

## 활어수조에서 포말분리에 의한 오염물 제거시 수력학적 체류시간 영향

김병진 · 신정식<sup>1</sup> · 정호수<sup>1</sup> · 나인걸<sup>1</sup> · 이민수<sup>1</sup> · 서근학<sup>1\*</sup>  
부산바이오기업지원센터, <sup>1</sup>부경대학교 화학공학과

## Effect of Hydraulic Residence Time on the Removal of Wastes in a Seawater Aquarium using a Foam Separator

Byong-Jin KIM, Jeong-Sik SHIN<sup>1</sup>, Ho-Su JEONG<sup>1</sup>, In-Geol NA<sup>1</sup>,  
Min-Su LEE<sup>1</sup> and Kuen-Hack SUH<sup>1\*</sup>

Busan Bio Industry Support Center (BISC), Busan 608-739, Korea

<sup>1</sup>Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

The effect of the hydraulic residence time (HRT) for the removal of aquarium waste, such as protein, total suspended solids (TSS) and turbidity were investigated by using a foam separator. Protein, TSS and turbidity removal efficiencies were increased with the increase of hydraulic residence time. The optimum hydraulic residence time was 0.5 min, and the highest protein and TSS removal rates were 14.4 g/L·day and 38.9 g/L·day, respectively. The tendency of turbidity removal rate and efficiency was similar to that of protein.

Key words: Foam separation, Aquarium, Hydraulic residence time

### 서론

최근 생활수준의 향상에 따른 어류의 수요가 증대되고 이에 따라 어류양식 산업과 활어의 유통산업이 성장하고 있다. 그러나 어류양식의 경우 어류의 고밀도 사육에 의한 생물학적 오염물 증가로 인해 어류가 대량 폐사하기도 하고 (Rijn, 1996), 활어업소의 경우 활어에 의한 수조내의 오염물 증가와 용존 산소의 감소로 인해 활어가 오랫동안 살지 못하고 죽는 문제점이 야기 된다 (Van der Geest et al., 2002). 이에 활어업소에서는 활어수조의 용수를 3-4일에 한번씩 교체하여 사용하고 있으나 최근 들어 해안이나 호소수 또는 지하수의 오염으로 인해 활어업소에서는 더 이상 안정적인 용수의 공급을 기대하기 어렵게 되었다.

양식장이나 활어수조 내에서 발생하는 생물학적 오염물에는 단백질, 부유성고형물, 유기물, 암모니아 등이 있다. 이 중 단백질은 미생물에 의한 생물학적 분해에 의해 암모니아로 전환 되어 용존산소를 감소시키고, 부유성고형물은 어류의 아가미에 달라붙어 어류의 호흡에 직접적인 영향을 미치게 되므로 신속히 제거할 필요가 있다 (Chen et al., 1996). 이에 따라 국내외에서 활어수조내의 활어를 오래 보존하기 위하여 감압장치를 이용한 수조 내 용존산소의 제어 (Landman and van den Heuvel, 2003), 고정화 미생물을 이용한 수 처리 장치 (Kim et al., 2000), 스크린 필터 와 자외선을 이용한 수 처리 장치 (Park et al., 1999) 등에 대한 연구가 진행되어 왔으나, 수 처리 장치의 초기 설치비용이 크고 운전 조건이 명확하게 규명되지 못하여, 최근까지 실제 활어수조에 대한 적용성 및

검토가 이루어지지 못하고 있다. 따라서 실제 활어업소에 적용하기 위한 설치 및 운전이 간편하고 수 처리 효율이 높은 경제적인 시스템의 개발이 시급한 실정이다.

최근 수중의 생물학적 오염물 제거 방법으로 연구되고 있는 포말분리법은 장치의 구조가 간단하면서 어류에 유해한 단백질, 부유성고형물, 용존 유기물 등을 동시에 제거할 수 있을 뿐만 아니라 용존산소도 공급할 수 있어 활어수조에 적용하기가 용이하다 (Saleh and Hossain, 2001; Suzuki, 2002). 특히 활어수조에서 어류에 의해 발생하는 생물학적 오염물 중 단백질 성분은 계면활성제 역할을 할 수 있다 (Phillips et al., 1995). 따라서 포말분리를 활어수조와 같은 어류에 의한 생물학적 오염물 제거 공정에 적용할 경우 별도의 계면활성제를 첨가하지 않아도 되기 때문에 매우 적합한 공정이라 할 수 있다 (Bhattacharjee et al., 2001).

