



해수 유동층 여과시스템의 적정 운용 조건

손맹현*, 조기채¹, 전임기², 임한규, 박민우
국립수산업연구원 양식관리팀, ¹서해수산연구소 양식연구팀, ²부경대학교 양식학과

Examine the Proper Operating Conditions in the Seawater Fluidized Bed Filter System

Maeng-Hyun Son*, Kee-Chae Cho¹, Im-Gi Jeon², Han Kyu Lim and Min-Woo Park
Aquaculture Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea
¹*Aquaculture Research Team, West Sea Fisheries Research Institute, Incheon 400-420, Korea*
²*Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

Experiments were conducted to examine the differences in ammonia removal rates with the different filter media between sand and zeolite, the expanding rates between 50% and 100%, the water temperatures between 15°C and 25°C, and the ammonia loading rates between 2 mg/L and 5 mg/L in the seawater fluidized bed filters system (FBF). The 2.1 m high FBF (8.3 cm diameter) consisted of the clear acrylic for the upper half and a PVC pipe for the lower half. Sand and zeolite were used as the filter media in sizes of 0.5±0.1 mm. Each biofilter contained 5.4 L of media. The ammonia removal rates of the biofilter were higher at the 25°C water temperature than those of the biofilter at 15°C water temperature, and higher at the 50% expanding rate of filter media than those of the biofilter at 100% expanding rate of filter media. Also, the ammonia removal rates of FBF were higher at 5 mg/L ammonia concentration than those of FBF at 2 mg/L ammonia concentration in rearing water. With these better conditions the ammonia removal rates of FBF per day are practically acceptable and ranged from 80.6 to 210.6 g/m³.

Keywords: Fluidized bed filter, Ammonia loading rate, Expanding rate, Filter media

서론

연안 양식장의 수질 환경은 오염원의 증가와 자가오염 등으로 인하여 지속적으로 악화되고 있으며, 육상 수조식 양식장도 양식장의 밀집과 배출된 사육수의 재사용 등으로 질병 발생 빈도가 증가하고 있다. 연안역의 오염원 증가는 양식 생산성의 저하를 초래할 뿐만 아니라 식품으로서 양식 생산물의 안전성도 위협하고 있다. 해상 가두리 양식장도 육상에서의 오염원 유입과 가두리 자체에서 발생하는 사료 찌꺼기와 어류 배설물의 축적 등으로 양식 환경이 악화되고 있다. 따라서 자연 환경을 보전할 수 있는 양식방법의 개발이 시급하며 이러한 배경에서 현재 국내·외에서 환경오염을 최소화 할 수 있는 양식방법인 순환여과 양식시스템에 대한 관심이 고조되고 있다.

순환여과 양식시스템에서 생물여과조의 질산화 효율에 관한 연구는 지금까지 많은 연구자들에 의해 다루어졌던 분야이다 (Gujer and Boller, 1986; Nijhof and Bovendeur, 1990; Nijhof and Klapwijk, 1995; Greiner and Timmons, 1998; Simonel et

al., 2002). 순환여과 양식시스템에서 사육수에 축적된 암모니아는 양식생물에게 매우 유독하므로 사육수의 교환이나 생물학적 여과작용에 의해 제거되어야 한다. 축적된 암모니아를 제거하기 위한 생물 여과 방법으로는 유동층 모래 여과, 살수식 여과, 회전원판식 여과, 부유 비드여과 등이 많이 이용되고 있다. 최근 이들 방법 중에서 유동층 모래 여과 방법에 관한 연구가 주목을 받고 있다(Sumerfelt and Cleasby, 1996). 유동층 모래 여과 시스템의 중요한 경제적 장점은 비교적 적은 비용과 소규모로도 침지식이나 살수식, 회전원판식 여과조에 비해 우수한 여과 효율을 가진다는 것이다(Timmons and Summerfelt, 1998). 유동층 모래 생물 여과조는 암모니아 부하량, 모래 여과층의 깊이, 유수량에 대한 모래의 입자 크기 등의 요인에 의해 여과효율이 결정된다. 현재까지의 연구 결과는 주로 담수에서 모래의 크기, 깊이 및 암모니아 부하량에 따른 유동층 여과조의 여과 효율에 관한 내용이 대부분이며(Teresa et al., 2000), 해수 유동층 여과 시스템의 운용 조건 중에서 온도와 미디어의 유동율에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 해산어류의 집약적 사육을 위한 해수 유동층 순환여과 시스템에 있어서 사육수의 암모니아 농도에 따른

*Corresponding author: sonmh@nfrdi.re.kr

수온 및 여과 매디아의 유동율별로 암모니아 제거효율을 조사하여 유동층 여과조의 적정 운용 조건을 구명함으로써 순환여과 시스템의 효율을 극대화 하는데 목적이 있다.

