

해수활어수조에서 붕장어 (*Astroconger myriaster*)와 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)에 의한 오염물 발생량 산정

서근학* · 신정식 · 조재윤¹
부경대학교 화학공학과, ¹부경대학교 양식학과

Measurement of Waste Generation in Seawater Aquaria by Common Conger (*Astroconger myriaster*) and Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*)

Kuen-Hack SUH*, Jeong-Sik SHIN and Jae-Yoon JO¹
Division of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
¹Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Waste concentration and waste generation rate in seawater aquaria by common conger (*Astroconger myriaster*) and olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) were investigated. The initial fish density of common conger and olive flounder were 3% and 2.8% of total weight of aquarium water, respectively. Wastes in the seawater aquaria, such as protein, total suspended solid (TSS), ammonia, turbidity and chemical oxygen demand (COD) increased with days after stocking. Protein generation rate of common conger increased until 1 day after stocking while that of olive flounder increased until 3 days. The average protein generation rates of common conger and olive flounder were 0.28 g/kg·day and 0.21 g/kg·day, respectively. The trends of other waste generation rate were similar to protein generation rate.

Key words: Waste generation, *Astroconger myriaster*, *Paralichthys olivaceus*, Conger, Flounder

서 론

활어의 일반적인 유통구조를 살펴보면 양식 또는 바다에서 포획한 활어를 일반 활어업소에 공급하고, 활어업소에 공급된 활어가 소비자에게 판매가 된다. 이 때 활어업소에서는 활어가 판매되기 까지 활어를 활어수조에 보관하게 되는데 그 기간은 평균 1-5일 정도가 된다.

활어수조의 가장 중요한 기능은 활어의 신선도를 유지시키는 것인데, 활어에 의해 발생하는 배설물 등의 오염물로 인해 활어수조내의 수질이 악화되고, 이로 인해 활어가 폐사하는 경우가 발생하므로 활어업소에서는 일주일에 2회 정도 활어용수를 갈아주는 실정이다.

붕장어 (*Astroconger myriaster*)는 뱀장어과에 속하는 어류로서 우리나라의 전 연근해에서 포획되며, 양식에 어려움이 있어 일반 활어업소에서는 연근해에서 포획된 것을 바로 공급받고 있다. 우리가 일반적으로 광어라 부르는 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)는 넙치 과에 속하는 어류로서 우리나라에서 가장 많이 양식되고 있으며 바닥에 붙어서 생활하는 특성이 있다.

본 연구에서는 현재 우리나라에서 가장 많이 소비되고 있는 붕장어와 넙치를 활어수조에 일정기간 투입하고, 이 두 종의 어류에 의해 발생하는 오염물을 측정하여 비교, 검토 하고,

이를 해수 활어수조에서 생물학적 오염물 제거를 위한 포말분리장치를 설계 및 제작 하는데 필요한 기초 자료를 도출하고자 하였다.

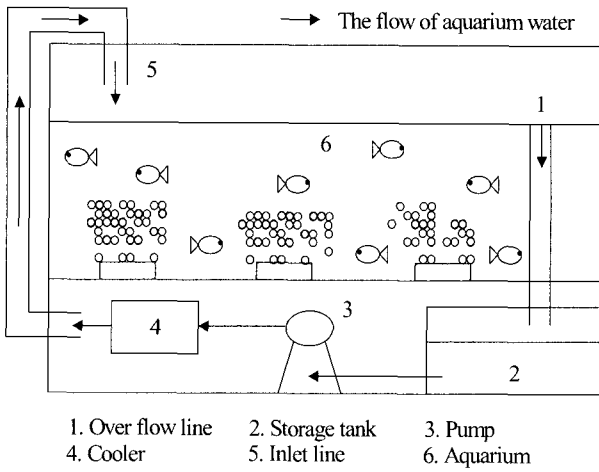
재료 및 방법

실험장치 및 운전조건

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 활어수조를 나타낸 것이다. 수조 내의 물은 유출구 (1)를 통해 장치 하부의 저수조 (2)로 유입되고, 저수조의 물은 재순환 펌프 (3)에 의해 냉각기 (4)를 거쳐 유입구 (5)를 통해 다시 수조 내로 유입된다. 이때 수조 내의 물은 냉각기에 의해 항상 15±0.5℃로 유지된다. 활어수조의 규격은 가로 1,150 mm, 세로 700 mm, 높이 1,100 mm이었고, 수조의 저수용량은 350 L이었다. 또한 재순환 펌프의 순환량은 1,000 L/hr이었다.

