

## 모의 순환여과식 실험장치에서 회전원판반응기 (RBC)에 의한 순환수 처리

서근학 · 김병진 · 임성일\* · 조진구 · 김용하 · 오창섭\*\*  
부경대학교 화학공학과, \*환경공학과, \*\*한국에너지기술연구소

### 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

Kuen-Hack SUH, Byong-Jin KIM, Sung-Il LIM\*, Jin-Koo CHO, Yong-Ha KIM and Chang-Sup OH\*\*  
Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea  
\*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea  
\*\*Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

Rotating Biological Contactor (RBC) was tested for the treatment of artificial rearing water in a simulated aquaculture system. Performance of RBC on the removal of TAN and COD was evaluated by controlling hydraulic residence time (HRT). As HRT of RBC was increased, TAN removal rate and removal efficiency of RBC and TAN concentration of rearing water were increased, but COD removal rate was decreased. Total alkalinity consumption rate was increased by increasing HRT of RBC. Ratio between total alkalinity consumption rate and TAN removal rate was 7.73. HRT for maintaining lowest TAN and COD concentration of artificial rearing water was 14.6 minutes and at that condition TAN and COD concentration of the water was 1.28 and 5.59 g/m<sup>3</sup>, respectively.

Key words: recirculating aquaculture system, RBC, TAN, DO, alkalinity, COD

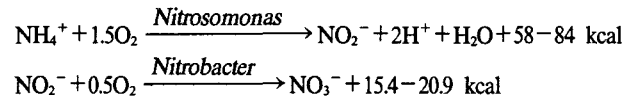
#### 서 론

순환 여과식 양식은 용수 사용량이 적고 어류를 고밀도로 사육할 수 있어 생산력을 증대시킬 수 있는 장점이 있는 반면 상대적으로 오염물의 발생량이 매우 커서 고효율의 수처리 장치를 필요로 한다. 순환 여과식 양식장에서 발생하는 오염물은 미접취 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 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NH<sub>3</sub>의 두 가지 형태로 존재한다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NH<sub>3</sub>는 모두 어류에 독성을 미치며 특히 NH<sub>3</sub>는 더 독성이 강하여 대부분의 어류에 대해 0.125 g NH<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>이하의 농도를 권장하고 있다. (Colt and Armstrong, 1981; Meade, 1985). 양어장 순환수의 암모니아는 어류에 대한 직접적인 피해 뿐 아니라 미처리되어 수계로 방출될 경우 부영양화나 적조 등의 심각한 환경문제를 유발하기도 한다.

순환여과식 양식 시스템에서 발생하는 암모니아는 침지식 또는 살수식 생물반응조나 회전원판 반응조와 같은 생물학적 처리 장치에 의해 제거하며 이와 같은 생물학적 처리장치는 지지체에 질산화 미생물을 부착시켜 이들에 의해 암모니아를 질산성 질소로 산화시키는 공정으로 여기에 관여하는 미생물 속과 화학식은

다음과 같다 (Sharma and Ahlert, 1977).



미접취 사료나 어류의 배설물 중 유기성분이 용출되어 발생하는 용존 유기물은 어류에 직접적인 영향을 미치지 않는 순환수 내에 타가 영양체 미생물을 증가시키는 요인이 된다. 타가 영양체 미생물의 일부는 병원성 미생물로서 어류에 유행병을 발생시키며 (이, 1996) 용존산소를 감소시켜 폭기량을 증가시키는 원인이 된다. 또한 타가 영양체 미생물이 과도 번식할 경우 질산화를 위한 생물학적 처리장치의 우점종이 되어 질산화 효율을 감소시키는 원인이 되므로 용존 유기물을 저농도를 유지하는 것이 중요하다.

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

현재 양어장 순환수처리 장치에 대한 연구는 폐수가 반응기를 1회 통과하는 형태로 제거하고자 하는 물질의 유입 농도를 조절하여 최대의 제거율이나 제거속도를 얻는데 목적을 두고 있다. 그러나 순환여과식 양어장의 경우 일반적인 수처리 공정과는 달리

어류의 사료섭취와 소화에 따라 사육조의 오염물질 농도가 변화하게 되고 이로 인해 반응기로 유입되는 암모니아의 농도가 변화하게 되어 반응기에 가해지는 오염원의 부하는 변화하게 된다 (Losordo and Westers, 1994). 또한 수처리 장치를 통과한 배출수는 사육조로 재순환되어 회석효과를 유발하여 사육조의 수질을 변화시킨다 (Lee et al., 1992). 그러므로 순환여과식 양식장의 수처리는 기존의 폐수 처리 공정과는 달리 순환식 공정으로서 이해하고 어류를 사육하는 사육조의 오염물 농도를 적정선 이하로 유지할 수 있는 운전인자를 도출하는 것이 중요하다.

