

삼상 유동층 반응조를 이용한 해수 순환 여과 시설의 수처리

이병헌 · 최 혁 · 류종수

부경대학교 환경공학과

Water Treatment of Seawater Recirculating Aquaculture System by Using Three Phase Fluidized Bed Reactor

Byung-Hun Lee, Hyeok Choi and Jong-Soo Ryu

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

Capacity of water treatment of the three phase fluidized bed reactor as a biofilter in the seawater recirculating system was evaluated. The water treatment system consists of fluidized bed reactor for ammonia removal, cartridge filter for solid removal and ozone contactor for disinfection. Mean concentration of water quality parameters: COD, TAN, NO_2^- -N, NO_3^- -N, SS and alkalinity were 9.0, 0.22, 0.05, 20.0, 9.5 and 70.0 mg/l, respectively; the relevant values were 7.6 for pH and 3.64 NTU for turbidity. These indicate the maintenance of good water quality by the treatment system.

The influent TAN loading rate in to the fluidized bed reactor ranged from 4.3 to 32.9 g/m³/day, and averaged to 20 g/m³/day. TAN removal efficiency of each phase of the fluidized bed reactor was 47-60%, indicating the effective ammonia removal. During operation the effluent of fluidized bed reactors also maintained the unionized ammonia nitrogen level below 0.002 mg/l.

Key words: Ammonia nitrogen, Fluidized bed, Seawater recirculating system

서 론

순환 여과식 양식기법은 어류 양식에 사용된 물을 일정한 수처리 공정을 이용하여 정화한 뒤 재 이용하는 시스템으로써, 주위 환경변화에 영향이 적고, 고밀도 양식이 가능하며, 환경 친화적인 양식기법이다. 내수면 양식에 의한 어류 생산량은 1997년 이후로 정체상태를 맞고 있으며, 1998년 현재 양식에 의한 어류 생산량 중 천해양식의 생산량은 1993년에 비해 6배정도 증가한 39,000톤에 달하고 있어 해산어 양식은 중요한 산업으로 대두되고 있다(해양수산부, 1998). 그러나 최근 연안오염과 빈번한 적조현상의 발생으로 양호한 수질의 확보가 어려워 양식 어류의 안정적인 성장을 유지하기가 힘들어 지고 있다. 따라서 수질변동과 적조현상 및 동절기의 수온저하 등에 대처할 수 있는 양식기법의 개발이 필요한 실정이다.

안정적인 양식산업의 발전을 위한 해결책으로 양식수

를 재사용하는 순환 여과 시스템에 대한 연구가 활발한 연구가 진행되고 있다(김, 1980; Rogers & Klemetson, 1985; Jewell & Cummings, 1990; Nijhof & Bonverdeur, 1990; 이 등, 1999). 순환 여과 양식에서 어류 사육시 중요한 수질인자 중 하나인 암모니아는 사료공급을 통해 주로 발생되며, 어류 성장을 저해하거나 사육 어류를 폐사 시킬 수 있으므로 반드시 처리해야 되는 물질이다. 안정적인 어류 사육을 위해 권고되는 비이온성 암모니아 농도는 여러 연구자들에 의해 제안되었으며, USEPA(1976)는 0.02 mg/L 이하의 농도를 제안하였다. 이와 같이 낮은 암모니아농도를 유지하기 위해서는 효과적인 질산화 생물 여과조가 필요하다.

순환 여과 양식 시스템에서 사용되는 생물 여과조는 어종에 따라 여러 가지 형태의 것이 이용되고 있다(김 등, 1996). 순환수중 암모니아 제거 효율을 증대시키기 위해, 침지식 생물 여과조, 살수여상, Biodrum, RBC, 유동층 공

법등에 대한 연구가 진행되고 있다(Rogers & Klemetson, 1985; Jewell & Cummings, 1990; Nijhof & Bonverdeur, 1990; Summerfelter 1993; 김, 1995; 오, 1996; 최 등, 1997; 이 등, 1999). 한국의 경우 시설비에 대한 부지 이용비가 높아 순환수 처리장치의 점용 면적은 경제성 평가에 있어서 중요한 요소가 되므로 점용 면적이 가능한 작아야 경제적이다. 유동층 공법은 타 공법에 비해 수처리 효율이 높고, 점용 면적이 작아 순환수 처리에 적합한 공법으로 이에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다(Jewell & Cummings, 1990; 김, 1995; 최 등, 1997; 김, 1998).

본 연구에서는 삼상 유동층 반응조의 암모니아 제거율을 평가하기 위해, 해수 순환 여과 양식 시설을 구축하고, 넙치 치어 사육을 통한 암모니아 및 수질오염물질 부하 변동에 대한 삼상 유동층 반응조의 순환수 처리에 따른 암모니아 제거 효율 및 사육수 수질 변화를 고찰하였다.

실험 재료 및 방법

순환여과 시스템

본 연구에서 적용한 해수 순환여과 시설은 어류 사육 시설과 수처리 시설로 구성되어 있으며 pilot규모의 순환여과 시설은 사육조 → 유동층 반응조 → 카트리지 필터 → 오존접촉조 → 사육조로 순환 되도록 구성하였다. Fig. 1에 운전 모식도를 나타내었고, Table 1에 전체 시스템의 구성재원을 나타내었다.

