

활어수조에서 넙치 사육시 포말분리장치를 이용한 오염물 제거

신정식 · 이창근 · 정호수 · 이민수¹ · 이진경 · 서근학*
부경대학교 화학공학과, ¹부산광역시 환경시설공단

Removal of Waste Generated by Flounder (*Paralichthys olivaceus*) in Aquarium using a Foam Separator

Jeong-Sik SHIN, Chang-Kuen LEE, Ho-Su JEONG, Min-Su LEE¹,
Jin-Kyung LEE and Keun-Hack SUH*

Division of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
¹Busan Metropolitan City Environmental Installations Corporation, Busan 607-830, Korea

Removal of waste generated by *Paralichthys olivaceus* in the seawater aquarium using a foam separator was investigated. Protein concentration without a foam separator continuously increased until 3 days after stocking and reached at 25 mg/L after 5 days stocking, but protein concentration became lower than the initial protein concentration (2.5 mg/L) with a foam separator. The trends of other fish wastes such as ammonia, total suspended solids (TSS) and chemical oxygen demand (COD) were similar to protein. Dissolved oxygen (DO) in the aquarium decreased below 6.0 mg/L without a foam separator, but with a foam separator the average DO in the aquarium was 7.3 mg/L. Foam separation with the increase of superficial air velocity (SAV) was more effective than that with the fixed SAV. This study showed that wastewater treatment of seawater aquarium using a foam separator is effective method for a fish waste removal and oxygen supply.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, Fish wastes, Foam separation, Aquarium, SAV

서론

활어수조에서 어류에 의한 생물학적 오염물은 어류의 생존에 큰 영향을 줄 수 있다. 이에 활어업소에서는 34일에 한번씩 수조용수를 교환해 주고 있으나, 최근에는 담수나 해수의 오염으로 안정적인 수조용수의 공급이 어려운 실정이다. 수중에서 어류에 의한 배설물 등은 생물학적 분해에 의해 단백질로 전환이 되고 (Dapkevicius et al., 1998; Faid et al., 1997) 최종적으로 암모니아가 발생하게 된다. 수중환경에 암모니아가 존재할 경우 어류에 치명적인 영향을 미치기 때문에 단백질을 암모니아로 전환되기 이전에 신속히 제거할 필요가 있다. 최근에는 어류에 의한 생물학적 오염물 제거 방법으로 포말분리공정이 연구되고 있다.

포말분리공정은 외부로부터 시스템 내부로 유입되는 기포에 오염물을 흡착하여 시스템 외부로 제거하는 방법으로써 포말분리가 수행되기 위해서는 목적물질, 즉 제거하고자 하는 물질이 계면활성물질일 경우에 적용할 수 있는 방법이다. 그런데 어류에 의한 생물학적 오염물 중 단백질 성분은 그 구조적 특성이 계면활성물질 역할을 할 수 있기 때문에 포말분리공정을 어류에 의한 오염물 제거 공정에 적용할 경우 별도로 계면활성물질을 첨가하지 않아도 포말분리를 가능하게 할 수 있기 때문에 매우 적합한 공정이라 할 수 있다 (Battacharjee

et al., 2001; Suh et al., 2001).

외국의 경우에는 1970년대부터 포말분리공정을 어류에 의한 오염물 제거에 적용하기 위한 연구가 진행되었다. Dwivedy (1973)는 어패류 양식에서 포말분리공정을 통해 용존 유기물 제거에 효과가 있음을 확인하였으며, Maruyama et al. (1996)와 Suzuki et al. (2003)는 포말분리와 여과공정 또는 응집공정을 조합한 결과 양식장 순환수 중의 오염물 제거에 효과가 있음을 확인하였다.

국내의 경우 Suh and Lee (1997)는 양어장 순환수에 포말분리공정을 적용하여 포말분리의 적용가능성을 확인하였으며, Min and Kang (2000)은 미세입자 여과기와 포말분리장치를 조합하여 넙치에 의한 오염물 제거에 대해 연구하였다. 이와 같이 외국의 경우 주로 담수어에 대한 선호가 높기 때문에 해수어에 대한 연구가 부족하였고, 국내의 경우 비교적 규모가 큰 양식장 순환수 중 오염물 제거에 대한 연구와 포말분리와 다른 장치를 조합한 연구가 대부분이다. 또한 비교적 규모가 작은 활어수조에서의 오염물 제거에 대한 연구는 거의 없다.

본 연구에서는 현재 국내에서 가장 많이 소비되고 있는 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)를 사육하면서, 포말분리 수행 유무에 따른 활어수조 내 어류 오염물의 농도 변화에 대한 실험을 수행하여 포말분리장치에 대한 효율성을 검토하였다.