본 실험에서는 양식장에서 많이 이용되고 있으나 최적의 운전인자가 없이 경험에 의존하여 운전되고 있는 회전원판반응기 (rotating biological contactor, RBC)를 모의 순환 여과식 실험장치에 적용하여 인공 양식수를 순환시키면서 암모니아성 질소, COD, 알칼리도의 변화 등을 고찰하여 어류의 최적 사육 환경을 유지할 수 있는 운전조건을 도출하고자 하였다.

### 재료 및 방법

#### 회전 원판반응기

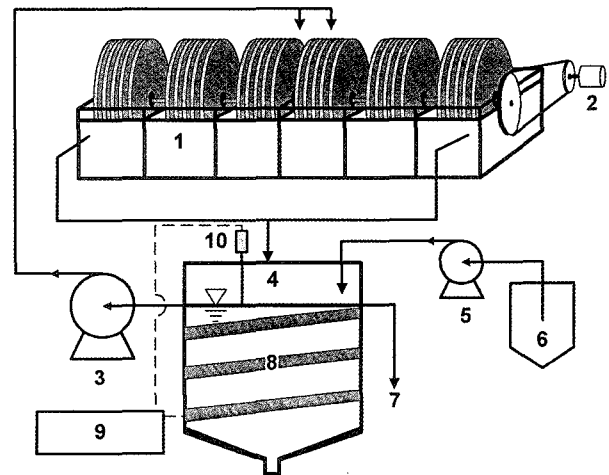
회전원판반응기는 외부에서의 관찰이 쉽게 이루어질 수 있도록 아크릴 재질을 이용하여 3단 반응기를 2개 제작하여 병렬로 연결하여 사용하였다. 유입수는 병렬로 연결된 반응기의 1단으로 공급되며 3개의 단을 거친 후 유출되도록 하였다. 반응기 각 단의 부피는 540 mL이었으며 2개 반응기의 총 용량은 3.50 L이었다.

원판은 두께 0.2 cm, 직경 12 cm인 폴리에틸렌 재질로 제작하였으며 각 단은 0.9 cm 간격으로 5장의 원판으로 구성되었으며 반응기 액분체 부피당 원판의 비표면적은  $1.94 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ 이었으며 6개 단의 원판의 총 표면적은  $6790 \text{ cm}^2$  이었다. 원판의 표면은 질화세균의 부착이 원활하도록 하기 위하여 표면을 거칠게 만들어 사용하였으며 높이에 대하여 37.5%가 수중에 잠기도록 하였다. 원판의 회전은 감속 모터를 사용하여 실험 기간동안 원판 회전 속도의 변화가 없이 일정하게 회전하도록 하였다.

#### 모의 순환여과식 실험장치

본 실험에 사용한 모의 순환 여과식 실험장치의 모식도는 Fig. 1과 같다. 모의 사육조는 폴리 아크릴 재질을 이용하여 9.50 L로 제작하였으며, 모의 사육조 하부는  $15^\circ$ 의 각도를 주어 회전원판반응기에서 유출되어 침전되는 폐 슬러지가 침전하여 모의 사육조 중앙 하부에 잘 모일 수 있도록 하였으며 주기적으로 외부로 제거할 수 있도록 하기 위하여 하부 중앙에 미세망을 설치하였다. 모의 사육조 상부는 순환수의 증발로 인한 실험 오차를 줄이기 위하여 아크릴판을 이용하여 덮개를 설치하였다.

모의 사육조의 온도 유지를 위하여 모의 사육조 외부에 heating tape를 감았으며 모의 사육조 상부에 설치한 열전대 (thermocouple)와 온도 제어기를 이용하여 항상 일정한 온도를 유지할 수 있도록 하였다. 인공 양식수의 순환은 cartridge type peristaltic pump를 이용하여 각 반응기에 동일한 유량으로 공급된 수 있게 하였으며 반응기를 통과한 양식수는 중력 유하식으로 모의



- 1. Rotating biological contactor
- 2. Motor
- 3. Recirculating pump
- 4. Rearing tank
- 5. Feeding pump
- 6. Feeding tank
- 7. Overflow line
- 8. Heating tape
- 9. Heat controller
- 10. Thermocouple

Fig. 1. Schematic diagram for ammonia removal experiment using RBC in simulated recirculating aquaculture system.

사육조로 유입되게 하였다. 보충수의 공급은 미량펌프를 이용하였다.

#### 미생물의 원판 부착

본 실험에 이용된 미생물은 부산광역시 수영 하수처리장 내 포기조의 활성슬러지를 65 mesh의 표준체로 거른 다음 이것을 다단으로 구성되어 있는 회전원판 반응기 각 단에 각각 MLSS가  $2000 \text{ g/m}^3$ 이 되도록 하여 농도로 각각 250 mL씩 식중하였다. 하수처리장에서 채집하여 온 미생물의 우점종은 종속 영양체 미생물이 주종일 것으로 판단되어져 암모니아성 질소를 제거하는데 필요한 질화세균의 활성을 높이고 원판의 안정적 부착을 위하여 3개월간의 배양기간을 거쳤다.