재료 및 방법

여과 및 사육장치

본 실험에 이용한 해수 순환여과 사육시스템은 이상 유동층 여과 시스템과 사육수조로 구성하였다(Fig. 1). 이 중에서 유동층 여과 시스템은 직경 8.3 cm 원통형으로 총 높이를 2.1 m로 하였으며 상부 1.1 m는 여과 재료의 유동비율을 조절할 수 있고 육안적으로 유동 부위의 관찰이 용이한 아크릴관으로 만들었다. 하부 1.0 m는 PVC 재질로 제작하였다. 유동층 여과 시스템의 여과 매디아로서 직경 0.5 ± 0.1 mm 크기의 모래 알갱이와 제올라이트 알갱이를 각각 5.4 L씩 여과조에 넣었고, 사육수조는 직경 1.0 m, 높이 65 cm의 FRP 원형 수조로서 수용적을 860 L로 조절하였다.

유동층 여과조의 운용 조건

여과조의 암모니아는 염화암모늄(NH_4Cl)을 사용하여 농도를 조절하였고, 유동층 여과조 내에서 사육수의 수리학적 체류시간은 30분으로 조절하였다. 1차 실험에서는 유동층 여과조의 여과 재료별(모래와 제올라이트)로 숙성 정도를 파악하기 위하여 수온 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 암모니아 부하량을 2 mg/L로 조절하여 경과시간에 따른 여과 재료별 암모니아와 아질산 농도 변화를 조사하였다. 2차 실험에서는 암모니아 부하량을 저농도인 2 mg/L와 고농도인 5 mg/L의 2가지 농도에서 여과 재료별로 경과시간에 따른 암모니아 제거량을 산정하였다. 3차 실험에서는 유동층 여과 시스템의 운용 조건의 하나인 적정 수온과 유동 비율을 구명하기 위해 제올라이트 매디아를 이용해서 암모니아 부하량(2 mg/L, 5 mg/L)을 달리하여 수온(15°C , 25°C)과 매디아 유동율

(50%, 100%)에 따른 암모니아 및 아질산 제거 효율을 조사하였다. 모든 실험은 2반복으로 실시하였다.

수질조사

사육수의 수질 변화는 실험 기간 동안에 매일 사육수와 유동층 여과조를 통과한 여과해수를 채수하여 수온, pH, 용존산소, 암모니아, 아질산, 질산 농도를 측정하였다. 수온, pH 및 용존산소량은 각각 디지털 수온계(ND, Nisso), pH meter 및 용존산소측정기(YSI 58)를 이용하여 측정하였다. 암모니아는 인도페놀변법, 아질산은 설파닐아미드법, 질산은 카드뮴 환원법을 이용하여 분석하였다(APHA, 1989).

통계처리

여과 매디아, 암모니아 부하량, 수온 그리고 여과매디아 유동율에 따른 암모니아와 아질산 농도 및 암모니아 제거율 차이에 대한 유의성 검정은 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)를 이용하여 95% 신뢰수준에서 t-test를 이용하여 검증하였다.

결 과

여과매디아별 여과효율

해수 유동층 여과시스템을 설치 후 약 1개월간 숙성한 유동층 여과 시스템의 질산화 효율을 조사하기 위하여 사육수의 암모니아 농도를 2 mg/L로 조절한 후, 사육수의 유동층 여과조 내 체류시간을 30분으로 조절하여 여과 매디아별로 암모니아 및 아질산 농도의 변화를 조사하였다. 유동층 여과조의 여과 재료별로 경과 시간에 따른 암모니아 농도의 변화는 Fig. 2에서 보는 바와 같이, 제올라이트매디아와 모래매디아의 암모니아 농도 값이 각각 1일째에 1.56 mg/L와 1.92 mg/L, 3일째에 1.05 mg/L와 1.50 mg/L, 7일째에 0.01 mg/L와 0.03 mg/L로 나타나 1일째와 3일째에는 모래매디아에 비해 제올라이트매디아의 여과 속도가 유의적으로 빨랐으나($P < 0.05$), 7일째에는 차이가 없었다($P > 0.05$). 제올라이트매디아에서 아질산 농도 값은 1일째부터 4일째까지 지속적으로 상승하여 4일째에 0.3 mg/L로 최고 농도를 나타내었고, 모래매디아는 1일째부터 6일째까지 농도가 상승하여 6일째에 0.8 mg/L로 최고 농도를 보인 후 7일째부터 급격히 농도가 낮아졌다(Fig. 2).

