

순환여과식 양식 시스템의 개시 운전

서근학⁺ · 김병진 · 조재윤*
 부경대학교 화학공학과, *부경대학교 양식학과

Start-up Operation of Recirculating Aquaculture System

Kuen-Hack SUH⁺, Byong-Jin KIM and Jae Yoon JO*

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

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

The behavior of the biological water treatment process on start-up operation was evaluated in the integrated recirculating aquaculture system consisting of a double drain type rearing tank (2.5 m³), a sedimentation tank, a floating bead filter, a foam separator and a rotating biological contactor. A system was stocked with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at an initial rearing density of 2% for 2 weeks for acclimated rotating biological contactor. The total ammonia nitrogen (TAN) level increased to 13.6 g/m³ on day 4 after adding feed and was decreased to 0.3 g/m³ on day 7. The total suspended solid was completely removed during overall experimental period.

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

서 론

인구의 증가와 생활수준의 향상 등으로 신선하고 건강에 보다 유익한 고급단백질 식품의 생산과 소비량이 크게 증가하고 있다. 자연자원의 어획에 의한 공급만으로는 그 수요량을 도저히 충족시킬 수 없으므로, 양식업의 발전이 필연적으로 요구되어 양식에 의한 식량증산의 중요성이 점차 증가하고 있다.

순환여과식 양식은 최소의 용수를 이용하여 어류를 고밀도로 사육할 수 있어 생산력을 증대시킬 수 있고 배출수에 의한 수질 오염 문제로 인하여 야기되는 각종 환경적 규제를 해결할 수 있을 뿐 아니라 소비자에 인접해 입지할 수 있으므로 부가가치를 높일 수 있는 장점을 지니고 있는 양식 시스템이다 (Rijn, 1996; Chin et al., 1993).

순환여과식 양식 시스템은 앞에서 언급된 장점에 반하여 미섭취 사료와 어류의 배설물 등에 의하여 발생하는 고형물, 고형물의 분해와 어류의 대사 작용에 의해 발생하는 암모니아성 질소, 암모니아성 질소의 생물학적 분해과정에서 발생하는 아질산성 질소와 같은 물질을 일정 수준 이하로 제거하지 못할 경우 수질이 악화되어 어류에 각종 질병을 유발하며, 정도가 심할 경우 어류의 대량 폐사가 발생하여 막대한 경제적 손실을 초래한다. 따라서 순환수 처리장치의 효율적인 설계와 운전이 양식 시스템의 성패와 직결된다고 할 수 있다.

순환여과식 양식 시스템은 초기에는 경험에 의해 설치 운영되었으나 어류를 고밀도로 사육하여 경제적 이익을 추구하고자 하여 시스템이 대형화됨에 따라 점차 화학공학, 토목공학 등을 연구하던 공학자들의 참여가 증가하고 있으며 현재 미국 및 유럽을 중심으로 여러 나라에서 연구·개발되고 있다 (Losordo et al., 1993;

Losordo, 1995; delos Reyes and Lawson, 1995).

양식시스템을 처음 시공할 경우 순환수의 흐름과 어류 생장에 대한 안정성에 대한 시운전을 행해야 하고 순환수 처리장치의 처리효율이 정상상태에 도달해야 본격적인 어류 사육을 할 수 있다. 침전조, 포말분리장치와 같은 물리적 처리장치의 경우 정상상태에 도달하는 시간이 짧은 반면, 회전원판 반응기와 같은 생물학적 처리장치의 경우 시공 후 상당기간의 안정화 기간이 필요하다. 시공 초기의 시스템 안정화에 소요되는 기간이 장기화되면 사업자에게 큰 경제적 손실을 유발하게 되므로 이를 최소화 해야 한다.

순환여과식 양식 시스템을 하나의 package 형태로 개발할 경우 기존의 양식 시스템을 신축 또는 증축할 때마다 새로이 설계하고 시운전을 행하는 것과 달리 동일한 시스템을 규격화하여 공급함으로써 새로 설계하는 절차가 필요 없어지고 시운전 절차가 간단해져 초기 비용이 절감된다. 또한 수요가 증가할수록 생산단가가 낮아져서 매우 경제적으로 발전할 수 있다. 이에 본 연구자는 우리나라의 실정에 적합하고 실용적인 순환여과식 양식 시스템을 package 형태로 개발하기 위하여 2.5 m³ 규모의 double drain 형태의 사육조와 침강성 고형물질을 제거하기 위한 침전조, 부유성 고형물의 제거를 위한 floating bead filter, 용존고형물을 제거하기 위한 포말 분리기와 암모니아성 질소를 제거하기 위한 회전 원판 반응기를 조합한 순환여과식 양식 시스템을 설계하고 제작하였다 (Suh et al., 2001).