#### 합성 폐수

시스템에 가해지는 오염물의 모의 사육조 내 투입은 1일 보충하는 시스템 보충수의 양을 모의 사육조 부피의 10%라고 산정하여 모의 사육조 부피에 대하여 10%에 해당되는 부피인 950 mL의 합성폐수를 정량 펌프를 이용하여 39.6 mL/hr의 유량으로 모의 사육조에 연속적으로 공급하였다.

1일 발생하는 암모니아의 양은 어류 사육밀도를  $100 \text{ kg fish/m}^3$  rearing tank, 1일 사료 공급량을 어체중의 1.5%라고 가정하고 공급사료에서 발생하는 암모니아성 질소의 분율을 3%라고 가정 (Liao and Mayo, 1974 ; Speece, 1973)하여 모의 사육조를 기준으로  $45 \text{ g TAN/m}^3/\text{day}$ 으로 공급하였으며 공급한 합성 폐수의 조성은 Table 1과 같다. 유기탄소원으로 포도당 ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )을 이용하였으며 암모니아원으로 염화암모늄 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )을 사용하였다. 질산화시 소모되는 알칼리도는 중탄산나트륨염 ( $\text{NaHCO}_3$ )을 사용

**Table 1. Composition of synthetic feedstock solution.**

Component	Concentration, g/m <sup>3</sup>	Function
NH <sub>4</sub> Cl	1714	Ammonia source
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	143	Organic compound
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	429	P source
MnSO <sub>4</sub>	14	Mn source
NaHCO <sub>3</sub>	4714	Alkalinity control

하여 공급하였으며 회석수는 염소이온의 질산화 저해 작용을 방지하기 위하여 염소이온이 비교적 적은 지하수를 이용하여 제조하였다.

**실험방법**

수리학적 체류시간의 변화에 따른 회전원판 반응기의 모의 순환 여과식 양어장수의 처리능력을 알아보기 위하여 원판의 회전수는 4 rpm, 순환수의 온도는 25℃로 일정하게 유지시키며 회전원판 반응기의 수리학적 체류시간을 30.3분부터 23.2, 18.8, 14.6분으로 변화시키면서 매일 동일한 시각에 시료를 채취하여 모의 사육조와 회전원판 반응기 유출수의 암모니아성 질소 농도와 COD, 알칼리도 및 pH 변화를 측정하였으며 시료채취 중에 모의 사육조의 용존산소 농도를 측정하였다.

**분석방법**

실험에 필요한 수질의 분석은 TAN의 분석을 위하여 NH<sub>3</sub> 선택전극 (Orion Research Inc., 9512BN)이 부착된 Ion meter (Orion Research Inc., Model 720A)를 이용하여 이온선택성 전극법 (APHA et al., 1992)에 의해 분석하였고, COD는 산성 KMnO<sub>4</sub>법 (산업기술연구원, 1990)에 따라 분석하였다. DO는 모의 사육조에 용존산소측정기 (YSI, model YSI-55)의 전극을 꽂아 측정하였다. 알칼리도는 pH 미터 (SUN TEX SP-701)를 사용하여 적정법 (ASTM, 1992)에 의해 분석하였다.

**Data 계산방법**

암모니아성 질소 및 COD의 제거속도와 총알칼리도의 소모속도는 식 (1)과 같이 계산하였다.

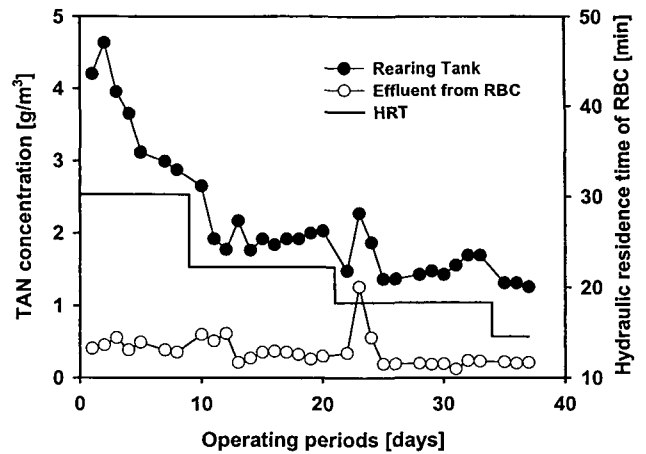
$$-r_a = \frac{C_{i,a} - C_{o,a}}{V_{RBC}} \times Q = \frac{C_{T,a} - C_{o,a}}{\tau_{RBC}} \quad (1)$$

여기서, a 는 TAN, COD, alkalinity이다.

