

Pilot-scale 순환여과식 양식장에서 회전원판 반응기의 순환수 처리 및 산소전달

서근학⁺ · 김병진* · 이정훈 · 김용하 · 이석희 · 김성구** · 조재윤***
부경대학교 화학공학과, **생물공학과, ***양식학과, *부산바이오기업지원센터

Water Treatment and Oxygen Transfer by Rotating Biological Contactor in Pilot-Scale Recirculating Aquaculture System

Kuen-Hack SUH⁺, Byong-Jin KIM*, Jung-Hoon LEE, Yong-Ha KIM, Seok-Hee LEE
Sung-Koo KIM** and Jea-Yoon JO***

Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

*Busan Bio-Industry Support Center, Busan Technopark, Busan 608-737, Korea

**Department of Biotechnology and Bioengineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

***Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The rotating biological contactor (RBC) was tested for treatment of aquacultural water in a pilot-scale recirculating aquaculture system. Performance of RBC on the treatment of nitrogen source such as total ammonia nitrogen (TAN), nitrite nitrogen and nitrate nitrogen and chemical oxygen demand (COD_{Cr}) was evaluated. A system was stocked with Nile tilapia at an initial rearing densities of 5% and 7% over 30 days. As increasing rearing density from 5% to 7%, the TAN removal rates was increased from 39.4 g/m³·day to 86.0 g/m³·day. But TAN removal efficiency was decreased from 24.5% to 16.0%. The removal rate of COD_{Cr} was higher than TAN. The RBC as an aerator was also evaluated for increasing dissolved oxygen concentration. For 5 and 7% of rearing density, the average aeration rate were 280 g/m³·day and 255 g/m³·day, respectively.

Key words: Rotating biological contactor, Recirculating aquaculture system, Nile tilapia, Total ammonia nitrogen, Chemical oxygen demand, Dissolved oxygen

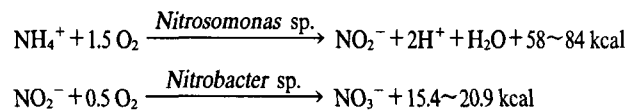
서 론

순환여과식 양식은 소량의 물로 많은 어류를 사육할 수 있는 장점이 있는 반면 좁은 면적에서 어류를 고밀도로 사육함에 따라 많은 양의 오염물이 축적되어 어류의 생장에 큰 피해를 미치는 단점이 있다. 순환여과식 양식장에서 발생하는 오염물은 미설취 사료와 어류의 배설물 등에 의하여 발생하는 고형물과 고형물의 분해와 어류의 대사 작용 등에 의해 발생하는 암모니아, 유기물과 같은 용존 물질이 있다 (김, 1997). 고형물의 경우 침강, 여과 등과 같은 물리적 처리에 의해 비교적 쉽게 제거가 가능하나 용존 물질의 경우 생물학적 처리장치에 의해서만 제거가 가능하다 (Speece, 1973).

암모니아는 양어장 순환수 처리에 있어 가장 문제가 되는 성분으로 어류의 대사작용에 있어 질소 성분의 최종 산물로서 (Jobling, 1994) 수중에서 이온성 암모니아 (NH₄⁺)와 비이온성 암모니아 (NH₃)의 두 가지 형태로 존재한다. NH₄⁺와 NH₃는 모두 어류에 독성을 미치며 특히 NH₃는 더 독성이 강하여 대부분의 어류에 대해 저 농도에서도 치명적이다 (Colt and Armstrong, 1981; Meade, 1985).

순환여과식 양식 시스템에서 발생하는 암모니아는 침지식 또는 살수식 여상반응기나 회전원판 반응기와 같은 생물학적 처리 장치에 의해 제거되며 이와 같은 생물학적 처리장치는 지지체에 질

산화 미생물을 부착시켜 이들에 의해 암모니아를 질산성 질소로 산화시키는 공정이다 (Sharma and Ahlert, 1977).



미설취 사료나 어류의 배설물 중 유기성분이 용출되어 발생하는 용존 유기물은 어류에 직접적인 영향을 미치지 않는으나 순환수 내에 타가 영양체 미생물을 증가시키는 요인이 된다. 타가 영양체 미생물의 일부는 병원성 미생물로서 어류에 유행병을 발생시키며 용존산소를 소모하여 폭기량을 증가시켜야 하는 원인이 된다. 또한 타가 영양체 미생물이 과도 번식할 경우 질산화를 위한 생물학적 처리장치의 우점종이 되어 질산화 효율을 감소시키는 원인이 되므로 용존 유기물을 저농도로 유지하는 것이 중요하다.

양어장 순환수 처리를 위한 생물학적 처리장치 중 가장 활발히 연구되고 현장에 많이 적용되는 것은 회전원판 반응기 (rotating biological contactor, RBC)로 단위 표면적당 여과 효율이 우수하고 원판이 회전하면서 대기 중의 공기와 접촉하면서 산소를 수중에 용해시킬 수 있으며 (Miller and Libey, 1984) 수두가 낮은 전 경비가 절감되고 원판의 회전에 의한 전단력으로 원판 표면에 느슨하게 부착된 생물막이 탈리되므로 활성 높은 생물막의 유지가 가능하며, 한 번 활성화되면 급작스런 충격에 대해서도 활성이 쉽게 떨어지지 않는 장점이 있다 (Libey, 1992).