사육조 용량은 56L, 29L인 수조를 각각 18개씩 사용하여 총 1,530L로 구성하였다. 계절적인 온도의 영향을 배제하기 위해 냉각기 및 보일러를 설치하여 20±2℃로 유지하였다. 각 사육조에 산기관을 설치하여 공기를 공급하였다.

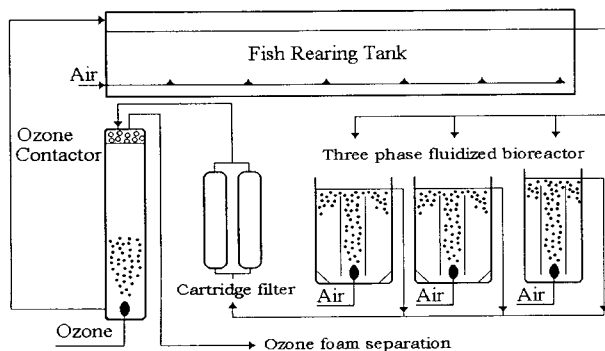


Fig. 1. Schematic diagram of seawater recirculation system with three phase fluidized bioreactor.

Table 1. Dimensions of seawater recirculation system

| Item | Volume (l) | Number | Total volume (l) | HRT (min) |
|-----------------------|------------|--------|------------------|-----------|
| Rearing tank | 56 | 18 | 1,008 | 39.0 |
| | 29 | 18 | 522 | 20.0 |
| Cartridge filter | 16 | 2 | 32 | 1.3 |
| Fluidized bed reactor | 214 | 2 | 428 | 16.5 |
| Ozone contactor | 198 | 1 | 198 | 7.6 |
| Retention tank | 2355 | 1 | 2,355 | 900 |

어류 사육을 통해 발생하는 고형물질은 10 μm 눈금의 카트리지 필터를 이용하여 제거하였고, 암모니아는 페타이어 미디어를 충전한 유동층 반응조를 이용하였다. 순환수의 살균처리를 위해 오존을 이용하였다. 오존접촉조는 산기관을 이용한 하향류식 반응조로 오존 주입율은 0.1 mg/L로 운전하였다.

사료공급은 오전 9시와 오후 4시에 실시하였고, 운전기간 20일 까지는 총 어체량의 4%, 그 이후부터 60일까지는 총 어체량의 3%를 공급하였다. 실험에 사용한 사료의 조성을 Table 2에 나타내었다. 사육 어종은 넙치(oliver flounder)를 대상으로 하였고, 평균 어체중은 2.6g인 것을 이용하였다. 어체 성장률을 검토하기 위한 어체량 측정은 3주 간격으로 수행하였다.

사육조 청소는 사료를 공급한 뒤, 사이폰을 사용하여 배설물을 제거하였고, 수질분석을 위하여 사료 공급 후 2시간 뒤 채수하여 시료분석을 수행하였다. 시스템 세척, 증발, 수질 분석 시료채취 등으로 손실되는 해수는 2~3주 간격으로 부산 근해의 해수로 보충하였다.

유동층 반응조

순환 여과 시설에서 생물 여과조로 적용된 유동층 반응조는 air-lift식 삼상 유동층 반응조이며, 운전 모식도를 Fig. 2에 나타내었다. 반응조는 아크릴로 제작하였으며, 용량은 160L×2조(반응조 A, B), 120L×1조(반응조 C)로 병렬 운전하였다. 충전된 미디어의 원활한 유동을 위한 baffle의 설치는 김(1998)이 제안한 설계인자를 적용하였고, 수리학적 체류시간(HRT)은 16분으로 설계하였다. 유동층 반응조에 충전된 미디어(김, 1998)는 페타이어를 가공한 것을 이용하였고, 실험에 사용하기 전 약 3주간 해수에 순치 시킨 후 반응조 부피에 대하여 약 30%를 충전 하

Table 2. Composition of the experimental diets

| Ingredient | Experimental diet | | | | | |
|------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| | C ₀ | C ₂₅ | C ₅₀ | C ₇₅ | C ₁₅₀ | C ₁₅₀₀ |
| Casein ¹ | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 |
| Defated WFM ² | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 |
| Gelatin ¹ | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| Dextrin ¹ | 22.8 | 22.8 | 22.8 | 22.8 | 22.8 | 22.8 |
| Squid liver oil ³ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Corn oil ⁴ | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Vitamin mix (Vc free) ⁵ | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| Mineral mix ⁶ | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 |
| Cellulose ¹ | 0.6 | 0.59 | 0.58 | 0.57 | 0.54 | 0.0 |
| Vitamin C (AsPP) ⁷ | 0.0 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.6 |
| Proximate | | | | | | |
| Crude protein | 54.0 | 54.9 | 54.7 | 54.8 | 54.8 | 54.6 |
| Crude lipid | 9.5 | 9.1 | 9.5 | 9.2 | 9.1 | 9.0 |
| Crude ash | 7.5 | 7.6 | 7.7 | 7.8 | 7.8 | 7.6 |

¹United States Biochemical, Cleveland, Ohio 44122.

²White fish meal (WFM) , Kum Sung Feed Co., Pusan, Korea.

³E-Wha oil Co., Ltd., Pusan, Korea.

⁴Corn oil 4.5% + DHA, EPA 0.5%.