암모니아 부하량 차이에 따른 여과효율

숙성중인 유동층 여과조의 여과매디아별로 여과 효율을 조사한 결과, 1개월 이상 숙성시킨 유동층 여과조는 질산화작용이 활발히 이루어지는 것으로 파악되어 2차 실험에서는 암모니아 부하량(2 mg/L, 5 mg/L)을 달리하여 사육수의 유동층 여과조내 체류시간을 30분으로 조절하였을 시, 여과 매디아별로 여과효율의 차이를 경과시간에 따라 조사하였다. 여과 매디아별

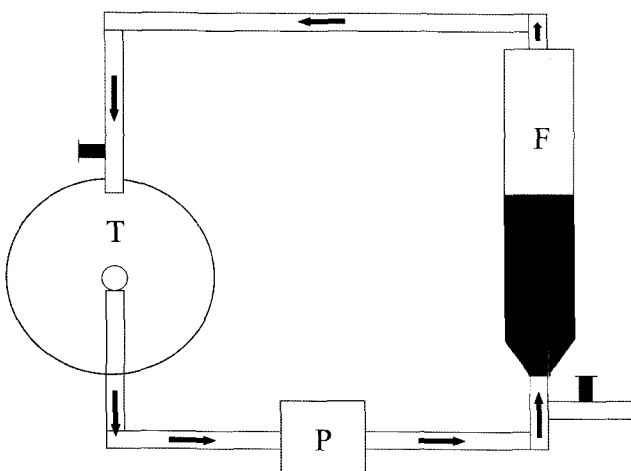


Fig. 1. Diagram of seawater fluidized bed filter system used. F, fluidized bed filter; P, pump; T, tank.

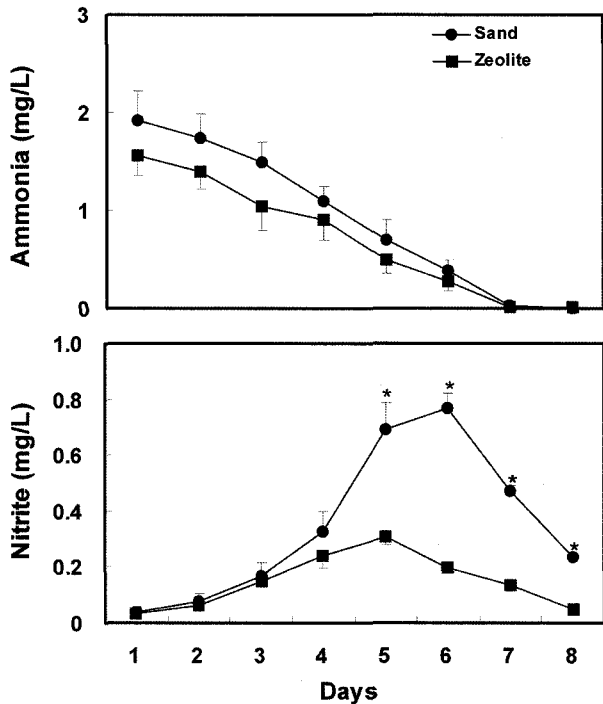


Fig. 2. Changes of ammonia-N and nitrite-N by sand and zeolite filter media of seawater fluidized bed filter system. Asterisks show significant differences between sand and zeolite filter media ($P < 0.05$).

로 경과시간에 따른 사육수의 암모니아 농도 변화는 제올라이트 미디어가 모래미디어에 비해 암모니아 제거 속도가 전반적으로 다소 빠른 경향을 보였으며, 여과 미디어에 따른 암모니아 제거율의 차이보다는 암모니아 부하량이 큰 실험구가 암모니아 부하량이 적은 실험구에 비해 암모니아 제거 속도가 빨랐다. 암모니아 부하원으로 염화암모늄 투입 후 2일째에 암모니아 부하량 5 mg/L 유동층 여과조에서는 제올라이트미디어와 모래미디어의 암모니아 농도가 각각 1.76 mg/L과 1.44 mg/L로 투입시의 약 60%가 제거되었으나, 암모니아 부하량 2 mg/L 유동층 여과조에서는 제올라이트미디어와 모래미디어의 암모니아 농도가 모두 1.16 mg/L로 나타나 암모니아 부하량이 높은 유동층 여과조에서 암모니아 제거속도가 빨랐다. 투입 4일째에는 암모니아 부하량 5 mg/L와 2 mg/L 실험구 모두 사육수 중의 암모니아 농도는 0.1 mg/L 이하로 낮아졌다(Fig. 3).

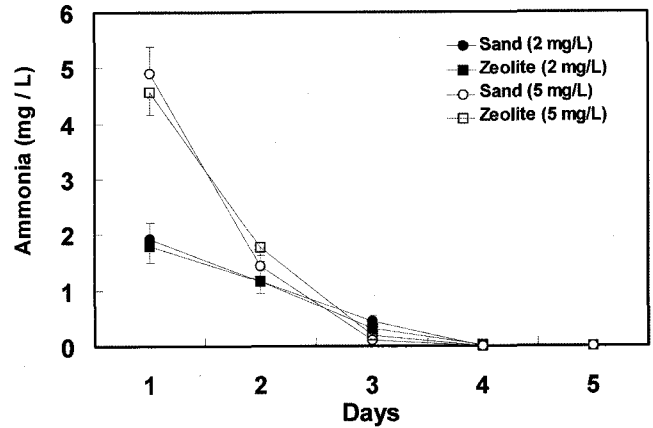


Fig. 3. Changes of ammonia-N by sand and zeolite filter media on different nitrogen loading rates in seawater fluidized bed filter system.