*Corresponding author: khsuh@pknu.ac.kr

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 115 cm, 세로 70 cm, 높이 110 cm이었고, 수조의 저수용량은 350 L이었다. 또한 재순환 펌프의 순환량은 1,000 L/hr이었다.

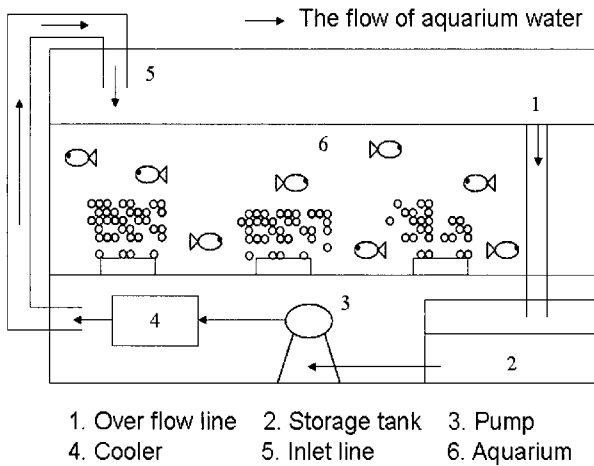
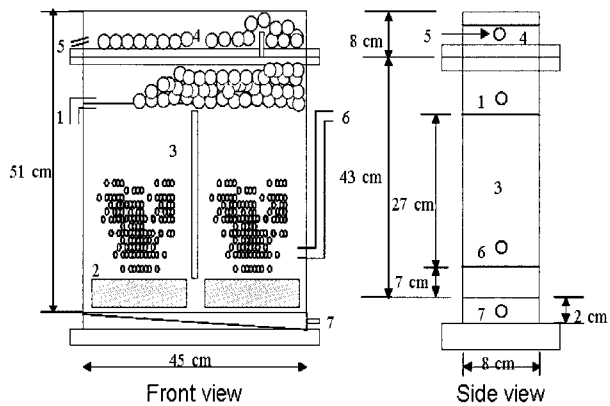


Fig. 1. Schematic drawing of the aquarium used for the experiment.

본 연구에서는 세 가지 방법으로 실험을 수행하였는데, 첫 번째 방법 (method 1)은 포말분리를 수행하지 않고 넙치를 사육하면서 어류 투입 시간에 따른 활어수조 내 오염물의 농도 변화를 측정하였으며, 두 번째 방법 (method 2)은 포말분리를 수행하면서 넙치를 사육하되 포말분리장치의 공압 공기 속도를 1.0 cm/sec로 고정시킨 후 활어수조 내 오염물의 농도 변화를 측정하였다. 세 번째 방법 (method 3)은 두 번째 방법과 동일하며 다만 어류 투입 2일 이후에 포말분리장치의 공압 공기속도를 1.5 cm/sec로 증가시킨 후 활어수조 내 오염물의 농도 변화를 측정하였다.

생물학적 오염물 발생에 필요한 넙치의 최초 무게는 첫 번째 방법에서는 9.8 kg이었으며, 두 번째와 세 번째 방법에서는 10 kg이었다. 이 때, 활어수조수의 부피를 기준으로 한 넙치의 어류밀도는 각각 2.8%와 3.0%이었다. 넙치의 호흡에 필요한 산소는 외부로부터 공기펌프와 공기 분산기를 이용하여 활어수조로 공급해 주었다. 실험은 총 5일간 수행하였으며, 실험기간 중 사료는 공급하지 않았다. 수질분석을 위한 채수는 오전 10시와 오후 5시로 하루 2회 하였고, 채수 장소는 재순환수의 유입부분, 활어수조의 가운데 부분 및 유출구 부분 등 3곳에서 하였다.

Fig. 2는 두 번째 방법과 세 번째 방법에서 포말분리를 위해 본 연구에서 사용한 포말분리장치를 나타낸 그림이다. 이 포말분리장치를 Fig. 1의 유입구 (5)에 설치하여 수조의 재순환수가 포말분리장치를 거쳐 다시 수조로 유입되도록 하였다. 포말분리장치는 길이 45 cm, 높이 51 cm, 너비 8 cm가 되도록 아크릴판을 사용하여 제작하였으며, 액 본체 부피는 10 L이었다. 장치하부에는 길이 20 cm, 직경 5 cm인 산화알루미늄 재질의 공기 분산기를 설치하여 기포가 균일하게 발생하도록 하였으며, 유입되는 공기의 양은 유량조절계 (Dwyer Instrument Ltd.)를 사용하여 조절하였다. 또한 장치 중간에 방해판을 설치하여 유입수와 기포가 충분히 접촉할 수 있도록 하였으며, 포말분리장치에서의 수력학적 체류시간 (HRT)은 0.6분이었다. 이 때 실험 기간, 채수 시간 및 채수 장소는 첫 번째 방법과 동일했다.