본 연구에서는 package 형태로 설계하고 제작된 pilot scale 순환여과식 양식 시스템의 개시운전시 발생하는 현상을 고찰하고 순환수 처리장치의 안정화에 소요되는 시간을 측정하고자 하였다. 이를 위해 시스템에 틸라피아를 2%의 사육밀도로 수용하여 사육조의 각종 수질인자의 변화를 측정하고 회전원판 반응기, floating bead filter, 포말분리기 등의 순환수 처리효율을 점검하고자 하였다.

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

재료 및 방법

순환여과식 양식 시스템

본 연구에서 사용한 순환여과식 양식 시스템은 전보 (Suh et al., 2001)에서 개발한 것으로 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 0.45 m³ 규모의 회전원판반응기, 용존 및 미세 고형물을 제거하기 위한 포말 분리기로 구성되었다. 시스템의 상부에는 태양광에 의한 수온의 급격한 변화와 조류의 번식 등을 방지하기 위해 차양막을 설치하였다.

실험어 수용

본 연구를 위해 수용한 실험어는 수질에 대한 내성이 뛰어난 열대성 담수어종인 틸라피아 중 국내 내수면의 주요 양식 대상종인 나일 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)로 부경대학교 양어장에서 사육중인 것을 사용하였다. 사육 밀도는 사육조 기준 2%로서 평균 어체중 393 g의 어류를 127마리, 총 49,890 g 수용하였다. 어류 수용후 2일간은 어류의 사육시설 내 적응을 위하여 사료를 공급하지 않았으며 3일째부터 사료를 공급하였다.

어류 사육 및 시스템 관리

Pilot plant의 운전은 매일 오전 9:00시에 첫 사료를 공급하고 침전조 및 플라스틱 bead filter를 청소하여 어류사육을 통하여 발생한 고형물질을 시스템 외부로 제거하고 보충수를 공급하여 시스템의 수위를 유지시켰다. 시스템 점검을 마친 후 약 1시간 경과 후 수질 분석에 필요한 시료를 채취하였다. 보충수의 양은 사육조의 약 10%에 해당하는 0.25 m³을 사용하였다. 보충수는 부경대학교 부속 양어장의 순환수를 이용하였으며 실험 기간 중 보충수의 평균 수질은 Table 1과 같았다.

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

순환수의 유량은 3.75 m³/hr로 일간 36회전하도록 하였으며 사육조 내의 온도는 25°C로 설정하였다. 회전 원판 반응기의 원판 회전속도는 1 rpm으로 유지하였고 포말분리기에 공급한 공기의 유량은 3.0 L/min로 0.28 cm/sec의 공압공기 속도를 유지하였다.

실험어에 공급한 사료는 침강성 사료로 성상은 Table 2와 같으며 사료공급은 초기 사육밀도를 기준으로 총 어체중의 1%에 해당하는 500 g의 사료를 1일 3회에 나누어 손으로 던져 공급하였다. 어류가 사료를 섭취하지 않을 경우 사료 공급을 중지하였다.

Table 2. Composition of experimental diet

Component	Composition (%)
Moisture	13.81
Crude protein	38.36
Crude lipid	4.22
Crude ash	8.42

수질 분석

시스템의 수질을 측정하기 위한 시료채취는 시스템 점검을 마친 후 약 1시간이 경과한 뒤 수행하였다. 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.), 화학적 산소요구량 (chemical oxygen demand, COD)은 개방 환류법 (open reflux method), 총부유물질 (total suspended solid, TSS)은 진공 여과법, 총 알칼리도 (total alkalinity, TA)는 적정법에 의해 수행하였다. 수소이온농도 (pH)와 용존산소 (dissolved oxygen, DO)는 pH meter (720A, Orion Research Co.)와 DO meter (YSI-55, Yellow Springs Instrument)를 이용하여 분석하였다. 총 무기 질소 (total inorganic nitrogen)의 농도는 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소의 합으로 구하였다.