⁵Contains (as g/100g premix): dl-calcium pantothenate, 0.5; choline bitartrate, 10; Inositol, 0.5; Menadione, 0.02; Niacin, 0.5; pyridoxine-HCl, 0.05; riboflavin, 0.1; thiamine mononitrate, 0.05; DL- α -tocopheryl acetate, 0.2; retinyl acetate, 0.02; biotin, 0.005; folic acid, 0.018; B12, 0.0002; Cholecalciferol, 0.008; alph-cellulose, 87.06

⁶Contains (as mg/kg diet): Al, 1.2; Ca, 5000; Cl, 100; Cu, 5.1; Co, 9.9; Na, 1280; Mg, 520; P, 5000; K, 4300; Zn, 27; Fe, 40.2; I, 4.6; Se, 0.2; Mn, 9.1.7 L-ascorbyl-2-polyphosphate.

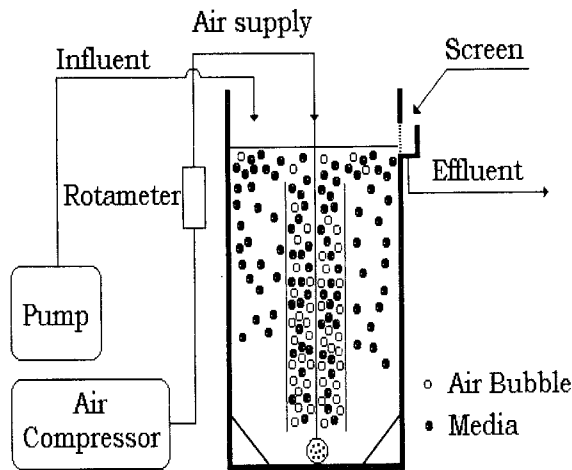


Fig. 2. Schematic diagram of three phase fluidized bed reactor in seawater recirculating system.

였다. 미디어의 유동 및 질산화에 필요한 산소공급을 위해 압축공기를 사용하였으며, 공기 유량계(DWYER Co. Air Flow Meter)를 사용하여 조절하였으며, 각 반응조별로 주입된 공기량은 각각 반응조 A, B는 25 L/min, 반응

조 C는 12 L/min으로 하였다.

수질 분석방법

수질관측을 위해 사육조 내부, 유동층 반응조 유출, 오존점촉조 유출 등의 지점에서 시료를 채수하여 염분농도(%), COD(mg/L), $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg/L), $\text{NO}_2^-\text{-N}$ (mg/L), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg/L), pH, 알칼리도(mg/L as CaCO_3), 탁도(NTU), 그리고 SS(mg/L) 등의 항목에 대하여 수질분석을 수행하였다. 암모니아는 선택적 이온전극법에 따라 분석한 후 시료의 pH와 온도를 측정하여 식(1)을 이용하여 비이온성 암모니아농도를 계산하여 총암모니아(Total Ammonia Nitrogen ; TAN)를 환산하였다(Summerfelt, 1993).

$$\frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 10^{(\text{pH} - \text{pK}_a)}, \text{pK}_a = 0.09018 + 2729.92/\text{T}, \text{ } ^\circ\text{K} \quad (1)$$

아질산성 질소와 질산성 질소는 수질오염 공정시험방법 해수편에 따라 Diazoa Method와 자외선 흡광광도법으로 분석하였고, 나머지 분석방법들은 Standard Methods (APHA, 1995)에 따라 시료를 분석하였다. Table 3에는 시

Table 3. Analytical methods and instruments

| Item | Experimental method | Instrument |
|------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Ammonia nitrogen | Ammonia-Selective Electrode method | Orion Model 720A |
| Nitrite nitrogen | Diazoo method | SAMRT 190 - DUV |
| Nitrate nitrogen | UV absorption method | SAMRT 190 - DUV |
| Turbidity | Turbidity meter | HACH 2100-P Turbidimeter |
| pH | pH meter | Cole-Parmer 05669-20 |
| Alkalinity | Titration method | |
| Salinity | Salinity refractometer | ATAGO |
| SS | Vacuum filtration | Glass fiber filters |

료 분석에 사용한 실험방법을 나타내었다.

결과 및 고찰

사육조내 수질변화와 어류성장 특성

순환수 유량은 수처리 시설에서 사육조로 공급하는 배관에 적산유량계를 설치하여 측정하였다. 유량은 24.5~32.0 L/min의 범위였고, 평균 26 L/min을 유지하였다. 전체 운전기간 동안 9회에 걸쳐 보충수를 공급하였으며 총 17.1 m³를 사용하였다. 염분 농도의 경우 해산어류의 생리작용에 큰 영향을 주므로 매일 측정하여 시스템내의 염분 농도 변화를 관찰하였다. 운전기간동안 측정된 염분 농도의 범위는 30~35‰이었고, 평균 31‰를 유지하였다. 전체 운전기간 동안 사육조내 수질변화를 파악하기 위해 조사된 수질분석 결과를 Fig. 3, 4에 나타내었다.

실험기간동안 측정된 사육조내 COD 농도 범위는 3~14 mg/L였고, 평균 9 mg/L로 천연 해수의 COD 농도에 비하여 다소 높게 나타났다. Summerfelt(1993)에 의하면 용존 유기물은 타가영양성 미생물의 성장을 촉진시키며, 순환 여과 시스템의 전체 산소 요구량을 증가시키고 여과조에서 질산화작용을 방해하며 또한, 일부 타가 영양 미생물은 어류에게 유행성 질병을 유발시키기도 한다고 보고하였다. 본 연구에서 적용한 순환 여과 시스템에서는 오존을 이용한 살균공정이 포함되어 있어 COD 증가에 따른 어병 발생에 대한 문제점은 미미한 것으로 판단된다.

