

## 살수여상공법을 이용한 양어장 순환수처리

김정숙 · 이병헌\*

부산발전연구원 · \*부산수산대학교 환경공학과

## Recycling Water Treatment of Aquaculture by Using Trickle Filter Process

Jeong-Sook KIM and Byung-Hun LEE\*

Pusan Development Institute, Haeundae-Ku, Pusan 612-600, Korea

\*Department of Environmental Engineering, National Fisheries University of Pusan, Nam-gu, Pusan 608-737, Korea

The objective of the present study is to evaluate organic removal efficiencies, nitrogen removal efficiencies, kinetic constant, sludge production rates, oxygen requirements, and optimum treatment conditions for recycling water treatment of aquaculture by using a trickling filter process.

When the loading rates were 0.500~0.082 kg COD/m<sup>2</sup>/day and 0.271~0.044 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>2</sup>/day, SCOD and ammonia removal efficiencies were 74.5~84.0% and 43.7~61.8%, respectively. The maximum removal rate of ammonia was 119.5 mg/L/day. Observed cell yield coefficient in the trickling filter reactor was 0.572 kg VSS/kg BOD<sub>rem</sub>. When the hydraulic loading rate was 6.712~40.341 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day, oxygen uptake rate was 1.33~7.22 mg O<sub>2</sub>/L/hr.

**Key words** : loading rate, trickling filter, hydraulic loading rate, oxygen uptake rate

### 서 론

생물의 생태에 따른 양식 방법을 유영 동물 양식 측면에서 구분하면 정수식 못 양식, 유수식 양식, 가두리 양식, 순환여과식 양식으로 나눌 수 있다. 우리나라는 좁은 국토 면적 때문에 광대한 면적이 필요한 정수식 못양식은 제한을 받고 있으며 이 방법에 의해서는 생체량이 적은 종묘 생산에는 적합할 것이지만 대량 생산을 전제로 하는 식용어 생산은 생각할 수가 없다 (Kim, 1980). 유수식 양식과 가두리 양식은 대량 생산에 적합한 방법이지만 고밀도 양식일 경우는 사료 공급으로 생성되는 폐기물을 처리해야 한다. 또한 주요 상수원인 다목적 인공호에 설치되어 있는 가두리 양식장이 주 오염원의 하나로 인식되어 상수원 수질 보호 차원에서 댐호에서의 가두리 신규 설치가 어렵게 되고 기존 가두리 양식장은 환경 규제 대상으로

지목을 받게 되어 지속적인 가두리 양식장의 허가 여부가 불투명한 실정에 놓여 있다 (Lee, 1994). 또한 유수식 양식, 가두리 양식이 물 공급이 유리한 지역에 위치하여 양식되었으나, 지방 시장과 수요자들에게 신선한 어종을 공급하기 위해 새로운 양식 방법에 기술적인 관심을 갖게 되었다. 따라서 물 공급이 어려운 지역에서도 가능한 순환 여과 양식법이 개발되었는데 이 방법의 장점으로는 고밀도로 어류를 양식하므로 양식 생산량을 더 늘일 수 있게 해주고 특히, 수량이 부족할 때, 노폐물의 처리 그리고 겨울이 긴 우리나라 같은 곳에서는 보온에 유리하다 (Muir, 1981).

순환여과식 양식의 경우 고밀도로 인한 배설물 및 사료에 의하여 수질이 악화되기 쉬우므로 적절한 수처리가 요구된다. 특히, 어류의 배설물이나 사료에 의해 발생하는 암모니아는 어류의 성장을 저해하거나 치사시키기 때문에 사육조 내의 비이온성 암모니아

를 미국환경보호청에서는 0.02 mg/L 이하로 유지하도록 권장하고 있다 (Rogers and Klemetson, 1985). 또한 사육조 내의 용존성 유기물은 타가영양성 미생물에 의해 분해되면서 물속의 용존 산소를 소모시키고 질산화 억제 작용을 한다. 부유성 고형 물질은 어종이나 어체 크기에 따라 영향이 틀리기는 하나 어류에 스트레스를 주어 질병을 유발시키고 질병에 대한 저항력을 감소시키므로 25 mg/L 이하로 유지시키는 것을 권장하고 있다.

고밀도 양어장의 수질 관리를 위한 양어장 순환수 처리 공법으로 활성슬러지공법 (Meske, 1976), 살수여상공법 (Rogers and Klemetson, 1985), 침전여상공법 (Nijhof and Bovendeur, 1990), 회전원판공법 (Lim, 1993; Antonie et al., 1974), 수경법 (Lewis et al., 1978) 및 유동층공법 (Kim, 1995)이 많이 이용되고 있다.