포말분리법을 이용하여 수중의 생물학적 오염물을 제거하는 공정에 대한 연구는 외국의 경우 순환여과식 양식장 등에 적용시키는 연구가 진행되어 왔다. Suzuki et al. (2003)은 순환여과식 양식장에 포말분리공정을 적용시킨 결과 오염물을 매우 효과적으로 제거할 수 있었다고 보고 하였으며, Chen et al. (1996)은 포말분리법이 양식장수의 부유성 물질을 매우 효과적으로 제거할 수 있음을 확인하였다.

우리나라의 경우, 외국에 비하여 이에 대한 연구가 부족하며 최근에는 Suh (1997), Kim (2000) 등에 의해 포말분리법에 의한 양어장 순환수 처리에 관한 연구가 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 포말분리장치를 활어수조 설치하여 포말분리 장치에 의한 활어수조내의 단백질, 부유성고형물 등의 오염물

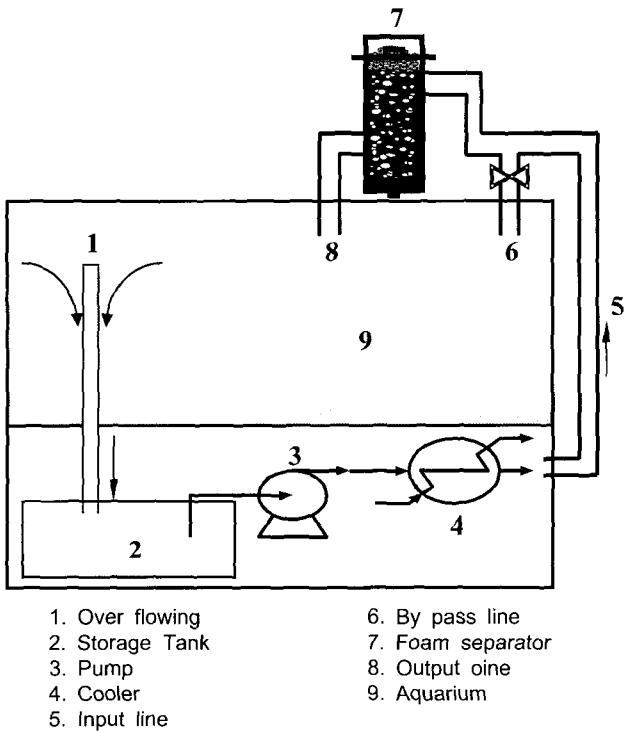
\*Corresponding author: khsuh@pknu.ac.kr

제거속도를 구하여, 이를 토대로 실제 활어수조에 적용할 수 있는 포말분리장치의 개발에 필요한 기초 자료로 활용하기 위해 포말분리장치의 수력학적 체류시간에 따른 단백질 및 부유성고형물의 제거특성에 대해 알아보았다.

**재료 및 방법**

**실험 장치 및 운전 조건**

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 포말분리장치가 설치된 활어수조를 나타낸 것이다. 수조 내의 물은 over flow line을 통해 장치 하부의 저수조로 유입되고, 저수조의 물은 재순환 펌프에 의해 냉각기에 유입된다. 냉각기를 거친 물은 유입구를 통해 포말분리장치를 거쳐서 최종적으로 활어수조내로 유입된다. 이때 활어수조 내의 물은 냉각기에 의해 항상 15±0.5℃로 유지된다. 활어수조의 규격은 가로 115 cm, 세로 70 cm, 높이 110 cm 이었고, 최대 저수용량은 350 L 이었다. 펌프에 의한 재순환속도는 1000 L/hr 이었으며, 순환수의 유입구 쪽에 by pass line과 활어수조 내의 오염물 제거를 위한 포말분리장치를 설치하였다. 또한 by pass line 에 밸브를 설치하여 포말분리장치로 유입되는 양을 조절할 수 있도록 하였다.