1. Inlet line 2. Air distributor 3. Baffle 4. Foam riser tube
5. Foam output 6. Outlet line 7. Waste out

Fig. 2. Schematic diagram of a foam separator.

실험 재료 및 분석 방법

수조용수는 담수를 인공해수시약 (Colalife, USA)으로 염도를 30 PSU로 맞추는 후 사용하였다. 단백질의 농도 분석은 Lowry의 방법 (Lowry et al., 1951)과 UV-280 methods (Bollag et al., 1996)에 의해 수행하였으며, 총부유성 고형물 (TSS)의 농도는 standard method (APHA et al., 1992)에 따라 GF/C 유리 섬유를 이용하여 진공여과법으로 분석하였다. 암모니아는 이온선택전극을 장착한 이온선택전극측정기 (Orion 720A)를 이용하여 측정하였으며, 화학적 산소요구량 (COD)은 COD측정기 (Humas)를 이용하여 측정하였다. 용존산소량 (DO)은 용존산소 측정기 (YSI-52)를 이용하여 측정하였다.

수조 내 오염물 농도 계산

수조 내 오염물의 농도는 각 채수 장소에서의 결과 값을 평균하여 다음과 같이 계산하였다.

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

- 여기서, C_A : A성분의 농도 [mg/L]
- C_{A1} : 재순환수 유입부분에서의 A성분의 농도 [mg/L]
- C_{A2} : 활어수조 가운데부분에서의 A성분의 농도 [mg/L]
- C_{A3} : 유출구 부분에서의 A성분의 농도 [mg/L].

포말 생성 속도 계산

포말분리에 의한 포말 생성 속도는 시간에 따른 포말 생성량을 측정하여 다음과 같이 계산하였다.

$$F = \frac{t_b - t_a}{M} \tag{2}$$

- 여기서, F : 포말 생성 속도 [L/hr]
- M : 포말 생성 양 [L]
- $t_b - t_a$: 샘플 채수 시간 간격 [hr].

결과 및 고찰

단백질 농도 변화

Fig. 3은 어류 투입 시간에 따라 포말분리 수행을 하지 않은 경우 (method 1), 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 (method 2) 및 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지하다 어류 투입 2일 경과 후 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우 (method 3)에 수조 내 단백질의 농도 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 포말분리 수행을 하지 않은 경우 수조 내 단백질의 농도는 어류 투입 3일 후에 25 mg/L까지 증가하였으나, 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우에는 어류 투입 5일이 경과하여도 수조 내 단백질 농도가 초기 단백질 농도인 2.5 mg/L 보다 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 수중에서 단백질은 계면활성물질로 작용할 수 있고

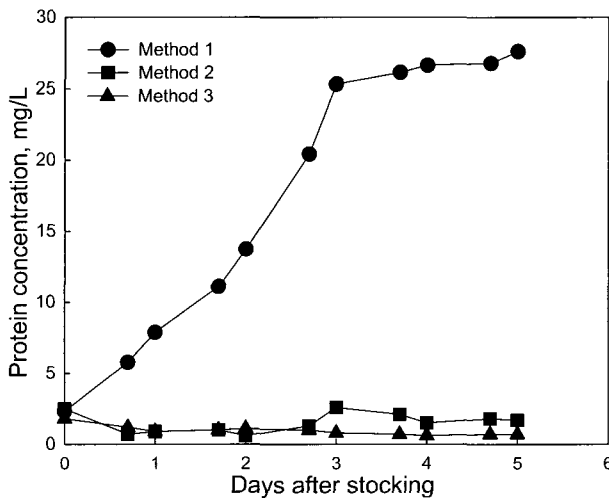


Fig. 3. Changes of protein concentration in the aquarium water.

(Chen, 1993), 이러한 계면활성물질은 포말분리에 의해 제거되는 주요 성분이다 (Weeks et al., 1992). 따라서 본 연구에서도 포말분리에 의해 단백질이 효과적으로 제거됨에 따라 수조 내 단백질 농도가 초기 농도보다 낮게 유지되는 것으로 판단할 수 있었다.