**결과 및 고찰**

**암모니아 처리효율**

회전원판 반응기 내 합성양어장수의 수리학적 체류시간의 변화에 따른 모의 사육조 암모니아성 질소의 농도변화를 측정하기 위하여 Fig. 2에서 보는 바와 같이 회전원판 반응기의 수리학적 체류시간을 30.3, 23.2, 18.8, 14.6분으로 변화시키면서 38일 동안 실험을 수행하였다. 본 연구에 사용한 모의 순환 여과식 양어장의 모의 사육조 부피는 9.50 L이고 수처리 장치인 회전원판반응기의



**Fig. 2. Variation of total ammonia nitrogen (TAN) concentration of rearing tank and effluent from RBC on operating periods.**

부피는 3.50 L로 부피비는 2.7이므로 반응기 체류시간의 변화에 따른 모의 사육조의 일간 순환비는 17.5, 22.8, 28.9, 36.4회전이였다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 실험 초기에는 모의 사육조의 암모니아성 질소의 농도가 4.8 g/m<sup>3</sup>까지 증가하였으나 3일 후부터는 감소하기 시작하였으며 수리학적 체류시간의 변화가 발생한 후 질산화 반응기가 새로운 정상상태에 도달하기까지 5~6일 정도가 소요되었다. 수리학적 체류시간을 감소시킬 경우 사육조의 암모니아 농도가 일시적으로 높아졌다가 다시 감소하는 현상이 발생하였다. 수리학적 체류시간이 감소함에 따라 사육조의 암모니아 농도가 높아지는 것은 원판 표면에 대한 수리학적 부하가 커짐에 따라 원판 표면에 부착되어 있는 미생물 중 결합력이 약한 미생물이 일부 탈리함에 따른 현상 (Libey, 1992)으로 사료되며 증가된 부하에 따라 또 다른 미생물이 더 강한 결합력으로 부착되어 다시 안정화되는 것으로 사료된다.

본 시스템에 가해지는 암모니아성 질소의 부하량은 모의 사육조를 기준으로 하여 45 g/m<sup>3</sup> rearing tank/day이고 모의 사육조와 반응기의 부피비가 2.7이므로 회전원판 반응기의 양론적 암모니아성 질소의 부하 속도는 121.5 g/m<sup>3</sup> reactor/day이다. 반응기가 정상상태에 도달하면 암모니아성 질소의 제거속도는 부하속도와 동일하며 수리학적 체류시간에 관계없이 일정하게 유지된다. 만일 반응기의 최대 암모니아성 질소제거속도가 부하량보다 작을 경우 모의 사육조의 암모니아성 질소 농도는 계속하여 증가하게 된다. 본 실험의 결과 모의 사육조 암모니아 농도는 실험 초기에는 증가하는 경향을 보였으나 실험 기간이 경과하면서 거의 일정한 값을 나타내어 본 실험에 사용한 반응기의 암모니아 제거 속도가 부하량에 적응하였다는 것을 알 수 있었다. 정상상태에서의 반응기의 실제 암모니아성 질소 제거속도는 104.4~121.0 g/m<sup>3</sup>/day로 양론적인 암모니아성 질소제거속도와 같거나 약간 낮은 값을 나타내었으며 수리학적 체류시간이 감소함에 따라 암모니아 부하속도와 제거속도도 감소하는 경향을 보였다. 실제 암모니아 제거속도가 양론적인 부하속도보다 작게 나타나는 것은 공급되는 보충수에 의해 시스템 밖으로 유출되는 암모니아에 의해 부하량이 감소되는 현상과 모의 사육조 내의 존재하는 질산화 미생물에 의해

암모니아가 일부 제거되기 때문으로 사료된다.

Fig. 3는 수리학적 체류시간의 변화에 따른 모의 사육조의 암모니아성 질소 농도와 질산화 반응기인 회전원판반응기의 암모니아성 질소 제거율을 도시한 것이다. 그림에서 보여지는 바와 같이 반응기의 수리학적 체류시간이 30.3분일 경우 암모니아성 질소의 제거율은 86.8%로 가장 높았으며 수리학적 체류시간이 감소함에 따라 감소하였으나 모의 사육조의 암모니아성 질소의 농도는 수리학적 체류시간이 14.6분일 경우 1.28 g/m<sup>3</sup>로 가장 낮고 수리학적 체류시간이 길수록 더 높아져 긴 수리학적 체류시간이 반응기의 제거율은 높이지만 어류 사육환경에는 오히려 악영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다.