본 연구는 비교적 운전이 쉬운 살수여상공법을 양어장 순환수 처리 장치로 이용하기 위하여 실제 처리장 설계시의 적용 가능성을 나타내는 동력학적 상수와 유기물질 제거 효율, 암모니아 제거 효율, 슬러지 생산량과 산소소요량 등을 파악하는 것이 목적이다. 본 연구 결과는 양어장 순환수 처리 장치를 건설할시 공정 선정의 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

## 재료 및 방법

### 실험 장치

본 연구에 사용한 살수여상의 실험 장치는 Fig. 1과 같다. 살수여상 반응기는 내경 4.5 cm, 길이 170 cm의 원통 아크릴을 사용해 제작하였다. 35 cm 간격으로 sampling port와 media sampling port를 두었으며 상부 4 cm경에 분산판을 설치하였고 막힘에 대비하여 하부 5 cm에 역세척 장치를 설치하였다. 기질 주입은 ISM 021-0030 (Cole-Parmer Instrument Company)과 호스를 사용하였으며 메디아는 무연탄 (Anthracite)을 사용하였다.

### 시료 조제

본 연구에 사용한 인공 양식수는 Table 1과 같다. 유기물질원으로는 포도당 (glucose)을 사용하였으며

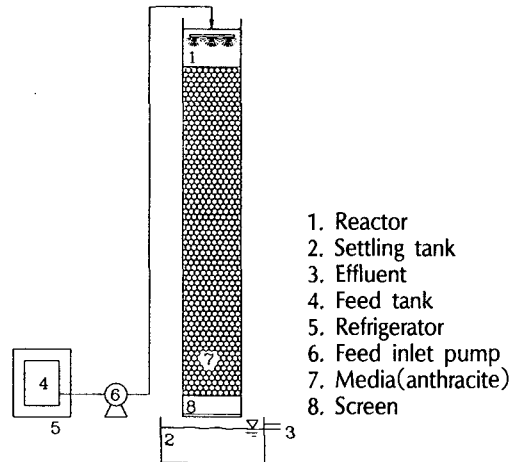


Fig. 1. Schematic diagram of trickling filter.

Table 1. Synthetic feedstock solution

Composition	mg/L
Glucose	20
NaHPO <sub>4</sub>	40
NaHCO <sub>3</sub>	125
MnSO <sub>4</sub>	2
NH <sub>4</sub> Cl	As need

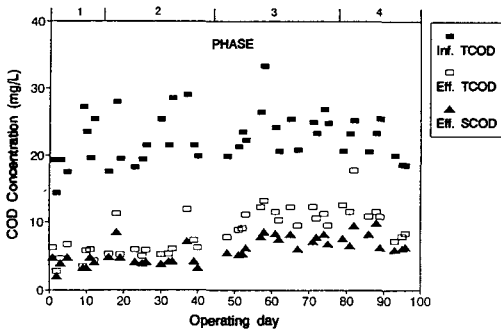
암모니아원으로 염화암모늄 (NH<sub>4</sub>Cl)을 사용하였고 질산화시 소모되는 알칼리도의 보충을 위하여 중탄산나트륨 (NaHCO<sub>3</sub>)을 필요량 주입하였다. 기질 조제에 필요한 희석수는 미량 원소의 공급을 위하여 수돗물을 사용하였다.

### 실험 방법

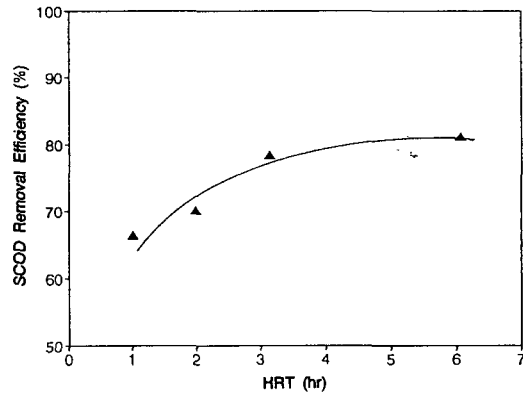
살수여상공법을 운전하기 위해서는 미생물을 희분식으로 주입하여 부착시키고 난 다음 처리를 행하거나 사용할 시료를 계속 주입하면서 자연적으로 미생물을 형성시켜 운전할 수 있다. 실험 단계는 0.082~0.500 kg COD/m<sup>3</sup>/day, 0.044~0.271 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day 와 6.712~40.341 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day로 4단계로 나누어 행하였으며 각 단계에서 1주간을 순응시킨 후 시료를 채취하여 분석하였다. 메디아 표면에 폐수를 고르게 분포시켰으며 연구의 단순화를 위하여 재순환을 시키지 않고 행하였고 운전 80일경에 탈리 현상 (sloughing)이 1회 발생하였으므로 3주 정도 미생물 부착 후 다