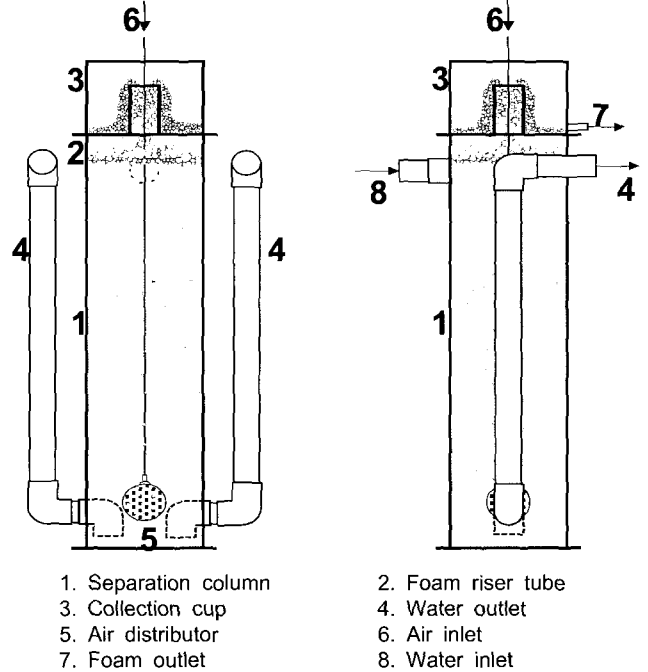
- 1. Over flowing
- 2. Storage Tank
- 3. Pump
- 4. Cooler
- 5. Input line
- 6. By pass line
- 7. Foam separator
- 8. Output oine
- 9. Aquarium

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

Fig. 2는 본 연구에서 사용한 포말분리장치로서 내경 10 cm, 높이 50 cm 의 아크릴 관을 사용하여 제작하였으며, 액 본체 부피는 3L 이었다. 또한 장치하부에 유리 여과기를 이용한 공기 분산기를 설치하여 기포가 균일하게 발생하도록 하였

**Front View**

**Side View**



- 1. Separation column
- 3. Collection cup
- 4. Water outlet
- 5. Air distributor
- 6. Air inlet
- 7. Foam outlet
- 8. Water inlet

Fig. 2. The schematic diagram of foam separator.

다. 포말분리장치의 수력학적 체류시간은 by pass line 에 설치된 밸브를 이용하여 조절하였으며, 공탑공기유속은 1.5 cm/sec 로 일정하게 조절하였다.

**실험 재료 및 분석 방법**

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 (Lowry et al., 1951)에 의해 수행하였으며 총 부유 고형물의 농도는 standard method (APHA et al., 1992)에 따라 진공여과법으로 분석하였다. 탁도는 탁도계 (Model 2100N, HACH Co. LTD)를 이용하여 측정하였다.

**제거속도 계산**

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

각 성분의 제거속도는 포말에 의해 제거되는 양과 동일하므로 다음과 같다.

$$-r_a = \frac{Q_f C_{f,a}}{V} \tag{1}$$

여기서  $-r_a$ 는 각 성분의 제거속도 (g/L·day 또는 NTU/day),  $Q_f$ 는 발생된 포말의 유량(L/day),  $C_{f,a}$ 는 각 성분의 포말

농도 (g/L 또는 NTU),  $V$ 는 포말분리장치의 액본체 부피 (L)이다.

포말에 의해 제거되는 각 성분의 양은 유입수와 유출수에 포함된 각 성분의 양의 차와 같으므로 식(1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-r_a = \frac{C_{i,a} \cdot Q_i - C_{o,a} \cdot Q_o}{V} \quad (2)$$

여기서  $C_{i,a}$ 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.

또한 유출수의 유량은 유입수의 유량에서 포말로 생성되는 유량의 차와 같으므로 식(2)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-r_a = \frac{C_{i,a} \cdot Q_i - C_{o,a} \cdot (Q_i - Q_f)}{V} \quad (3)$$

**제거율 계산**

포말분리장치에 의한 수조내 각 성분의 제거율은 유입수와 유출수의 농도를 측정하여 다음과 같이 계산 하였다.

$$R_c[\%] = \frac{C_{i,a} - C_{o,a}}{C_{i,a}} \times 100 \quad (4)$$

**농축비 계산**

농축비는 포말분리장치에 의해 장치 외부로 제거되는 포말 농축물의 단백질 농도와 포말분리장치 액본체의 단백질 농도로 나타낼 수 있으며, 다음과 같이 계산 하였다.

$$E = \frac{C_F}{C_{o,p}} \quad (5)$$

여기서,  $C_F$ 와  $C_{o,p}$ 는 각각 포말 농축물의 단백질 농도와 포말분리장치의 유출수의 단백질 농도를 나타낸다.

