워 넣었고 실험장치의 제원은 Table 1과 같이 0.043 m³의 용기에 672 cm²면적의 골판 69개를 채워 생물막의 전면적이 약 9.27 m²가 되도록 하였다.

藻類繁殖과 이물질 유입을 막기위해 덮개와 차광막을 설치했으며 물흐름은 그림에서와 같이 反應槽 유입부 하단에서 유입해서 수심이 항상 32 cm가 유지되도록 유출수 상부 32 cm에서 유출되도록 하였다.

head tank 는 養殖水가 중력에 의해서 反應槽로 공급되도록 충분히 높게 설치했으며 유량은 head tank 유출부에서 유량 조절나사를 부착시켜 조절하였다.

2. 實驗方法

실험 반응조에 유입시킨 부산수산대학 養魚場의

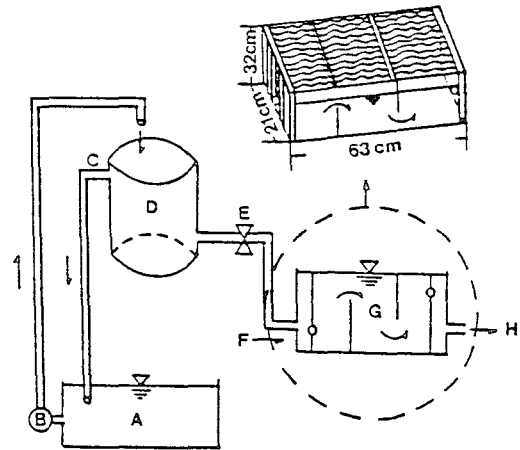


Fig. 1. Schematic diagram of laboratory scale biofilter setup.

The design includes a fish tank(A), pump(B), over flow(C), head tank(D), valve(E), influent (F), submerged filter(G), effluent(H).

Table 1. Specification of laboratory scale submerged biofilter.

Container volume(m ³)	Support medium	Biofilm surface area(m ²)
0.043 (63×21×32 cm)	21×32 cm Corrugated(69plate)	9.27

어류사육조 유출수의 수질 특성을 파악한 결과, 수온은 24.0~26.2℃, pH는 7.46~7.65, 암모니아는 9.42~11.56mg/l, BOD는 6.12~9.85mg/l, DO는 1.43~4.60mg/l로 측정되어 Rogers and Klemetson (1976)과 張(1987)이 제시한 수온과 암모니아, pH, BOD는 窒酸化 반응에 적합했으며 溶存酸素는 反應槽 전체가 최소한 2~3mg/l를 유지시켜야 하므로(金 1988), 폭기기를 이용해서 반응조에 공기를 공급함으로써 2.5~3.5mg/l의 용존산소가 유지되도록 하였고 어류 사육조의 유출수를 계속 반응조에 유입시키면서 반응조 물의 체류시간을 4단계로 달리하여 각각의 水理學的 負荷에 따른 유입, 유출수 중의 암모니아 농도를 연속 측정하여 처리효율이 일정하게 유지될 때 측정하여 평균했다.

3. 分析項目 및 分析方法

분석항목으로 수온은 봉상 온도계로 측정하였고 pH는 pH meter(Orion Research ionalyzer 407 A)로, 용존산소는 DO meter(YSI model 57)로 측정하였다. 생화학적 산소요구량(BOD)은 Standard

Method법으로 분석하였고 암모니아성 질소(NH₄⁺-N)는 Phenate법으로, 아질산성 질소(NO₂⁻-N)는 Bendschneider-Robinson법으로, 질산성 질소(NO₃⁻-N)는 Cadmium Redution법으로 비색, 정량하였다.

結果 및 考察

1. 암모니아 除去效率

반응조의 처리효율이 일정하게 되었을 때의 水理學的 負荷에 따른 반응조의 유입, 유출수를 분석한 결과는 Table 2와 같다. 유입수의 암모니아 농도가 약 10mg/l 일 때 水理學的 負荷에 따른 암모니아의 제거율은 수리학적 부하가 각각 0.028, 0.037, 0.056 및 0.111m³/m²·day로 증가됨에 따라 窒酸化가 76.24, 62.88, 39.09 및 9.20%로 점차 감소됨을 알 수 있었다.