실험은 붕장어와 넙치를 나누어 실험하였으며, 붕장어의 경우에는 바다에서 포획된 것을 구입하여 사용하였으며, 넙치는 양식장에서 구입하여 사용하였다. 실험에 사용한 최초 어류무게는 붕장어는 10.5 kg이었으며, 넙치는 9.8 kg이었다. 어류밀도는 활어수조 내 해수의 무게를 기준으로 붕장어는 3.0%, 넙치는 2.8%이었다. 또한 어류의 호흡에 필요한 산소는 외부로부터 공기펌프와 공기 분산기를 이용하여 활어수조로 공급해 주었다. 실험은 총 5일간 수행하였으며, 실험기간 중 사료는 공급하지 않았다. 수질분석을 위한 채수는 오전 10시

*Corresponding author: khsuh@pknu.ac.kr



1. Over flow line 2. Storage tank 3. Pump
4. Cooler 5. Inlet line 6. Aquarium

Fig. 1. Schematic drawing of aquarium used for the experiment of wastes generation by common conger (*Astroconger myriaster*) and olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

와 오후 5시로 하루 2회 하였고, 채수 장소는 재순환수의 유입 부분, 활어수조의 가운데 부분 및 유출구 부분 등 총 3곳에서 하였다.

실험 재료 및 분석 방법

수조용수는 담수를 인공해수시약 (Colalife, USA)으로 염분 농도를 30 PSU로 맞추어 후 사용하였으며, 단백질의 농도 분석은 Lowry의 방법 (Lowry et al., 1951)과 UV-280 methods (Bollag et al., 1996)에 의해 수행하였다. 총 부유물질의 농도는 standard method (APHA et al., 1992)에 따라 유리섬유여과지법으로 분석하였다. 암모니아는 이온선택전극을 장착한 이온선택전극미터(Orion 720A)를 이용하여 측정하였으며, COD는 COD미터(Humas)를 이용하였다.

오염물 발생농도 계산

어류에 의한 오염물 발생농도는 각 샘플 채취 장소에서의 결과 값을 평균하여 다음과 같이 계산하였다.

$$C_A = \frac{C_{A1} + C_{A2} + C_{A3}}{3} \quad (1)$$

여기서, C_A : A 성분의 농도 [mg/L]

C_{A1} : 재순환수 유입부분에서의 A 성분의 농도 [mg/L],

C_{A2} : 활어수조 가운데부분에서의 A 성분의 농도 [mg/L],

C_{A3} : 유출구 부분에서의 A 성분의 농도 [mg/L].

오염물 발생속도 계산

어류에 의한 오염물 발생속도는 시간에 따른 활어수조 내 각 성분의 농도를 측정하여 다음과 같이 계산하였다.

$$C_A = \frac{C_A \times V}{1,000 \times F \times t} \quad (1)$$

여기서, G_A 는 어류 kg 무게 당 하루에 발생하는 A 성분의

g양 [g/kg·day],

C_A : A 성분의 농도 [mg/L],

V: 활어수조의 부피 [L],

F: 어류무게 [kg],

t: 어류 투입 후 경과 시간 [day].

결과 및 고찰

단백질 발생 특성

Fig. 2는 붕장어와 넙치에 의한 단백질의 발생을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 붕장어의 경우 단백질의 농도는 어류 투입 4일 까지 증가하는 것으로 나타났으며, 넙치의 경우에는 어류 투입 3일까지 단백질 농도가 계속 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 어류 투입 5일 후 단백질의 최종 농도는 붕장어는 27.3 mg/L, 넙치는 25.3 mg/L 로 거의 비슷한 것으로 나타났다.