Fig. 3에서 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 (method 2) 어류 투입 1일에서 2일까지 수조 내 평균 단백질 농도는 0.8 mg/L이었으며, 어류 투입 3일 이후의 평균 단백질 농도는 1.8 mg/L인 것으로 나타났다. 따라서 어류 투입 3일 이후에는 어류 투입 초기보다 단백질 농도가 비교적 높은 것을 알 수 있었는데, 이는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 어류 투입 2일 이후에는 포말 생성 속도가 점차 감소하여 어류 투입 3일 이후에는 0.05 L/hr 이하로 떨어지는 것으로 나타났다 (method 2). 포말 생성은 수조 내 단백질 농도에 영향을 받는데 (Suh et al., 2003), 어류 투입 초기에는 어류에 의해 계속적으로 오염물이 발생하고, 이러한 오염물이 단백질로 전환되어 포말분리가 수행 될 수 있었으나, 시간에 지남에 따라 어류에 의해 발생하는 오염물의 양도 줄어들고, 포말분리에 의해 단백질이 제거됨으로써 수조 내의 단백질 농도가 낮게 유지 되므로, 포말 생성 양이 감소하고, 이에 따라 포말 생성 속도도 감소되는 것으로 판단된다.

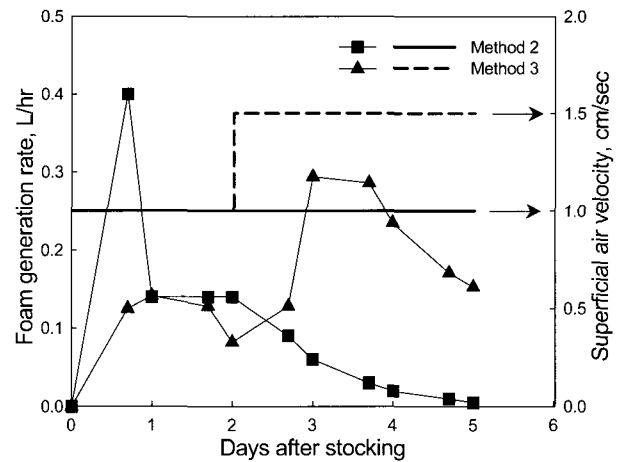


Fig. 4. Changes of foam generation rate and superficial air velocity using a foam separator.

포말분리 수행 시 공탑 공기속도는 포말 생성에 영향을 미칠 수 있다 (Suh et al. 2003). 일반적으로 공탑 공기속도를 증가시킬 경우 단위 시간당 발생하는 기포의 양이 많아지므로 포말 생성 속도는 증가하게 된다. 그러나 공탑 공기속도가 너무 클 경우 포말 생성 속도가 너무 빨라져서, 포말의 농축이 제대로 일어나지 않는다. 따라서 포말분리 시 공탑 공기속도는 적절하게 유지해야 할 필요가 있다 (Kim et al., 2001). Chai et al.(1998)은 포말분리가 안정적으로 되기 위한 공탑 공기속도는 0.5-2 cm/sec 사이라고 보고하였다. 이는 공탑 공기속도

가 0.5 cm/sec 이하가 되면 공기가 완전하게 공기 분산기를 빠져 나오지 않기 때문에 포말분리에 어려움이 있고, 공탑 공기속도가 2 cm/sec 이상이 되면 난류가 형성이 되어 역혼합이 일어나고 기포가 빠르게 포말 분리관의 상부로 올라가기 때문에 포말분리가 잘 되지 않는다고 하였다. 이에 본 논문의 저자는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 어류 투입 1-2일까지는 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec으로 포말분리를 수행하다가, 포말 생성 속도가 0.1 L/hr 이하로 감소할 경우 공탑 공기속도를 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말 생성 속도를 0.1 L/hr 이상으로 유지하면서 포말분리 수행에 따른 오염물 농도 변화에 대한 실험을 추가적으로 수행 하였다 (method 3).

Fig. 3에서 보는 바와 같이 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지하면서 포말분리를 수행한 경우 (method 2)에는 수조 내 단백질 농도가 어류 투입 3일 이후에 1.8 mg/L 정도로 유지되었으나, 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우 (method 3)에는 수조 내 단백질 농도가 실험 기간 중 1.0 mg/L 이하로 유지되는 것으로 나타났다. 이는 공탑 공기속도가 증가하면서, 동일한 시간에서 발생하는 기포의 양이 더욱 많아져서 보다 많은 단백질이 기포에 흡착되어 제거되었기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 결과를 정리하면 포말분리에 의해 수조 내 단백질 농도가 초기 단백질 농도보다 낮게 유지되었으며, 또한 포말 분리시 공탑 공기속도를 증가시켜 포말 생성 속도를 0.1 L/hr 이상으로 유지시킬 경우 수조 내 단백질 농도가 보다 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 포말분리에 의해 수조 내 단백질이 효과적으로 제거되었으며, 공탑 공기속도를 증가시킴으로써 단백질을 보다 효과적으로 제거할 수 있었다.

