

## 포말분리를 위한 포말생성 특성 고찰

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

### The Investigation of Foam Generation Characteristics for Foam Separation

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

#### 서론

어류의 대사 작용과 미접취 사료 등에 의해서 발생하는 생물학적 오염물은 사육중인 어류에 나쁜 영향을 야기하고(1), 부영양화를 촉진하여 적조를 유발할 가능성이 매우 높아 가능한 신속하게 제거되어야 한다. 수중에서 어류에 의해 발생하는 생물학적 오염물로는 부유 고형물, 단백질, 용존 유기물, 암모니아 등이 있다. 이와 같은 생물학적 오염물을 제거하는 방법으로는 부유고형물 및 단백질의 경우 침전법이나 여과법에, 용존 유기물이나 암모니아성 질소는 생물학적 여과조에 의해 제거되고 있으나 장치의 구조가 복잡하고 운전 경비가 많이 소요되는 단점이 있다. 이에 따라 최근 양어장 순환수 중 어류에 유해한 성분을 동시에 처리할 수 있는 방법으로써 포말분리법이 연구되어지고 있다(2).

포말 분리가 효과적으로 수행되기 위하여서는 안정된 포말의 생성이 가장 중요하다. 수중에서 포말생성 및 안정성에 영향을 미치는 인자로는 계면활성제 농도, 공탑공기유속 및 염농도 등이있다(3). 본 실험에서는 담수와 해수 중에서 포말 생성에 영향을 미치는 인자인 단백질 농도, 공기분산기의 기공크기, 공탑 공기유속 그리고 염농도 영향에 대하여 포말분리 관내 생성된 포말층 높이에 대한 연구를 수행하여 포말 분리법을 생물학적 오염물을 제거하기 위한 가장 적합한 형태의 장치 설계 및 제작을 위한 기초 자료를 도출하려 하였다. 그리고 회분식 분리 장치를 이용하여 담수와 해수에서의 총 부유 고형물과 탁도 제거특성에 대하여 연구하였다.

#### 실험

본 실험에서 사용된 포말 생성 장치는 내경 5 cm, 높이 150 cm의 아크릴관을 사용하여 제작하였다. 포말생성관의 액본체 부피는 100 mL였으며 포말생성관 하부에는 유리 여과기를 이용한 공기 분산기를 설치하여 기포가 균일하게 발생하도록 하였다. 공기 공급은 공기펌프를 이용하여 공급하였으며, 공기 유량은 rotameter를 이용하여 조절하였다. 각 실험 조건에서의 최대 포말 생성 높이는 회분식으로 3회 운전하여 준 정상상태에서 포말높이의 평균값을 취하였다. 그리고 총 부유고형물과 탁도의 제거능력을 알아보기 위하여 200 mg/L의 kaolin을 액본체에 혼합하여 회분식 포말 분리 실험을 수행하였으며 공기 분산기로 유리여과기(G3)를 설치하였고 형성된 포말을 수집하기 위하여 아스피레이터를 설치하였다.

실험수의 포말 생성을 위한 단백질은 부경대학교 부속양어장에서 발생하는 포말 농축물(foam condensate)을 수거하여 증류수로 희석시켜 사용하였으며 해수실험에서는 인공해수시약(Colalife, USA)으로 염도를 30 ‰로 맞춘 후 사용하였다. 단백질

의 농도 분석은 Lowry의 방법(4)에 의해 수행하였으며 총 부유 고형물의 농도는 standard method(5)에 따라 진공여과법으로 분석하였다. 탁도는 탁도계(Model 2100N, HACH Co. LTD)를 이용하여 측정하였다.