**Table 2. Summary of organic removal (COD)**

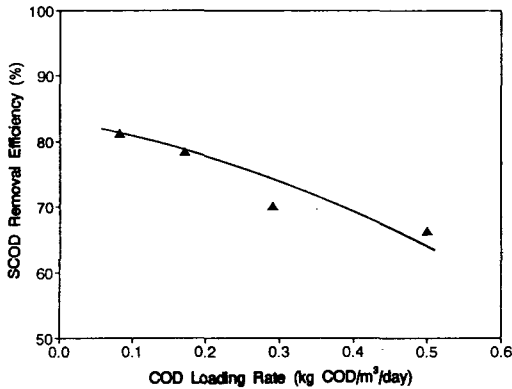
PHASE	Organic Loading Rate	Hydraulic Loading Rate	HRT	Influent COD	Effluent SCOD	Efficiencies
	(kg COD/m <sup>3</sup> /day)	(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day)		(mg/L)	(%)	
1	0.082	6.712	6.07	20.7	4.0	81.2
2	0.171	13.071	3.13	22.2	4.8	78.4
3	0.291	20.475	1.99	24.1	7.2	70.1
4	0.500	40.341	1.01	21.0	7.1	66.4



**Fig. 2. Fluctuation of COD concentrations during operation periods.**



**Fig. 4. COD removal efficiencies versus HRT.**



**Fig. 3. COD removal efficiencies versus COD loading rate.**

시 분석을 행하였다. 메디아로는 무연탄을 사용하여 반응조 전체에 채웠으며 온도는 25 ± 1°C로 운전하였다.

**분석 방법**

모든 수질 분석은 standard methods에 의하여 수행하였으며 standard methods의 여러 방법중 COD는 open reflux method로, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N는 ammonia-selective

electrode method로 수행하였다.

**결과 및 고찰**

**운전 및 미생물막 형성**

메디아에 미생물을 형성시키기 위해 유기물질 부하가 0.10 kg COD/m<sup>3</sup>/day, 수리학적 부하가 6.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day 이고 암모니아 부하가 0.044 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day인 인공양식수를 미생물이 부착 형성될 때까지 주입하였다. 운전 시작 3주 후 부터 안스라사이트에 열린 황색의 미생물이 형성되기 시작하였으며 분석은 6주 후 부터 행하였다. 본 실험이 저농도, 고수리학적 부하에서 행하였기 때문에 살수여상의 생물막 형성시기가 3~7일 정도였다고 보고한 Yun (1989)의 결과와는 상이하였다. 생물막을 구성하고 있는 종으로는 Lymnaea속과 Physa속 같은 후생동물 등이 관측되었다.

**유기물질 제거**

Table 2는 살수여상 반응기의 유기물질 운전 조건

과 결과를 나타낸 것이다. Fig. 2는 운전기간동안 COD 농도변화를 나타낸 것이며 Fig. 3은 인공 양식수 합성 폐수를 사용한 살수여상공법에서 유기물질 부하에 따르는 COD 제거 효율을 나타낸 것이다. 0.500~0.082 kg COD/m<sup>3</sup>/day에서 48.5~76.0%의 TCOD 제거 효율과 66.4~81.2%의 SCOD 제거 효율을 나타내었다. 또한 77.8~69.4%의 TBOD 제거 효율과 84.0~74.5%의 SBOD 제거 효율을 보이고 있다. 이것은 본 연구보다 유입수의 수질이 10배 정도 높은 Tyler and Debra (1986)의 살수여상 효율과, 비교적 고농도의 염색 폐수를 살수여상으로 처리한 Kown (1991)의 효율과 거의 비슷한 값을 보이고 있다. 유입수의 성상과 농도에 따라 제거 효율의 변화가 없는 것은 살수여상공법에 사용한 매디아의 종류와 충전 특성에 따른 것으로 생각된다. 낮은 유기물질 부하에서 COD, BOD 제거 효율이 높고, 높은 유기물질 부하에서 COD, BOD 제거 효율이 낮아지는 일반적인 경향을 나타내기는 하나 0.291 kg COD/m<sup>3</sup>/day와 0.500 kg COD/m<sup>3</sup>/day의 제거 효율 차이는 극히 적으며 SBOD 경우 0.171 kg COD/m<sup>3</sup>/day에서 제거 효율이 제일 높다. BOD의 경우 BOD 부하가 증가함에 따라 제거 효율이 증가함을 보인 Park (1991)의 결과와는 다른 결과를 보이고 있다. Fig. 4는 수리학적 부하가 6.712~40.341 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day에서 SCOD 제거 효율을 나타낸 것으로 수리학적 부하의 증가에 따라 효율이 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 수리학적 부하의 증가로 미생물이 유출수 내에 포함되는 양이 늘어나기 때문이며, 그래도 효율이 급격하게 증가하지 않는 것은 탈리에 의한 효율 저하와 미생물 재성장애 의한 효율 증가치가 거의 같기 때문인 것으로 사료된다.