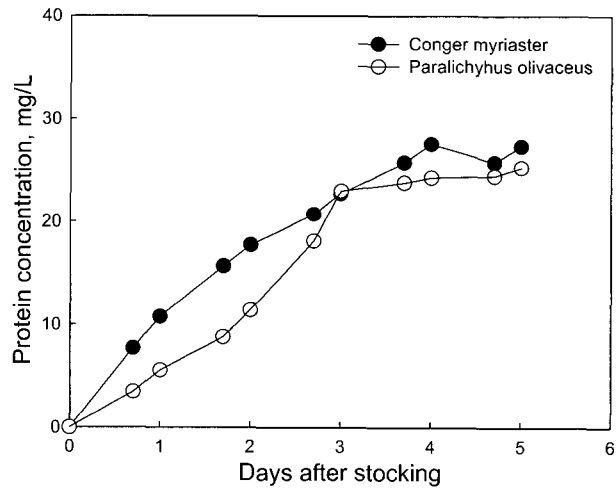


Fig. 2. Changes of protein concentration in the aquarium water stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

어류의 먹이는 가축의 먹이에 비해 단백질 성분이 높으며 (Hardy, 1999), 어류의 배설물은 수중 단백질 발생에 대한 잠재적인 요소로 작용할 수 있다 (Dapkevicius et al. 1998; Faid et al. 1997). 따라서 본 연구의 결과 수조 내 단백질의 농도가 증가하는 이유는 어류가 섭취한 먹이 중 일부가 어체 내에 소화 흡수 되지 않고 배설이 되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 어류 투입 3-4일 후에는 수조 내 단백질 농도가 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났는데, 이는 본 연구 기간 중에는 먹이를 공급하지 않았으므로, 더 이상의 단백질 성분이 어류로부터 배출 되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 3은 붕장어와 넙치에 의한 단백질 발생을 선형 회귀한 것이다. 선형 회귀 결과 붕장어와 넙치에 의한 단백질 발생은 각각 (3), (4) 식으로 표현할 수 있었다. $y=6.46x+3.01$ (3), $y=7.37x-1.66$ (4), 여기서 y는 단백질 농도 (mg/L)를 나타내고

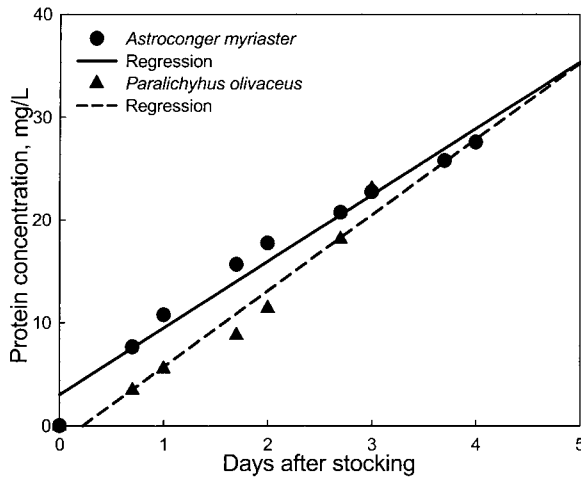


Fig. 3. The linear regression of protein concentration in the aquarium water stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

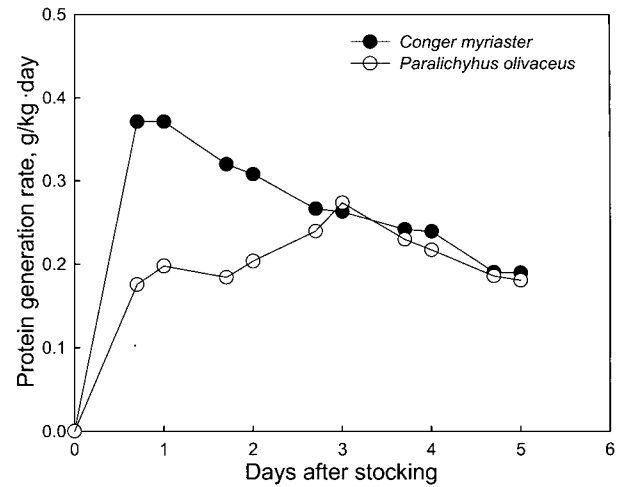


Fig. 4. Changes of protein generation rate in the aquarium water stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