결과 및 고찰

사육조 내 질소 성분의 변화

본 연구에서 개발된 순환여과식 양식 시스템의 점검과 질산화 반응기인 회전 원판 반응기 (rotating biological selector)의 원판에 질산화 미생물의 부착을 위하여 사육밀도를 설계 조건인 50 kg fish/m³ rearing water의 40%인 20 kg/m³의 밀도로 어류를 입식하여 2일간의 어류 안정화 후 총 14일간 사료를 공급하면서 시스템 내의 질소성분의 농도 변화와 질산화 반응기의 성능 변화를 고찰하였다.

실험기간 중 총 암모니아성 질소, 아질산성 질소 및 질산성 질소의 사육조 내부의 농도 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 총 암모니아성 질소의 농도는 사료 공급이 시작됨과 동시에 증가하기 시작하여 3일이 경과한 후에는 13.6 g/m³까지 증가하였으며 4일이 경과하면서부터 감소하여 7일 부터는 0.3 g/m³의 안정된 농도를 유지하였다. 아질산성 질소는 사료 공급 후 3일까지는 서서히 증가하였으나 3일 이후 7일까지는 급격히 증가하여 최고 23 g/m³의 농도를 나타내었다. 질산성 질소의 농도는 사료 투입 후 7일까지는 5 g/cm³ 정도의 농도를 유지하다가 7일이 경과한 후부터 조금씩 증가하는 경향을 나타내었다. 7일까지의 질산성 질소 농도는 보충수로 사용한 부경대학교 부속 양어장의 순환수에 함유되어 있던 질산성 질소의 농도와 같은 농도를 보이는 것으로 시스템 내의 질산성 질소의 발생은 없었던 것으로 사료된다. 7일이 경과한 후 질산성 질소의 농도가 증가하였으며 아질산성 질소의 농도가 감소하는 경향을 나타내어 시스템이 정상상태로 작동되었다.

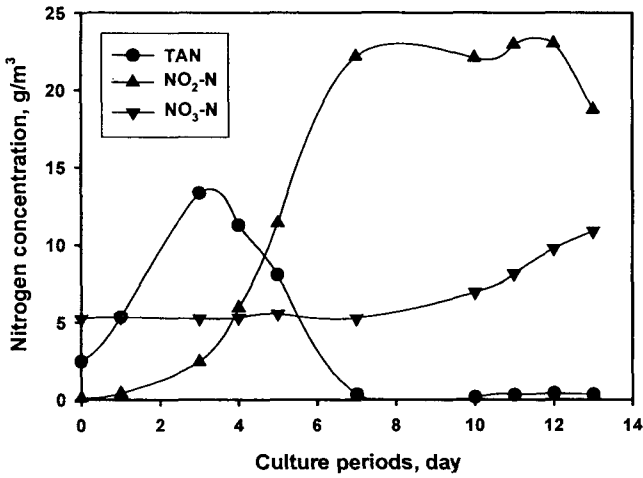


Fig. 1. Changes of total ammonia, nitrite and nitrate nitrogen concentration of recirculating water in rearing tank during culture periods.

본 실험에서 나타난 각 질소성분의 농도 변화는 본 시스템의 질산화 반응기인 회전 원판 반응기의 원판에 미생물을 부착시키지 않고 어류 사육을 시작한 결과로서 Lee (1995)의 결과와 유사하다. 사료 투입 초기에 암모니아성 질소의 농도가 계속 상승하는 것은 어류의 대사작용에 의해 암모니아의 발생이 진행되는 반면 회전 원판 반응기의 원판에는 질산화 미생물이 부착 증식하지 못하여 사육조의 암모니아 농도는 계속 증가하며 원판에 미생물이 부착 성장하면서부터 암모니아성 질소의 농도가 감소하는 것이다.

사료 투입 후 3일이 경과하면서부터 암모니아성 질소의 감소와 더불어 아질산성 질소의 농도가 증가하는 것은 암모니아를 아질산염으로 산화시키는 *Nitrosomonas* sp. (Sharma and Ahlert, 1977)가 회전원판 반응기에 부착되어 증식되는 현상이며, 7일 이후부터 질산성 질소가 증가하는 것은 아질산염을 질산염으로 산화시키는 *Nitrobacter* sp.의 부착·증식이 시작되어 질산성 질소의 증가가 시작된 것으로 사료된다.