### 결과 및 고찰

Fig. 1은 담수와 해수에서 초기 단백질 농도 변화에 따른 포말 생성 높이를 나타낸 그림이다. 담수에서 초기 단백질 농도가 8mg/L에서는 3 cm의 최대 포말생성 높이를 형성하였으나 단백질 농도 69.4 mg/L에서는 65 cm의 최대 포말 생성 높이를 보였다. 또한 해수에서는 초기 단백질 농도가 6.9 mg/L에서는 27 cm의 최대 포말 생성 높이를 형성하였으나 단백질 농도 67.6 mg/L에서는 86.3 cm의 최대 포말 생성 높이를 보여 담수와 해수에서 모두 초기 단백질 농도가 증가함에 따라 최대 포말높이는 증가하였다. 그러나 초기 단백질 농도가 비슷할 경우 담수에서보다 해수에서 최대 포말생성 높이가 더 큰 것으로 나타났다. Brown et al.(1999)이 보고한 것에 따르면 유입 단백질 농도의 증가로 인하여 포말 내의 단백질 체류시간이 증가한다고 하였다(6). 이로 인해 초기 단백질 농도가 높아질수록 기·액 계면에 흡착되는 단백질의 양이 증가하여 포말이 파쇄되지 않고 많이 발생하여 포말생성 높이의 증가를 보이는 것으로 사료된다.

Fig. 2는 담수와 해수에서 공기 분산기의 기공크기에 따른 포말생성 능력을 나타낸 그림으로써 담수에서는 초기 단백질 농도를 26.2 mg/L로 하고 공압 공기유속을 0.84 cm/sec로 하여 공기 분산기를 기공크기가 각각 G1, G2, G3, G4인 유리 여과기를 사용하여 실험한 결과 담수와 해수에서 모두 기공크기가 작아질수록 최대 포말 생성 높이가 높아지는 것으로 나타났다. 이는 공기 분산기의 기공이 작아질수록 발생하는 기포의 직경이 작아 동일한 공기 유속에 대해 보다 넓은 기·액 계면의 면적을 유도할 수 있는 것으로 사료된다. 그러나 공기 분산기의 기공을 작게 만들기 위해서는 보다 많은 비용이 필요하게 되므로 장치의 제작비용이 증가할 수 있다.

Fig. 3은 담수와 해수에서 공압 공기유속의 변화에 따른 포말생성 능력을 나타낸 그림이다. 담수와 해수에서 초기 단백질 농도를 각각 31.9 mg/L, 30.2 mg/L로 하고 공기 분산기로 규격이 G3인 유리 여과기를 설치하여 운전한 결과 담수와 해수에서 공압 공기유속이 증가할수록 최대 포말생성 높이는 증가하다가 담수의 경우에는 0.84 cm/sec 이상의 공압 공기유속에서 최대 포말생성 높이의 차이가 크지 않았으며, 해수의 경우에는 0.6

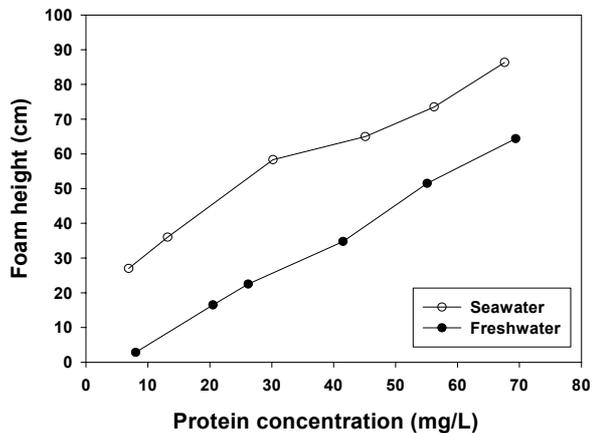


Fig. 1 The change of the foam height with respect to initial protein concentration.

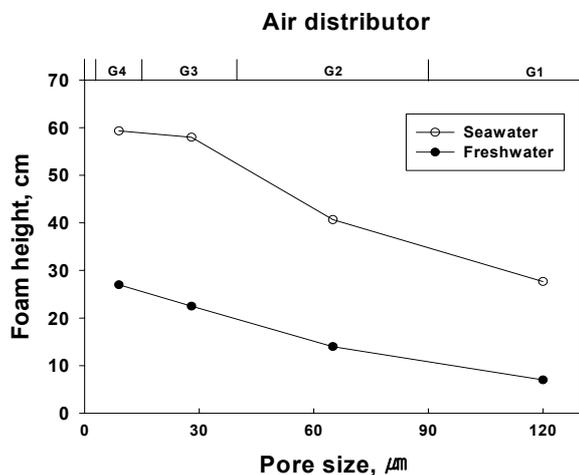


Fig. 2 The change of the foam height with respect to air distributor pore size.

cm/sec 이상에서 포말생성 높이의 변화가 거의 없었다. 이는 포말생성을 위한 실험수의 단백질 농도가 일정하므로 기포에 흡착될 수 있는 계면활성물질의 양도 한정되어 있으므로 일정 공기량 이상을 공급하여도 더 이상 기포에 흡착되지 않아 포말생성 높이가 더 이상 증가하지 않는 것으로 보인다. Chai et al.(1998)의 연구에 의하면 안정된 포말생성을 위한 공압 공기유속은 0.5 cm/sec에서 2 cm/sec 사이라고 보고하고 있다(7).