암모니아성 질소 제거

Table 3은 살수여상공법의 암모니아성 질소 운전 조건과 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5는 유기물질부하에 따르는 암모니아의 농도변화를 나타낸 것이다. Fig. 6은 수리학적부하에 따른 암모니아 처리효율을 나타낸 것이다. 수리학적 부하가 40.341~6.712 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day에서 43.7~61.8%의 암모니아 제거 효율을 얻었다. 수리학적 부하가 낮을수록 상대적으로 많은 질산화가 일어났다. 살수여상공법에서 수리학적 부하가 질산화 정도에 미치는 영향은 현저하다고 Balakrishnan and Eckenfelder (1969)가 발표하였다. Forster (1974)는 10.25~246 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/day로 수리학적 부하가 증가할수록 암모니아 총산화량은 증가하지만 암모니아 제거 효율은 감소한다고 발표하였고, Glenn et al.(1974)은 수리학적 부하와 온도에 따른 암모니아 변화를 발표했는데 수리학적 부하가 증가함에 따라 암모니아 변환은 감소하며, 겨울보다 여름에 암모니아 변환이 크다고 하였고 수리학적 부하가 작을 경우에는 여름과 겨울에 비슷한 암모니아 변환이 일어난다고 하였다. 본 실험에서 수리학적 부하에 따른 암모니아 제거 영향은 Glenn et al.의 결과와 거의 흡사하다. 암모니아 부하에 따른 암모니아 제거 효율은 0.271~0.044 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day에서 43.7~61.8%로, 부하가 증가할수록 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 제거 효율이 낮은 형태를 보이고 있다. 암모니아의 제거량은 반응기 용량에 대해 27.2~119.5 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/L/day로 나타났다. 암모니아 제거 효율은 여러가지 인자에 의해 영향을 받는다. Krumer and Rosenthal (1983)은 플라스틱 매디아가 서로 다른 표면구조와 비표면적을 갖는 살수여상공법에서 다른 효율을 나타낸다고 발표했고, Otte and Rosenthal (1979)은 살수여상의 높이에 따른 Start-up을 연구했다.

Table 3. Summary of operation result (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)

PHASE	Ammonia Loading Rate	HRT	Influent NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Effluent NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Efficiencies
	(kg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/m <sup>3</sup> /day)				
1	0.044	6.07	11.12	4.23	61.8
2	0.089	3.10	11.57	5.13	55.7
3	0.143	1.99	11.84	5.19	52.4
4	0.271	1.01	11.41	6.38	43.7

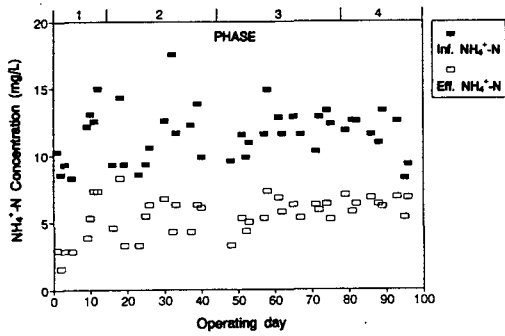


Fig. 5. Fluctuation of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration during operation period.

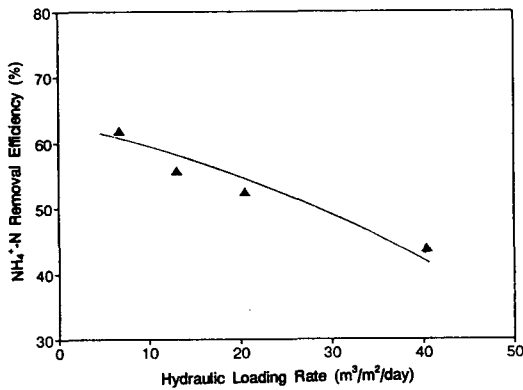


Fig. 6.  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  removal efficiency versus hydraulic loading rate.