수리학적 체류시간 짧아질수록 반응기의 암모니아성 질소의 제거율이 낮아지는 것은 짧은 수리학적 체류시간에서 반응기 내에 유입되는 순환수 속의 암모니아가 반응기의 원판에 부착된 미생물과 접촉하는 시간이 줄어들어 발생하는 현상이다. 짧은 수리학적 체류시간에서 반응기의 제거율이 낮으면서도 모의 사육조의 암모니아성 질소 농도가 낮게 유지되는 것은 수리학적 체류시간이 짧아질수록 모의 사육조 내에서 발생하는 암모니아성 질소를 신속하게 생물학적 처리 장치로 유입시켜 제거함과 동시에 수처리 장치에서 배출된 저농도의 순환수가 모의 사육조로 유입됨으로 인한 희석효과 (Lee et al., 1992)에 의한 것이다.

**용존산소 변화**

어류에 쾌적한 환경을 조성하기 위해서는 기본적으로 호흡에 필요한 충분한 용존산소가 수중에 녹아있어야 한다. 일반적으로 어류의 사육에 권장되는 용존산소 농도는 어종에 따라 다르나 담수성 어종의 경우 온수성 어류에 대해서 최소 5.0 g/m<sup>3</sup> 정도이며, 냉수성 어류인 경우에는 최소 6.0 g/m<sup>3</sup> 정도의 산소가 필요한 것으로 권장되고 있다 (EPA, 1996).

실험기간 전체에 있어 모의 사육조의 용존산소의 농도는 4.0~6.0 g/m<sup>3</sup>의 범위였으며 각 수리학적 체류시간에서 정상상태의 용존산소의 평균농도를 Fig. 4에 도시하였다. Fig. 10에서 보여지는

것과 같이 정상상태에서 나타난 용존산소 농도는 체류시간의 변화에 무관하게 5.0~5.3 g/m<sup>3</sup>의 범위를 보였다. 회전 원판 반응기는 미생물이 부착된 원판이 수중과 대기를 반복하여 회전하므로 대기 중에 노출된 상태에서 미생물이 산소를 섭취하게 되고 수면과 접촉하는 부분에서 폭기가 이루어진다. 본 실험 장치의 경우 별도의 폭기시설은 전혀 없으며 모의 사육조도 순환수의 증발을 막기 위하여 덮개를 설치하였으므로 대기중의 산소가 공급될 수 있는 부분은 회전원판 반응기뿐이며 수리학적 체류시간의 변화에 따른 용존산소 농도의 변화가 없는 것으로 보아 수처리에 필요한 용존산소는 회전원판 반응기 자체에서 공급된 것으로 사료된다.

**알칼리도 변화**

알칼리도는 용존산소와 함께 암모니아성 질소의 질산화 과정에서 가장 중요한 인자중의 하나이다. 질산화에 관여하는 질화세균은 자가영양체로 유기탄소를 탄소원으로 이용할 수 없으므로 세포합성에 무기탄소원으로 알칼리도를 필요로 하고 질산화시 발생하는 수소이온에 의한 pH의 강하를 방지하는데도 이용된다 (Sharma and Ahlert, 1977). 암모니아성 질소의 질산화가 진행되면 알칼리도가 소모되어 pH가 저하되며 50 g as CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>이하의 알칼리도는 질산화를 제한한다 (Gujer and Boller, 1984).

Fig. 5는 수리학적 체류시간의 변화에 따른 모의 사육조와 반응기 유출수의 총알칼리도의 변화를 도시한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 모의 사육조의 총알칼리도는 14.6~30.3분의 수리학적 체류시간에서는 340~351 g as CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>으로 거의 동일하였으나 반응기 유출수의 총알칼리도는 수리학적 체류시간이 증가함에 따라 감소하는 형태를 나타내었다.

Fig. 6은 수리학적 체류시간의 변화에 따른 총알칼리도 소모속도의 변화와 총알칼리도 소모속도와 암모니아성 질소 제거속도의 비를 도시한 것으로 수리학적 체류시간이 증가함에 따라 총알칼리도의 소모속도는 증가하였다. 이는 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 수리학적 체류시간이 증가함에 따라 암모니아 제거속도가 증가

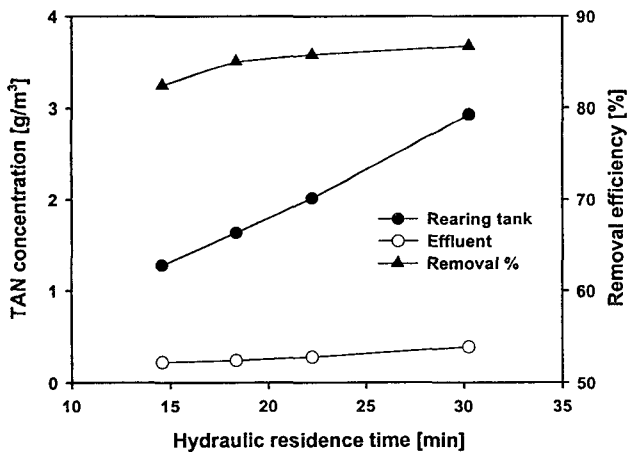


Fig. 3. Changes of total ammonia nitrogen (TAN) concentration of rearing tank and effluent from RBC and removal efficiency on hydraulic residence time.