순환수내의 암모니아는 어류 성장에 큰 영향을 미치는 중요한 수질인자 중의 하나이다. USEPA(1976)에서는 어류에 대한 비이온성 암모니아의 권장 농도를 0.02 mg/L 이하로 제한하고 있다. 암모니아가 어류에 미치는 영향은 어종, pH, 수온, 염분농도 등에 따라 달라질 수 있다. 일반

적으로 pH7 부근에서 수중의 TAN 농도의 1%가 비이온성 암모니아 형태로 존재하므로 USEPA(1976)의 권장농도 0.02 mg/L을 만족시키기 위한 사육조내 TAN농도는 2 mg/L 정도이다.

해수에서는 염분에 의한 영향으로 담수에 비해 같은 pH 조건에서 보다 낮은 비이온성 암모니아 분율을 가지게 된다(Trussel, 1972. Bower & Bidwell, 1978). 전체 운전기간 동안 측정된 사육조내 총 암모니아성 질소(TAN)의 농도 범위는 0.05~0.41 mg/L이며, 평균 0.22 mg/L로 양호한 수질을 유지한 것으로 나타났다.

아질산성 질소는 암모니아가 질산성 질소로 산화되는

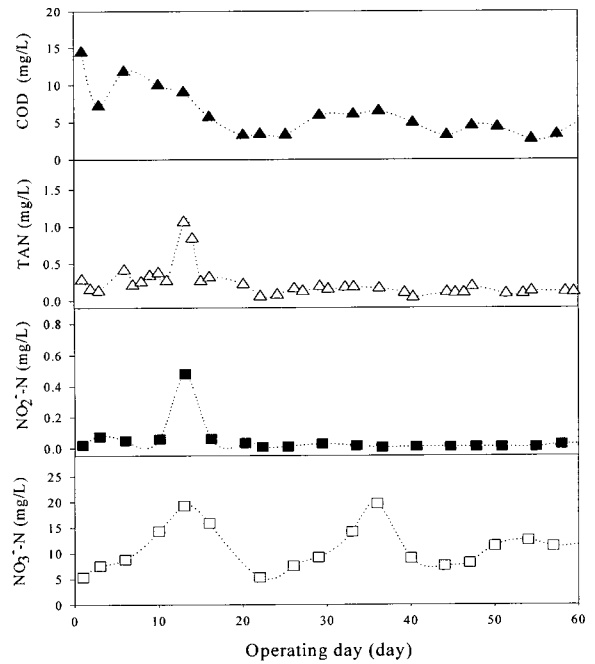


Fig. 3. Fluctuations of water quality parameters COD, TAN, NO₂, and NO₃ in rearing tank during operation.

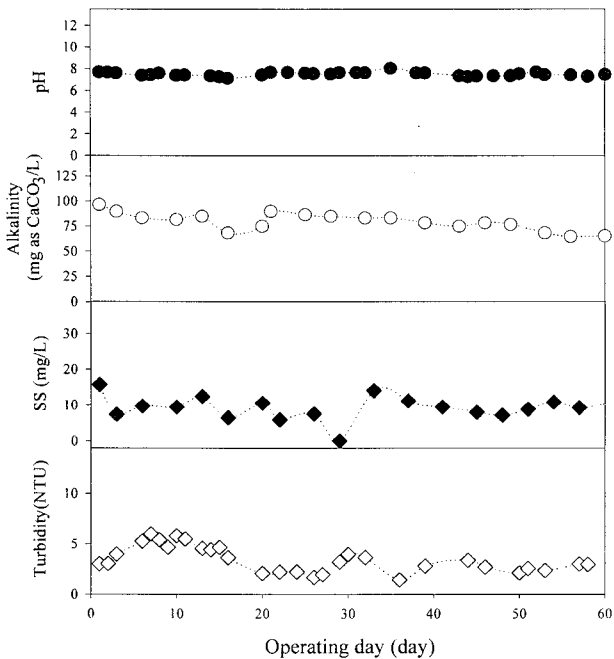


Fig. 4. Fluctuation of water quality parameters pH, Alkalinity, SS and Turbidity in rearing tank during operation.

과정에서 생성되는 중간 생성물이다. 담수어종에 있어서 아질산성 질소는 저농도에서도 독성 영향을 미치지만 (Russo *et al.*, 1974; Smith & Williams, 1974; Meade, 1989 a,b) 해수에서 아질산성 질소의 96hr LC₅₀은 600~1100 mg/L로 보고되고 있다(Crawford & Allen, 1977; Epifaino & Srna, 1975). 전체 실험기간 중 사육 수조내의 아질산성 질소 농도 범위는 0.01~0.08 mg NO₂-N/L였고(13일의 0.48mg/L 제외), 평균 0.05 mg/L로 양호한 수질을 유지한 것으로 나타났다.