동력학 계수(Kinetics)

살수여상의 설계식은 대부분 경험식에 의존하고 있으며 설계식으로는 National Research Council (NRC) 공식, Velz식, Schulze식, Eckenfelder식, Galler and Gotaas식 등이 있다 (Kim, 1995).

미국의 National Research Council은 군기지에서 운영되는 살수여상 운전 자료를 이용하여 경험적 공식을 만들어 냈는데 이를 NRC 공식이라 한다.

식 (1)은 일단 살수여상의 BOD 제거 효율을 나타낸 공식이다.

$$E = \frac{100}{1 + 0.0085(W/VF)^{0.5}} \quad (1)$$

여기서, E=Filter와 2차 침전지를 거친 BOD 제거율, %  
W=BOD 부하량, lb/day

$V$ =Filter의 용적(단면적 미디어층 깊이),  
 $ac-ft$

$$F = \text{반송계수} (F = (1+R)/(1+0.1R)^2)$$

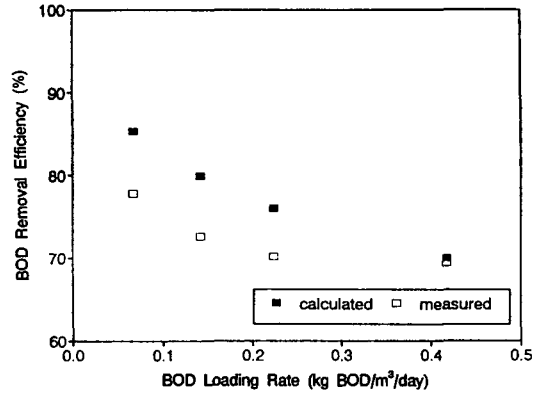


Fig. 7. BOD removal efficiencies by NRC equation.

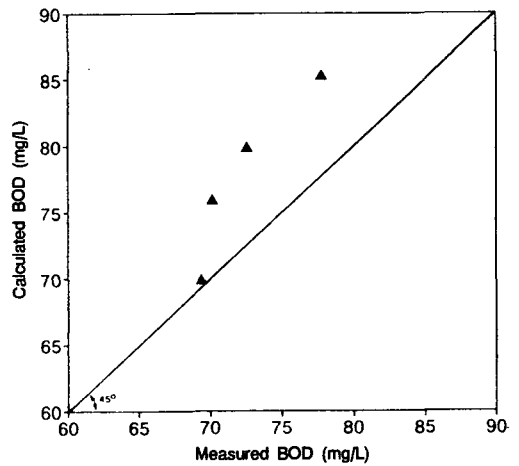


Fig. 8. Comparison between measured and calculated values of BOD.

Fig. 7은 식 (1)의 NRC공식에 의해 계산된 이론적 BOD 제거 효율과 실측된 BOD 제거 효율을 보이고 있다. BOD 부하가 0.418~0.067 kg BOD/m<sup>3</sup>/day에서 이론적 BOD 제거 효율은 69.9~85.3%를 나타내고 실측한 BOD 제거 효율은 69.4~77.8%로 이론적 BOD 제거 효율이 높게 나타났다. 부하가 증가할수록 효율간의 차가 적어지고 0.418 kg BOD/m<sup>3</sup>/day의 부하에서는 이론치와 실측치가 거의 같은 값을 나타내고 있다. Fig. 8은 이론적 BOD 제거 효율과 측정된 BOD 제거

효율을 비교하여 나타낸 것으로 만약 이론적 BOD 제거 효율과 측정된 제거 효율이 같다면 45°과 일치할 것이지만 본 실험에서 45° 윗쪽에 그려진다. 이것은 Parker and Merrill (1984)이 Modified Velz equation을 사용하여 계산한 이론적 BOD 제거 효율과 측정된 제거 효율간의 비교 연구와 같은 결과를 보이고 있다. 그러나 Park (1991)이 0.12~0.48 kg BOD/m<sup>3</sup>/day의 BOD부하로 살수여상을 이용해 상수 원수를 제거한 연구결과에서 0.3 kg BOD/m<sup>3</sup>/day 이하에서는 이론적인 제거 효율이 높았고, 0.3 kg BOD/m<sup>3</sup>/day 이상의 부하에서는 실측한 제거 효율이 높다고 발표한 것과 다르지만 부하가 높을수록 효율차이가 적은 것은 같다. 이런 제거 효율간의 차이가 생기는 이유로는 rock 매디아를 사용하여 폐수를 살수여상공법으로 운전한 결과에서 개발한 NRC공식을 본 실험의 저농도 폐수의 실험에 적용한 것과 매디아의 종류와 구조가 다른 데서 기인한 것으로 생각된다.