x는 어류투입 시간(day)을 나타낸다. 이 식을 사용하면 어류 투입 후 1일에서 4일까지 붕장어와 넙치에 의한 초기 단백질 발생 농도를 예측할 수 있기 때문에, 이를 통하여 향후 활어수조에서 어류에 의한 생물학적 오염물 제거를 위한 포말분리장치를 설계하는 데 중요한 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단되었다. 그러나 위 식은 어류 투입 후 0.5일 이전과 어류 투입 후 4일 이후의 단백질 농도에 대해서는 잘 맞지 않는 것으로 나타났는데, 이는 어류 투입 초기에는 어류가 새로운 환경에 적응하는 단계로서 어류의 신진대사가 불규칙하게 진행될 수 있고 (Wilkie and Wood, 1996), 이로 인해 단백질 발생이 비정상적으로 진행 되는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 붕장어와 넙치에 의한 단백질의 발생 속도를 나타낸 그림이다. 붕장어는 어류 투입 1일에 단백질 발생 속도가 0.37 g/kg·day로 넙치보다 월등히 높았으며, 이 이후에는 단백질 발생 속도는 계속 감소하는 것으로 나타났다. 넙치는 어류 투입 3일까지 단백질 발생 속도가 계속 증가하여 0.27 g/kg·day이 되었다가 그 이후에는 단백질 발생 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구 기간 중에는 어류에 먹이를 공급하지 않았는데, 이로 인해 어류에 의한 배설물의 발생양도 줄어들고, 이는 곧 오염물 발생양의 감소를 의미한다. 어류에 의한 오염물은 단백질 성분의 기본 요소로 작용하는데 (Dapkevicius et al., 1998), 오염물의 발생양이 줄어들면 이로 인해 단백질의 발생속도는 감소하게 된다. 또한 평균 단백질 발생 속도는 붕장어는 0.28 g/kg·day 이었으며, 넙치는 0.21 g/kg·day 이었다.

암모니아 발생 특성

암모니아는 수중에서 비이온성 암모니아와 이온성 암모니아의 형태로 존재하는데, 수중 암모니아의 농도가 너무 높으면 어류에 독소로 작용하기 때문에 암모니아의 농도는 3 mg/L

이하로 유지되어야 한다 (Reynolds and Richards, 1996; Randall and Tsui, 2002).

Fig. 5는 붕장어와 넙치에 의한 암모니아의 발생을 나타낸 그림이다. 붕장어의 경우에는 활어수조 내 암모니아 농도가 어류 투입 2일까지는 거의 직선적으로 증가하다가 이 이후부터는 증가속도가 둔화되어 어류 투입 4일 이후에는 암모니아 농도가 거의 변화 하지 않는 것으로 나타났다. 붕장어에 의한 암모니아의 최종 발생 농도는 약 4.0 mg/L 이었다. 넙치의 경우 어류 투입 4일까지 암모니아 농도는 기울기가 완만한 직선의 형태로 증가하였으며, 이 이후에는 암모니아 농도는 거의 변화하지 않았다. 넙치에 의한 암모니아의 최종 발생 농도는 약 1.6 mg/L이었다. 이처럼 수조 내 암모니아 농도가 증가하는 것은 어류의 신진 대사에 의한 최종산물 중 액체

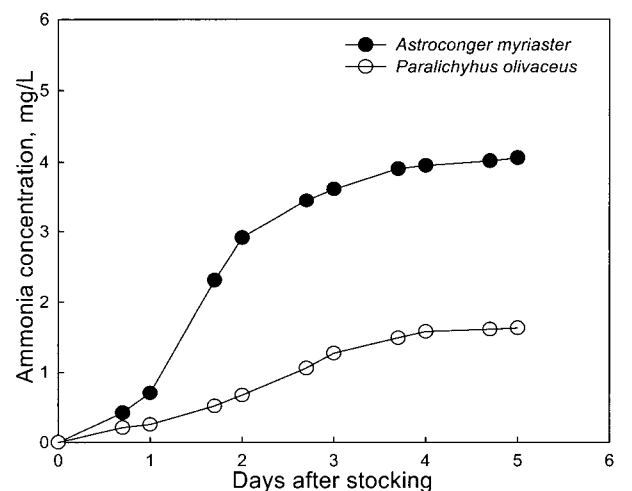


Fig. 5. Changes of ammonia concentration in the aquarium water stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