수온별 여과효율

수온(15°C, 25°C)을 달리하여 사육수의 유동층 여과조내 체류시간을 30분으로 조절하였을 시, 유동층 여과조의 경과시간에 따른 암모니아 제거효율을 비교한 결과는 Table 1, 2와 같다. Table 1에서 보는 바와 같이 암모니아 2 mg/L 투입 후 실험 시작 3시간째 사육수의 암모니아 농도는 15°C와 25°C에서 각각 1.68 mg/L와 1.30 mg/L였으며 누적 암모니아 제거 효율은 16%와 35%로 25°C가 15°C에 비해 효율이 약 2.2배 높았다. 실험 24시간째 누적 암모니아 제거효율은 15°C와 25°C에서 각각 96%와 97%로 거의 차이가 없었다. 실험기간 중 사육수의 pH는 15°C의 경우 8.18에서 7.80으로, 25°C의 경우 8.27에서 8.01로 떨어졌으며, 용존산소는 15°C의 경우 6.3 mg/L에서 5.9 mg/L로, 25°C의 경우 4.8 mg/L에서 4.6 mg/L으로 떨어졌다.

암모니아 2 mg/L 투입 후, 실험 3시간째 순간 암모니아 제거량은 수온 15°C와 25°C에서 각각 409 g/m³/day과 893 g/m³/day로 25°C 실험구가 높았으나, 실험 시작 후 24시간째의 순간 암모니아 제거량은 15°C와 25°C에서 각각 305 g/m³/day과 317 g/m³/day로 비슷하였다(Fig. 4A).

Table 2에서 나타낸 것과 같이 암모니아 5 mg/L 투입 후 실험 시작 3시간째 사육수의 암모니아 농도는 15°C와 25°C에서 각각 4.66 mg/L와 4.21 mg/L로 누적 암모니아 제거효율은 6.8%와 15.8%로 25°C가 15°C에 비해 2.3배 효율이 높았다($P < 0.05$).

Table 1. Comparison of water quality by different water temperature under the conditions of 50% expanding rate, zeolite as media, 2 mg/L ammonia concentration of rearing water

Items	WT 15°C					WT 25°C				
	Ammonia (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)	pH	DO (mg/L)	Ammonia (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)	pH	DO (mg/L)
Time(hr)										
0	2.00	0.00	1.62	8.18	6.3	2.00	0.00	3.29	8.27	4.8
3	1.68	0.06	1.80	7.96	5.9	1.30	0.18	3.50	8.15	4.8
24	0.08	0.41	4.12	7.80	5.9	0.01	0.06	6.26	8.01	4.6

Table 2. Comparison of water quality by different water temperature under the conditions of 50% expanding rate, zeolite as media, 5 mg/L ammonia concentration of rearing water

Time(hr)	WT 15°C					WT 25°C				
	Ammonia (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)	pH	DO (mg/L)	Ammonia (mg/L)	Nitrite (mg/L)	Nitrate (mg/L)	pH	DO (mg/L)
0	5.00	0.01	2.27	8.15	7.8	5.00	0.02	0.99	8.30	6.1
3	4.66	0.24	2.47	8.15	6.1	4.21	0.33	1.21	8.32	5.2
24	3.88	0.38	3.40	8.10	6.2	3.43	0.57	3.99	8.17	4.8
48	1.74	0.87	4.31	8.02	6.4	0.56	1.47	8.41	8.02	5.1
72	0.87	1.54	8.89	7.83	6.7	0.05	0.47	9.20	8.09	5.0
96	0.01	1.70	10.5	7.86	6.8	0.01	0.03	10.57	8.13	5.6

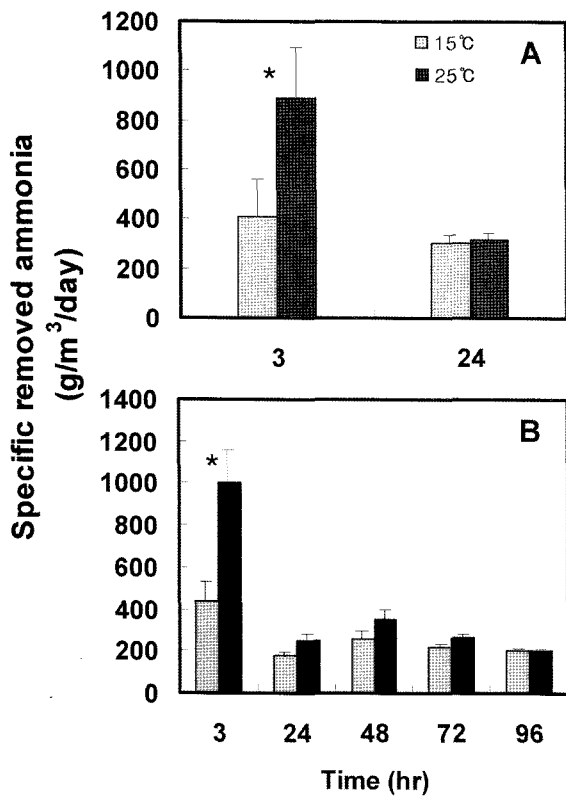


Fig. 4. Specific removed ammonia by different water temperature under 2 mg/L and 5 mg/L ammonia concentration of rearing water. Asterisks show significant differences between 15 and 25 (P<0.05). A, 2 mg/L ammonia concentration; B, 5 mg/L ammonia concentration.