살수여상공법의 수학적 모델에 많이 사용되는 Eckenfelder 식은 쇄석 또는 플라스틱 매디아에 모두 적용 가능한 모델이다. Eckenfelder식은 기질 제거가 1차 반응으로 이루어지며 살수여상이 플러그 플로 형태의 반응조라는 가정하에 개발되었다. 반응이 없는 경우의 Eckenfelder식은 식 (2)와 같다.

$$\frac{S_e}{S_i} = \exp(-KD/Q^n)$$

$$(K_T = K_{20} \times 1.035^{(T-20)})$$

$$\ln(-\ln(S_i/S_e)) = \ln K + \ln(1.035^{(T-20)} \cdot D) + n \ln(1/Q) \quad (2)$$

- 여기서, S<sub>e</sub>=처리수의 용해성 BOD<sub>5</sub>, mg/L
- S<sub>i</sub>=유입수의 용해성 BOD<sub>5</sub>, mg/L
- K=기질제거상수, ft
- D=매디아의 깊이, ft
- Q=수리학적 부하, gpm/ft<sup>2</sup>
- n=매디아의 특성상수

유입수, 유출수의 TBOD 농도, 수리학적 부하, filter 깊이를 이용하여 Fig. 9로 부터 구한 K, n값은 각각 0.168 min<sup>-1</sup>과, 0.132였다. 이것은 Kim (1990)이 수산가공물 폐수를 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day 이하의 비교적 낮은 수리학적 부하에서 얻은 K=0.12 min<sup>-1</sup>과 n=0.39와 비

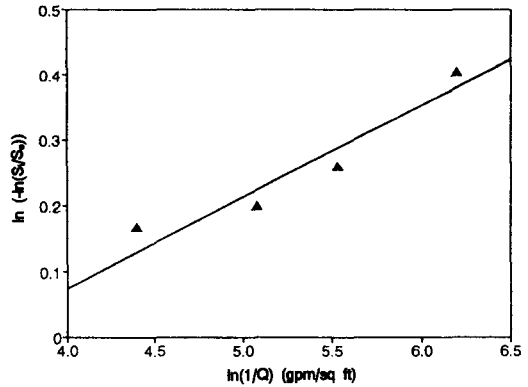


Fig. 9. Evaluation of kinetics constant.

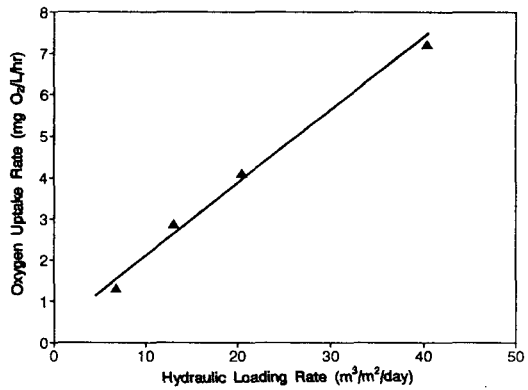


Fig. 10. Oxygen uptake rate versus hydraulic loading rate.

교시 K는 비슷하나 n은 낮은 값을 나타내고 있으며 Park (1991)이 상수원수를 살수여상공법으로 운전하여 얻은 K=0.12 min<sup>-1</sup>과 n=0.72과 비교하여도 K는 비슷하나 n은 낮은 값을 나타내고 있다. 이러한 K와 n값의 차이는 쇄석이나 플라스틱 매디아에 사용 가능한 Eckenfelder 공식을 그대로 이용하였기 때문이고 또 K와 n값의 차이는 매디아의 종류, 형태, 유입 폐수의 성상, 수리학적 부하 등의 영향에서 기인된 것으로 판단된다.

#### 슬러지 생산량

살수여상 반응기에서 슬러지 생산량은 유출수의 VSS량, 운전 종료 후 매디아를 씻어 부착된 VSS량과 일정 기간에 침전지 내에서 생성된 VSS량을 합하여 총 반응조 운전 결과 제거된 kg BOD량으로 나누어 계산하였다. 운전기간동안에 제거된 총 BOD량을 운

전 일수로 나눈 하루동안의 제거 BOD량은 0.407 g BOD<sub>rem</sub>/day이다. 유출수내의 VSS는 0.047 g/day, 부착된 VSS는 0.088 g/day, 2차 침전조에서 가라앉은 VSS는 0.098 g/day였다. 따라서 총 생성된 슬러지 생산량은 0.233 g VSS/day로 kg BOD 제거량당 생성되는 슬러지 생산량 Y는 0.572 kg VSS/kg BOD<sub>rem</sub>이다.