성분은 주로 암모니아 성분이 되기 때문이다 (Handy and Poxton, 1993), 또한 어류 투입 4일 이후에 수조 내 암모니아 농도가 거의 변화하지 않은 이유는 본 연구 기간 중에는 먹이 공급을 하지 않았기 때문에 어류의 신진 대사에 의한 배설물 양이 줄었기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 6은 붕장어와 넙치에 의한 암모니아 발생 속도를 나타낸 것이다. 붕장어의 경우에는 어류 투입 2일까지 암모니아 발생 속도가 증가하여 최고 0.05 g/kg·day에 이르렀으며, 이 이후에는 암모니아 발생 속도는 감소하는 것으로 나타났다. 넙치의 경우 암모니아 발생 속도는 거의 일정한 것으로 나타났으며, 암모니아 최대 발생 속도는 0.015 g/kg·day인 것으로 나타났다. 이처럼 붕장어와 넙치의 암모니아 발생 속도가 차이를 보이는 이유는 어류 마다 환경의 변화에 의한 신진대사가 다르게 나타나고 (Fabbri et al., 1998), 또한 넙치의 경우에는 붕장어보다 활동성이 적기 때문에 이로 인해 암모니아의 발생 속도에 차이를 보이는 것으로 판단된다.

평균 암모니아 발생속도는 붕장어는 0.04 g/kg·day이었으며, 넙치는 0.01 g/kg·day이었다.

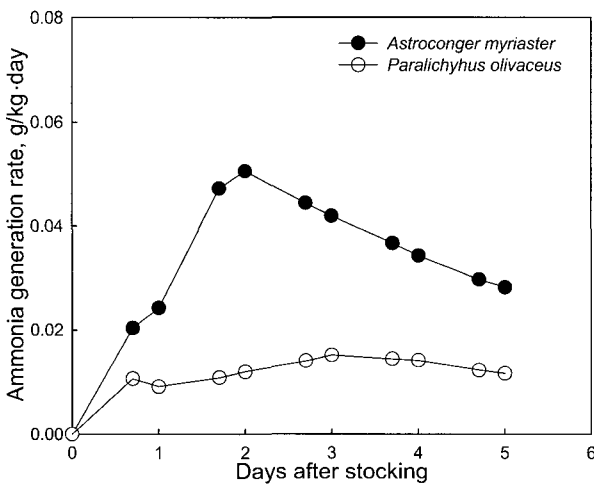


Fig. 6. Changes of ammonia generation rate in the aquarium water stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

총 부유물질 발생 특성

어류에 의한 오염물 중 총 부유물질은 입자 직경이 1 μm 이상인 고형물로서, 이러한 총 부유물질은 어류의 아가미를 손상시키고, 성장률을 둔화시키며, 생물화학적 산소 요구량을 증가 시킨다 (Wickins, 1980; Chen et al., 1993).

Fig. 7은 붕장어와 넙치에 의한 총 부유물질의 발생을 나타낸 그림이다. 붕장어의 경우 총 부유물질은 계속 증가 하여 어류 투입 5일 후에는 총 부유물질의 농도가 약 64 mg/L에 이르렀으며, 넙치의 경우에는 어류 투입 5일 후에 총 부유물질의 농도는 약 37 mg/L 에 이르는 것으로 나타났다. Roger and Klementson, (1985)은 어류 양식 시 총 부유물질의 농도를

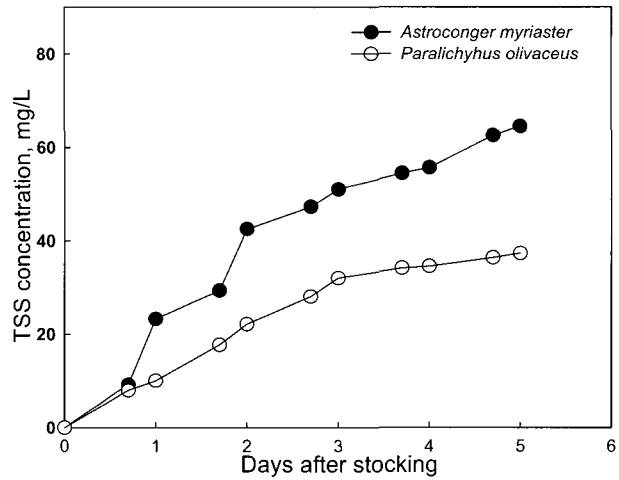


Fig. 7. Changes of TSS concentration in the aquarium stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

25-80 mg/L 이하로 유지하는 것이 좋다고 하였다. 따라서 본 연구의 결과와 비교해 볼 때 붕장어와 넙치 모두 총 부유물질의 농도는 80 mg/L 이하이었지만, 붕장어의 경우에는 총 부유물질의 농도를 다소 낮출 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