**포말 생성비 계산**

포말 생성비는 포말 생성양에 대한 순환양의 비로써 다음과

같이 계산 하였다.

$$F_c[\%] = \frac{F}{R_c} \times 100 \quad (6)$$

여기서,  $F$ 와  $R_c$ 는 각각 포말 생성양 (L/hr)과 순환양 (L/hr)을 나타낸다.

**수력학적 체류시간 계산**

수력학적 체류시간은 포말분리장치 내에 액이 체류하는 시간으로써 다음과 같이 계산하였다.

$$HRT[\text{min}] = \frac{V}{R_c} \times 60 \quad (7)$$

여기서,  $V$ 와  $R_c$ 는 각각 포말분리장치 액본체 부피 (L)와 순환양 (L/hr)을 나타낸다.

**결과 및 고찰**

포말분리시 수력학적 체류시간은 오염물과 기포의 접촉시간을 결정한다. 따라서 수력학적 체류시간이 변하면 이에 따라 오염물의 제거속도와 제거율도 변하게 된다. 본 연구에서는 포말분리장치의 수력학적 체류시간에 따른 수조내의 오염물 제거 특성을 알아보기 위하여 시간에 따른 단백질, 총부유성고형물, 탁도 등의 변화를 측정하였다.

**Data 정리 방법**

Table 1은 수력학적 체류시간 0.25 분에서 시간에 따른 포말분리장치의 유입구 및 유출구에서 샘플을 취한 후 단백질 농도, 단백질 제거속도, 제거율, 농축비 및 포말 생성비를 나타낸 것이다. 제거속도, 제거율, 농축비 및 포말 생성비는 각각 식 (3), (4), (5), (6)을 이용하여 계산하였다. 또한 수력학적 체류시간이 0.5, 0.75, 1.0 분 일 경우에도 위와 같은 방법으로 계산을 하였으며, 총부유성 고형물 및 탁도 또한 같은 방법으로 계산을 하였다. 수력학적 체류시간은 식 (7)에 의해 계산하였다.

Table 1. The experimental data at hydraulic residence time is 0.25 min

Operating time (min)	Concentration			Removal		Enrichment ration	Foam generation	
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Foam (mg/L)	Rate (g/L·day)	Efficiency (%)		Rate (L/hr)	Ratio (%)
0	27.0	27.0	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
15	26.0	23.0	77.0	17.28	11.5	3.35	13.20	1.83
30	21.0	17.0	80.0	23.04	19.0	4.71	13.40	1.86
45	19.0	16.0	85.0	17.28	15.8	5.31	11.48	1.59
60	19.0	16.0	88.0	17.28	15.8	5.50	8.60	1.19
90	16.0	14.0	87.0	11.52	12.5	6.21	4.90	0.68
120	14.0	12.0	98.0	11.52	14.3	8.17	4.00	0.56
150	14.0	12.0	126.0	11.52	14.3	10.50	2.50	0.35
180	13.0	11.0	148.0	11.52	15.4	13.45	1.20	0.17
220	12.0	12.0	157.0	0.00	0.0	13.08	0.38	0.05
260	13.0	12.0	160.0	5.76	7.7	13.33	0.15	0.02
300	12.0	11.0	164.0	5.76	8.3	14.91	0.05	0.01

**단백질 제거 특성**

Fig. 3은 포말분리장치의 수력학적 체류시간에 따른 단백질의 평균제거속도와 평균제거율을 나타낸 그림이다. 포말분리장치의 수력학적 체류시간이 0.25분에서 0.5분으로 증가함에 따라 단백질의 평균제거속도는 11.04 g/L·day에서 14.4 g/L·day로 증가하였으나, 수력학적 체류시간이 0.5분 이상이 될 경우에는 오히려 제거속도가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 단백질의 평균제거율은 수력학적 체류시간이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타나서 단백질 제거속도와 반대의 경향을 나타냈다. Suh et al. (2001)의 연구결과에 의하면 포말분리장치의 최적 수력학적 체류시간은 0.48분이라고 보고하고 있는데, 본 연구의 결과에서도 수력학적 체류시간이 0.5분일 때 단백질 제거속도가 가장 높은 것으로 나타났다.