현재까지 우리나라에서 진행되어 온 회전원판 반응기에 대한

⁺Corresponding author: khsuh@mail.pknu.ac.kr

연구는 합성 양어장수를 이용한 연구 (Kim et al., 1998; Suh et al., 1999; Oh, 2001)가 많았으며 실제 어류를 사육한 연구도 사육조 규모가 작아 (Lee, 1995) 실제 규모에서의 연구는 부족한 상황이다.

본 연구에서는 사육조 용적 2.5 m³인 pilot-scale 순환여과식 양어장에 나일 틸라피어를 초기 사육밀도를 5%와 7%로 하여 30일 이상 사육하면서 회전원판 반응기의 암모니아성 질소, 아질산성 질소 및 질산성 질소와 같은 무기질소와 유기물 등과 같은 오염물의 처리 능력을 점검하고자 하였으며 회전원판 반응기의 산소 전달 효율에 대해서도 고찰하였다.

재료 및 방법

순환 여과식 양식 시스템

본 연구에서 사용한 순환 여과식 양식 시스템은 Suh et al. (2001; 2002) 등이 개발한 것으로 장치와 순환수 흐름의 모식도는 Fig. 1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 순환 여과식 양식 시스템은 double drain 형태인 2.5 m³ 규모의 사육조, 0.25 m³ 규모의 저류조와 동일한 규모의 침강성 고형물을 제거하기 위한 침전조, 부유 고형물을 제거하기 위한 floating bead filter, 암모니아 산화를 위한 0.475 m³ 규모의 회전원판반응기, 용존 및 미세 고형물을 제거하기 위한 포말 분리기로 구성되어 있다. 순환수는 1대의 펌프를 이용하여 순환시켰다. 부족한 용존산소의 보충을 위해 순환 펌프에서 floating bead filter로 공급되는 순환수의 일부분을 사육조로 우회시켜 사육조 표면으로 떨어뜨려 폭기시켰다. 시스템의 상부에는 태양광에 의한 수온의 급격한 변화와 조류의 번식 등을 방지하기 위해 차양막을 설치하였다.

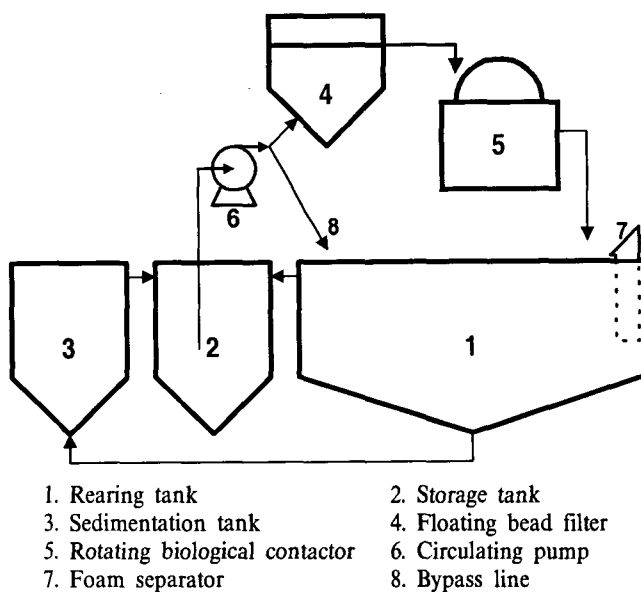


Fig. 1. The schematic diagram of recirculating aquaculture system.

실험어 수용

본 연구를 위해 수용한 실험어는 열대성 담수어종인 틸라피어 중 국내 내수면의 주요 양식 대상 종인 나일 틸라피어 (*Oreochromis niloticus*)로 부경대학교 양어장에서 사육중인 것을 사용하였다. 사육 밀도는 사육조를 기준으로 사육어를 5%와 7%로 수용하였는데 평균 어체중 471.6g의 어류를 219마리, 총 125.2kg과 평균 어체중 632.4g인 어류를 278마리 총 175.8kg을 각각 수용하였다.

회전원판 반응기

본 연구에서 사용한 회전원판 반응기는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 1,200 mm×900 mm×450 mm의 규모로 PVC plate를 이용하여 제작하였으며 액층의 부피는 0.475 m³였다. 원판은 직경 680 mm의 corrugated skylight plate 100장을 사용하였으며 원판의 총 표면적은 72.6 m²이었다. 원판의 회전은 유입수를 원판 상부에서 살수하여 순환수가 낙하하는 수력에 의해 회전하도록 하였다.

원판의 미생물 부착은 별도의 미생물을 식종하지 않고 어류를 사육하면서 자연적으로 부착 성장되도록 하였다. 이를 위해 순환 여과식 양식 시스템을 시공한 후 2%의 사육밀도로 나일 틸라피어를 13일간 사육하면서 미생물의 부착을 유도하였으며 (Suh et al., 2001), 원판의 완전한 숙성을 위해 5%의 사육밀도로 나일 틸라피어를 30일간 사육한 후 본 연구에 이용하였다.