Fig. 8은 붕장어와 넙치에 의한 총 부유물질의 발생 속도를 나타낸 것이다. 붕장어와 넙치 모두 어류 투입 1일 까지는 총 부유물질의 발생 속도가 증가하여 각각 0.8 g/kg·day와 0.4 g/kg·day의 최고 발생 속도를 나타내었으며, 이 이후에는 발생 속도가 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이처럼 어류 투입 시간이 경과함에 따라 총 부유물질의 발생 속도가 감소하는 이유는 총 부유물질은 어류의 배설물에 의한 것으로 실험 기간 중 먹이를 공급하지 않았기 때문에 배설물의 양도 줄어들고, 이로 인해 총 부유물질의 발생 속도가 감소하는 것으로

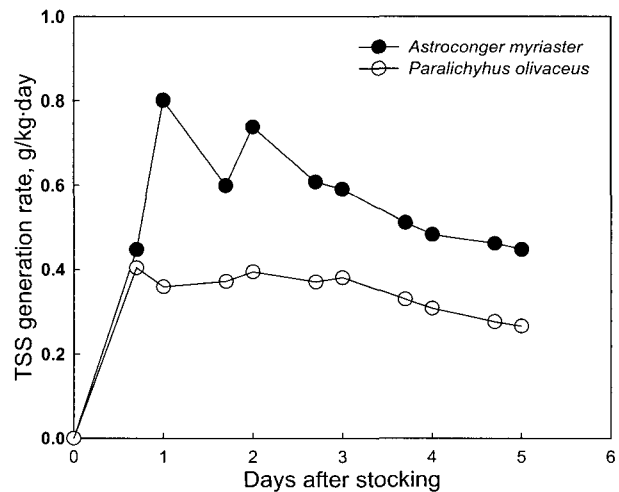


Fig. 8. Changes of TSS generation rate in the aquarium stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

판단되었다. 붕장어와 넙치의 평균 총 부유물질 발생 속도는 각각 0.57 g/kg·day와 0.35 g/kg·day인 것으로 나타났다.

화학적 산소요구량 (COD) 발생 특성

Fig. 9는 붕장어와 넙치에 의한 화학적 산소요구량(COD)의 발생을 나타낸 그림이다. 붕장어의 경우에는 어류 투입 2일까지 화학적 산소요구량이 급격히 증가하였으며, 이 이후에는 거의 변화가 없었다. 또한 붕장어에 의한 화학적 산소요구량은 어류 투입 5일 후에 약 114 mg/L에 이르는 것으로 나타났다. 넙치의 경우에는 화학적 산소요구량이 완만하게 증가하였으며, 어류 투입 5일 후 화학적 산소요구량은 약 45 mg/L이 되었다. Malladi and Ingham (1993) 은 유기성 고형물은 화학적 산소요구량은 증가시킨다고 하였다. 따라서 본 연구의 결과에서도 어류에 의한 유기성 고형물 성분이 화학적 산소요구량을 증가시킨 것으로 판단할 수 있었다.

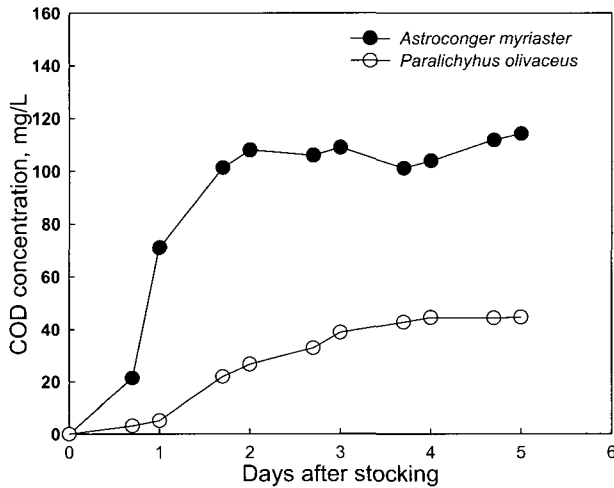


Fig. 9. Changes of COD concentration in the aquarium stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

Fig. 10은 붕장어와 넙치의 화학적 산소요구량 발생 속도를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 붕장어의 경우에는 어류 투입 1일 후에 화학적 산소요구량 발생속도가 급격히 증가하여 2.45 g/kg·day 로 최고에 이르렀고, 넙치의 경우에는 어류 투입 2일까지 화학적 산소요구량 발생 속도가 점점 증가하여, 0.48 g/kg·day에 이르는 것으로 나타났다. 또한 붕장어와 넙치의 평균 화학적 산소요구량 발생 속도는 각각 1.35 g/kg·day와 0.36 g/kg·day인 것으로 나타났다.