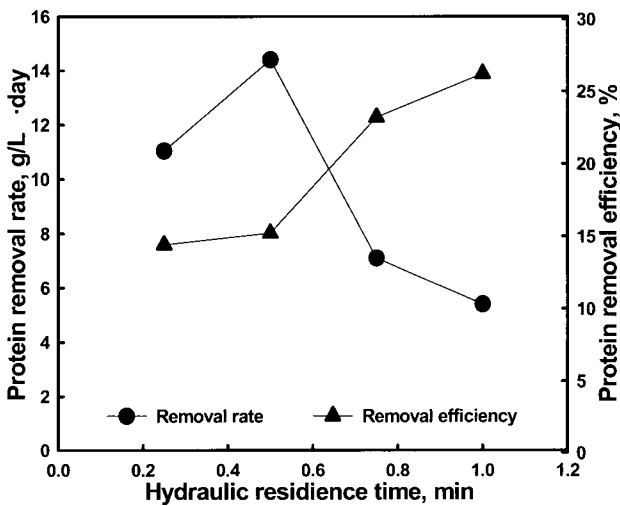


Fig. 3. The change of protein removal rate and removal efficiency with respect to hydraulic residence time.

수력학적 체류시간 0.5분 이상에서 단백질 제거속도가 수력학적 체류시간이 증가할수록 감소하는 것은 수력학적 체류시간이 증가할수록 포말분리장치로 유입되는 단백질의 양은 감소하고 이에 따라 기·액 계면과 접촉하는 단백질의 양도 감소하여, 결과적으로 흡착되는 단백질의 양도 감소하여 단백질 제거속도가 감소하는 것으로 판단된다. 또한 수력학적 체류시간 0.5분 이하에서 수력학적 체류시간이 감소할수록 단백질 제거속도가 감소하는 현상은 수력학적 체류시간이 너무 짧아질 경우 유속이 너무 빨라지기 때문에 단백질이 기·액 계면에 흡착되는 시간보다 포말분리장치를 통과하는 시간이 더 빠르기 때문에 결과적으로 단백질 제거속도가 감소하는 것으로 판단된다.

포말분리장치의 수력학적 체류시간이 증가함에 따라 단백질 제거율이 증가하는 것은 체류시간이 증가하면 단백질이 포말분리장치 내에서 머무르는 시간이 증가하기 때문에 이에 따라 기·액 접촉시간이 증가하여 결과적으로 단백질 제거율

은 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 포말분리장치의 수력학적 체류시간에 따른 포말농축물의 단백질 농도에 대한 액본체의 단백질 농도의 비인 농축비와 포말 생성 속도를 나타낸 그림이다. 포말분리장치의 수력학적 체류시간이 0.25분에서 1.0분으로 증가함에 따라 평균 농축비는 7.3에서 13.2로 증가하는 것으로 나타났으며, 평균 포말생성속도는 수력학적 체류시간이 증가함에 따라 2.7 L/hr에서 0.83 L/hr로 감소하는 것으로 나타났다. 이처럼 농축비와 포말생성속도가 반대의 경향을 띠는 이유는 단백질은 기포에 흡착해서 포말의 형태로 제거가 되는데, 이 때 포말은 기·액 계면에서 농축이 된다. 그러나 포말생성속도가 빠를 경우 포말의 농축이 어렵게 되기 때문에 이로 인해 농축비는 떨어지게 된다. 또한 수력학적 체류시간이 증가함에 따라 농축비가 증가하는 이유는 수력학적 체류시간이 증가하면 단백질이 액본체에 머무르는 시간이 증가하고 (Brown et al., 1999) 이로 인해 단백질이 기·액 계면에 흡착할 수 있는 빈도수가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