Fig. 2는 각 水理學的 負荷에서 窒酸化에 따른 유입, 유출수중의 무기태 질소 성분의 조성을 나타낸 것으로 水理學的 負荷가 증가됨에 따라서 유입수 중의 암모니아가 유출수 중의 질산으로 변하는 비율이 점차 감소되는 것을 알 수 있었다.

2. 암모니아의 최적 水理學的 負荷

최적의 反應槽 운전조건을 도출하기 위하여 아래와 같이 실험에서 구한 水理學的 負荷率에 따른 암모니아 제거효율 관계를 Fig. 3의 모식도에 따라

Table 2. Each nitrogen concentration and ammonia removal rate at varied hydraulic loadings in fish farm when influent ammonia concentration is about 10mg/l.

Hydraulic loading(m ³ /m ² ·day)	0.028	0.037	0.056	0.111
Flow rate(ℓ/min)	0.18	0.24	0.36	0.72
Influent				
NH ₄ ⁺ -N(mg/ℓ)	13.13	9.43	13.66	11.36
NO ₂ ⁻ -N(mg/ℓ)	0.36	0.28	0.48	0.41
NO ₃ ⁻ -N(mg/ℓ)	34.91	33.83	32.20	33.94
Effluent				
NH ₄ ⁺ -N(mg/ℓ)	3.12	3.50	8.32	10.32
NO ₂ ⁻ -N(mg/ℓ)	0.62	0.43	0.68	0.67
NO ₃ ⁻ -N(mg/ℓ)	41.07	38.62	37.09	35.92
Ammonia removal(%)	76.24	62.88	39.09	9.20

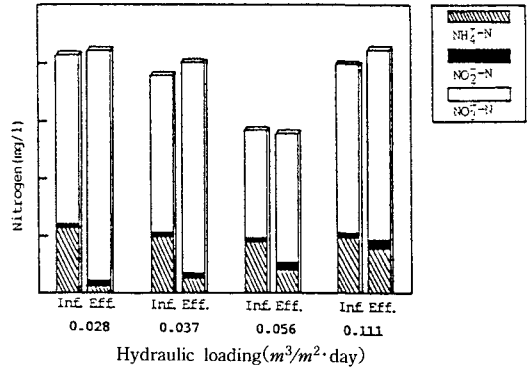


Fig. 2. Each type of nitrogen levels at varied hydraulic loadings.

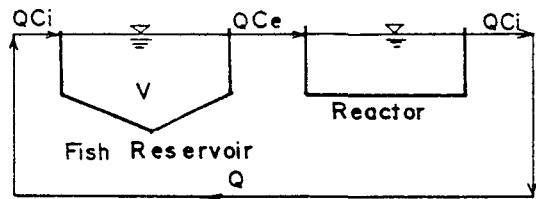


Fig. 3. Schematic diagram of material mass balance.

식(1)과 같이 어류 사육조내 암모니아 농도의 物質收支式(George and Edward, 1985)에 적용했다.

$$V \cdot dc/dt = Q \cdot C_i - Q \cdot C_e + R_A \cdot V \dots\dots\dots (1)$$

여기서 V : 어류사육조 용량(ℓ)

Q : 유량(ℓ/min)

C_i : 사육조 유입수 암모니아 농도(mg/ℓ)

C_e : 사육조 유출수 암모니아 농도(mg/ℓ)

R_A : 반응속도 상수(mg/ℓ·min)

어류성장에 영향을 미치는 어류사육조내의 암모니아 농도는 그 때의 수온과 pH에 따라서 다르지만(Bower and BiDwell, 1978) 10.55mg/ℓ(at pH 7.5) 이상에서는 잉어과의 어류성장이 장애를 받는다고 밝혀(Alabaster and Lloyd, 1980) 어류 사육조내의 암모니아 농도(C_e)를 약 10mg/ℓ로 일정하게 유지(steady state) 시킬 경우, dc/dt=0로 되고, 암모니아 생성량(R_A·V)을 p로 할 때 식(1)은 식(2)로 변형된다.