질산성 질소는 운전일수 0일~12일, 20일~37일, 40일~60일의 구간에서 5mg/L에서 약 20mg/L까지 증가하는 경향을 보였다. 이와 같이 질산성 질소가 증가하는 이유는 유동층 반응조에서 질산화에 의한 결과로 질산성 질소가 축적되었기 때문이며, 질산성 질소가 각 구간의 끝에서 급격히 감소한 이유는 보충수의 공급에 의한 결과로 나타났다.

pH 및 알칼리도는 어류 성장과 유동층 반응조의 운전에 중요한 수질인자이며, 일정한 알칼리도를 유지하여야만 안정적인 pH를 유지할 수 있다. 담수어종에 대한 순환 여과식 양식에서는 중탄산염 등과 같은 알칼리도 유발물질을 인위적으로 공급하여 CaCO₃농도로 100~200 mg/L의 농도를 유지하는 것이 일반적이다. 해수의 알칼리도는

약 100 mg/L이므로 보충수 공급을 통하여 알칼리도를 유지하였다.

운전기간중 사육조내 pH는 평균 7.6으로 유지되었고, 알칼리도는 평균 70 mg/L로 나타났다. 알칼리도는 암모니아의 산화에 의해 감소되며, 보충수의 공급으로 인해 유지된 것으로 나타났다. 탁도는 Nightingale(1976)에 의해 권고되는 수질농도가 60 NTU이하로 유지하는 것이 어류 양식에 좋다고 보고되었다. 본 연구에서는 사육조내 탁도 범위가 1.45~6 NTU였고, 평균 3.64 NTU로 양어장 순환수에 권장하는 60 NTU보다 훨씬 낮게 운전되었다. 이는 10 μ m 크기의 필터를 이용할 경우, 효과적인 탁도 처리가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

부유물질은 Enviroment Canada(1979)에서 권장하는 농도가 25 mg/L이하로 보고 되고있다. 담수 순환여과 양식의 경우, Herbert and Merkens (1961) 규조토로서 207 mg/L의 부유 물질농도에서 무지개 송어의 지느러미가 썩고 사망에 이른다고 보고되었다. 본 연구의 사육조내 부유 물질농도 범위는 5.99~15.78 mg/L 였고, 평균 9.45 mg/L로 나타나 양호한 수준을 유지할 수 있었다.

이러한 수질조건에서 사육한 넙치의 성장특성을 Table 4에 나타내었다. 일반적으로 초기 넙치의 크기가 3.5g에서 20g까지 약 8주간의 증체량은 약 500%로 알려져 있다 (Sato and Kikuchi, 1997). 본 연구에서 나타난 증체량은 사료 조건에 따라 다르지만, 270.6~557.9%로 나타나 일반적인 성장 결과를 보이고 있다.

유동층 반응조의 암모니아 제거특성

페타이어 매디아를 충전한 유동층 반응조를 생물 여과조로 적용한 본 연구에서는 어류 사육과 동시에 순환수내 TAN 제거성능을 평가하였다. 약 60일간의 연속운전 기간 동안 측정된 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 유입수의 TAN 농도는 약 0.05~0.42 mg/L의 농도범위를 보였고, 평균 0.22 mg/L로 나타났다. 유동층 반응조를 통과한 유출수의 TAN 농도는 약 0.01~0.22 mg/L의 농도로 평균 0.13 mg/L로 나타나 양호한 수질을 보였다. 운전일수 13일째에 TAN 농도가 높게 나타났는데, 이는 유동층 반응조 운전에 필요한 공기공급장치의 고장으로 매디아 유동현상이 정지되어 TAN 제거 효율이 급격히 저하되었기 때문이다.

유동층 반응조의 유입 유출에 따른 암모니아 제거특성

Table 4. Effects of different dietary vitamin C levels in olive flounder

| | Diet | | | | | | Pooled SEM ² |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|
| | C ₀ | C ₂₅ | C ₅₀ | C ₇₅ | C ₁₅₀ | C ₁₅₀₀ | |
| WG ³ (%) | 270.6 ^c | 460.4 ^b | 480.8 ^b | 477.6 ^b | 543.1 ^{ab} | 557.9 ^a | 22.0 |
| FCR ⁴ | 2.42 ^a | 1.52 ^b | 1.34 ^{bc} | 1.36 ^{bc} | 1.31 ^{bc} | 1.27 ^{bc} | 0.10 |
| PER ⁵ | 1.28 ^d | 1.66 ^c | 1.73 ^{bc} | 1.73 ^{bc} | 1.88 ^{ab} | 1.95 ^a | 0.06 |
| HSI ⁶ | 2.01 ^b | 1.98 ^b | 2.26 ^{ab} | 2.22 ^{ab} | 2.69 ^a | 2.52 ^{ab} | 0.08 |
| CF ⁷ | 0.85 ^b | 0.88 ^{ab} | 0.89 ^{ab} | 0.91 ^{ab} | 0.90 ^{ab} | 0.93 ^a | 0.10 |
| PCV ⁸ (%) | 20.4 ^{ab} | 26.1 ^a | 23.3 ^{ab} | 19.7 ^b | 22.7 ^{ab} | 25.3 ^{ab} | 0.89 |
| Hb ⁹ (g/dl) | 3.76 ^c | 4.44 ^b | 3.71 ^c | 4.34 ^b | 4.41 ^b | 5.71 ^a | 0.25 |
| Survival | 76.7 | 77.8 | 88.9 | 88.9 | 91.1 | 85.6 | 2.09 |

¹Values are means from triplicate groups of fish, in which the means in each row with a different superscript are significantly different ($P < 0.05$).

²Pooled standard error of mean.

³Weight gain (WG %): (final weight - initial weight) × 100/final weight.