어류 사육 및 시스템 관리

Pilot plant의 운전은 매일 오전 9시에 첫 사료를 공급하고 침전조 및 floating bead filter를 청소하여 1일간 발생한 고형물을

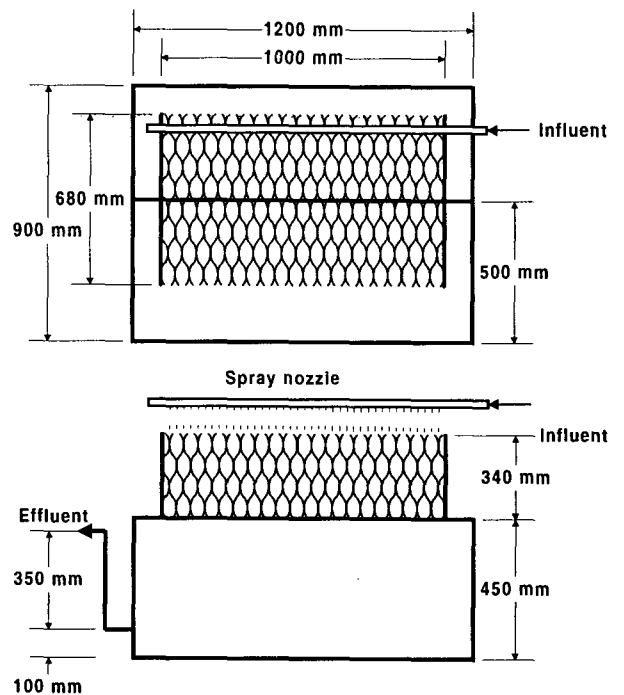


Fig. 2. Top view and front view of rotating biological contactor.

시스템 외부로 제거하고 보충수를 공급하여 사육조의 수위를 유지시켰다.

침전조 내부의 고형물은 하부의 drain valve를 열어 침전조 내부의 순환수를 모두 배출시켜 제거시켰다. Floating bead filter에서 걸러진 고형물은 순환수의 공급을 중단하고 2분간 공기를 불어 넣어 bead 층에 걸려져 있는 고형물을 분리한 후 3분간 침강시켜 하부로 제거하였다.

보충수는 부경대학교 부속 양어장의 순환수를 이용하였으며 일간 보충수의 양은 사육조의 약 10%에 해당하는 0.25 m³을 사용하였다. 실험 기간 중 보충수의 평균 수질은 Table 1과 같았다. 질산화시 소모되는 알칼리도의 보충은 공업용 중탄산나트륨을 이용하였으며 보충수를 공급할 때 저류조에 살포하여 완전히 용해되도록 하였다.

Table 1. Average water quality of make up water

Component	Concentration
Total ammonia Nitrogen	0.24 g/m ³
Nitrite Nitrogen	0.16 g/m ³
Nitrate Nitrogen	3.86 g/m ³
COD _{cr}	20.00 g/m ³
pH	7.79
Alkalinity	38.50 g/m ³ as CaCO ₃
Total Suspended Solid	7.00 g/m ³

실험에 급이한 사료는 부상 사료로서 그 성상은 Table 2와 같으며 사료공급은 초기 사육밀도를 기준하여 총 어체중의 1%에 해당하는 사료를 1일 3회에 나누어 손으로 던져 공급하였다. 어류가 사료를 섭취하지 않을 경우 사료 급이를 중지하였다. 사육조 내의 수온은 25°C로 설정하였으며 각 실험에 있어 순환수의 평균 유량은 사육밀도 5%에서는 3.87 m³/hr, 사육밀도 7%에서는 4.75 m³/hr으로 회전원판 반응기 기준의 수력학적 체류시간은 각각 0.12, 0.10 hr 이었으며 회전원판 반응기의 원판 회전속도는 1 rpm을 유지하도록 하였다.

Table 2. Composition of experimental diet

Component	Composition
Moisture	9.41%
Crude protein	37.00%
Crude lipid	3.96%
Crude ash	8.68%

수질 분석

시스템의 수질을 측정하기 위한 시료는 시스템 청소를 마치고 약 1시간이 경과된 후 회전원판 반응기의 유입수와 유출수를 채취하여 사용하였다. 각 수질항목은 standard method (APHA, 1989)에 따라 암모니아성 질소 (total ammonia nitrogen, TAN)는 선택성 이온 전극법 (9512-BN, Orion Co.), 아질산성 질소 (nitrite nitrogen, NO₂⁻-N)와 질산성 질소 (nitrate nitrogen, NO₃⁻-N)는 이온 크로마토그래피법 (DX-120, Dionex Co.)을 이용하였다.

화학적 산소요구량 (chemical oxygen demand, COD)은 개방 환류법 (open reflux method), 총부유물질 (total suspended solid, TSS)은 진공 여과법에 의해 분석하였으며 용존산소 (dissolved oxygen, DO)는 DO meter (YSI-55, Yellow Springs Instrument)를 이용하여 분석하였다.

Data 계산방법

각 질소성분 및 COD 제거속도는 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$-r_a = \frac{C_{i,a} - C_{o,a}}{V_{RBC}} \times Q = \frac{C_{i,a} - C_{o,a}}{\tau_{RBC}} \quad (1)$$

여기서, a는 TAN, 아질산성 질소, 질산성 질소 및 COD이다.

회전원판반응기의 폭기속도는 식 (2)와 같이 계산하였다.

$$\text{Aeration rate} = \frac{C_{o,O_2} - C_{i,O_2}}{V_{RBC}} \times Q = \frac{C_{o,O_2} - C_{i,O_2}}{\tau_{RBC}} \quad (2)$$

결과 및 고찰

총 암모니아성 질소 처리

각 실험의 사육기간에 나타난 회전원판 반응기의 유입수와 유출수 중의 총 암모니아성 질소 농도 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 사육밀도 5%의 실험에서 7일과 25일 경에 총 암모니아성 질소의 유입수 농도가 각각 3.4 g/m³, 2.6 g/m³ 까지 상승한 후 감소하였으며 사육밀도 7%의 경우 전반적으로 농도가 사육밀도 5%에 비해 높을 뿐만 아니라 농도가 크게 변화하는 현상이 더 자주 나타났다. 어류 사육 기간 중 암모니아의 농도는 항상 일정하게 유지되지 않고 순간적으로 크게 변화하는 현상은 원판에 부착된 미생물이 일시적으로 탈리되어 나타나는 현상으로 생각된다.