$$C_e = p/Q + C_i \dots\dots\dots (2)$$

사육조로 재순환되는 유입수인 반응조 유출수의 암모니아 농도(C_i)는 그때의 水理學的 負荷率에서의 처리효율에 대한 함수이므로 유입수 농도에 따른 유출수의 암모니아농도를 사육조 기준농도인 10mg/ℓ로 환산하여 처리효율을 적용할 경우 각 유

량에 대한 유출수의 암모니아농도는 Table 3과 같다.

Table 3의 유량(Q)에 대한 반응조 유출수의 암모니아 농도(C_i)의 回歸式을 Fig. 4와 같이 구하면 다음과 같다.

$$C_i = 4.90 \cdot \ln(Q) + 10.82 \quad \dots\dots\dots (3)$$

위 回歸式의 C_i을 식(2)에 대입하면 식(3)은 식(4)로 변환된다.

$$C_e = P/Q + 4.90 \cdot \ln(Q) + 10.82 \quad \dots\dots\dots (4)$$

여기서 어류사육조의 유출수 농도(C_e)를 10mg/l로 가정했으므로 유량(Q)과 단위시간당의 암모니아 생성량(P)과의 관계식을 구하기 위해서 식(4)의 C_e에 가정한 C_e값 10mg/l을 대입하면 식(4)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = -4.90(Q) \cdot \ln(Q) - 0.82(Q) \quad \dots\dots\dots (5)$$

식(5)를 이용해서 유량(Q)에 대한 단위시간당의 암모니아 생성량(P)를 구하고 이때의 水理學的 負荷率(濾材 比表面積은 9.27m²을 기준)을 산정한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4의 단위시간당 암모니아 생성량(P)과 水理學的 負荷(HL)와의 관계를 나타내면 Fig. 5와

Table 3. Effluent ammonia concentration according to the flow rate.

Flow Rate (l/min)	Removal efficiency (%)	C _i (mg/l)
0.18	76.24	2.38
0.24	62.88	3.71
0.36	39.09	6.09
0.72	9.20	9.06

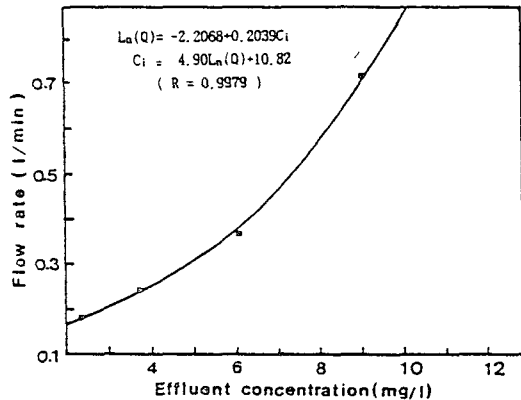


Fig. 4. Effluent ammonia concentration plot according to the flow rate.

같다.

Fig. 5에서 보면 사육조내의 암모니아 농도가 10 mg/l로 유지되기 위해서는 임의의 암모니아 생성량(A)에서 두개의 수리학적 부하율이 결정된다. 이는 낮은 水理學的 負荷에서는 긴 체류시간으로 처리율이 좋아짐에 따라 일정한 암모니아 농도 (10mg/l)로 유지되고, 높은 水理學的 負荷에서는

Table 4. The relationship among the flow rate, ammonia production rate and hydraulic loadings.