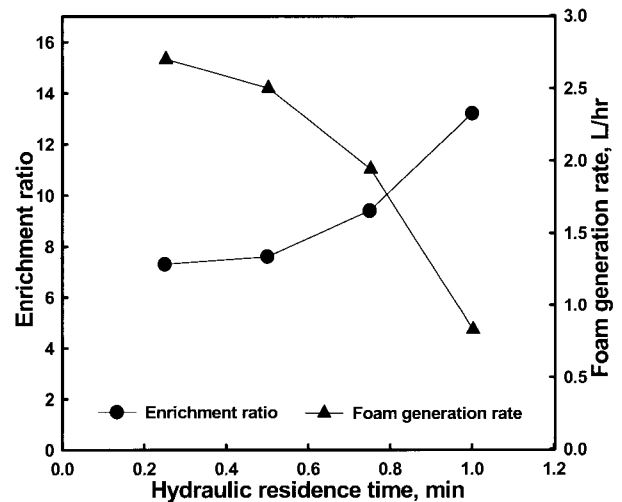


Fig. 4. The change of enrichment ratio and foam generation rate with respect to hydraulic residence time.

**총부유성고형물 제거특성**

Fig. 5는 포말분리장치의 수력학적 체류시간에 따른 총부유성고형물의 평균 제거속도와 평균 제거율을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 수력학적 체류시간의 변화에 따른 총부유성 고형물의 제거속도는 단백질의 제거속도와 거의 유사한 경향을 나타내었으며, 최대 제거속도는 수력학적 체류시간 0.5분에서 38.9 g/L·day 이었다. 총부유성 고형물의 제거율은 수력학적 체류시간이 0.25분에서 0.75분으로 증가함에 따라 19%에서 36%로 거의 직선적으로 증가하였으나 0.75분 이상의 체류시간에서는 36%에서 38%로 거의 증가하지 않았다. 이와 같이 수력학적 체류시간의 변화에 따라 총부유성 고형물의 제거속도와 단백질 제거속도가 유사하게 변화하는

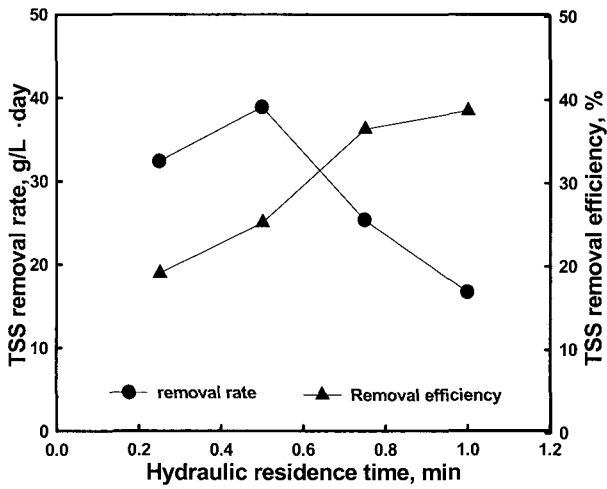


Fig. 5. The change of TSS removal rate and removal efficiency with respect to hydraulic residence time.

것은 포말분리시 단백질 성분이 기·액 계면에 흡착되고 여기에 부유성 고형물이 이온적으로 흡착되는 현상 (Chen, 1991)에 의한 것으로 사료된다.

Fig. 6 은 포말분리장치 유입구와 유출구에서의 총부유성고형물과 단백질 농도의 비를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 포말분리장치 유입구에서의 총부유성 고형물과 단백질 농도의 비는 평균 2.5 정도인 것으로 나타났으며, 유출구에서는 수력학적 체류시간의 변화에 따라 1.1에서 2.2 정도인 것으로 나타났다. 유입수의 농도비가 평균 2.5 정도로 일정한 데 비해 유출수의 농도비가 더 낮게 나타나는 것으로 보아 기·액 계면에 흡착되어 제거되는 단백질의 양보다 총부유성 고형물의 양이 더 많다는 것을 알 수 있었다.