실험기간에 나타난 총 암모니아성 질소의 유입수와 유출수의 평균 농도는 사육밀도 5%의 경우 1.05 g/m³와 0.9 g/m³로 나타났

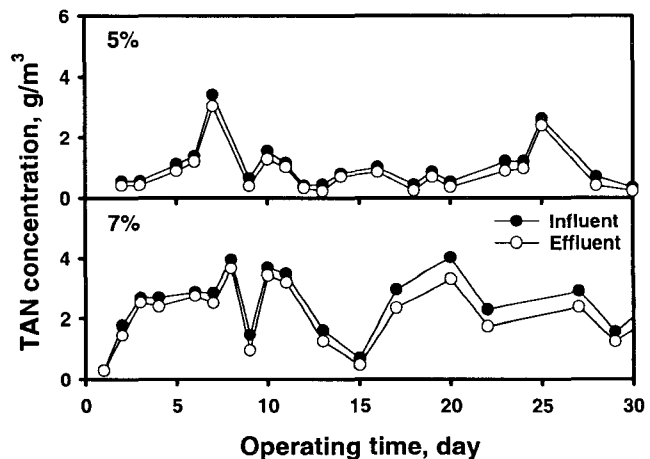


Fig. 3. The variation of total ammonia nitrogen concentration during the operating time.

으며 사육밀도 7%의 경우 총 암모니아성 질소의 농도가 증가하여 각각 2.5, 2.1 g/m³의 평균 농도를 나타내었다. 이들 농도는 어류의 사육을 저해하는 비이온성 암모니아 농도 0.02 g/m³ (EPA, 1976)에 대한 일반적 조건에 대한 총암모니아성 질소 농도인 2.5 g/m³보다 낮은 농도로서 본 연구에서 이용한 양식 시스템의 경우 기준 사육밀도는 5%이고 세이프티가 27%로 설계된 것을 (Suh et al., 2001) 고려하면 비교적 설계치와 잘 일치하는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 실험 기간에 나타난 총 암모니아성 질소의 제거속도와 제거율을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 사육밀도 5%의 경우 제거속도가 30~80 g/m³·day의 범위에서 변화하여 39.4 g/m³·day 정도의 평균 제거 속도를 나타내었다. 사육밀도 7%의 경우 평균 제거속도가 86.0 g/m³·day 정도로 상승하였으며 15일 이전에는 30~80 g/m³·day의 범위로 사육밀도 5%와 유사하였으나 그 이후에는 제거속도가 80~170 g/m³·day의 범위로 크게 상승하였다. 두 실험 모두 동일한 장치였음에도 불구하고 사육밀도 7%가 사육밀도 5%에 비해 더 높은 제거 속도를 나타내는 것은 어류의 사육 밀도가 증가함에 따라 오염물의 발생량이 증가하고 이에 따라 암모니아의 농도가 증가하여 농도의 증가에 따라 제거속도가 상승하는 현상 (Wheaton et al., 1994)에 의한 것이다. Wheaton et al. (1994)은 회전원판 반응기의 경우 유입수의 농도가 2.5 g/m³ 이하일 경우 암모니아 제거속도는 1차식에 비례하여 증가한다고 하였다.

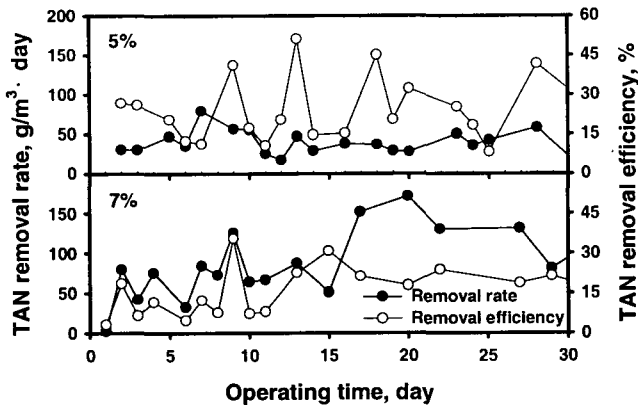


Fig. 4. The variation of total ammonia nitrogen removal rate and removal efficiency during the operating time.

총 암모니아성 질소의 제거율은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 사육기간에 따라 변화된 총 암모니아성 질소의 농도 및 제거속도의 변화에 따라 다양한 형태로 나타났다. 각 실험에서 회전원판 반응기의 평균 제거율은 사육밀도 5%의 경우 24.5%였으며 사육밀도 7%의 경우 16.0%로 나타나 5%의 사육밀도에서 더 높은 제거율을 나타내었다.