Q Flow rate (l/min)	P Ammonia production rate (mg/min)	Hydraulic loading (m ³ /m ² ·day)
0.10	1.05	0.016
0.15	1.27	0.023
0.20	1.41	0.031
0.25	1.49	0.039
0.30	1.52	0.047
0.35	1.51	0.054
0.40	1.47	0.062
0.45	1.39	0.070
0.50	1.29	0.078
0.55	1.16	0.085
0.60	1.01	0.093
0.65	0.84	0.101
0.70	0.65	0.109
0.75	0.44	0.117
0.80	0.22	0.124

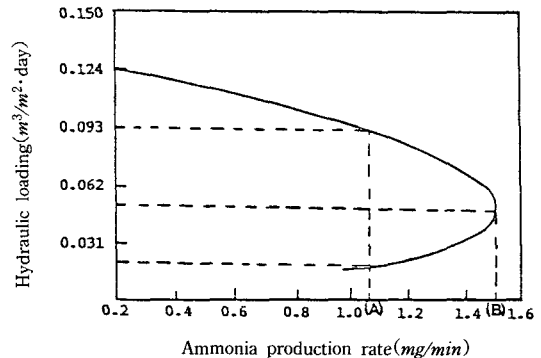


Fig. 5. Relationship between ammonia production rate and hydraulic loadings when effluent ammonia concentration is about 10mg/l.

체류시간이 짧아 처리효율은 나쁘지만 높은 유량에 의한 희석효과로 인해서 동일한 암모니아 농도(10mg/l)가 유지되는 결과이다. 따라서 본 연구에서는 어류 사육조내의 암모니아 농도를 10mg/l 이하로 유지하고자 할 때 최대허용 養殖密度로 운전할 수 있는 암모니아 생성량(B)은 1.52mg/min이며 이때의 최적 운전조건은 0.047m³/m² · day로 된다.

要 約

魚類를 高密度 循環濾過式으로 양식하는 淡水 양어장에서 암모니아를 제거하기 위하여 고정 생물막 窒酸化 반응으로 처리하는 潛水濾床 장치를 사용할 때 최대의 양식밀도와 최적의 운전조건을 파악 할 목적으로 水理學的 負荷率에 따른 암모니아 제거효율 실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

유입수의 암모니아 농도가 약 10mg/l(9.43~13.66mg/l)일 때 암모니아 제거율은 각각의 水理學的 負荷가 0.028, 0.037, 0.056 및 0.111m³/m² · day로 증가함에 따라서 76.24, 62.88, 39.09 및 9.20%로 감소하였다.

이상의 실험 자료를 어류사육조내 암모니아 농도의 物質收支式으로 적용시킨 결과, 어류 사육조의 암모니아 농도를 10mg/l이하로 유지시키고자 할 경우, 양식 가능한 最大 養殖密度는 암모니아 생성량을 기준으로 1.52mg/min이었으며 이 조건에서 潛水濾床 반응조의 최적의 水理學的 負荷率은 0.047m³/m² · day로 운전되어야 한다.

參 考 文 獻

金仁培 · 金炳起 · 池英玉. 1987. 여과재에 따른 암

모니아 제거능력. 한국 수산학회지, 20(6), 561~568.

金仁培. 1989. 內水面養殖. 產學水產 창간호, 26~30.

金仁培 · 禹榮培. 1988. 순환여과식 사육장치내에서 틸라피아의 성장을 위한 최적 용존산소량. 한국양식학회지, 1(1), 67~73.

張允錫. 1987. 생물학적 탈질산화-질산화에 의한 분뇨처리. 고려대학교 대학원 석사학위 논문, 1~17.

Alabaster, J. S. and R.Lloyd. 1980. Water quality criteria for freshwater fish, 85~102.

Bower, C. E. and J.P.BiDwell. 1978. Ionization of ammonia in seawater effects of temperature, pH, and salinity. J. Fish. Res. Board Can, 53, 1012~1015.

APHA.AWWA.WPCF. 1981. Standard method for the examination of water and wastewater, 15th ed. Washington. pp. 487~489.

George, T. and E. D. Schroeder. 1985. Water quality, pp. 248~260.

Otto, Kinne. 1976. Marine Ecology, III(I) part I. p 81.

Paller, M. H. and W. M. Lewis. 1988. Use of ozone and fluidized-bed biofilters for increased ammonia removal and fish loading rates. The Progressive Fish-Culture, 50, 141~147.

Rogers, G. L. and S. L. Klemetson. 1976. Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilter. Aquacultural Engineering, 4, 135~154.

1992년 4월 28일 접수

1992년 5월 12일 수리