

활어수조의 포말분리 - 단백질 농도 영향

신정식, 정호수, 서근학*
 부경대학교 화학공학과
 (khsuh@pknu.ac.kr*)

Effect of protein concentration on foam separation in a seawater aquarium

Jeong-Sik Shin, Ho-Su Jeong and Kuen-Hack Suh*
 Department of Chemical Engineering, Pukyong National University
 (khsuh@pknu.ac.kr*)

서론

활어수조의 가장 중요한 기능은 활어를 항상 신선한 상태로 유지해야 하는 것이다. 그러나 사료의 찌꺼기나 어류의 배설물 등에 의해 수조 내 생물학적 오염물이 증가하여 수조의 수질을 악화시키고(1), 이로 인해 어류가 폐사하기도 한다.

최근에는 수중의 생물학적 오염물을 제거하는 방법으로 연구되어지고 있는 포말분리법(2)은 장치의 구조가 간단하면서 어류에 유해한 부유성 고형물, 용존 유기물 등을 동시에 제거할 수 있을 뿐만 아니라 어류에 필요한 용존산소도 공급할 수 있어 활어수조에 대한 적용 가능성이 매우 높다.

본 연구에서는 포말분리장치를 활어수조에 설치하여 활어수조내의 단백질, 총부유성 고형물 등의 오염물 제거속도를 구하여, 이를 토대로 실제 활어수조에 설치할 수 있는 포말분리 장치의 개발에 필요한 초기 단백질 농도 변화에 따른 단백질 및 총부유성 고형물의 제거 특성을 연구하였다.

실험

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 활어수조를 나타낸 것이다. 수조 내의 물은 유출구를 통해 장치하부의 저수조로 유입되고, 저수조의 물은 재순환 펌프에 의해 냉각기를 거쳐 유입구를 통해 다시 수조 내로 유입된다. 이 때 수조 내의 물은 냉각기에 의해 항상 15 ± 0.5 °C로 유지된다. 활어수조의 규격은 가로 115 cm, 세로 70 cm, 높이 110 cm 이었고, 수조의 저수용량은 350 L 이었다. 재순환 펌프의 순환량은 1000 L/hr 이었으며, 순환수의 유입구 쪽에 by pass line 과 활어수조 내의 생물학적 오염물 제거를 위해 포말분리장치를 설치하였다. 또한 by pass line 쪽에 밸브를 설치하여 포말분리장치의 유입량을 조절할 수 있도록 하였다.

수조용수는 담수를 인공해수시약(Colalife, USA)으로 염도를 30 ‰로 맞춘 후 사용하였으며, 수조의 단백질 농도는 부경대학교 부속 양어장에서 수거된 포말농축물을 첨가하여 조절하였다. 단백질의 농도 분석은 Lowry의 방법(3)에 의해 수행하였으며 총 부유 고형물의 농도는 standard method(4)에 따라 진공여과법으로 분석하였다. 탁도는 탁도계

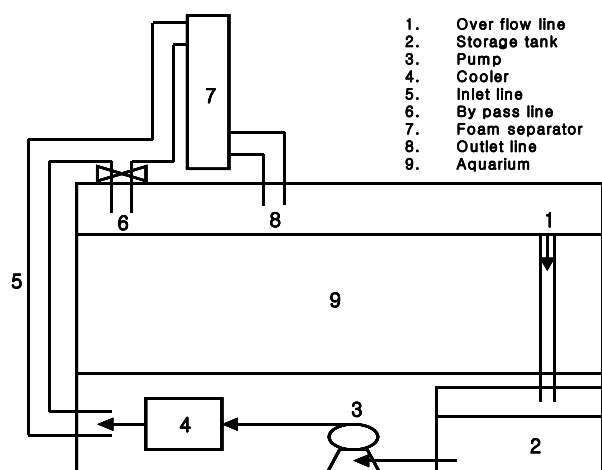


Fig. 1 The schematic diagram of a foam separator aquarium system.

(Model 2100N, Hach Co. Ltd.)를 이용하여 측정하였다.