이것은 Y가 0.6 kg VSS/kg BOD<sub>rem</sub>을 얻은 Tyler and Debra (1986)의 결과와 거의 비슷하며 전형적인 활성 슬러지 공정과 플라스틱 매디아를 사용한 연구에서 얻은 계수와 거의 유사한 값을 나타내고 있다 (METCALF and EDDY, Inc., 1979).

**산소소요량**

본 실험에서의 산소소요량은 SBOD가 제거되는 양을 이용하여 미생물에 의해서 소모된 산소량으로 식 (3)과 같이 계산가능하다 (McKinney, 1975).

$$\frac{dO}{dt} = \frac{0.57(F_i - F)}{t} + 1.1(K_e)(M_a) \quad (3)$$

여기서, dO/dt=산소소요량

0.57=1.72 kg BOD<sub>u</sub>의 1/3이 세포생산시에 에너지로 사용한 값 (1.72/3=0.57

mg energy O<sub>2</sub>/mg SBOD<sub>rem</sub>)

F<sub>i</sub>=유입수의 총 BOD, mg/L

F=처리수의 용해성 BOD, mg/L

t=포기시간, hr

K<sub>e</sub>=내호흡계수

M<sub>a</sub>=MLSS내의 활성미생물의 농도, mg/L

미생물 내호흡에 의한 산소소요량은 무시하고 (Terry and Gayle, 1987) 산소소요량을 계산하면 수리학적 부하가 6.712~40.341 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day에서 1.33~7.22 mg O<sub>2</sub>/L/hr (평균 3.89 mg O<sub>2</sub>/L/hr)로 수리학적 부하가 증가할수록 산소소요량이 증가하였다. 생성되는 미생물량당 산소소모율은 생성되는 미생물을 유출수의 VSS량, 부착된 VSS량, 침전지에 생성된 VSS량을 일평균 산소소모율로 나눈 것으로 평균 1.08 kg O<sub>2</sub>/kg VSS로 나타났다. Fig. 10은 수리학적 부하에 따른 산소소모율을 나타낸 것이다. 본 실험에서와 같이 저농도의 원수를 살수여상으로 처리한 Park (1991)의 미생물 생성량당 소요되는 산소량 1.39 kg O<sub>2</sub>/kg VSS와 비교

시 약간 낮은 값을 보이고 있다.

Parker and Merrill (1984)은 살수여상의 생물막이 SBOD 40 mg/L 이상에 접하게 되었을 때 유기물질 제거율은 산소전달한계 (oxygen transfer limitation)에 이른다고 발표하였다. 그러나 Tyler and Debra (1986)는 산소 전달이 효율 저하에 원인이 되는 1차적인 인자인지는 의문스럽다고 발표하였다. 본 실험에서는 BOD 농도가 낮기 때문에 산소전달한계에는 도달하지 않을 것이라고 판단된다.

**요 약**

본 연구는 살수여상공법을 양어장 순환수 처리 장치로 설치하여 유기물질 제거 효율, 암모니아 제거 효율, 동력학적 상수, 슬러지 생산량과 산소소요량 등의 최적 운전방법을 도출하였다.

유기물질 부하율이 0.500~0.082 kg COD/m<sup>3</sup>/day에서 66.4~81.2%의 SCOD 제거 효율과 74.5~84.0%의 SBOD 제거 효율을 보였다. 암모니아 부하율이 0.271~0.044 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/m<sup>3</sup>/day에서 43.7~61.8%의 암모니아성 질소 제거 효율을 보였으며 암모니아 제거량은 27.2~119.5 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/L/day로 나타났다.

Eckenfelder 식에 의해 구한 K<sub>n</sub>값은 각각 0.168 min<sup>-1</sup>과, 0.132로 나타났으며 총 생성된 슬러지 생산량은 0.233 g VSS/day로 kg BOD 제거량당 생성되는 슬러지 생산량은 0.572 kg VSS/kg BOD<sub>rem</sub>로 나타났다. 산소소요량은 3.89 mg O<sub>2</sub>/L/hr로 수리학적부하가 6.712~40.341 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day에서 1.33~7.22 mg O<sub>2</sub>/L/hr로 수리학적 부하가 증가할수록 산소소요량이 증가하였으며 미생물당 산소소모율은 1.08 kg O<sub>2</sub>/kg VSS로 나타났다.