실험 24시간째 누적 암모니아 제거효율은 15°C와 25°C에서 각각 22.4%와 31.4%로 25°C가 높았으며, 15°C에서는 96시간 후, 25°C에서는 72시간 후 누적 암모니아 제거효율이 99% 이상을 나타내었다. 실험기간 중 사육수의 pH는 15°C의 경우 8.15에서 7.83까지 낮아졌다가 7.86으로 회복되었고, 25°C의 경우 8.30에서 8.02까지 낮아졌다가 8.13으로 회복되었다. 용존산소는 15°C의 경우 7.8 mg/L에서 6.1 mg/L로 낮아졌다가 6.8 mg/L로 회복되었고, 25°C의 경우 6.1 mg/L에서 4.8 mg/L로 낮아졌다가 5.6 mg/L으로 회복되었다.

암모니아 5 mg/L 투입 후, 실험 3시간째 암모니아 제거량은

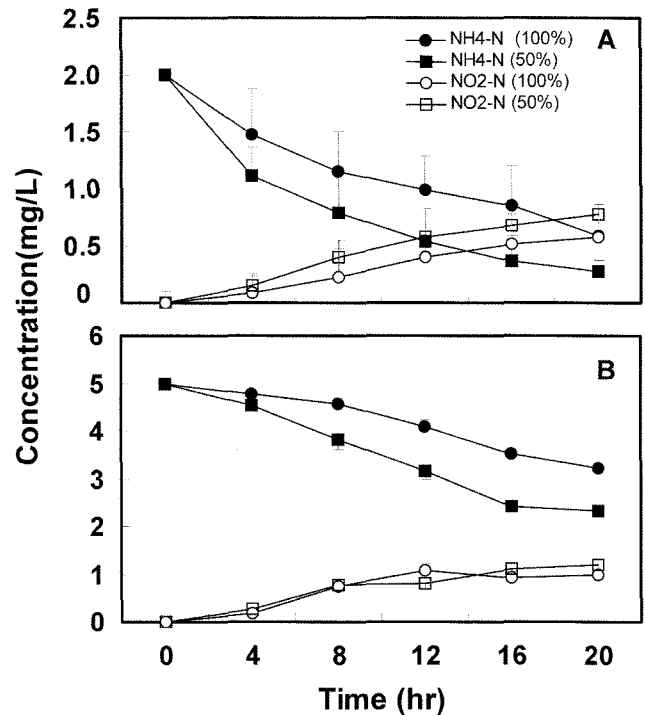


Fig. 5. Changes of ammonia-N and nitrite-N by different expanding rate under 2 mg/L and 5 mg/L ammonia concentration of rearing water. Asterisks show significant differences between 50% and 100% (P<0.05). A, 2 mg/L ammonia concentration; B, 5 mg/L ammonia concentration.

15°C와 25°C에서 각각 432 g/m³/day과 1,006 g/m³/day로 수온 25°C 실험구가 높았고, 실험 시작 24시간째 이후의 순간 암모니아 제거량은 15°C와 25°C에서 큰 차이가 없었다(Fig. 4B).

여과메디아 유동율 차이에 따른 여과효율

유동층 여과시스템에서 제올라이트 메디아로서 유동율(50%, 100%)을 달리한 사육수의 유동층 여과조내 체류시간을 30분으로 조절하였을 시, 유동층 여과조의 경과시간에 따른 암모니아와 아질산 농도의 변화 및 제거량의 산정 결과는 Fig. 5, Fig. 6에 나타내었다.