암모니아 농도 변화

암모니아는 수중에서 비이온성 암모니아와 이온성 암모니아의 형태로 존재하는데, 수중 암모니아의 농도가 너무 높으면 어류에 독소로 작용하기 때문에 암모니아의 농도는 2-3 mg/L 이하로 유지되어야 한다 (Reynolds and Richards, 1996; Randall and Tsui, 2002).

수중 환경에서 어류에 의한 암모니아를 제거하는 방법에는 생물학적 필터를 사용하는 방법 (Tseng and Wu, 2004), 회전원판반응기를 이용하는 방법 (Kim et al., 1998), 미생물고정화에 의한 방법 (Suh et al., 1997) 등 주로 미생물을 이용하는 방법이 사용되고 있다. 그러나 미생물에 의한 방법은 균을 배양하는데 시간이 오래 걸리고, 오염물 농도에 따라 미생물이 저해를 받을 수 있기 때문에 운전이 어려움이 있다. 본 연구에서는 포말분리에 의한 암모니아 제거 효과에 대해 알아보았다.

Fig. 5는 어류 투입 시간에 따라 포말분리 수행을 하지 않은 경우 (method 1), 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 (method 2) 및 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우 (method 3)에 수조 내 암모니아의 농도 변화를 나타낸 그림이다. 포말분리 수행을 하지 않은 경우 암모니아 농도는 어류

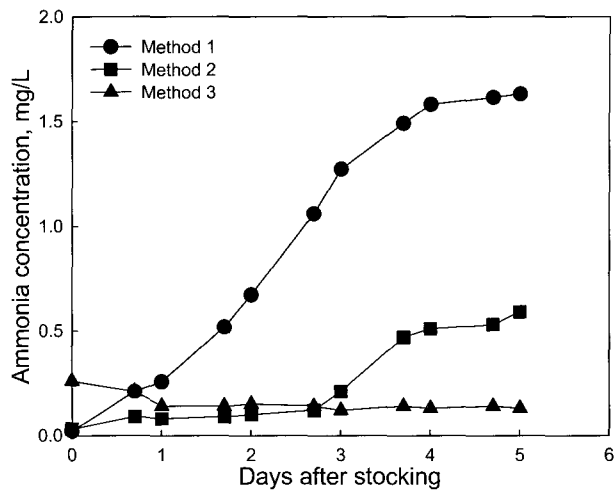


Fig. 5. Changes of ammonia concentration in the aquarium water.

투입 4일 이후에 1.6 mg/L까지 증가하였으며, 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우에는 어류 투입 3일까지 암모니아 농도가 0.1 mg/L 정도로 낮게 유지되었다. 그러나 어류 투입 3일 이후에는 암모니아의 농도가 증가하여 어류 투입 5일 때에는 0.6 mg/L에 달하는 것으로 나타나서 수조 내의 평균 암모니아 농도는 0.26 mg/L인 것으로 나타났다. Wheaton (1977)은 포말분리에 의해 암모니아가 계면활성물질과 함께 기포에 흡착되어 포말의 형태로 제거된다고 하였다. 따라서 본 연구의 결과에서도 포말분리에 의해 수조 내의 단백질뿐만 아니라, 암모니아와 같은 생물학적 분해 산물도 효과적으로 제거 되는 것을 알 수 있었다. Suh and Lee (1997), Min and Kang (2000)은 그의 연구에서 포말분리에 의한 암모니아 제거 가능성을 확인하였다. 또한 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우 (method 3)에는 수조 내 암모니아 농도가 0.13 mg/L로 낮게 유지되는 것으로 나타났다. 이는 공탑 공기속도가 증가하면 동일한 시간에 발생하는 기포의 양도 많아지고 이로 인해 보다 많은 계면활성물질이 흡착되기 때문이다. 기포에 계면활성물질이 많이 흡착될 경우 암모니아도 흡착될 수 있는 빈도수가 증가하기 때문에 결과적으로 수조 내 암모니아농도가 낮아지는 것으로 판단된다. 따라서 암모니아의 경우도 단백질과 마찬가지로 포말분리에 의해 효과적으로 제거되는 것으로 나타났으며, 또한 공탑 공기속도를 증가시킬 경우 보다 효과적으로 제거할 수 있는 것으로 나타났다.