아질산성 질소 처리

Fig. 5는 실험 기간 중에 나타난 아질산성 질소의 회전원판 반응기로 유입되는 농도와 유출되는 농도를 나타낸 것이다. 아질산성 질소는 질산화 과정에 있어 암모니아가 질산성 질소로 전파되는 중

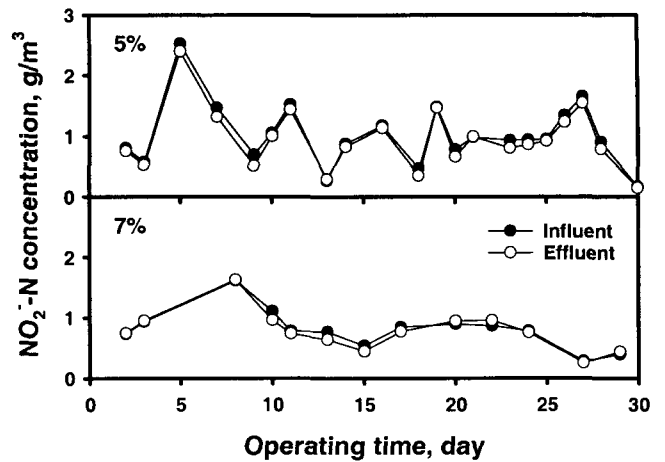


Fig. 5. The variation of nitrite nitrogen concentration during the operating time.

간체 산화물로서 일반적인 질산화 반응의 암모니아 제거기작은 먼저 암모니아성 질소가 *Nitrosomonas* sp.에 의해 아질산성 질소로 산화되고 다음 단계로 아질산성 질소가 *Nitrobacter* sp.에 의해 질산성 질소로 완전히 산화된다 (Sharma and Ahlert, 1977). 그러나 아질산성 질소는 저농도에서도 어류에 독성을 미치므로 어류사육에 있어서 중요한 수질 인자 중의 하나이다 (EPA, 1976).

Fig. 5에서 보는 바와 같이 아질산성 질소의 농도 변화 경향은 총 암모니아성 질소의 농도변화와 거의 동일하게 나타났으며 사육밀도 5%의 경우 전반적으로 유출수의 농도가 유입수 보다 낮게 나타났으나 사육밀도 7%에서는 유출수의 농도가 유입수보다 더 높게 나타나는 경우가 많았다.

유입수와 유출수의 아질산성 질소 평균농도는 사육밀도 5%에서는 각각 1.0, 0.95 g/m³로 나타났으나 7%의 사육 밀도에서는 0.77, 0.73 g/m³으로 더 낮은 값을 나타내었다. 이것은 사육밀도 7%의 실험이 진행된 기간 중에 회전원판 반응기의 생물막의 미생물 구성이 완전해져서 나타난 현상으로 사료되며 이 시기는 회전원판 반응기를 처음 운전하기 시작한 시기로부터 약 70일이 경과한 시점이었다.

Fig. 6은 각 실험 기간에 나타난 회전원판 반응기의 아질산성 질소의 제거속도와 제거율을 나타낸 것이다. 실험 5%의 경우 9일째까지는 제거속도가 상승하다가 이후에는 안정화되는 것으로 나타났다. 사육밀도 7%에서는 제거 속도가 20일째 이전까지는 제거속도가 0보다 크게 나타났으나, 그 이후는 0에 근접하거나 더 작은 제거속도를 나타내었다. 각 실험에서의 평균 제거속도와 평균 제거율은 사육밀도 5%는 14.6 g/m³·day와 8.1%, 사육밀도 7%는 8.1 g/m³·day와 10.1%로 나타났다.

질산성 질소 처리

Fig. 7은 질산성 질소의 유입수와 유출수의 농도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 질산성 질소의 농도는 두 가지 사육밀도 모두 실험 초기부터 시간이 경과함에 따라 선형적으로 증가하다가 10일이 경과하면서부터 거의 일정한 농도 범위를 나

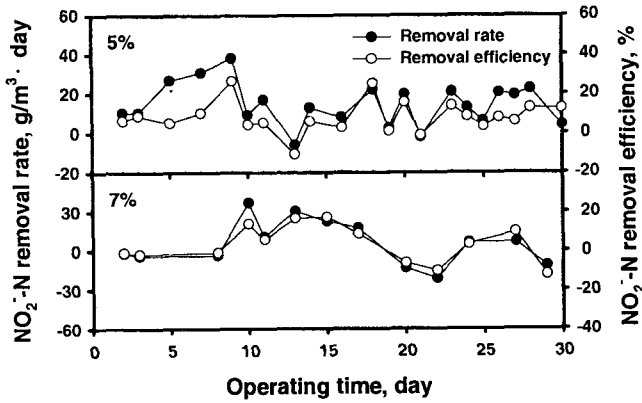


Fig. 6. The variation of nitrite nitrogen removal rate and removal efficiency during the operating time.

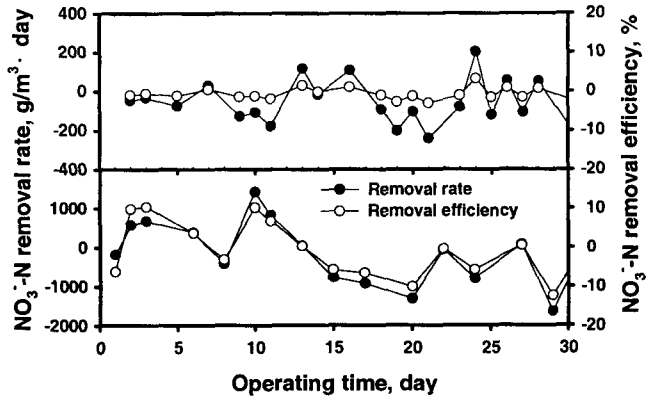


Fig. 8. The variation of nitrate nitrogen removal rate and removal efficiency during the operating time.