⁴FCR (feed conversion ratio): feed intake / weight gain.

⁵PER (Protein Efficiency Ratio): wet weight gain / protein intake.

⁶HSI (Hepatosomatic index): (liver weight / body weight) 100.

⁷CF (Condition factor): [fish wt. (g) / fish length (cm)³] 100.

⁸PCV (hematocrit).

⁹Hb (hemoglobin).

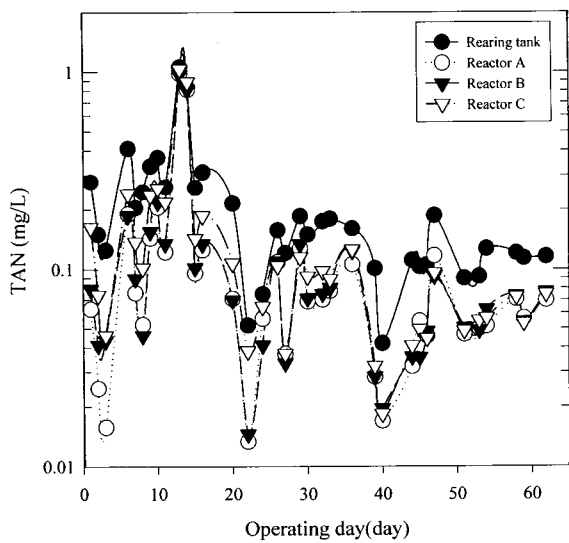


Fig. 5. Fluctuations of TAN concentration in rearing tank and effluent of fluidized bed reactor during operation.

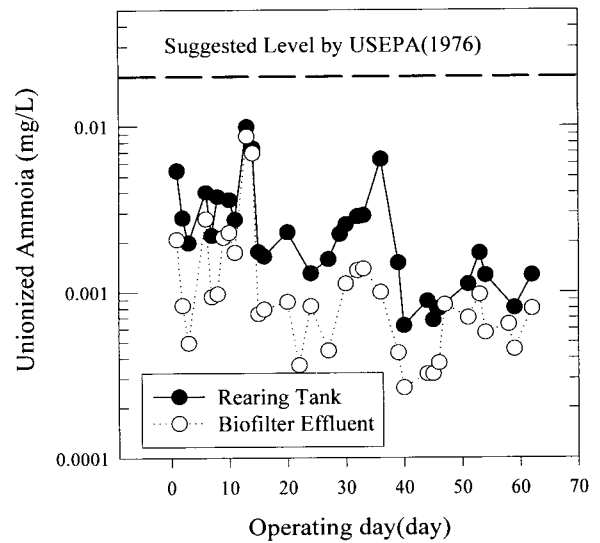


Fig. 6. Fluctuations of unionized ammonia concentration in rearing tank and effluent of fluidized bed reactor.

을 고찰하기 위해 Fig. 6에 운전일수에 따른 비이온성 암모니아 농도를 나타내었다. USEPA(1976)에서 제안하는 비이온성 암모니아 농도가 0.02mg/L인 것을 감안하면, 유동층 반응조의 유입, 유출수 비이온성 암모니아농도가 아주 낮게 유지되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 세 개의 유동층 반응조의 병렬운전에 결과 유출수의 비이온성 암

모니아 평균농도는 0.002 mg/L로 나타나, 효과적인 암모니아 처리가 가능한 것으로 나타났다.

Fig. 7은 유동층 반응조의 TAN 유입 부하량에 따른 제거율을 부하량 단위(g/m²/day)로 나타내었다. 전체 운전 기간 동안 유동층 반응조로 가해진 TAN 부하량 범위는 4.3~32.9 g/m²/day였고, 평균 19.4 g/m²/day로 나타났

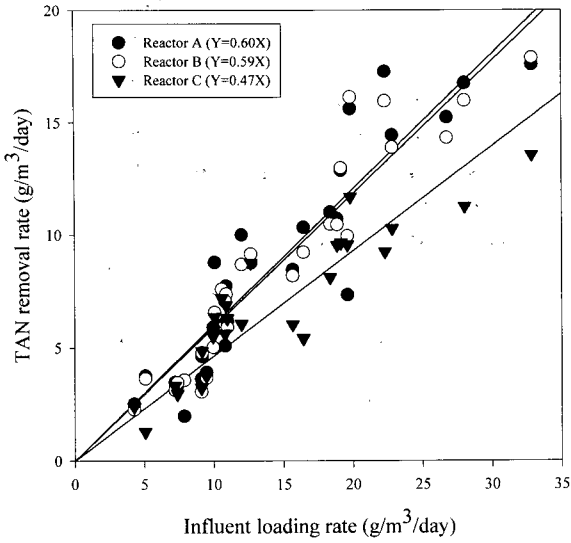


Fig. 7. Removal rate of TAN from fluidized bed reactor loaded at different rates.

다. 이러한 부하 범위에서 수행된 유동층 반응조의 제거율은 반응조 A, B는 제거효율이 60%로 나타났고, 반응조 C는 47%로 나타났다. 이런 차이는 반응조 C의 설치가 다른 반응조에 비해 약 20일 뒤에 이루어진 차이로 생각된다. 수리학적 체류시간(HRT) 10분의 조건에서 김(1990)은 선라이트(corrugated skylight roofing plate)를 사용한 인공양식수 처리결과 수리학적 부하가 $23.7\text{m}^2/\text{m}^3/\text{day}$ 일 경우 암모니아 제거효율이 저조하다고 보고하였다. Rogers and Klemetson (1985)은 회전원판법을 양어장 순환수 처리에 이용한 결과 수리학적 부하 $19.4\text{m}^2/\text{m}^3/\text{day}$ 에서 62%의 상당한 높은 제거효율을 보였다고 보고하였다. 유동층 반응조의 암모니아 제거특성을 고찰해 본 결과 해수에서도 효과적인 암모니아 처리가 가능한 것으로 나타났다.