총부유성 고형물 농도 변화

어류에 의한 생물학적 오염물중 미세 고형물은 직경이 20 μm 이하의 물질로서 제거하기가 쉽지 않다. Chapman et al. (1987)은 미세 입자의 축적으로 인해 어류가 폐사 할 수도 있다고 보고 하였으며, Major (1998)는 총부유성 고형물의 농도가 44 mg/L 이상이 되면, 어류의 아가미에 나쁜 영향을

줄 수 있다고 보고 하였다.

Fig. 6은 어류 투입 시간에 따라 포말 분리 수행을 하지 않은 경우 (method 1), 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 (method 2) 및 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우 (method 3)에 수조 내 총부유성 고형물의 농도 변화를 나타낸 그림이다. 포말분리 수행을 하지 않은 경우 수조 내 총부유성 고형물의 농도는 계속 증가하여 어류 투입 5일 이후에는 총부유성 고형물의 농도가 40 mg/L 이상되는 것으로 나타났으며, 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 수조 내 총부유성 고형물의 농도는 평균 3.1 mg/L 정도되는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 6에서 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 (method 2) 어류 투입 초기에 비해 어류 투입 3일 이후에 총부유성 고형물의 농도가 더 높게 유지되는 것으로 나타났는데, 이는 단백질 및 암모니아 농도 변화에서 언급했듯이 어류 투입 2일 이후에 포말 생성 속도가 급격히 감소하면서 포말분리가 효율적으로 수행되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우 (method 3)에는 총부유성 고형물의 농도가 어류 투입 5일 이후에 1.7 mg/L까지 감소하는 것으로 나타났다. Peng and Jo (2003)은 그의 논문에서 공탑 공기속도가 증가할수록 총부유성 제거속도는 빨라지고, 이로 인해 수조 내 총부유성 고형물의 농도도 낮게 유지된다고 보고하고 있다. 따라서 본 연구의 결과 포말분리에 의해 수조 내의 총부유성 고형물의 농도가 효과적으로 제거 되는 것으로 나타났으며, 공탑 공기속도를 증가시킬 경우 총부유성 고형물을 보다 효과적으로 제거할 수 있는 것으로 나타났다. Suzuki and Maruyama (2002), Peng and Jo (2003) 등은 포말분리에 의한 총부유성 고형물이 효과적으로 제거된다고 보고한 바 있다.

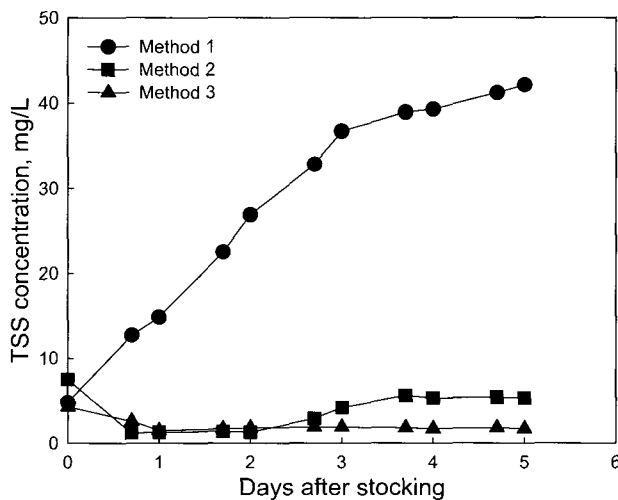


Fig. 6. Changes of total suspended solids in the aquarium water.

화학적 산소요구량 (COD) 변화

Fig. 7은 어류 투입 시간에 따라 포말분리 수행을 하지 않은 경우 (method 1), 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 (method 2) 및 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우 (method 3)에 수조 내 화학적 산소요구량의 변화를 나타낸 그림이다. 포말분리 수행을 하지 않은 경우 수조 내 화학적 산소요구량은 계속 증가하여 어류 투입 5일 이후에 55 mg/L에 달하였으며, 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 수조 내 평균 화학적 산소요구량은 16 mg/L이었다. 또한 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우에는 수조 내 화학적 산소요구량이 어류 투입 5일 이후에도 12 mg/L 정도로 유지되는 것으로 나타났다. 화학적 산소요구량은 유기성 고형물에 의한 것으로 (Malladi and Ingham, 1993) 포말분리에 의해 유기성 고형물이 효과적으로 제거되고, 포말분리 수행 시 공탑 공기속도를 증가시킬 경우 총부유성 고형물의 제거 속도는 증가하기 때문에 (Peng and Jo, 2003) 이로 인해 화학적 산소요구량도 감소하여 수조 내 화학적 산소요구량도 낮게 유지되는 것으로 판단된다. 따라서 포말분리에 의해 수조 내 화학적 산소요구량을 낮게 유지시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 또한 공탑 공기속도를 증가시킬 경우 수조 내 화학적 산소요구량을 보다 낮게 유지시킬 수 있는 것으로 나타났다.