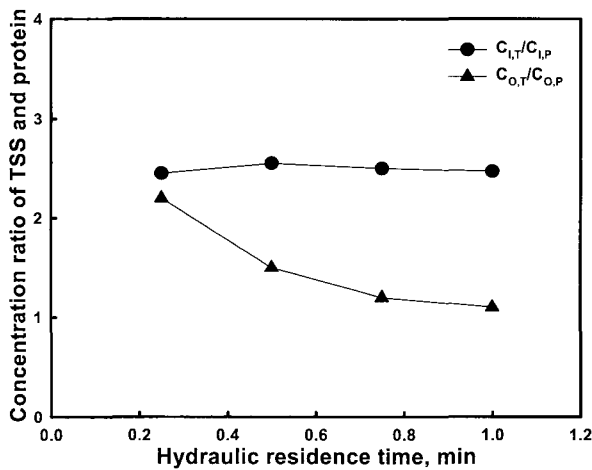


Fig. 6. The change of TSS and protein concentration ratio with respect to hydraulic residence time.

탁도 제거특성

탁도는 물을 흐리게 하는 성분을 총칭하는 것으로 1 $\mu$ m

이하의 부유성고형물과 색소성 용존 물질도 모두 포함되며, 물의 투명도를 측정하는 척도이다 (Tchobanoglous and Schroeder, 1985).

Fig. 7은 포말분리장치의 수력학적 체류시간에 따른 탁도의 제거속도와 제거율을 나타낸 그림이다. 탁도의 제거율은 수력학적 체류시간이 0.25분에서 0.75분으로 증가함에 따라 19%에서 46%로 거의 직선적으로 증가하였으나, 0.7분 이상의 수력학적 체류시간에서 46%에서 49% 정도로 거의 변화가 없었다. 또한 탁도의 제거속도는 수력학적 체류시간 0.5분까지는 점차 증가하다가 그 이후부터는 감소하는 것으로 나타났으며 수력학적 체류시간이 0.5분일 때 3,885 NTU/day로 최대 제거속도를 나타냈다. 이와 같이 탁도가 제거되는 경향이 총부유성 고형물이 제거되는 경향과 비슷하게 나타나는 이유는 탁도의 주요 유발물질이 총부유성 고형물 성분 (Tchobanoglous and Schroeder, 1985)이기 때문인 것으로 판단된다.

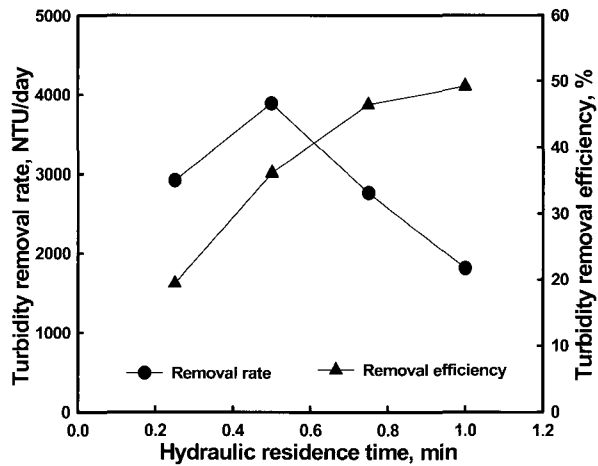


Fig. 7. The change of turbidity removal rate and removal efficiency with respect to hydraulic residence time.

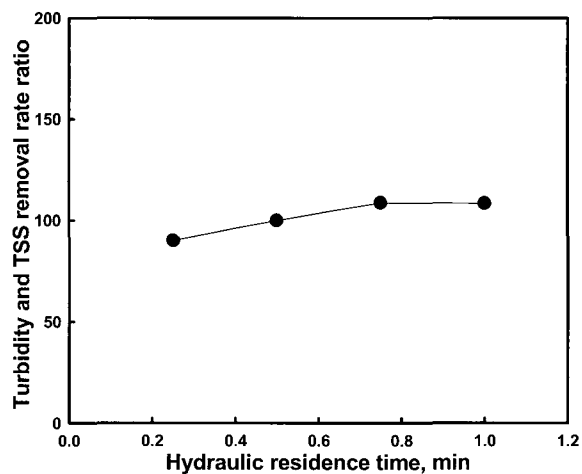


Fig. 8. The change of turbidity and TSS removal rate ratio with respect to hydraulic residence time.

