

## PVA에 고정화된 Nitrifier Consortium을 이용한 암모니아성 질소의 제거

서재관 · 서근학 · 김성구  
부경대학교 생물공학과, <sup>1</sup>화학공학과  
(접수 : 1998. 9. 14., 게재승인 : 1998. 12. 26.)

### Removal of Ammonium-Nitrogen(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) Using Immobilized Nitrifier Consortium in PVA(Polyvinylalcohol)

Jae-Koan Seo, Kuen-Hack Suh<sup>1</sup>, and Sung-Koo Kim†

Dept. of Biotechnology and Bioengineering, and

<sup>1</sup>Dept. of Chemical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

(Received : 1998. 9. 14., Accepted : 1998. 12. 26.)

The immobilization of nitrifier consortium was carried out for the application to recirculating aquaculture system(RAS). The abilities of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N removal by immobilized nitrifier consortia prepared with boric acid treated, ethanol treated, and freezing-thawing treated PVA beads at the concentration of 15% were examined. To identify the possibility of applying the beads in the fluidized bed reactor, characteristics of beads were evaluated. The suitable bead was boric acid treated beads which had highest ammonia removal rate of 16.09 g/m<sup>3</sup>/day. It took 12 days for nitrifier consortium immobilized beads to be stable for the removal of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N. Life spans of the beads were more than three months with aggressive aeration in the fluidized bed reactor when nitrifier consortia immobilized in PVA beads were used. In order to apply the nitrifier consortium immobilized beads to aquaculture facility, the continuous reactor was used for 49 days with synthetic aquacultural water containing 2 mg/L ammonia. The highest ammonia removal rate of 31.87 g/m<sup>3</sup>/day was observed when hydraulic residence time was 0.6 hour(36min.).

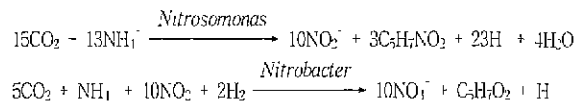
Key Words : nitrifier consortium, recirculating aquaculture system(RAS), immobilization

### 서론

어류를 고밀도로 사육하는 순환여과식 양식은 어류의 소비가 날로 증가하고 있는 최근의식생활 문화와 잘 부합될 수 있도록 그 생산력을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 사육조의 면적이 적어 관리가 쉽고, 수온 등 일부 환경 요인의 조절이 가능하며, 지역의 자연 환경에서는 불가능한 생물도 양식할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 양식 생물의 밀도가 높아짐에 따른 대사 노폐물의 축적 등으로 인한 수질의 악화 등이 심각한 문제를 야기시킬 수 있으므로 순환수의 효과적인 처리기술이 요구된다. 사육조에서 어류의 대사작용과 미생취 사료와 어분의 분해에 의해서 발생하는 암모니아는 어류에 유해한 영향을 끼친다(1-4) 수중의 암모니아는 비이온성 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 이온성 암모니아인 암모늄이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)으로 존재하는데 이 중 비이온성 암모니아는 어류의 세포벽을 통과하여 어류에 치명적인 피해를 주게 된다.

때문에 사육조 내의 비이온성 암모니아를 미국 환경 보호청에서는 0.02 mg/L이하로 유지하도록 권장하고 있다(2)

암모니아성 질소 함유 폐수는 자연적인 미생물막 정화기능을 증가시킨 방법에 의해 처리하는데 이를 생물학적 처리라고 하며 그 화학식과 관여되는 미생물 속은 아래와 같다(5).



현재까지 사용되는 암모니아 제거 공정은 침지식 생물막 공정, 살수 여과 공정, 회전 원판 공정과 같은 지지체 표면에 자연적으로 부착되는 미생물을 이용하는 생물막 공정이 주로 사용되어 왔다(2). 이러한 생물막 공정의 경우 생물막을 형성하는데 있어 오랜 시간이 걸리며 자연적으로 부착하기 쉬운 균이 우점종으로 밀집하게 되어 두꺼운 생물막을 형성시킨다. 이로 인해 생물막 내부에서는 혐기적 조건이 형성되고 외부에 부착된 미생물은 생물막과 유체의 접촉시 발생하는 진단응력에 의해 떨어져 나가게 됨으로써 반응기 내부의 생물함량이 낮아지게 되어 암모니아 제거효율이 저하되는 원인이 된다고 알려져 있다. 이와 같은 생물막 공정의 문제점을 개선하는 방법으로 고정화된 미생물을 이용한 암모니아 제거 공정에 대한 많은 연구가 진행되고 있다(6).

† Corresponding Author ; Dept. of Biotechnology and Bioengineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Tel : 051-620-6188 Fax : 051-620-6188  
e-mail : skkim@dolphin.pknu.ac.kr

미생물의 고정화는 미생물을 담체에 결합시키거나 형성된 공간 내에 포획하는 것으로 생물공학 분야에 오래 전부터 이용되어 왔으며 최근에는 고정화법을 이용하여 산물의 분리 정제를 간단히 하는 방법 등을 개발하고 있다 고정화 미생물을 이용한 생물반응기는 현재 cellulose, methane, ethanol, L-aspartic acid, L-malic acid, L-alanine, 페니실린의 전구물질, 아크릴아마이드 생산 등 의약, 화학품 제조분야에서는 이미 산업화되어 이용되고 있으며 생물매체를 산물과 쉽게 분리하는 수단으로 고정화법이 이용되고 있다(7-11)

미생물 고정화법을 이용한 폐수처리의 경우는 미생물을 고분자 물질로 둘러싸는 여러가지 고정화 미생물법이 연구되고 있지만 아직까지 실용화 단계로는 개발되지 못하였고 특히 실용화를 위해서는 원하는 특성을 가진 고정화 미생물의 개발이 요구되고 있다(12-14). 이러한 고정화 미생물을 폐수 속의 오염 물질 제거에 이용할 경우 원하는 미생물을 배양하거나 순양한 후 고정화 할 수 있어 높은 효율을 얻을 수 있고 미생물의 유실이 없어 반응기 내에 유용한 미생물을 고농도로 유지할 수 있다. 그리고 온도나 pH 같은 환경조건이 변화하거나 독성물질 등의 유입에도 직접 고정화된 미생물의 완충작용에 의해 활성이 변화하지 않는 장점을 가지고 있다 또한 미생물과 처리수의 분리가 매우 용이하여 별도의 분리시설이 불필요하므로 시스템의 규모를 대폭 줄일 수가 있다(15).