포말분리장치에 의한 수조내의 단백질, 총부유성 고형물, 탁도 등의 제거속도와 제거율은 포말분리장치의 제거속도와 같으므로 각 성분의 제거속도는 포말분리장치의 유입수와 유출수의 농도를 측정하여 계산하였다.

$$-r_a = \frac{C_{i,a} \cdot Q_i - C_{o,a} \cdot Q_o}{V} \quad (1)$$

$$R_e [\%] = \frac{C_{i,a} - C_{o,a}}{C_{i,a}} \times 100 \quad (2)$$

여기서 $-r_a$ 와 R_e 는 각 성분의 제거속도(g/L·day 또는 NTU/day)와 제거율, $C_{i,a}$ 와 $C_{o,a}$ 는 각 성분의 유입수 및 유출수의 농도(g/L 또는 NTU)이며 Q_i 와 Q_o 는 유입수와 유출수의 유량(L/day)이다. V 는 포말분리장치의 액분체 부피(L)이다.

결과 및 고찰

Fig. 2는 수조 내의 초기 단백질 농도에 따른 포말분리장치의 평균 단백질 제거속도와 평균 제거율을 나타낸 그림이다. 수조 내의 초기 단백질 농도가 22, 31, 39 mg/L로 증가함에 따라 평균 단백질 제거속도는 각각 9.53, 10.99, 12.14 g/L·day 로 증가하는 것으로 나타났으며, 평균 단백질 제거율은 각각 22.9, 15.3, 13.2 % 로 감소하는 것으로 나타났다. 수조 내의 초기 단백질 농도가 증가할 경우 이에 따라 포말분리장치 내로 유입되는 초기 단백질 농도도 증가하게 된다. 일반적으로 포말분리장치 내로 유입되는 초기 단백질 농도가 증가할수록 단백질 제거 속도는 증가하게 되는데(5), 이로 인해 활어수조 내의 단백질 제거속도도 증가한 것으로 판단된다. 또한 수조 내의 초기 단백질 농도의 증가에 따라 단백질 제거율이 감소하는 것은 초기 단백질 농도가 증가하여도 기포에 흡착될 수 있는 단백질이 양은 포화농도 이상 증가하지 않으므로(6), 초기 단백질 농도에 대한 제거되는 단백질 농도의 비가 감소하게 되어 결과적으로는 단백질 제거율이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

Fig. 3은 수조 내의 초기 단백질 농도에 따른 포말 농축물에 대한 액분체 농도의 비인 농축비와 포말 생성 속도를 나타낸 그림이다. 초기 단백질 농도가 증가함에 따라 농축비는 감소했으나, 포말 생성 속도는 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 농축비와 포말 생성 속도는 서로 반대의 경향을 띄는 것을 알 수 있었다. 이처럼 농축비와 포말 생성 속도가 서로 반대의 경향을 띄는 이유는 포말 분리시 단백질은 기포에 흡착되어서 포말의 형태로 제거가 되는데, 이 때 포말은 기·액 계면에서 농축이 된다. 그러나 포말 생성 속도가 빠를 경우 기·액 계면에서 농축이 일어나기 어려우므로 이로 인해 농축비는 떨어지게 된다. 또한 초기 단백질 농도의 증가에 따라 포말 생성 속도가 증가하는 이유는 포말은 기·액 계면에 흡착된 계면활성물질에 의해 대기 중에서도 그 형태가 깨어지지 않고 유지되는 것으로(7) 초기 단백질의 농도가 높아질수록 기·액 계

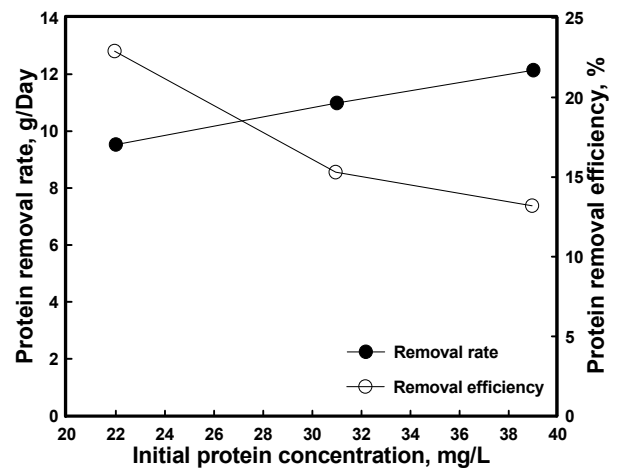


Fig. 2 The change of protein removal rate and removal efficiency with respect to initial protein concentration.