Fig. 2는 실험기간 중 어류에 공급한 사료의 누적량과 총 무기질소의 농도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 공급된 사료량이 계속하여 증가함과 달리 총 무기질소의 농도는 사료 투입 후 10일이 경과하면서부터 30 g/m³ 정도의 일정한 농도를 유지하는 경향을 나타내었다.

본 시스템에 질산성 질소를 질소가스로 환원시키는 탈질 반응기가 없음에도 불구하고 무기질소가 일정한 농도로 유지되는 것은 질소 성분의 농도가 낮은 보충수의 공급에 의해 발생하는 희석 효과로 생각된다. 시스템 내의 무기 질소의 농도가 낮을 경우 희석 효과에 의해 배출되는 무기질소의 양이 적어 시스템에 무기질소가 축적되거나 축적된 양이 증가할수록 희석시 배출되는 무기질소의 양이 증가하여 축적량이 감소하게 된다. 시간이 경과하여 무기질소의 생성량이 희석에 의해 배출되는 양과 동일해 질 경우 시스템 내의 무기 질소의 총량은 일정해 진다.

무기질소는 암모니아성 질소의 생성과 산화에 의해 생성되므로 무기질소의 생성량은 암모니아성 질소의 생성량과 동일하므로 무

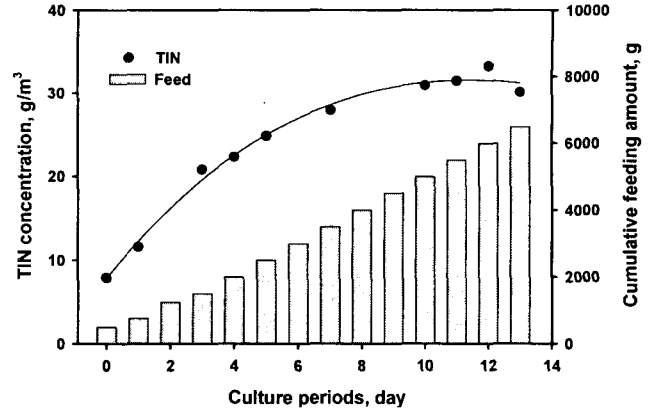


Fig. 2. Changes of total inorganic nitrogen concentration of recirculating water in rearing tank and cumulative feeding amount during culture periods.

기질소의 농도가 평형을 유지할 때 희석에 의해 배출되는 무기질소의 양은 암모니아성 질소의 일간 생성량과 동일하므로 이를 이용하여 암모니아의 발생속도를 예측할 수 있다.

시스템의 질산화 반응기가 완전히 숙성되어 있을 경우 총 무기질소의 대부분은 질산염으로 본 실험 조건에서는 질산성 질소의 농도가 30 g/m³ 정도로 유지할 것으로 예측되며 이에 따라 탈질 반응기는 필요하지 않을 것으로 사료된다.

사육조 내 용존산소, pH 및 알칼리도의 변화

어류 사육기간 중의 사육조 내 용존산소 농도는 어류 사육기간 전체에 걸쳐 4~5 g/cm³의 비교적 안정적인 농도를 유지하였다. 본 시스템에는 포말분리기 외의 별도의 폭기 시설은 없으며 포말분리기로 공급한 공기량도 3 L/min의 극히 적은 양이었으나 별도의 폭기시설 없이 어류 사육에 적합한 용존 산소 농도를 유지할 수 있었던 것은 시스템 중 회전 원판 반응기가 폭기 작용을 하고 회전원판 반응기의 유출수가 사육조로 유입될 때 사육조 수면에서 충분한 폭기를 행한 반면 어류의 사육밀도가 2%로 비교적 낮아 산소 소모량이 작았기 때문으로 사료된다.

사육조 내의 pH 및 총 알칼리도의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. pH는 어류 사육 초기에는 8 정도를 유지하였으나 사육이 진행되어 감에 조금씩 감소하였으며 8일 이후에는 7~7.5 정도의 pH를 나타내었다. 총 알칼리도 역시 전반적으로 pH와 유사한 경향으로 사육 초기에는 38~40 g/m³ 정도의 총 알칼리도를 유지하였으나 4일 이후부터 감소하여 8일 이후부터는 12~20 g/cm³ 정도의 농도를 나타내었다. 이와 같은 현상은 RBC에 질산화 미생물이 번식하여 질산화가 진행됨에 따른 현상으로 암모니아성 질소 농도의 감소가 발생한 4일 이후부터 알칼리도가 소비되어 수소이온의 증가에 따라 pH가 저하된 것으로 사료된다.