Fig. 4는 담수와 해수에서  $\text{NaHCO}_3$ 의 염 농도 변화에 따른 포말생성 능력을 나타낸 그림이다. 담수에서는 초기 단백질 농도를 31.9 mg/L로 하고 G3의 유리 여과기를 설치하여 0.84 cm/sec의 공압 공기유속으로 실험한 결과  $\text{NaHCO}_3$  농도를 7000 mg/L 까지 첨가했을 때 최대 포말생성 높이가 27 cm로 꾸준히 증가하다가 14000 mg/L 를 첨가했을 때에는 포말생성 높이가 45 cm로 급격히 증가하는 것으로 나타났으며 이로써 담수 중에 염 성분의 존재는 포말의 생성을 촉진한다는 것을 알 수 있었다. 해수의 경우 초기 단백질 농도를 30.2 mg/L로 하고 G3의 유리 여과기를 설치하여 0.84 cm/sec의 공압 공기유속으로 실험한 결과 해수 내  $\text{NaHCO}_3$ 의 농도가 0 mg/L 일 때와 14000 mg/L 일 때의 최대 포말 생성 높이의 차이는 6cm에 불과 하였는데 이는 해수 중에는  $\text{NaCl}$ 등 여러종류의 이온이 용존 되어 있으므로  $\text{NaHCO}_3$ 첨가의 영향은 적은 것으로 판단된다.

Fig. 5는 담수와 해수에서 초기 단백질 농도변화에 따른 수중의 총 부유 고형물(TSS)과 탁도 제거율을 나타낸 그림이다. 담수에서는 초기 단백질 농도를 20.0, 32.4, 42.1, 54.5, 66.4 mg/L 로 조절하였고, 해수에서는 초기 단백질 농도를 15.7, 32.7, 42.7, 53.5, 70.7 mg/L 로 조절하였다. 총 부유 고형물로는 kaolin을 200 mg/L의 농도로 하여 실험수에 녹여 사용하였다. 그 결과, 담수에서는 초기 단백질 농도가 높아질수록 총 부유 고형물의 제거효율은 최대 62.42%에서 46.57%로 감소하였으며 탁도 제거효율은 40.06%에서 24.60%로 감소하였다. 또한 해수에서는 초기 단백질 농도가

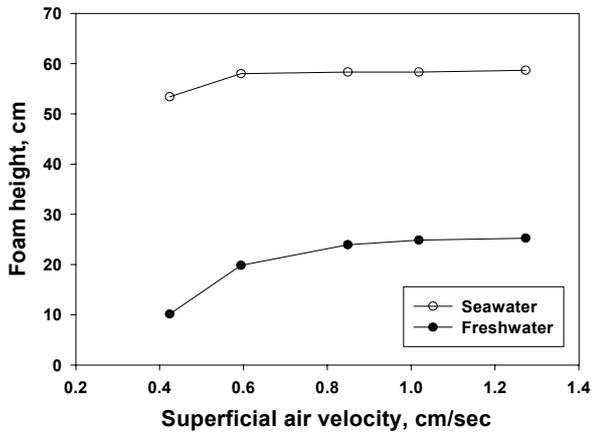


Fig. 3 The change of the foam height with respect to superficial air velocity.

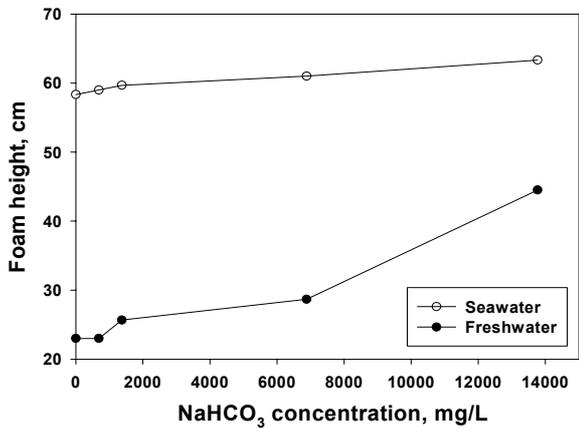


Fig. 4 The change of the foam height with respect to  $\text{NaHCO}_3$  concentration.