면에 흡착되는 단백질의 양이 증가하여 포말이 파괴되지 않고 많이 발생한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 수조 내의 초기 단백질 농도에 따른 포말분리장치의 총부유성 고형물의 평균 제거속도와 평균 제거율을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 것과 같이 수조 내의 초기 단백질 농도가 22, 31, 39 mg/L 로 증가함에 따라 총부유성 고형물의 평균 제거속도는 27.2, 33.9, 40.8 g/L·day 로 증가하였으며, 평균 제거율은 26.2, 24.3, 19.2 % 로 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 양어장순환수에 대한 포말분리 연구를 수행한 Suh et al. (8)의 연구 결과보다 총부유성 고형물의 제거속도와 제거율이 다소 낮게 나왔는데, 이는 Suh et al. (8)의 연구에서보다 초기 단백질 농도 범위가 낮기 때문인 것으로 판단된다. 총부유성 고형물의 제거 속도와 제거율은 단백질 제거 속도와 제거율과 거의 비슷한 경향을 나타내었으나, 총부유성 고형물의 평균 제거 속도와 평균 제거율은 단백질의 평균 제거속도나 평균 제거율보다는 높은 것으로 나타났다. 따라서 포말분리장치에 의해 단백질보다는 총부유성 고형물이 더 효과적으로 제거된다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 5는 수조 내 초기 단백질 농도에 따른 포말분리장치의 탁도 평균 제거속도와 평균 제거율을 나타낸 그림이다. 수조 내 초기 단백질 농도가 22, 31, 39 mg/L 로 증가함에 따라 탁도의 평균 제거속도는 1175, 1847, 2060 NTU/day 로 증가하였으며, 탁도의 평균 제거율은 24.6, 21.8, 20.4 %로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 해수에 대한 포말분리 연구를 수행한 Kim (5)의 연구에서 보다 비교적 낮은 수치로 Kim (5)의 연구에서보다 초기 단백질 농도 범위가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이 외에도 수조의 초기 단백질 농도에 따른 pH와 온도 변화도 측정하였는데, 초기 단백질 농도에 따른 수조 내의 평균 pH 는 8.3 정도로 거의 변화가 없었으며, 수조 내 온도는 평균 15.1 °C로 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

결론

수조 내의 초기 단백질 농도가 22, 31, 39 mg/L로 증가함에 따라 평균 단백질 제거속도는 각각 9.53, 10.99, 12.14 g/L·day 로 증가하는 것으로 나타났으며, 평균 단백질 제거율은 각각 22.9, 15.3, 13.2 % 로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 초기 단백질 농도가 증가함에 따라 농축비는 감소했으나, 포말 생성 속도는 증가하는 것으로

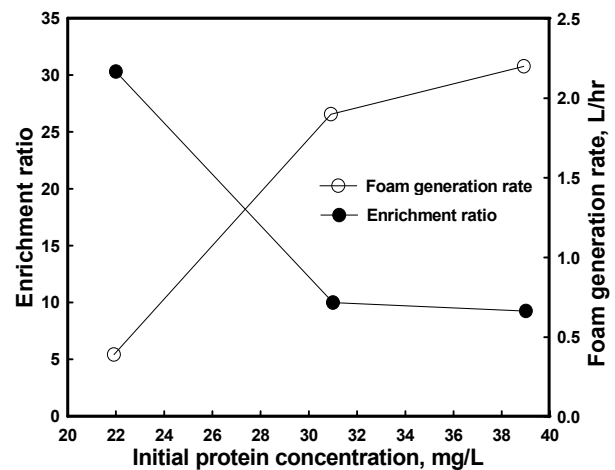


Fig. 3 The change of enrichment ratio and foam generation rate with respect to initial protein concentration.