암모니아 2 mg/L 투입 후(Fig. 5A), 실험시작 4시간째 유동층 여과시스템의 메디아 유동율 50%와 100%에서 암모니아 농

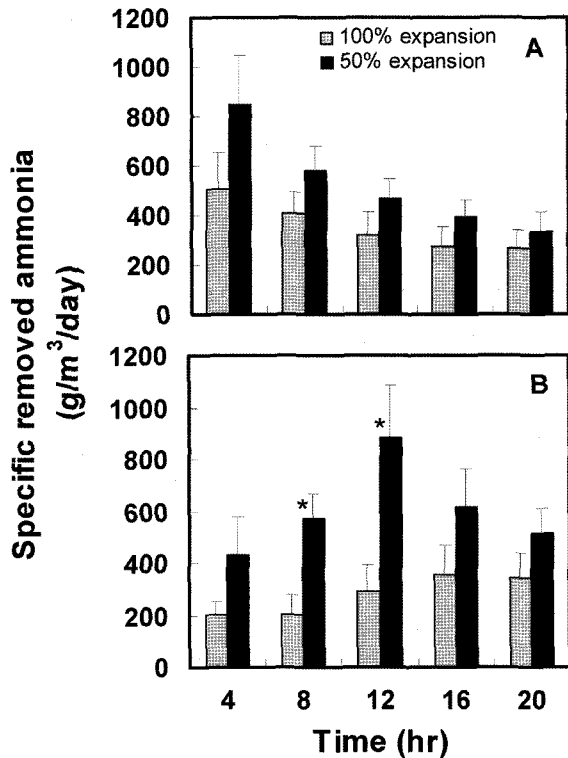


Fig. 6. Specific removed ammonia by different expanding rate under 2 and 5 mg·L⁻¹ ammonia concentration of rearing water. Asterisks show significant differences between 50% and 100% (P<0.05). A, 2 mg/L ammonia concentration; B, 5 mg/L ammonia concentration.

도는 각각 1.47 mg/L과 1.11 mg/L로 낮아져 미디어 유동율 50%와 100%에서 누적 암모니아 제거효율은 각각 44.5%와 26.5%로 유동율 50%실험구가 높았으며, 20시간째의 암모니아 농도는 각각 0.59 mg/L과 0.27 mg/L로 낮아져, 이 때의 미디어 유동율 50%와 100%에서 누적 암모니아 제거효율은 86.5%와 70.5%로 또한 유동율 50% 실험구에서 높았다. 암모니아 5 mg/L 투여 후(Fig. 5B), 실험시작 4시간째의 유동층 여과시스템의 미디어 유동율 50%와 100%에서 암모니아 농도는 각각 4.79 mg/L과 4.55 mg/L로 낮아져 미디어 유동율 50%와 100%에서 누적 암모니아 제거효율은 9%와 4%로 유동율 50% 실험구에서 높았으며, 20시간째의 암모니아 농도는 각각 3.22 mg/L과 2.33 mg/L로 낮아져 누적 암모니아 제거효율은 53%와 36%로 유동율 50%실험구가 높았다. 한편 아질산 농도 변화는 암모니아 2 mg/L, 5 mg/L 투여 실험구 모두 암모니아 농도 변화에 따라 아질산 농도가 상승함을 알 수 있었다(Fig. 5).

암모니아 2 mg/L 투여 후(Fig. 6A), 4시간째 유동층 여과시스템의 암모니아 제거량은 유동율 50%와 100%에서 각각 850 g/m³/day과 506 g/m³/day로 유동율 50% 실험구가 유동율 100% 실험구에 비해 1.7배 높았으며, 20시간째 암모니아 제거량도 331 g/m³/day와 269 g/m³/day로 유동율 50%실험구가 다소 높았다. 암모니아 5 mg/L 투여 후(Fig. 6B), 4시간째 유동층 여

과시스템의 암모니아 제거량은 유동율 50%와 100% 실험구에서 각각 430 g/m³/day과 202 g/m³/day로 유동율 50%실험구가 높았고, 실험 시작 후 20시간째의 암모니아 제거량은 미디어 유동율 50%와 100%실험구에서 각각 511 g/m³/day과 341 g/m³/day로 유동율 50%실험구가 유동율 100% 실험구에 비해 높았다(Fig. 6).

고 찰

사육 생물이 배설하는 암모니아의 처리에 있어서 순환여과 사육시스템에서 생물막 여과조의 여과 기능이 원활하게 작동하고 있는지를 파악하기 위하여 다양한 조건에서 생물 여과조의 효율을 조사하였다. 생물여과를 위한 미디어로는 모래, 산호사, 각종 플라스틱 등 다양한 재료가 이용되지만, 일반적으로 유동층 생물 여과조에 이용되는 미디어는 단위 용적당 높은 표면적을 제공하는 직경 3 mm 이하의 소형 알갱이를 많이 사용한다. 모래의 경우 크기는 0.1~1.0 mm 입자가 일반적으로 사용되는데, 이 실험에서 유동층 여과 시스템의 여과 미디어는 유동층 여과 미디어로서 주로 이용되는 직경 0.5±0.1 mm의 모래와 제올라이트를 이용하였다.

새로이 제작 시설된 여과시스템의 경우 반드시 여과미생물의 숙성기간이 필요하다. 여과조에서 여과생물의 숙성에 관한 많은 연구가 있는데, 수온 26~34°C의 침지식 및 회전원판 해수 순환여과 사육시스템에서 새로운 여과조의 설치 후 사육수의 질산화 작용이 원활히 일어나는 숙성기간은 대략 29~41일이라고 보고되었는데(Forster, 1974; Hirayama, 1974; Carmignani and Bennett, 1977; Son and Jeon, 2001), 본 실험의 유동층 여과 시스템에서 여과생물의 숙성기간도 이전의 연구에서 언급된 침지식 및 회전원판 여과 시스템의 숙성 기간과 유사하였다.