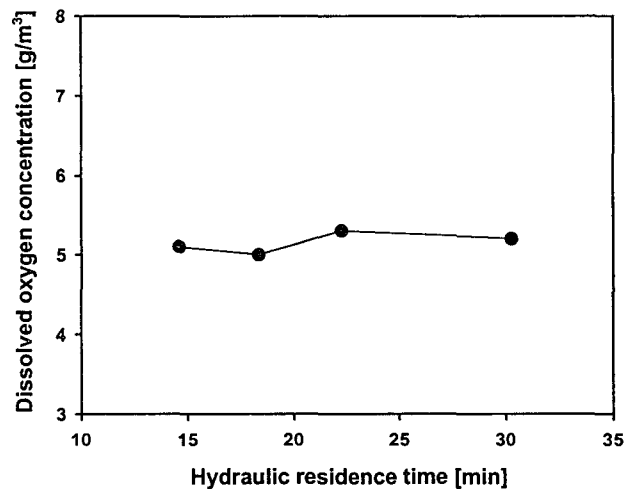


Fig. 4. Changes of dissolved oxygen (DO) concentration of rearing tank on hydraulic residence time.

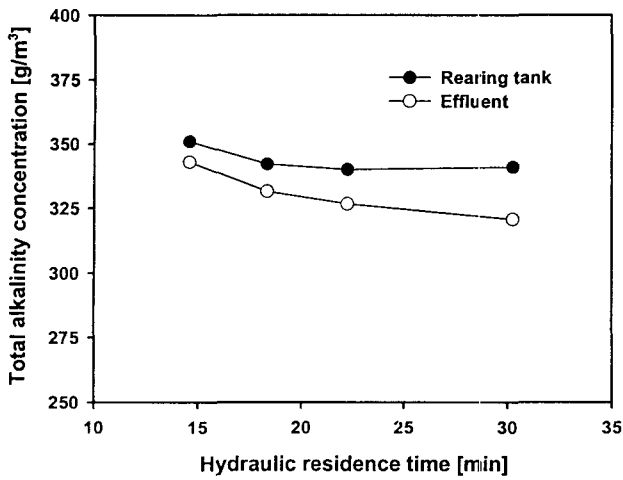


Fig. 5. Changes of total alkalinity (TA) concentration of rearing tank and effluent water from RBC on hydraulic residence time.

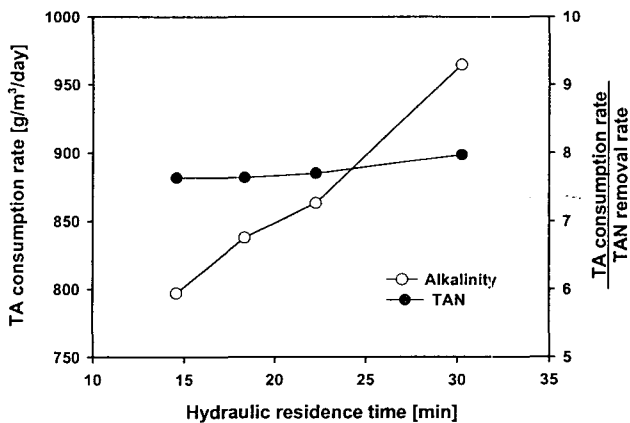


Fig. 6. Changes of total alkalinity (TA) consumption rate and ratios of TA consumption rate and total ammonia nitrogen (TAN) removal rate.

하고 총알칼리도의 소모속도도 증가한 것이며 이로 인해 반응기 유출수의 알칼리도가 감소하게 된 것으로 사료된다. 총알칼리도 소모속도와 암모니아성 질소 제거속도의 비는 실제 공정에서 암모니아성 질소 1g이 질산화 되는 과정에 소요되는 알칼리도의 량을 의미하는 것으로 체류시간의 변화에 따른 큰 변화는 없이 7.63~7.97 g as CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>의 범위를 보였으며 각 비의 평균값은 7.73이었다. 본 실험의 결과 질산화 과정에서 암모니아성 질소 1g에 대한 알칼리도 소요량은 일반적으로 알려진 6~7.4 g as CaCO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> (EPA, 1975 : Sharma and Ahlert, 1977) 보다는 조금 더 많은 알칼리도가 소모됨을 알 수 있었다.