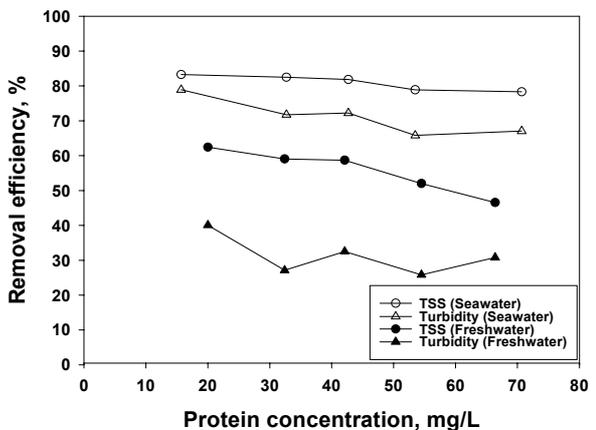


Fig. 5 The change of TSS and turbidity removal efficiency with respect to protein concentration.

높아질수록 총 부유 고형물의 제거효율은 최대 83.26%에서 78.31%로 감소하였으며 탁도 제거효율은 78.89%에서 65.81%로 감소하였다. 탁도 제거효율이 총 부유 고형물의 제거효율과 유사한 경향을 보이는 것은 총 부유 고형물이 탁도를 유발하는 주요 인자이기 때문인 것으로 사료된다. 상기 실험결과에 의하여 포말분리장치는 단백질 및 총부유성고형물(TSS)을 효과적으로 제거할 수 있는 장치로 사료되었고, Chen et al.(1993)은 포말분리에 의해 총 부유성 고형물의 제거가 효과적이라고 보고하고 있다(8).

### 결론

담수와 해수에서 단백질 농도가 증가할수록 포말 생성 높이가 높게 형성되었으며 공기 분산기의 기공크기가 작아질수록 포말 생성 높이가 높아지는 것으로 나타났다. 또한 공탑 공기유속 증가하면서 포말 생성 높이도 증가하였고 공탑 공기유속의 최적 운전조건은 담수의 경우 0.84 cm/sec 였으며 해수의 경우에는 0.6 cm/sec 였다.

NaHCO<sub>3</sub>의 염 농도에 대한 영향에서는 담수에서의 NaHCO<sub>3</sub> 성분 존재가 포말 생성을 촉진한다는 것을 알 수 있었으며 해수에서는 담수에서보다 그 영향이 적은 것으로 나타났다.

초기 단백질 농도가 높아질수록 총 부유 고형물의 제거효율은 담수의 경우 최대 62.42%에서 46.57%로 감소하였으며 탁도 제거효율은 40.06%에서 24.60%로 감소하였다. 해수의 경우에는 초기 단백질 농도가 높아질수록 총 부유 고형물의 제거효율은 최대 83.26%에서 78.31%로 감소하였으며 탁도 제거효율은 78.89%에서 65.81%로 감소하였다.

### References

1. Wheaton, F., J. Hochheimer and G.E. Kaiser (1989), Biological filters for Agriculture, Scientific Article #A-4904, Maryland Agricultural Experiment Station.
2. 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(5)**, 599~606 (in Korean).1
3. Noble, M. and J. Varley (1998), Protein recovery using gas-liquid dispersion, *J. Chromatogr.*, **B711**, 31-43.9.
4. 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.
5. APHA, AWWA and WEF. (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed., EPS Group.
6. Brown, A. K., A. Kaul, and J. Varley (1999), Continuous foaming for protein recovery, *Biotechnol. Bioeng.*, **62(3)**, 278-290.
7. 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.
8. Chen, S., M. B. Timmons, J. J. Bisgoni, D. J. Aneshansley (1993) Suspended solids removal by foam fractionation, *The Progressive Fish Culturist*, **55(2)**, 69-75.