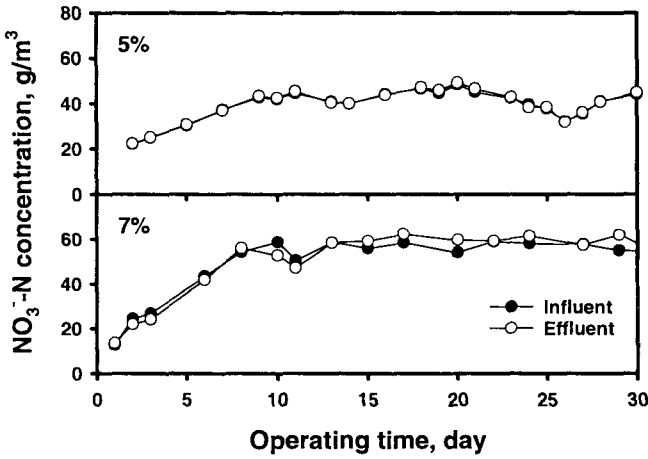


Fig. 7. The variation of nitrate nitrogen concentration during the operating time.

타내었다. 평형에 도달한 질산성 질소의 농도는 사육밀도 5%의 경우 45 g/m³ 정도였으며 사육밀도 7%의 경우 60 g/m³ 정도였다.

이러한 현상은 본 연구에서 사용한 사육 시스템의 경우 탈질화 반응기가 없어 암모니아로부터 질산염으로 산화되면 시스템 내에 누적되게 되며 이로 인해 사육초기에 질산성 질소의 농도가 직선적으로 증가하는 것이다. 질산염이 시스템으로부터 제거되는 것은 매일 침전조 세척과 floating bead filter의 역세척 시 배출되는 순환수에 의해 이루어지며 질산염의 농도가 순환수의 농도에 비해 매우 낮은 보충수에 의해 희석되게 된다. 10일 이후에 거의 일정한 농도로 유지되는 것은 질산염의 일간 발생속도가 시스템 외부로 유출되는 양과 거의 동일하여 나타나는 현상이다.

Fig. 8은 사육기간에 나타난 질산성 질소의 제거속도와 제거율의 변화를 도시한 것이다. 회전원판 반응기는 질산화 반응기로서 질산성 질소가 증가하며 감소하지는 않는다. 그러므로 질산성 질소의 제거속도는 0보다 작은 값을 나타내었으며 각 실험에서의 평균 제거속도와 평균 제거율은 사육밀도 5%는 -56.6 g/m³·day와 -0.74%, 사육밀도 7%는 -142.6 g/m³·day와 -0.63%로 나타났다.

유기물의 처리

순환여과식 양어장에서 용존 유기물은 미섭취 사료에서 용출되거나 어분 중 어체 내에서 완전히 분해되지 않은 성분이 물 속에 용해되어 발생한다 (Oh, 2001). 용존 유기물의 농도가 높을 경우 타가 영양체 미생물의 성장을 촉진시키게 되어 질산화 효율을 저하시키거나 산소요구량을 증가시키는 원인이 된다 (Sharma and Ahlert, 1977). 유기물 농도의 지표로서 COD_{Cr}를 측정하여 각 실험 기간 중에 나타난 유입수와 유출수의 COD_{Cr} 농도를 Fig. 9에 도시하였다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 실험 전반에 걸쳐 유입수의 농도에 비해 유출수의 농도가 더 낮게 나타나 회전원판 반응기에 의한 유기물의 제거가 수행되고 있음을 알 수 있었다. 회전원판 반응기에 의해 유기물이 제거되는 것은 회전원판 반응기의 경우 원판에 부착되는 미생물의 성상이 다양하므로 타가 영양체 미생물이 질산화 미생물과 공존하여 분포하게 됨으로써 용존 유기물을 분해하게 되는 것이다.

Fig. 10은 실험 기간에 나타난 COD_{Cr}의 제거속도와 제거율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 COD_{Cr}의 제거

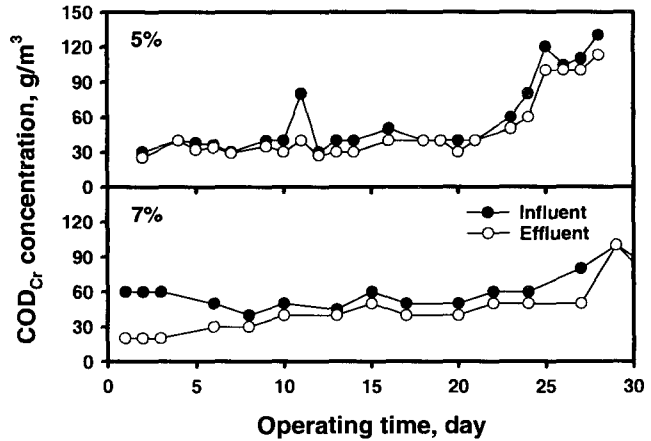


Fig. 9. The variation of chemical oxygen demand concentration during the operating time.

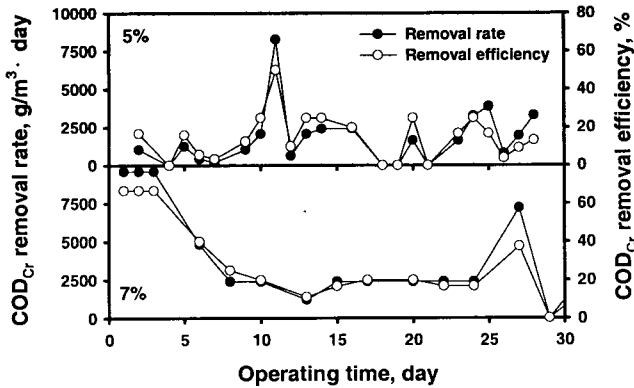


Fig. 10. The variation of chemical oxygen demand removal rate and removal efficiency during the operating time.