실험 기간 중에 나타난 pH의 변화는 어류 사육에 큰 영향을 나타내지 않은 것으로 판단되었으나 회전 원판 반응기의 질산화가 정상화 될 때의 총 알칼리도는 20 g/m³ 이하로 보다 높은 밀도로 어류를 사육할 경우 별도의 알칼리도 주입이 필요할 것으로 사료된다.

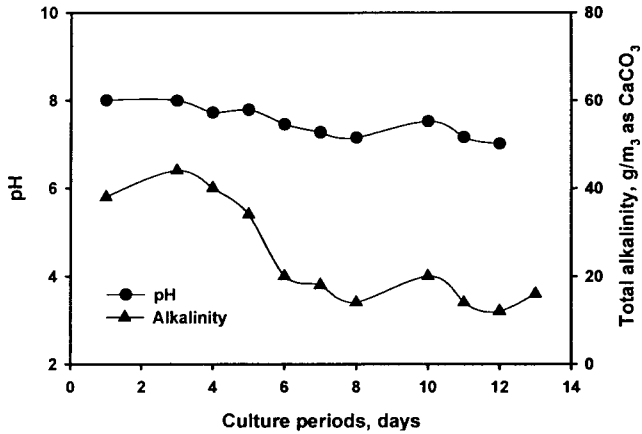


Fig. 3. Changes of pH and total alkalinity concentration of recirculating water in rearing tank during culture periods.

고형물 및 유기물 농도의 변화

사육기간 중의 총 부유 고형물의 농도와 COD_{Cr}의 농도 변화는 Fig. 4와 같다. 부유 고형물은 미섭취 사료와 어분에 의해 발생하여 어류의 아가미에 끼여 어류의 호흡 장애를 유발하거나 어병을 발생시키며 순환수의 유기물 농도를 높여 산소요구량을 증가시키고 미생물을 번식시키는 원인이 된다 (Albaster and Lloyd, 1982).

본 시스템에서 총 부유 고형물은 침전조와 floating bead filter에 의해 제거되는데 어류 사육 초기부터 정상적인 고형물 제거가 수행되어 어류 사육 기간 전반에 걸쳐 4~12 g/m³의 총 부유 고형물 농도 범위를 나타내었다. 이는 보충수의 총 부유 고형물 농도가 7 g/m³임을 감안하면 시스템에서 발생하는 고형물은 거의 모두 다 제거되는 것으로 본 시스템에서 채택한 침전조 및 floating bead filter의 고형물 여과 능력이 본 시스템에 적절한 것으로 사료된다.

유기물의 농도를 예측할 수 있는 COD_{Cr}의 농도는 사료가 공급 되면서부터 급격히 증가하여 3일째의 경우 65 g/m³의 최고 농도를 나타내었으나 이후 점차 감소하여 20 g/m³ 이하의 농도를 나타내

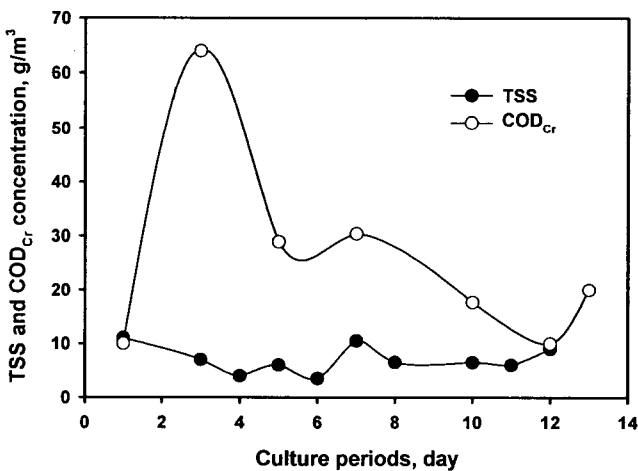


Fig. 4. Changes of total suspended solids and chemical oxygen demand concentration of recirculating water in rearing tank during culture periods.