유동층 여과조의 여과 재료별로 경과 일수에 따른 암모니아 제거율을 조사한 결과, 제올라이트미디어와 모래미디어의 암모니아 제거율은 각각 1일째에 22.1%와 4.1%였고, 4일째에 55.0%와 45.0%였으며, 7일째에 99.6%와 99.8%로 1일째와 4일째에는 모래미디어에 비해 제올라이트미디어의 암모니아 제거율이 높았는데, 이는 제올라이트미디어가 갖는 물리적 특성으로, 제올라이트 미디어가 모래미디어 보다 세공이 더 많기 때문에 미디어에 여과 미생물이 서식할 수 있는 공간이 많기 때문으로 사료된다. Fig. 2에서 모래미디어가 제올라이트미디어에 비해 아질산 농도가 높게 나타난 것은 여과미디어의 특성상 모래미디어가 제올라이트미디어에 비해 여과미생물의 숙성이 늦은 것으로 사료된다.

본 연구에서 암모니아 부하량이 낮은 2 mg/L에 비해 부하량이 높은 5 mg/L에서 암모니아 제거효율이 높았는데, 이러한 결과는 Son et al. (2000)이 회전원판 여과시스템에서 암모니아 부하량 차이에 따른 암모니아 제거율 조사에서 밝힌 암모니아 부하량이 높을수록 질산화율이 높아진다는 결과와 일치하였다. 또

한 이러한 결과는 여과조의 여과생물은 여과 표면적에 비례하여 항상 일정한 양의 암모니아를 산화시키는 것이 아니고, 암모니아 부하량에 높아짐에 따라 여과생물의 여과능력이 커진다는 것을 암시하고 있다.

숙성된 유동층 여과조의 암모니아 부하량 차이에 따른 여과 매디아별 여과효율 조사 결과로부터, 25±1°C인 사육수의 암모니아 농도를 2~5 mg/L 부하시 유동층 여과조의 일간 암모니아 제거량은 80.6~210.6 g/m³로 산정되었다. 이와 관련된 연구 결과를 살펴보면 Lee (2002)는 유동층 여과 시스템에서 여과 매디아별로 암모니아 부하량에 따른 일간 암모니아 제거량을 조사한 결과, 담수 조건에서는 168~207 g/m³, 해수 조건에서는 20~154 g/m³ 이라고 보고하였고, Jeon et al. (1997)은 해수 침지식 여과시스템에서 모래 매디아의 일간 암모니아 제거량은 45.1 g/m³으로 보고하였다. 이들 결과와 비교하면 본 실험에서의 암모니아 제거량은 다소 많았다. 또한 Simonel et al. (2002)은 살수식 여과조에서의 일간 암모니아 제거량을 32 g/m³로 보고하여 본 실험 결과와는 차이를 보였다. 이러한 차이는 생물 여과조의 질산화 능력은 주로 생물학적 성장을 위해 이용 가능한 총 표면적과 면적 효율성에 좌우된다. 또한 단위 표면적당 질산화효율은 수온, 암모니아 부하, 생물막의 성장 단계(지체기, 대수기, 정체기, 사멸기), 공간과 산소에 대한 타가영양세균의 경쟁 등의 이유 때문이라고 생각된다.

유동층 여과시스템에서 여과매디아의 유동율에 따른 암모니아 제거율은 유동율 50%가 유동율 100%에 비해 높았다. 이것은 Summerfelt and Wade (1997)가 보고한 것처럼 유동층 여과 시스템에서 입자가 큰 모래의 경우 모래가 정체 상태로 되지 않기 위해 모래의 유동율은 50%가 적당하다고 제시한 결과와 일치하였다.

이상의 결과들을 종합하면 본 연구에서 유동매디아로서 제올라이트를 이용하여 유동율 50%, 수온 25에서 유동층 여과시스템의 일간 암모니아 제거량은 80.6~210.6 g/m³로 산정되었다. 그리고 이 결과를 바탕으로 넙치 양식장에 적용하여 순환여과 시스템에서 넙치의 수용능력을 계산해 보면, Kikuchi et al. (1992)이 연구한 수온 20°C에서 체중 15~91 g 넙치의 일간 암모니아 배설량은 29.6 mg-N/100 g fish이므로 해수 유동층 여과시스템의 여과조 m³당 넙치 272~711 kg이 내놓는 암모니아를 처리할 수 있을 것으로 추정할 수 있다.