**감 사**

위 논문은 농림수산부에서 시행한 현장애로기술개발사업의 연구결과입니다. 연구가 수행될 수 있도록 지원해 주심에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

- Antonie, R. L., D. L. Kluge and J. H. Mielke. 1974. Evaluation of a rotating disk wastewater treatment plant. J. Water Pollut. Control Fed., 46. 298~311.
- Balakrisgman, S. and W. W. Eckenfelder. 1969. Nitrogen relationships in biological treatment filter media. Water and Wastes Eng., 6. 22~25.
- Forster, F. R. M. 1974. Studies on nitrification in marine biological filters. J. Aquaculture Engineering, 4. 387~397.
- Glenn, A. D. et al. 1974. Plastic-medium trickling filter for biological nitrogen control, J. Water Pollut. Control Fed., 46. 5.
- Kim, I. B. 1980. Pilot scale fish production in water recycling system. J. Korean Fish. Soc. 13(4), 195~206.
- Kim, J. S. 1995. Aquaculture water treatment by biofilm processes. Ph. D. thesis, Nat. Fish. Univ. of Pusan, 152 pp (in Korean).
- Kown, S. Y. 1991. A comparative study on biological treatment processes for textile dyeing waste. Ph. D. thesis, Korea Univ., 202 pp (in Korean).
- Kruner, G. and H. Rosenthal. 1983. Efficiency of nitrification in trickling filter using different substrates, Aquacultural Engineering, 2. 49~67.
- Lee, H. J. 1995. Comparisons of rotating disc filter and submerged type filter system on the efficiency of nitrogen removal and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Ms thesis, Nat. Fish. Univ. of Pusan, 49 pp (in Korean).
- Lewis, W. H., J. H. Yopp., Schramm and A. M. Brandenberg. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculate water in fish culture system. Trans. Am. Fish. Soc., 107. 92~99.
- Lim, Y. S. 1993. A study on nitrification of low ammonia content wastewater by RBC process. Maste thesis, Nat. Fish. Univ. of Pusan, 84 pp (in Korean).
- McKinney, R. E. 1975. State of the art of logoon wastewater treatment. in Symposium Proceedings, Upgrading Wastewater Stabilization Ponds to Meet New Discharge Standards, 240~420.
- Meske, C. H. 1976. Fish culture in a recirculating system with water treatment by activated sludge. In:Advances in Aquaculture, eds T. V. R. Pillay and W. A. Dill, 527~531.
- METCALF and EDDY, INC., 1979. Wastewater engineering treatment, Disposal, Reuse, 2nd Edition, McGRAW-Hill Book Company, New York, 393~467.
- Muir, J. F. 1981. Management and cost implications in recirculating water system. In: Proceedings of the bio-engineering symposium for fish culture, eds L. J. Allen and E. C. Kinney, Fish Culture Section of the American Fisheries Society, Washington, District of Columbia, 116~127.
- Nijhof, M. and J. Bonverdeur. 1990. Fixed Film Nitrification characteristics in sea-water recirculating fish culture system. J. Aquaculture, 87. 133~143.
- Otte, G. and H. Rosenthal. 1974. Management of a closed brackish water system for high-density fish culture at biological and chemical water treatment. J. Aquaculture, 18. 169~181.
- Park, M. K. 1991. A study of severely polluted raw water treatment using biological fixed film processes. Maste thesis, Korea Univ., 84 pp (in Korean).
- Parker, D. S. and D. T. Merrill. 1984. Effect of plastic media configuration on trickling filter performance, J. Water Pollut. Control Fed., 56. 8. 955.
- Roger, G.L. and S.L. Klemetson. 1985. Ammonia removal in selected aquaculture water reuse biofilters. J. Aquaculture, 4. 135~154.
- Terry, L. J. and P. V. Gayle. 1987. Design and environmental of biofilter treatment system. J. Water Pollut. Control Fed., 59. 12. 1043~1049.
- Tyler, R. and R. Debra. 1986. Evaluation of plastic media in trickling filters. J. Water Pollut. Control Fed., 58. 7. 774~783.
- Yun, J. 1989. Treatment of trickling filter effluent using an anoxically enhanced biological flocculation. Ph. D. thesis polytechnic Univ. at New York.

1995년 9월 22일 접수

1996년 2월 10일 수리