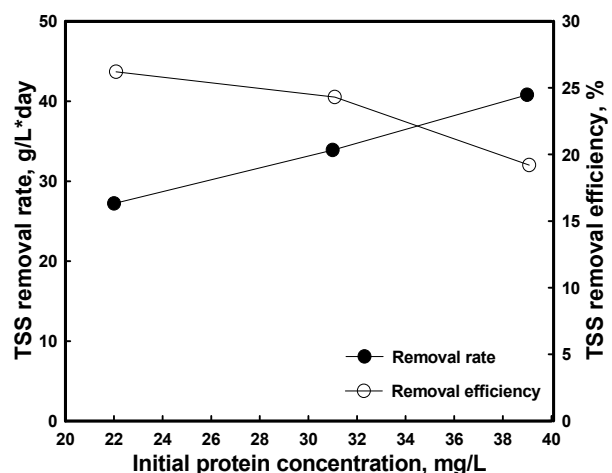


Fig. 4 The change of TSS removal rate and removal efficiency with respect to initial protein concentration.

나타났다.

초기 단백질 농도가 증가함에 따라 총부유성 고형물의 평균 제거속도는 27.2, 33.9, 40.8 g/L·day 로 증가하였으며, 평균 제거율은 26.2, 24.3, 19.2 % 로 감소하는 것으로 나타났다. 총부유성 고형물의 평균 제거 속도와 평균 제거율은 단백질의 평균 제거속도나 평균 제거율보다는 높게 나타났다. 따라서 포말분리장치에 의해 단백질보다는 총부유성 고형물이 더 효과적으로 제거된다는 것을 알 수 있었다. 탁도의 제거 특성은 단백질과 총부유성 고형물의 제거특성과 비슷한 것으로 나타났다.

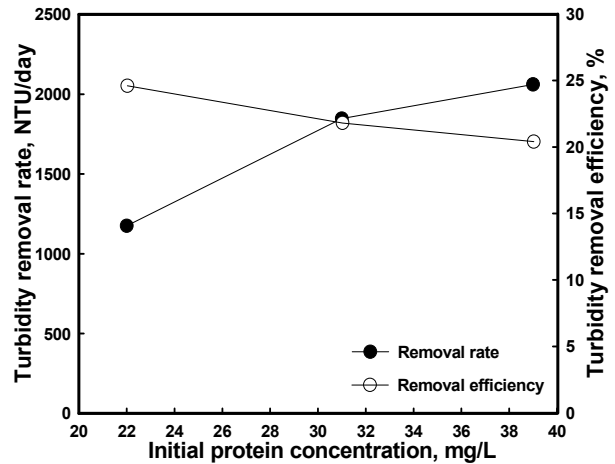


Fig. 5 The change of turbidity removal rate and removal efficiency with respect to initial protein concentration.

References

1. Miller, G.E. and G.S. Libey. 1984. Evaluation of a trickling biofilter in a recirculating aquaculture system containing channel catfish. *Aqua. Eng.*, 3, 39-57.
2. Timons, M.B. and S. Chen. 1995. Mathematical model of a foam fractionator used in aquaculture, *J. World Aquacul. Soc.* 26(3), 225-233.
3. 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.
4. 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.
5. Kim, B.J. 2002. The Foam Separation Process for the Removal of Contaminant in Seawater. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea., pp. 147. (in Korean)
6. Uraizee, F. and G. Narsimhan, 1996. Effects of kinetics of adsorption and coalescence on continuous foam concentration of protein : comparison of experimental results with model predictions, *Biotech. Bioeng.*, 51(4), 384-398.
7. Cho, D. and H. N. Chang. 1998. Separation of oil contaminants by surfactant aided foam fractionation, *Kor. J. Chem. Eng.*, 15(4), 445-448.
8. Suh, K.H., B.J. Kim, S.H. Bong, J.H. Lim, Y.H. Kim and Sung-Koo Kim. 2000. The removal of aquacultural wastes by foam separator from sea water - I. The effect of initial protein concentration, *Hwahak Konghak* 38(5), 745-752. (in Korean)