유입수의 암모니아 부하량 변화에 따른 유출수의 비이온성 암모니아 농도변화를 Fig. 8에 나타내었다. 반응조에 가해진 TAN부하 범위에서 반응조 유출수의 비이온성 암모니아 농도는 USEPA (1976)에서 제안하는 0.02mg/L 이하로 유지되는 것으로 나타나 안정적인 암모니아 처리결과를 나타내었다. 암모니아의 산화로 인해 생성되는 질산성 질소와 아질산성 질소는 해수 순환여과 시설에서 어류생육에 큰 영향은 없으나, 유동층 반응조의 질산화 특성을 고찰하기 위해서 필요한 요소이다. 운전기간동안 사육조와 세 조의 유동층 반응조 유출수에서 측정된 질산성 질소와 아질산성 질소의 농도 변화를 Fig. 9에 나타내었다.

아질산성 질소는 질산화 단계의 중간생성물로 유동층

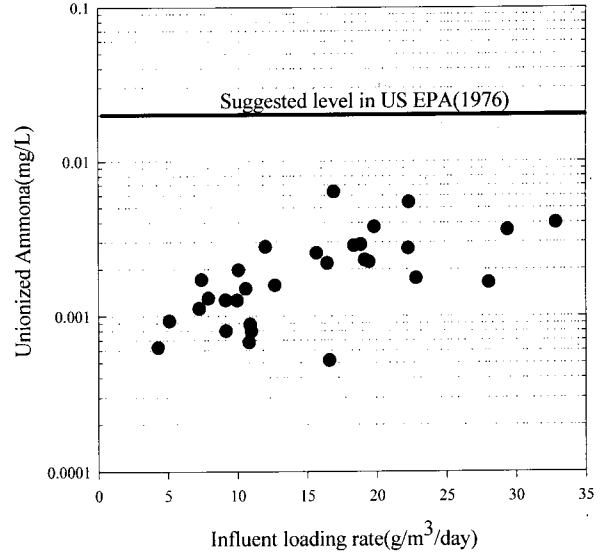


Fig. 8. Fluctuation of un-ionized ammonia concentration in the effluent of fluidized bed reactor with different TAN in influent water.

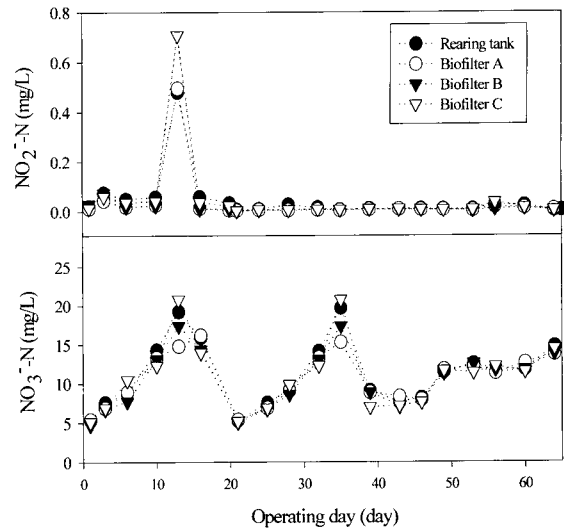


Fig. 9. Fluctuation in nitrate and nitrite nitrogen concentrations of the effluent water of three fluidized bed reactors and rearing tanks.

반응조의 효율에 따라 처리수 및 사육조내 농도가 다소 변화하는 것을 알 수 있다. 특히 유동층 반응조의 운전이 정지된 13일의 경우 유동층 반응조 C의 유출수중 아질산성 질소 농도는 약 0.7mg/L 까지 유지되었으나 유동층 반응조의 제거효율이 안정되면서, 처리수 및 사육조내 아질산성 질소농도가 0.1mg/L 이하로 안정하게 유지되는 것으로 나타났다. Nijhof and Bonverdeur(1990)에 의하면

해수에서 질산화는 담수에서 질산화보다 질산화 진행속도가 느리지만, 해수에서 질산화도 담수와 같이 완벽하게 일어난다고 보고하였다. 따라서 본 실험에서는 해수에서도 담수에서와 같이 전형적인 질산화 반응이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

요 약

삼상 유동층 반응조의 수처리 효율을 검토하기 위해 해수 순환여과 시설을 운전하였다.

수처리 시스템은 유동층 반응조, 카트리지 필터, 오존 접촉조로 구성되어 있고, 전체 운전기간동안 사육조내 수질인자별 평균농도는 각각 COD 9mg/L, 총암모니아(TAN) 0.22mg/L, 아질산성 질소 0.05mg/L, 질산성 질소 20mg/L, 탁도 3.64NTU, SS 9.5mg/L, pH 7.6, 알칼리도 70mg/L 등으로 나타나 양호한 수질조건을 유지할 수 있었다.