탁도 발생 특성

Fig. 11은 붕장어와 넙치에 의한 탁도 발생을 나타낸 그림이다. 붕장어의 경우 탁도는 계속 증가하여 어류 투입 5일 이후에는 탁도가 15 NTU까지 도달하였다, 붕장어의 경우 탁도의 발생은총 부유물질의 발생과 거의 비슷하게 나타났는데, 이는 탁도 유발 물질이 대부분 총 부유물질이기 때문

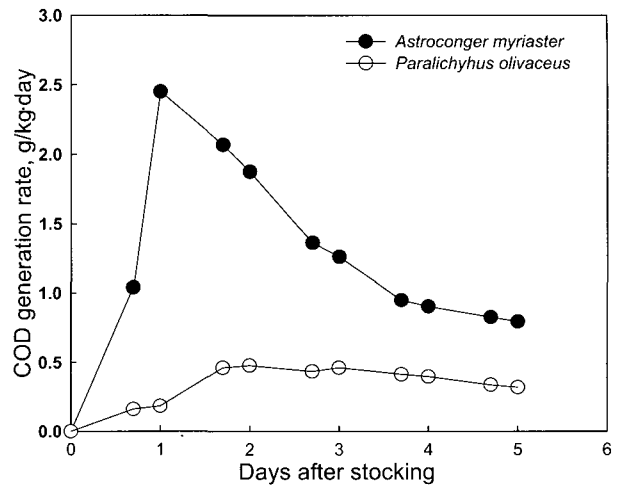


Fig. 10. Changes of COD generation rate in the aquarium stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

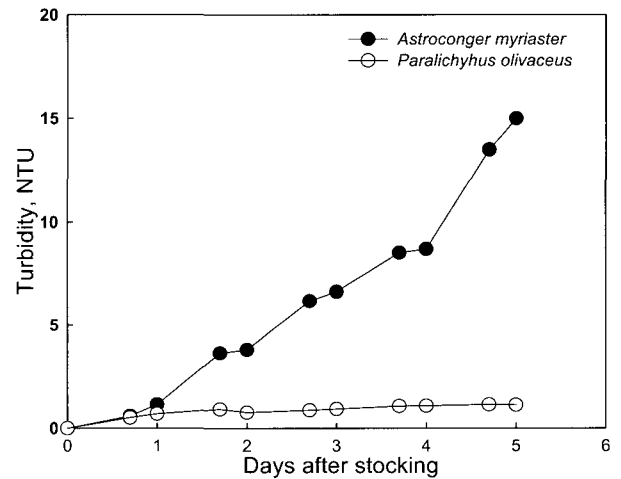


Fig. 11. Changes of turbidity in the aquarium stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

이다 (Tchobanoglous and Schroeder, 1985). 넙치의 경우에는 어류 투입 기간 중 탁도가 0.5-1.1 NTU 사이를 유지하는 것으로 나타났으며, 이 결과는 Suzuki et al. (2003)의 연구 결과보다는 다소 낮았는데, 그 이유는 Suzuki 등은 실험 시 어류에 먹이를 공급하였으나, 본 연구에서는 먹이 공급을 하지 않았기 때문에, 총 부유물질의 발생량도 적었고, 이로 인해 탁도도 낮게 유지된 것으로 판단된다.