**COD 처리효율**

순환 여과식 양어장에서 용존 유기물은 미접취 사료에서 용출되거나 어체 내에서 완전히 분해되지 않아 발생한다. 용존 유기물의 농도가 높을 경우 타가영양체 미생물의 성장을 촉진시키게 되어 생물학적 처리장치에 우점종화 되어 질산화 효율을 저하시

키거나 산소요구량을 증가시키는 원인이 된다. 일부 타가영양체 미생물은 병원균으로 어류에게 질병을 유발시키기도 한다 (이, 1996). 용존 유기물 농도의 지표로서 COD를 측정하여 수리학적 체류시간의 변화에 따른 회전원판 반응기의 처리효율을 측정하였다.

Fig. 7은 수리학적 체류시간의 변화에 따른 모의 사육조와 반응기 유출수의 COD농도와 회전원판 반응기의 제거율을 도시한 것으로 그 형태는 암모니아의 경향과 유사하였다. 수리학적 체류시간에 따른 모의 사육조 내에서의 COD 농도는 7.96~5.59 g/m<sup>3</sup> 사이의 농도를 보였으며 제거율은 12.4~22.7%로 암모니아 제거율에 비하여 매우 낮게 나타났다. 18.8분 이상의 수리학적 체류시간에서는 모의 사육조 및 반응기 유출수의 COD 농도와 반응기의 COD 제거율은 거의 일정하였으나 14.6분의 수리학적 체류시간에서는 급격히 저하되었다.

COD의 제거율이 암모니아 제거율에 비해 낮은 것은 초기 미생물 부착시 3개월 동안 질화세균만이 부착되도록 하였으므로 회전원판반응기의 원판에 부착된 미생물의 우점종은 질화세균이며 시스템에 가해지는 COD의 부하량이 낮아 더 이상의 타가영양체 미생물이 증식하지 못하기 때문에 나타난 현상으로 사료된다.

Fig. 8은 수리학적 체류시간의 변화에 따른 회전 원판 반응기에 가해지는 COD의 부하속도와 제거속도를 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 수리학적 체류시간이 증가함에 따라 COD의 부하속도와 제거속도는 감소하였다. Fig. 7에서 보여지는 바와 같이 수리학적 체류시간이 증가함에 따라 모의 사육조의 COD 농도가 증가함에도 불구하고 Fig. 8에서 수리학적 체류시간이 감소함에 따라 COD 부하속도가 증가하는 것은 회전원판 반응기로 유입되는 유량의 증대에 의한 현상이다.

수리학적 체류시간이 감소함에 따라 COD 제거속도가 증가하는 것은 COD 부하속도가 증가함에 따라 반응기 내의 타가영양체 미생물과 용존 유기물과의 접촉회수가 증가함에 따른 현상이다. 이와같이 짧은 수리학적 체류시간에서 높은 COD 제거속도가 얻어지며 14.6분의 수리학적 체류시간에서 가장 낮은 COD 농도인 5.59 g/m<sup>3</sup>를 유지할 수 있는 것으로 사료된다.

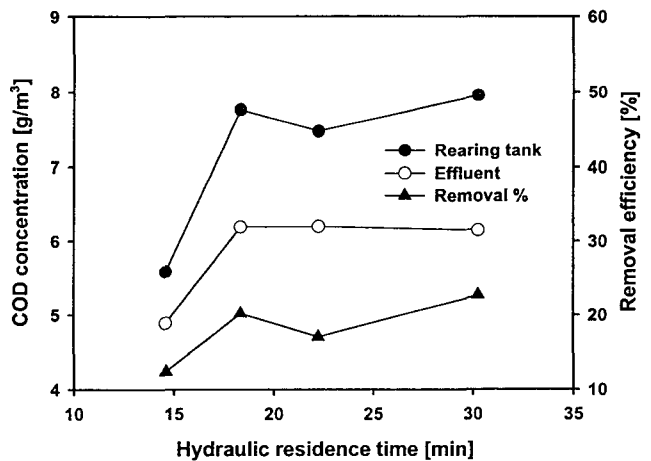


Fig. 7. Changes of COD concentration of rearing tank and effluent from RBC and removal efficiency on hydraulic residence time.

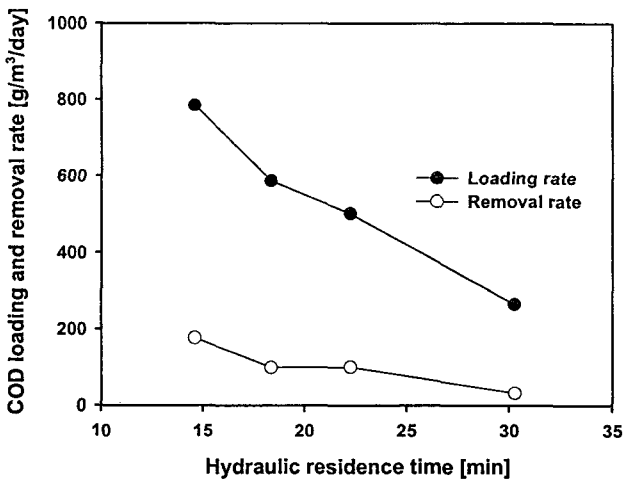


Fig. 8. Changes of COD loading rate and removal rate on hydraulic residence time.