속도는 사육밀도 5%에서는 평균 1,700 g/m³·day, 사육밀도 7%에서는 평균 4,000 g/m³·day의 비교적 높은 값을 나타내었으며 평균 COD_{Cr} 제거율은 각각 14.5, 29.1%이었다. 이것으로 보아 회전원판 반응기의 원판에 유기물을 소모하는 타가 영양체 미생물이 많이 부착되어 있는 것으로 생각되며 질산화 미생물과 서로 공존하여 균형이 잘 이루어져 있는 것으로 생각된다.

용존산소 전달 효율

어류에 쾌적한 환경을 조성하기 위해서는 기본적으로 호흡에 필요한 충분한 용존산소가 수중에 녹아 있어야 한다. 또한 질산화 반응은 암모니아성 질소 1g당 4.18g의 용존산소가 필요하고 (Sharma and Ahlert, 1977) 유기물 제거 기작도 호기성 미생물에 의한 산화과정이므로 용존산소의 원활한 공급은 매우 중요하다.

활성 슬러지 공정과 같은 생물학적 수처리 장치의 경우 용존산소를 인위적으로 공급하여야 하나 회전원판 반응기는 미생물이 부착된 원판이 수중과 대기를 반복하여 회전하므로 대기 중에 노출된 상태에서 미생물의 생장에 필요한 산소를 흡수하게 되고 수면과 접촉하는 부분에서 폭기가 이루어진다 (Libey, 1992).

회전원판 반응기의 용존산소 전달 효율을 알아보기 위하여 유입수와 유출수의 용존산소 농도 변화를 측정하여 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 전반적으로 유입수의 용존산소 농도에 비해 유출수의 용존산소 농도가 더 높은 것으로 나타나 회전원판 반응기는 질산화와 유기물 제거에 소요되는 용존산소를 자체적으로 공급할 뿐 아니라 순환수에 용존산소를 더 공급하는 폭기시설의 역할을 동시에 수행함을 알 수 있었다. 회전원판 반응기를 통과하면서 변화된 유출수와 유입수의 용존산소 농도차는 사육밀도 5%의 경우 0.34~2.34 g/m³이었으며 사육밀도 7%에서는 0.26~2.1 g/m³으로 평균 농도차는 각각 1.43, 1.07 g/m³으로 5%에서 농도차가 더 큰 것으로 나타났다.

Fig. 12는 실험 기간 중에 나타난 회전원판 반응기에 의한 폭기 속도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 폭기속도는 실험 조건과는 큰 상관없이 200~600 g/m³·day 범위의 값을 나타내었으며 사육밀도 5%에서의 평균 폭기 속도는 280 g/m³·day, 사육밀도 7%에서는 255 g/m³·day로 거의 유사하게 나타났다.

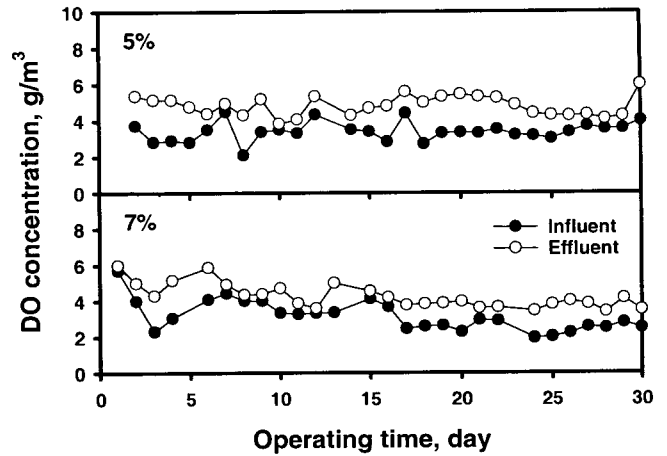


Fig. 11. The variation of dissolved oxygen concentration during the operating time.

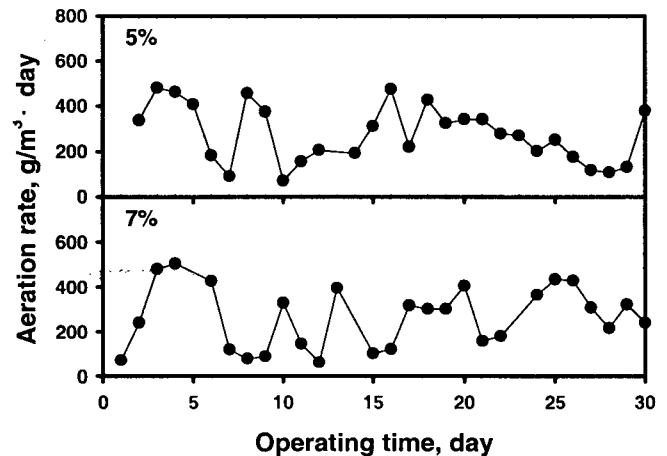


Fig. 12. The variation of aeration rate by rotating biological contactor during the operating time.

요 약

사육조 용적 2.5 m³인 pilot-scale 순환여과식 양어장에 나일 텔라피어를 5%와 7%의 사육밀도로 사육하면서 회전원판 반응기의 암모니아성 질소, 아질산성 질소 및 질산성 질소와 같은 무기질소와 유기물 등과 같은 오염물의 처리 능력을 점검하고자 하였으며 회전원판 반응기의 산소 전달 효율에 대해서도 고찰하였다.