었다. 본 시스템에서 유기물의 제거는 회전 원판 반응기에 질산화 미생물 뿐 아니라 타가 영양체 미생물이 일부 부착성장되어 이들 미생물에 의해 이루어지는 것으로 사료되며 고형물의 제거가 신속하게 이루어져 고형물로부터 용출되는 유기물의 양이 극히 적어 순환수 내의 유기물 제어는 용이할 것으로 사료된다.

질산화 장치의 효율변화

본 시스템에서 어류에 의해 발생하는 암모니아의 처리는 회전 원판 반응기와 floating bead filter에 의해 수행된다. 회전원판 반응기는 암모니아 처리를 주목적으로 하는 질산화장치이며 floating bead filter는 부유 고형물을 제거하는 것이 주목적으로 설치하였으나 부가적으로 질산화 반응도 할 수 있다 (Hargrove et al., 1996).

Fig. 5는 암모니아성 질소를 제거하기 위한 회전 원판 반응기와 floating bead filter의 사육기간 중의 총 암모니아성 질소의 제거율을 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 회전 원판 반응기는 사료 투입 후 2일, floating bead filter는 4일째부터 암모니아 제거율이 나타나기 시작하여 사육기간이 길어짐에 따라 제거율이 증가하였으며 전체적으로 회전 원판 반응기의 암모니아 제거율이 더 높았다. 암모니아성 질소의 제거율이 회전 원판 반응기에서 먼저 나타나는 것은 회전 원판 반응기의 원판 회전에 의해 발생하는 전단응력이 floating bead filter 내부의 bead 표면에 미치는 전단응력에 비해 더 작아 질산화 미생물의 부착이 더 빨리 이루어졌기 때문으로 생각된다.

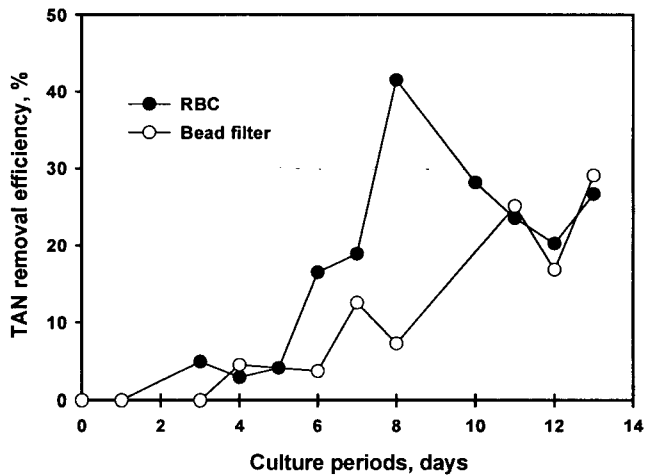


Fig. 5. Changes of TAN removal efficiency of rotating biological contactor and floating bead filter during culture periods.

Floating bead filter의 암모니아 제거율은 회전 원판반응기에 비해 작은 것으로 나타났으나 고형물을 효율적으로 수행함과 동시에 얻어지는 효율이며 또한 floating bead filter의 용적이 50 L 정도로 매우 작은 것을 감안하면 양어장 순환수 처리 장치로 매우 효율적이라고 사료된다.

Fig. 6은 어류 사육기간 중의 회전 원판 반응기의 암모니아성 질소의 제거 속도와 산소 폭기 속도를 도시한 그림이다. 그림에서

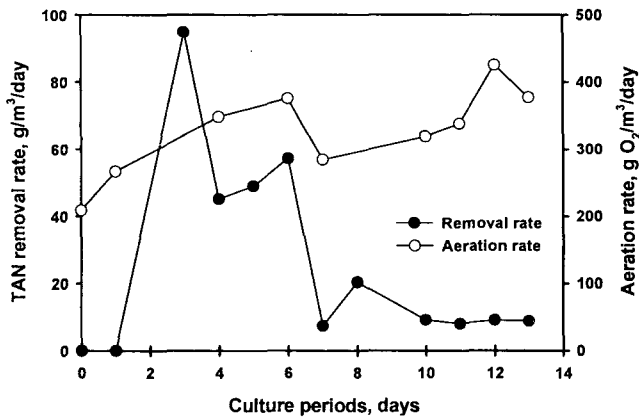


Fig. 6. Changes of TAN removal rate and aeration rate of rotating biological contactor during culture periods.