Fig. 8은 포말분리장치의 수력학적 체류시간 변화에 따른 탁도와 총부유성고형물의 제거속도의 비를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 탁도와 총부유성고형물의 제거속도 비는 평균 100 정도로 거의 비슷하게 나타났다. 이는 앞서 언급했듯이 탁도를 유발하는 주요 물질이 총부유성고형물이기 때문에 총부유성고형물이 제거되는 만큼 탁도도 제거되므로 이에 따라 제거속도의 비도 거의 일정하게 나타난 것으로 사료된다.

## 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.
- Bhattacharjee, S., R. Kumar and K.S. Gandhi. 2001. Modeling of protein mixture separation in a batch foam column. *Chem. Eng. Sci.*, 56, 5499-5510.
- Brown, A.K., A. Kaul and J. Varley. 1999. Continuous foaming for protein recovery. *Biotechnol. Biochem. Eng.*, 62(3), 278-290.
- Chen, S. 1991. Theoretical and experimental investigation of foam separation applied to aquaculture. Ph.D. Thesis, Cornell Univ., Ithaca, New York, USA, pp. 231.
- Chen, S., D. Stechy and R.F. Malone. 1996. Suspended Solids Control in Recirculating Aquaculture Systems. In: *Aquaculture Water Reuse System: Engineering Design and Management*. Timmons, M.B. and T.M. Losordo eds. Elsevier, Amsterdam, pp. 61-100.
- Kim, B.J., K.H. Suh, S.H. Bong, J.H. Lim, Y.H. Kim and S.K. Kim. 2000. The removal of aquacultural wastes by foam separator from sea water - I. The effect of initial protein concentration. *J. Kor. Inst. Chem. Eng.*, 38(5), 745-752. (in Korean)
- Kim, S.K., I.Y. Jeong, J.K. Seo and M.R. Kim. 2000. Abstract, Autumn Joint Meet. *Kor. Soc. Fish. Sci.*, pp. 150-151. (in Korean)
- Landman, M.J. and M.R. van den Heuvel. 2003. An improved system for the control of dissolved oxygen in freshwater aquaria. *Water Res.* 37, 4337-4342.
- 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.
- Park, S.I., S.K. Kim and J.C. Kang. 1999. The development of filter for environmental improvement in land based seawater fish farm 3. Purification efficiency of rearing seawater by screen filter and ultraviolet. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32(4), 501-506. (in Korean)
- Phillips, L.G., S.E. Hawks and J.B. German. 1995. Structural characteristics and foaming properties of  $\beta$ -lactoglobulin: Effects of shear rate and temperature. *J. Agric. Food Chem.*, 43(3), 613-619.
- Rijn, J.V. 1996. The potential for integrated biological treatment system in recirculating fish culture. *Aquaculture*, 139, 181-201.
- Saleh, Z.S. and M.M. Hossain. 2001. A study of the separation of proteins from multicomponent mixtures by a semi-batch foaming process. *Chem. Eng. Process.*, 40, 371-378.
- Suh, K.H., B.J. Kim, S.K. Kim, Y.H. Kim, G.B. Lee and J.H. Lim. 2001. The removal of aquacultural wastes by foam separator from seawater - II. The effect of hydraulic residence time. *J. Kor. Inst. Chem. Eng.*, 39(2), 237-244. (in Korean)
- Suh, K.H., M.K. Lee, M.S. Lee, B.J. Kim, Y.J. Kim and M.C. Jo. 1997. Treatment of aquacultural recirculating water by foam separation - II. Characteristics of solid removal. *J. Kor. Fish. Soc.*, 30(3), 334-339. (in Korean)
- Suzuki, Y. and T. Maruyama. 2002. Removal of suspended solids by coagulation and foam separation using surface-active protein. *Water Res.*, 36(9), 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 for intensive culture of eel- towards zero emission, *Aquacult. Eng.*, 29(3), 165-182.
- Tchobanoglous, G. and E.D. Schroeder. 1985. *Water Quality*, Addison-Wesley Publishing Company, California, pp. 56.
- Van der Geest, H.G., W.J. Soppe, G.D. Greve, A. Kroon and M.H.S. Kraak. 2002. Combined effects of lowered oxygen and toxicants (copper and diazinon) on the mayfly ephoron virgo. *Environ. Toxicol. Chem.*, 21(2), 431-436.

2003년 12월 30일 접수  
2004년 3월 31일 수리