총 암모니아성 질소의 제거속도는 사육밀도 5%의 경우 30~80 g/m³·day의 범위에서 변화하여 39.4 g/m³·day 정도의 평균 제거속도를 나타내었다. 사육밀도 7%에서는 15일 이전에는 30~80 g/m³·day의 범위로 사육밀도 5%와 유사하였으나 그 이후에는 제거속도가 80~170 g/m³·day의 범위로 크게 상승하여 평균 제거속도가 86.0 g/m³·day 정도로 나타났다.

회전원판 반응기의 평균 총 암모니아성 질소 제거율은 사육밀도 5%의 경우 24.5%였으며 사육밀도 7%의 경우 16.0%로 나타나

5%의 사육밀도에서 더 높은 제거율을 나타내었다.

아질산성 질소의 평균 제거속도와 평균 제거율은 사육밀도 5%는 $14.6 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 와 8.1%, 사육밀도 7%는 $8.1 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 와 10.1%로 나타났으며 질산성 질소의 평균 제거속도와 평균 제거율은 사육밀도 5%는 $-56.6 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 와 -0.74% , 사육밀도 7%는 $-142.6 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 와 -0.63% 로 나타났다.

COD_{Cr} 의 제거속도는 사육밀도 5%에서는 평균 $1,700 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$, 사육밀도 7%에서는 평균 $4,000 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 의 값을 나타내어 총 암모니아성 질소의 제거 속도에 비해 매우 높은 값을 나타내었으며 평균 COD_{Cr} 제거율은 각각 14.5, 29.1%이었다.

회전원판 반응기는 질산화와 유기물 제거에 소요되는 용존산소를 자체적으로 공급할 뿐 아니라 순환수에 용존산소를 더 공급하는 폭기시설의 역할을 동시에 수행할 수 있었으며 사육밀도 5%에서의 평균 폭기 속도는 $280 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$, 사육밀도 7%에서는 $255 \text{ g/m}^3 \cdot \text{day}$ 였다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부에서 시행한 첨단 기술 개발 사업 연구의 연구비 지원에 의해서 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- APHA. 1989. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th ed. American Public Health Association.
- Colt, J. and D.A. Armstrong. 1981. Nitrogen toxicity to crustaceans, fish and mollusks, Bio-Engineering Symposium for Fish Culture (FCS Publ. 1), pp. 34~47.
- Environmental Protection Agency. 1976. *Quality Criteria for Water*. Washington D.C.
- Jobling, H.H. 1994. *Fish Bioenergetics*. Chapman and Hall, London, 120pp.
- Kim, B.J., S.I. Lim and K.H. Suh. 1998. Ammonia removal by using RBC in recirculating aquaculture system. *J. Korean Fish Soc.*, 31, 622~630 (in Korean).
- Lee, H.J. 1995. Comparisons of rotating disc filter and submerged type filter system on the efficiency of nitrogen removal and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), M.S. thesis, National Fisheries University of Busan, Korea, pp. 12~14 (in Korean).
- Libey, G.S. 1992. Maximum nitrification with rotating biological contactors (RBCs). In *Proceeding of the workshop on design of high density recirculating aquaculture systems*, pp. 40~48. Louisiana State Univ. Baton Rouge, Louisiana. Sept., 25~27.
- Meade, J.W. 1985. Allowable ammonia for fish culture. *Progressive Fish-Culturist*, 47, 135~148.
- Miller, G.E. and G.S. Libey. 1984. Evaluation of a trickling biofilter in a recirculating aquaculture system containing channel catfish. *Aquacultural Engineering*, 3, 39~57.
- Oh, S.Y. 2001. Nitrogen loading rate of Nile tilapia and nitrification rate of rotating biological contactor. Ph. D. thesis, Pukyong National University, Korea (in Korean).
- Sharma, B. and R.C. Ahlert. 1977. Nitrification and nitrogen removal. *Water Research*, 11, 897~925.
- Speece, R.E. 1973. Trout metabolism characteristics and the rational design of nitrification facilities for water reuse in hatcheries, *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 102, 323~334.
- Suh, K.H., B.J. Kim and I.G. Jeon. 2001. Design and development of integrated recirculating aquaculture system. *J. Korean Fish. Soc.*, 34, 70~76 (in Korean).
- Suh, K.H., B.J. Kim and J.Y. Jo. 2002. Start-up operation of recirculating aquaculture system. *J. Korean Fish. Soc.*, 35, 21~26 (in Korean).
- Suh, K.H., B.J. Kim, S.I. Lim, J.K. Cho, Y.H. Kim and C.S. Oh. 1999. Performance of rotating biological contactor under various hydraulic residence time on the removal of total ammonia nitrogen and COD in a simulated water recirculating system. *J. Korean Fish Soc.*, 32, 180~185 (in Korean).
- Wheaton, F.W., J.N. Hochheimer, G.E. Kaiser, M.J. Kronos, G.S. Lievey and C.C. Easter. 1994. *Nitrification Filter Principle*. In *Aquaculture Water Reuse System: Engineering Design and Management*, Timmons, M.B. and T.M. Losordo, ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 155.
- 김인배. 1997. 순환 여과식 양식 산업 개발, 수산과학의 하이테크 (김영섭, 정현도 편저), 부산수산대학교 해양과학공동연구소, 113pp.

2002년 3월 11일 접수

2002년 8월 30일 수리