보는 바와 같이 회전 원판 반응기의 암모니아 제거속도는 사료 투입 2일째를 경과하면서부터 질산화 미생물의 부착 성장함에 따라 증가하였으며 4일 이후부터는 천천히 감소하여 8일 이후부터는 거의 동일한 값을 유지하였다. 초기에 제거속도가 증가하다가 감소하는 현상은 회전 원판 반응기의 암모니아 제거속도가 낮은 때 시스템에 누적된 암모니아를 제거하기 위해 암모니아 제거 속도가 증가하여 높은 값을 나타내다가 시스템에 누적된 암모니아를 거의 다 제거하여 발생하는 암모니아와 평형을 유지하게 되는 현상이다 (Suh et al., 1999).

회전 원판 반응기는 질산화에 소모되는 용존산소를 순환수에서 흡수하는 것이 아니라 원판 회전시 대기로부터 산소를 흡수하여 별도의 산소 공급이 필요없는 장점을 가지는 질산화 반응기이다 (Libey, 1992). Fig. 6에서 보는 바와 같이 본 시스템의 회전 원판 반응기는 순환수 중의 용존산소를 소비하지 않고 용존산소를 더 증가시키는 것으로 나타났다. 회전 원판 반응기의 폭기속도는 사육기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 사육기간이 길어짐에 따라 원판 표면에 부착되는 미생물의 양이 증가하게 되고 원판 표면이 더 거칠어짐에 따라 산소의 용해율이 증가되는 현상으로 사료된다. 또한 암모니아성 질소의 제거속도의 증감과 순환수의 폭기율이 무관하게 행해지는 것으로 보아 질산화에 소모되는 용존산소는 대기중에서 완전히 흡수하는 것으로 사료된다.

포말분리기의 효율변화

포말분리기는 침전조와 입상 여과 여과기에서 제거되지 않는 30 μm 이하인 미세 입자와 용존 고형물의 제거를 위해 설치되었다. Fig. 7은 실험기간 중 포말 분리기에서 배출되는 포말 농축액의 일간 배출량과 포말 분리기에서 주로 제거되는 부유 고형물과 COD_{Cr}의 포말 농축액의 농도와 사육조 내 농도의 비인 농축비의 변화를 도식한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 어류 사육기간에는 일간 배출되는 포말의 양이 6.5L 이하로 매우 작았으며 전혀 배출되지 않기도 하였다.

부유 고형물과 COD_{Cr}의 농축비는 대부분 5~15 정도의 값을

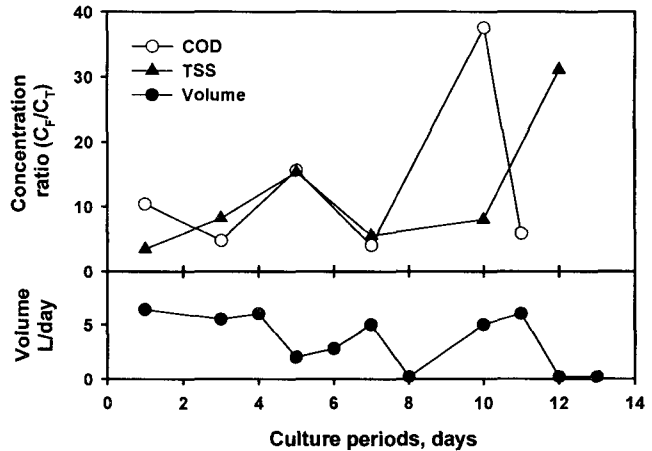


Fig. 7. Changes of effluent volume of foam condensate and concentration ratio of TSS and COD_{Cr} of recirculating water in rearing tank during culture periods.

나타내었으며 30 정도의 매우 높은 농축비를 보이기도 하였다. 이것으로 보아 포말 분리기의 포말 유출액은 사육조 내의 부유 고형물과 용존 유기물의 농축, 제거에 뛰어난 효과를 보이는 것으로 생각되었다.

본 실험 기간 중 포말 유출액의 양이 작았던 것은 순환수 내에 계면 활성을 유도하는 물질인 단백질 성분 (Suh and Lee, 1995)의 농도가 낮기 때문으로 본 연구의 경우 사육밀도가 낮아 공급 사료량이 작아 순환수 중에 용존되어 있는 단백질의 농도가 낮아 포말 생성량이 작았던 것으로 사료되며 어류를 고밀도로 사육할 경우 용존되는 단백질의 농도가 높아지게 되므로 순환수 처리에 더 큰 기여를 하게 될 것으로 생각된다.