Fig. 12는 붕장어와 넙치에 의한 탁도 발생 속도를 나타낸 그림이다. 붕장어의 경우에는 탁도 발생 속도가 계속 증가하여 0.3 NTU/kg·day에 도달하였고, 넙치의 경우에는 어류 투입 1일 이후 탁도 발생 속도가 0.07 NTU/kg·day 로 최대에 도달하였다가 이 이후에는 탁도 발생 속도가 점점 감소하는 것으로 나타났다. 또한 평균 탁도 발생 속도는 붕장어는 0.21 NTU/

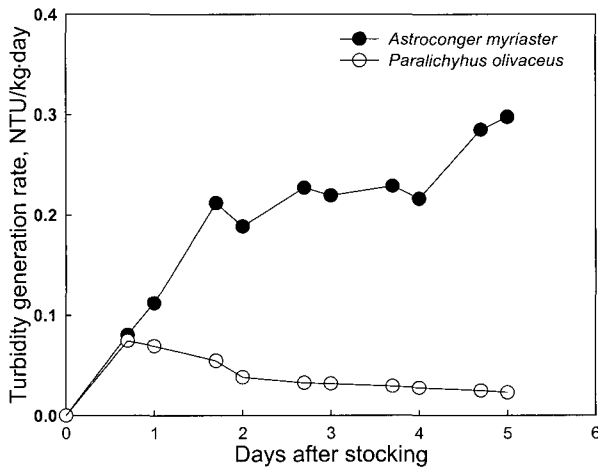


Fig. 12. Changes of turbidity generation rate in the aquarium stocked with common conger (*Astroconger myriaster*) or olive flounder (*Paralichthys olivaceus*).

kg·day이었으며, 넙치는 0.041 NTU/kg·day이었다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 기초과학연구사업 (과제번호: R01-2002-000-00042-0)에 의하여 수행된 결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

APHA, AWWA and WPCF. 1992. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 16th ed., American Public Health Association Inc., New York, pp. 132-133.

Bollag, D.M., M.D. Rozycki and S.J. Edelman. 1996. Protein Methods. 2nd ed., Wiley-Liss Inc., New York, pp. 58-61.

Chen, S., M.B. Timmons, D.J. Aneshansley and J.J. Bisogni. 1993. Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications. *Aquaculture*, 112, 143-155.

Dapkevicius, M.D.L.E., I. Batista, M.J. Robert, F.M. Rombouts and J.H. Houben. 1998. Lipid and protein changes during the ensilage of blue whiting (*Micro-mesistius poutassou* Risso) by acid and biological methods, *Food Chem.*, 63(1), 97-102.

Fabbri, E., A. Capuzzo and T.W. Moon. 1998. The role of circulating catecholamines in the regulation of fish

metabolism. *Comp. Biochem. Physiol.*, 120, 177-192.

Faid, M., A. Zouiten, A. Elmarrakchi and A. Achkari-Begdouri. 1997. Biotransformation of fish waste into a stable feed ingredient. *Food Chem.*, 60(1), 13-18.

Handy, R.D. and M.G. Poxton. 1993. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 3, 205-241.

Hardy, R.W. 1999. Aquaculture's rapid growth requirements for alternate protein sources, *Feed Managem.*, 50, 25-28.

Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193, 265-275.

Malladi, B. and S.C. Ingham. 1993. Thermophilic aerobic treatment of potato processing wastewater. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 31, 426-428.

Randall, D.J. and T.K.N. Tsui. 2002. Ammonia toxicity in fish. *Mar. Poll. Bull.*, 45, 17-23.

Reynolds, T.D. and P.A. Richards. 1996. Unit operations and processes in environmental engineering. 2nd ed., PWS Publ. Co., Boston, pp. 327.

Roger, G.L. and S.L. Klementon. 1985. Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters. *Aquacult. Eng.*, 4, 135-154.

Suzuki Y., T. Maruyama, H. Numata, H. Sato and M. Asakawa. 2003. Performance of a closed recirculating system with foam separation, nitrification and denitrification units for intensive culture of eel: towards zero emission. *Aquacult. Eng.*, 29, 165-182.

Tchobanoglous, G. and E.D. Schroeder. 1985. *Water Quality*. Addison-Wesley Publ. Co., Menlo Park, California, pp. 56-57.

Wickins, J.F. 1980. Water quality requirement for intensive aquaculture. In: *A Review, Symposium on New Developments in the Utilization of Heated Effluents and Recirculation Systems or Intensive Aquaculture*. EIFAC, 11th. session, Stavanger, Norway, pp. 245-252.

Wilkie, M.P. and C.M. Wood. 1996. The adaptations of fish to extremely alkaline environments. *Comp. Biochem. Physiol.*, 113B(4), 665-673.

2004년 7월 8일 접수
2004년 12월 6일 수리