요 약

순환여과 사육시스템에서 유동층 여과조의 적정 유동조건을 구명하기 위하여 매디아 유동율(50%, 100%), 수온(15°C, 25°C) 및 암모니아 부하량(2 mg/L, 5 mg/L) 차이에 따른 암모니아 제거율을 조사하였다. 유동층 여과 시스템은 직경 8.3 cm, 높이는 2.0 m의 원통형으로 상부는 여과재료의 유동 비율의 조절이 용이하며 육안적으로 관찰이 가능한 아크릴관을 이용하였고

하부는 PVC 재질로 제작하였다. 유동층 여과 시스템의 여과 매디아로 직경 0.5±0.1 mm 크기의 모래와 제올라이트 입재를 각각 5.4 L씩 여과조에 넣었다. 유동층 여과조의 암모니아 제거 능력은 암모니아 부하량에 따라 부하량이 적은 2 mg/L 실험구에 비해 부하량이 큰 5 mg/L 실험구에서 암모니아 제거 효율이 높았고, 여과 매디아별로는 제올라이트 매디아가 모래 매디아에 비해 암모니아 제거율이 높았다. 수온에 따른 유동층 여과 시스템의 암모니아 제거 능력은 수온이 높은 25°C가 수온이 낮은 15°C에 비해 암모니아 제거율이 높았으며, 매디아의 유동율에 따른 유동층 여과조의 암모니아 제거율은 유동율 50%가 유동율 100%에 비해 높았다. 이상의 결과로부터 유동층 여과조의 운용조건이 수온 25°C, 암모니아 부하량이 5 mg/L이고 여과매디아의 유동율이 50%일 때, 유동층 여과조의 일간 암모니아 제거량은 80.6~210.6 g/m³으로 산정되었다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물품질관리원(해산양식생물의 육상사육을 위한 실용화시스템개발, RP-2005-AQ-022)의 지원에 의해 운영되었습니다.

참고문헌

- APHA, 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. American Public Health Association, 1532 pp.
- Carmignani, G. M. and J. P. Bennett, 1977. Rapid start-up of a biological filter in a closed aquaculture systems. *Aquaculture*, 11, 85-88.
- Forster, J. R. M., 1974. Studies on nitrification in marine biological filters. *Aquaculture*, 4, 387-397.
- Greiner, A. D. and M. B. Timmons, 1998. Evaluation of the nitrification rates of micro-bead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. *Aquacult. Eng.*, 18, 189-200.
- Gujer, W. and M. Boller, 1986. Design of nitrifying tertiary trickling filter based on theoretical concepts. *Water Res.*, 20, 1353-1362.
- Hirayama, K., 1974. Water control by filtration in closed culture systems. *Aquaculture*, 4, 369-385.
- Jeon I. G., M. H. Son, J. Y. Jo and J. M. Lee, 1997. Ammonia removal capacities of several filter media in a seawater recirculating aquaculture system. *J. Aquacult.*, 10, 261-271.
- Kikuchi K., S. Takeda, H. Honda and M. Kiyono, 1992. Nitrogen excretion of juvenile and young Japanese flounder. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 2329-2333.
- Lee, B. H., 2002. Efficiency Improvement of recirculating aquaculture system by using fluidized bed reactor. Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, 196 pp.
- Nijhof, M. and J. Bovendeur, 1990. Fixed film nitrification char-

- acteristics in sea-water recirculation fish culture system. *Aquaculture*, 87, 133-143.
- Nijhof, M. and A. Klapwijk, 1995. Diffusional transport mechanisms and biofilm nitrification characteristics influencing nitrite levels in nitrifying trickling filters effluents. *Water Res.*, 29, 2287-2292.
- Simonel, I. S., D. B. Gregory, J. W. Barnaby and L. B. Brian, 2002. Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with a plastic bead medium. *Aquacult. Eng.*, 26, 41-59.
- Summerfelt, S. T. and J. L. Cleasby, 1996. A review of hydraulics in fluidized sand bed biological filters. *Trans. ASAE*, 39, 1161-1173.
- Summerfelt, S. T. and E. M. Wade, 1997. Recent advances in water treatment processes to intensify fish production in large recirculating systems. (in) Timmons, M.B., Losordo. T. (ed.), *Proceedings of the Aquacultural Engineering Society Technical Sessions at the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 9 Nov-12 Nov 1997, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Orlando, Florida, pp. 350-367.
- Son, M. H., I. G. Jeon, K. C. Cho and K. S. Kim, 2000. Ammonia removal rate on ammonia loading rates in seawater filtering system using rotating biological contactor. *J. Korean Fish. Soc.*, 33, 367-372.
- Son, M. H. and I. G. Jeon, 2001. Acclimation period of rotating biological contactor filtering system. *Bulletin of National Fisheries Research and Development Institute*, 59, 32-37.
- Teresa, K. N., B. T. Michel, D. M. Carlo and M. T. Scott, 2000. Biofilm characteristics as affected by sand size and location in fluidized bed vessels. *Aquacult. Eng.*, 22, 213-224.
- Timmons, M. B. and S. T. Summerfelt, 1998. Application of fluidized-sand biofilters to aquaculture. (in) *Proceeding of the Second International Conference on Recirculating Aquaculture*, (ed.) G. S. Libey and M. B. Timmons, Roanoke, Virginia, pp. 342-354.

원고접수 : 2005년 9월 3일

수정본 수리 : 2005년 9월 29일