요 약

Package 형태로 설계하고 제작된 pilot scale 순환여과식 양식 시스템에 틸라피아를 2%의 사육밀도로 수용하여 사육조의 각종 수질인자의 변화를 측정하고 회전원판 반응기, floating bead filter, 포말분리기 등의 순환수 처리효율을 검토하여 순환여과식 양식시스템의 개시운전시 발생하는 현상을 고찰하고 순환수 처리장치의 안정화에 소요되는 시간을 측정하고자 하였다.

평균 어체중 392.8g의 나일 틸라피아 173마리를 수용하여 일간 보충수를 사육조 용적의 10%를 사용하여 14일간 어류사육을 실시하여 생물학적 순환수 처리장치인 회전 원판 반응기의 효율 변화를 검토하였다. 암모니아성 질소는 사료 투입 직후부터 증가하여 7일 후부터는 0.3g/m³ 정도의 농도를 보였다. 사료 투입 후 3일이 경과 하면서부터 아질산성 질소, 7일 이후부터 질산성 질소가 증가하였으며 12일이 경과하면서 시스템의 아질산성 질소의 농도가 감소하여 회전원판 반응기가 속성되었다. 총 무기질소는 사료 투입 후 10일이 경과하면서 30 g/m³ 정도의 일정한 농도를 유지하였다.

사육조 내의 용존 산소농도는 4~5 g/m³의 안정된 농도를 유지 하였으며 pH와 총알칼리도는 질산화 반응기의 속성에 따라 어류

생장에 영향을 미치지 않는 범위에서 감소하였다. 총 부유 고형물과 화학적 산소 요구량은 보충수와 거의 동일한 수질을 유지할 수 있었다.

회전원판 반응기는 암모니아 제거와 동시에 용존산소 폭기 효율도 나타내었고 floating bead filter는 고형물 제거뿐 아니라 질산화에도 뛰어난 효율을 보였으며 회전 원판 반응기는 사료 투입 후 2일, floating bead filter는 4일째부터 암모니아 제거가 시작되었다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- Albaster, J.S. and R. Lloyd. 1982. Water Quality Criteria for Freshwater Fish, 2nd ed., Butterworth, London, 361pp.
- APHA. 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. American Public Health Association.
- Chin, K.K., S.L. Ong and S.C. Foo. 1993. A water treatment and recycling system for intensive fish farming. Wat. Sci. Tech., 27, 141~148.
- delos Reyes, A.A., T.B. Lawson. 1995. Combination of a bead filter and rotating biological contactor in a recirculating fish culture system. Aquacultural Engineering, 15, 27~39.
- Hargrove, L.L., P.W. Westerman and T.M. Losordo. 1996. Nitrification in three-stage and single-stage floating bead filters in laboratory-scale recirculating aquaculture system, Aquacultural Engineering, 15, 67~80.
- 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*), Ph. M. thesis, National Fisheries University of Pusan, Korea, pp. 12~14 (in Korean).
- Libey, G.S. 1992. Maximum nitrification with rotating biological contactors (RBCs). Proceeding of the workshop on design of high density recirculating aquaculture systems, pp. 40~48. Louisiana State Univ. Baton Rouge, Louisiana. Sept., 25~27.
- Losordo, T.M., J.M. Ebeling and D.P. DeLong. 1993. Engineering design and performance of a Model Aquaculture Recirculating System (MARS) for secondary school aquaculture education programs. Technical Report, North Carolina State University.
- Losordo, T.M. 1995. An evaluation of the EcoFish/NCSU tank system technology for use in the intensive production of Tilapia using water reuse technology. Technical Report. North Carolina State University.
- Rijn, J.V. 1996. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture. Aquaculture, 139, 181~201.
- Sharma, B. and R.C. Ahlert. 1977. Nitrification and nitrogen removal. Water Research, 11, 897~925.
- Suh, K.H. and M.G. Lee. 1995. Treatment of Aquacultural Recirculating Water by Foam Separation - I. Characteristics of Protein Separation, J. Korean. Fish. Soc., 28, 599~606 (in Korean).
- 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, 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).

2001년 7월 20일 접수
2001년 12월 19일 수리