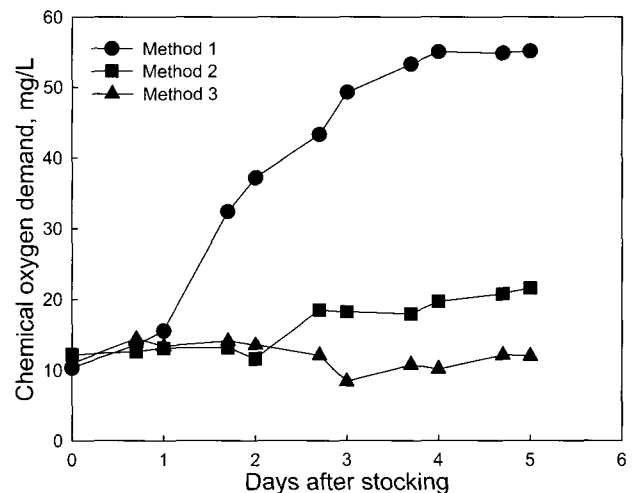


Fig. 7. Changes of chemical oxygen demand in the aquarium water.

용존산소 (DO) 변화

수조 내의 용존산소 (DO)와 온도는 어류의 생존과 성장에 중요한 요소가 된다 (Christia and Regier, 1988). Fig. 8은 어류 투입 시간에 따른 수조 내 용존산소의 변화를 포말분리 수행을 하지 않은 경우 (method 1), 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우 (method 2) 및 공탑

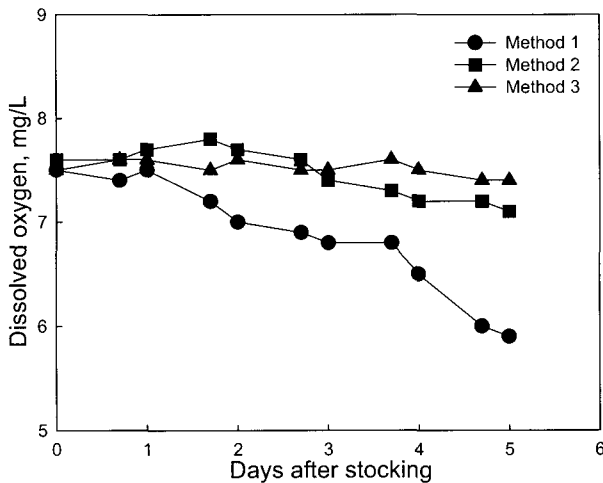


Fig. 8. Changes of dissolved oxygen in the aquarium water.

공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우 (method 3)에 따라 비교한 그림이다. 포말분리 수행을 하지 않은 경우 수조 내 용존산소 농도는 계속 감소하여 어류 투입 5일 후에는 용존산소 농도가 6.0 mg/L 이하로 떨어지는 것으로 나타났다. 반면에 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시키면서 포말분리를 수행한 경우에는 수조 내 용존산소 농도가 평균 7.3 mg/L 정도로 유지되는 것으로 나타났으며, 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec에서 1.5 cm/sec로 증가시켜 포말분리를 수행한 경우에는 어류 투입 5일 이후에도 수조 내 용존산소량이 7.4 mg/L 정도로 높게 유지되는 것으로 나타났다. 따라서 포말분리는 단백질, 암모니아, 총부유성 고형물, 화학적 산소요구량 등과 같은 어류에 의한 오염물 제거에도 효과적일 뿐 만 아니라 수조 내 산소의 공급에도 효과적인 것을 알 수 있었다. Kim (2002)은 그의 논문에서 포말분리는 양식 폐기물 제거와 용존산소 공급에 효과적이라고 보고하였다. 또한 공탑 공기속도를 1.5 cm/sec로 증가시킬 경우 수조 내 용존 산소 농도가 공탑 공기속도를 1.0 cm/sec로 유지시킬 경우보다 좀더 높게 유지 되었는데, 이는 공탑 공기속도가 증가할 경우 동일한 시간에서 발생하는 기포의 양도 많아지고, 이로 인해 수조 내로 전달되는 산소의 양도 많아지기 때문에 수조 내 용존산소의 양도 높게 유지되는 것으로 판단된다.

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 Wasterwater. 16th ed.,

American Public Health Association Inc., New York, pp. 132-133.

Battacharjee, S., R. Kumar and K.S. Gandhi. 2001. Modeling of protein mixture separation in a batch foam column. Chem. Eng. Sci. 56, 5499-5510.