요 약

본 연구에서는 양식장에서 많이 이용되고 있는 회전원판 반응기를 모의 순환 여과식 양어장에 적용하여 인공 양식수 처리 실험을 행하면서 어류의 최적 사육환경을 유지할 수 있는 운전인자를 도출하고자 하였다.

회전원판 반응기는 수리학적 체류시간이 감소하는 부하변동에 대해 5~6일 정도의 시간이 흐른 후 정상상태에 도달하였으며 수리학적 체류시간의 증가에 따라 모의 사육조의 암모니아 농도, 회전원판반응기의 암모니아성 질소 제거율 및 제거속도는 증가하였다. 14.6분의 수리학적 체류시간에서 암모니아성 질소의 제거율은 82.5%로 실험조건 중 가장 낮았으나 사육조의 암모니아성 질소농도는 1.28 g/m³으로 가장 낮게 나타났다.

모의 사육조의 용존산소는 수리학적 체류시간의 변화와 무관하게 5.0~5.3 g/m³의 범위로 유지되었으며 회전원판 반응기의 원판이 회전할 때 자체적으로 산소가 공급되어 암모니아 등의 산화와 관련하여 별도의 용존산소 공급은 필요 없는 것으로 나타났다.

알칼리도 소모속도는 수리학적 체류시간의 증가에 따라 선형적으로 증가하였으며 알칼리도 소모속도와 암모니아제거속도의 비는 평균 7.73으로 암모니아성 질소 1g의 질산화에 7.73g의 알칼리도가 소모되는 것으로 나타났다.

회전원판반응기는 원판에 부착된 일부의 타가영양체 미생물에 의해 용존 유기물이 소모되어 COD가 감소되었으며 COD의 제거속도는 수리학적 체류시간의 감소에 따라 선형적으로 증가하여 14.6분의 수리학적 체류시간에서 5.59 g/m³의 가장 낮은 농도를 보였다.

사용기호

- $r_a$  : removal rate or consumption rate of component a
- C : concentration, g/m³
- Q : volumetric flowrate, m³/day
- V : volume, m³
- $\tau$  : hydraulic residence time of RBC, min<sup>-1</sup> or day<sup>-1</sup>

하첨자

- I : input to RBC
- O : output from RBC
- S : supply water
- T : rearing tank

참 고 문 헌

ASTM (American Society for Testing and Materials), 1992, "Standard methods for acidity or alkalinity of water", Publ. D.1067-70. American Soc. Testing & Materials, Philadelphia, Pa.

APHA, AWWA and WEF, 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th Ed., EPS Group, pp. 4-122~4-124.

Colt, J. and Armstrong, D.A., 1981, Nitrogen toxicity to crustaceans, fish and mollusks, Bio-Engineering Symposium for Fish Culture (FCS Publ. 1), pp.34~47.

EPA (Environmental Protection Agency), 1975, Process design for nitrogen control, Office of technology transfer, Cincinnati, Ohio.

EPA (Environmental Protection Agency), 1976, Quality criteria for water, Washington D.C. Gujer, W. and M. Boller, 1984, Operating experience with plastic media tertiary trickling filters for nitrification. Water Science Technology, 16, 201.

Jobling, H.H., 1994, Fish Bioenergetics. Chapman and Hall, London. 120pp.

Lee, S.M., D.H. Kim and K.O. Song, 1992, Optimal hydraulic loading for ammonia control in water recycling fish culture system, Bull. Korean Fish. Soc. 25, 176~180 (in Korean).

Liao, P.B. and R.D. Mayo, 1974, Intensified fish culture combine water reconditioning with pollution abatement, Aquaculture, 3, 61~85.

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. and H. Westers, 1994, System carrying capacity and flow estimation. In Aquaculture Water Reuse System: Engineering Design and Management, M.B. Timmons and T.M. Losordo eds, Elsevier, Amsterdam, pp. 14~19.

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.

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.

김인배, 1997, 순환 여과식 양식 산업 개발, 수산과학의 하이테크 (김영섭, 정현도 편저), 부산수산대학교 해양과학공동연구소, 113pp.

산업기술연구원, 1990, 환경오염공정시험법, pp. 117~118.

이병현, 1996, 순환여과식 양식장의 생물여과, 양식공학 (부경대학교 해양산업개발연구소편), 부경대학교출판부, 77pp.

1998년 11월 16일 접수  
1999년 2월 26일 수리