유동층 반응조의 TAN 부하량 범위는 4.3~32.9 g/m³/day였고, 평균 제거율은 20 g/m³/day으로 나타났다. 각 반응조의 TAN 제거율은 47~60%로 나타나 해수에서도 효과적인 암모니아 제거 특성을 나타내었다. 또한 유출수의 비이온성 암모니아 농도는 0.002 mg/L이하로 유지할 수 있었다.

사 사

본 연구는 한국 과학재단의 98년 산업화촉진사업의 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

APHA AWWA WEF, 1995. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 19th Edition, American Public Health Association, Washington, DC.

Bower, C.E. and J.P. Bidwell, 1978. Ionization of ammonia in seawater ; effects of temperature, pH and salinity. J. Fish Res. Bd. Can., 35 : 36-38.

Crawford, R.E. and G.H. Allen, 1977. Seawater inhibition of nitrite ion toxicity to chinook salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 103 : 105-109.

Environment Canada, 1979. Water quality sourcebook, A Guide to Water Quality Parameter, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa.

Epifaino, C.E. and R.F. Srna, 1975. Toxicity of ammonia, nitrite ion, nitrate ion, and orthophosphate to *Crassostrea virginica* and *Mercenaria mercenaria*. Mar. Biol., 33 : 241-246.

Herbert, D.W. and J. C. Merckens, 1961. The effects of suspended mineral solid on the survival of trout. Air Water Poll., 5 : 46-50.

Jewell, W.J. and R.J. Cummings, 1990. Expanded bed treatment of complete recycle aquaculture system. Wat. Sci. Tech. Vol. 22. No. 1/2 : 443-450.

Meade, J.W., 1989a. Importance of water quality for fish growth and health. Aquanor 1989 5th International Conference and Exhibition on Fish Farming Techniques and Equipment. Trodgerirh Norway.

Meade, J.W., 1989b. Aquaculture management. Van Nostrand Reinhold. New York.

Nightingale, J.W., 1976. Development of biological design criteria for intensive culture of warm and cool water species, Technical Report of Kramer, Chin and Mayo Inc., Settle, Washington.

Nijhof, M. and J. Bonverdeur, 1990. Fixed film nitrification characteristics in sea-water recirculating fish culture system. J. Aquacult., 87.

Perrone, S.J. and T.L. Meade, 1977. Protective effect of chloride on nitrite toxicity in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). J. Fish. Res. Bd. Can., 34 : 486-492.

Rogers, G.L. and S.L. Klemetson, 1985. Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters. Aquacult. Eng., 4 : 135-154.

Russo, R.C., Smith C.E. and R.V. Thurston, 1974. Acute toxicity of nitrite to rainbow trout (*salmo gairdneri*). J. Fish Res. Bd. Can., 31 : 1653-1655.

Sato, T. and K. Kikuchi, 1997. Meat meal as a protein source in the diet of juvenile Japanese flounder. Fish. Scie., 63 : 877-880.

Smith, C.E. and W.G. Williams, 1974. Experimental nitrite toxicity in rainbow trout and chinook salmon. Trans. Am. Fish Soc., 103 : 389-390

Summerfelt, S. T., 1993. Low-head, roughing filters for enhancing recycle water treatment for aquaculture. Ph. D. thesis. Iowa State University.

Trussell R.P., 1972. Process design manual for nitrogen control. Office of Technology Transfer. Washington, D.C.

USEPA(Enviromental Protection Agency), 1976. Quality criteria for water. Washington D. C.

김도희, 1990. 잠수여상을 이용한 순환수증의 암모니아 제거. 석사학위논문, 부산수산대학교.

김영섭 · 정현도, 1996. 수산과학의 하이테크. 부산수산대학교 해양과학공동연구소. pp.66-117

김인배, 1980. 순환여과식 사육수 정화 재사용 방법에 의한

- pilot 규모의 어류양식시험. 한수지. 13:4:187-194.
- 김정숙, 1995. 생물막 공법을 이용한 양어장 수처리에 관한 연구. 박사학위논문, 부산수산대학교.
- 김현철, 1998. 삼상유동층 공법을 이용한 양어장 순환수 처리. 석사학위논문, 부경대학교.
- 박선정, 1997. 생물막공법을 이용한 양어장 순환수 처리에 관한 연구. 석사학위논문, 부경대학교.
- 해양수산부, 1999. 해양수산통계 : 인터넷자료(<http://www.momaf.go.kr/doc/pds/statistics/susan-2.htm>)
- 오선경 · 김정숙 · 강입석 · 이병현, 1997. 상향류 생물막공법을 이용한 양어장 순환수의 질산화특성에 관한 연구. 한국수질보전학회, 13:1:35-42.
- 이병현 · 김현철 · 김정숙 · 최 혁, 1999. 삼상유동층 공법을 이용한 양어장 순환수 처리. 1999년도 춘계 수산관련학회 공동학술대회 발표요지집, pp.359-360.
- 조영개, 1994. 회전원판법에 의한 해수 중 암모니아 질산화. 석사학위논문, 부산수산대학교.
- 최광수, 1994. 호기성 3상 생물막 유동층 반응기를 이용한 폐수처리에 관한 연구. 석사학위논문, 부산수산대학교.
- 최 혁 · 이병현 · 강입석 · 박선정, 1997. 생물막공법을 이용한 양어장 순환수처리에 관한 연구. 1997년도 춘계 수산관련 공동학술대회 발표요지집, pp.319-321.