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

Chai, J., V. Loha, A. Prokop and R.D. Tanner. 1998. Effect of bubble velocity and pH step changes on the foam fractionation of sporamin. J. Agric. Food Chem., 46, 2868-2872.

Chapman, P.E., J.D. Popham, J. Griffin and J. Michaelson. 1987. Differentiation of physical from chemical toxicity in solids waste fish bioassay. Water Air Soil Poll., 33, 295-308.

Chen S, M.B. Timmons, J.J. Bisogni and D.J. Aneshansley. 1993. Suspended-solids removal by foam fractionation. Progress. Fish-Cult., 55(2), 69-75.

Christia, C.G. and H.A. Regier. 1988. Measurements of optimal habitat and their relationship to yields for four commercial fish species. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 45, 301-314.

DapkeviEius, 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.

Dwivedy, R.C. 1973. Removal of dissolved organics through foam fractionation in closed cycle systems for oyster production. Am. Soc. Agricult. Eng., 73-561.

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.

Kim, B.J. 2002. The foam separation process for the removal of contaminant in seawater. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, pp. 73. (in Korean)

Kim, B.J., J.H. Lee, S.K. Kim, Y.H. Kim, G.B. Yi and K.H. Suh. 2001. The removal of aquacultural wastes by foam separator from sea water - III. The effect of superficial air velocity. J. Kor. Insti. Chem. Eng., 39(1), 123-129. (in Korean)

Kim, B.J., S.I. Lim and K.H. Suh. 1998. Ammonia removal by using RBC in recirculating aquaculture system. J. Kor. Fish. Soc., 31(5), 622-630. (in Korean)

Kim, Y.H., C.S. Seo, S.H. Lee, K.H. Suh, B.J. Kim, J.K. Cheon and J.Y. Jo. 2002. Performance of parallel

- current air driven type foam separator in a pilot-scale recirculating aquaculture system. J. Kor. Fish. Soc., 35(2), 140-145. (in Korean)
- 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.
- Major, B.G. 1988. Gill histopathology of juvenile *Onchorynchus kisutch* exposed to suspended wood debris. Can. J. Zool, 66, 2164-2169.
- Malladi, B. and S.C. Ingham, 1993. Thermophilic aerobic treatment of potato processing wastewater. World J. Microbiol. Biotechnol. 31, 426-428.
- Maruyama, T., M. Okuzumi and Y. Satoh. 1996. The purification of rearing seawater of Japanese flounder with the closed foam separation-filtration system. J. Jap. Soc. Sci. Fish, 62(4), 578-585.
- Min, B.S. and P.A. Kang. 2000. Rearing olive flounder *Paralichthys olivaceus* in a water reuse system with mineral particles and foam fractionator. J. Aquacult, 13(3), 223-230. (in Korean)
- Peng, L. and J.Y. Jo. 2003. Removal of total suspended solids by a foam fractionator in a simulated seawater aquaculture system. J. Aquacult., 16(4), 216-222.
- Randall, D.J. and T.K.N. Tsui. 2002. Ammonia toxicity in fish. Marine 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.
- Suh, K.H. and M.G. Lee. 1997. Foam separation of in recirculating aquaculture system, J. Kor. Fish. Soc., 30(2), 239-243. (in Korean)
- Suh, K.H., J.S. Shin and J.H. Lee. 2003. The effective factors of a foam generation using foam condensate. J. Kor. Fish. Soc., 36(5), 509-514. (in Korean)
- Suh, K.H., B.J. Kim and S.K. Kim. 2001. The removal of aquacultural waste by foam separator from sea water. J. Kor. Insti. Chem. Engin., 39(2), 237-244.
- Suh, K.H., Y.H. Kim and K.H. Ahn. 1997. Removal of ammonia-N by using the immobilized nitrifier consortium in aquaculture system. J. Kor. Fish. Soc., 30(5), 868-873. (in Korean)
- Suzuki, Y. and T. Maruyama. 2002. Removal of suspended solids bt coagulation and foam separation using surface active protein. Water Res., 36, 2195-2204.
- 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 fir intensive culture of eel: towards zero emission. Aquacult. Eng., 29, 165-182.
- Tseng, K.F. and K.L. Wu. 2004. The ammonia removal cycle for a submerged biofilter used in a recirculating eel culture system. Aqua. Eng., 31, 17-30.
- Wheaton, F.W. 1977. Aquacultural Engineering. Wiley-Interscience. New York, pp. 538-555.
- Weeks, N.C., M.B. Timmons and S. Chen. 1992. Feasibility of using foam fractionation for the removal of dissolved and suspended solids from culture water. Aqua. Eng., 11, 251-265.

2004년 8월 12일 접수

2004년 12월 13일 수리