고정화 담체의 재료에는 여러 가지 종류가 있지만 크게 천연 고분자와 합성 고분자로 분류할 수 있다 천연 고분자는 하수처리에 있어서 생물분해 가능성이 있고 내구성이 낮아 단시간의 하수처리에만 국한되는 문제점을 가지고 있다. 그래서 하수처리에 적용할 수 있는 것은 현재 합성 고분자가 고려되고 있다 합성 고분자의 경우는 비드를 만드는 과정에서 중합반응에 의해 발열하는 것이 많고 중합체의 특성도 강하여 미생물의 사멸을 초래하므로 고정화시 미생물의 활성잔존율을 높이는 것이 중요하다(16).

본 연구에서는 지금까지 개발되어 있는 미생물의 포괄고정화 재료인 아크릴아마이드,  $\kappa$ -카라킨산, 일긴산 칼슘, 한천 등을 이용한 활성 슬러지의 포괄고정화법에 비해 고정화에 요구되는 시약이 저렴하고 비드강도가 크며 정기간의 사용에 대한 내구성이 크고 고정화시 미생물에 독성이 없는 장점을 가진 담체로서 PVA(폴리비닐알콜)를 이용하여 순진된 nitrifier consortium의 혼합물을 여러 가지 고정화법으로 고정화하여 미생물의 활성잔존율을 조사하고, 가장 적절한 질화세균 고정화 비드를 fed-batch, continuous reactor를 이용하여 양이강 순환수중 암모니아를 효과적으로 제거하는 운전방법 및 암모니아 제거 특성을 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 재 료

PVA(Av. Mol. Wt. 70,000-100,000)는 Sigma Chem. Co (St. Louis, USA)에서 구입하여 이용하였으며 그의 다른 시약은 analytical grade을 이용하여 본 실험에 사용하였다

### 질화세균군

실험에 사용된 질화세균군은 하수처리장(부산 수영구 민락동)에서 반입된 활성슬러지로 제조 되었다. 반입된 활성슬러지를 65

mesh( $\Phi$  : 0.21 mm) standard sieve를 이용하여 고형물질들을 제거한 후, 질화세균군의 증식을 위해 희분식으로 20 ppm의 암모늄이온이 포함된 합성폐수를 제조 사용하여 2개월간 순양시켜 질화세균군(nitrifier consortium)으로 만든 뒤 고정화하였다 순양시 사용된 암모니아 함유 합성폐수의 조성은 Table 1과 같다.

Table 1 Composition of nitrifier acclimating solution.

Composition	Concentration(mg/L)	Function
NH <sub>4</sub> Cl	59.43	20ppm, N source
NaHCO <sub>3</sub>	71.4	Alkalinity control
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	18.85	P source

### 질화세균군의 중량

순진한 활성슬러지를 4000 rpm에서 10분간 원심분리 후 pellet를 모아 105°C의 dry-oven에서 24시간 건조시킨 후 실온이 될 때까지 desiccator에 냉냉한 뒤 측정된 중량으로 고정화되는 질화세균군의 dry-weight를 측정 하였다

### 질화세균군의 고정화 방법

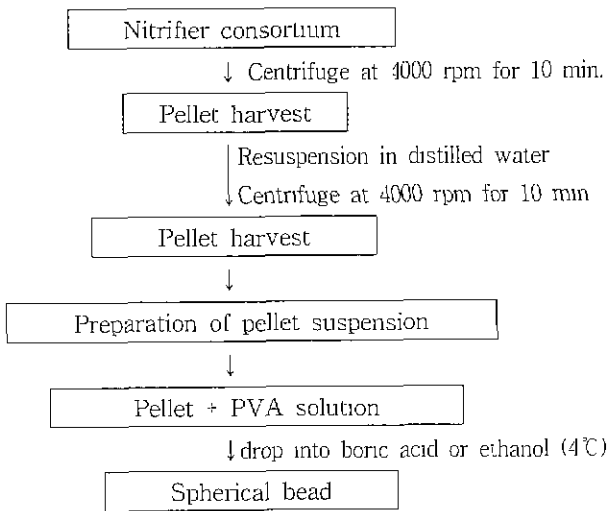
순양된 질화세균군을 4000 rpm에서 10분간 원심분리 한후 상등액을 제거하고 다시 증류수로 현탁시킨 후 다시 원심분리시켰다. 희수한 pellet을 증류수를 이용하여 원하는 농도(4.5%)로 희석하였다 또한 100 °C이상에서 완전 용해된 PVA 용액(30%)을 키티린 질화세균과 중량비 1:1로 거품이 발생치 않도록 주의하며 well-mixing하이 고정화에 사용될 질화세균군과 PVA의 mixture를 제조하였다(16-17).

Boric acid 처리법과 ethanol 처리법의 고정화 방법은 Figure 1 (a)에 나타내었다 질화세균군과 PVA의 mixture를 천천히 교반하면서 peristaltic pump를 통해 ice bath에서 4°C로 냉각된 saturated boric acid 혹은 pure ethanol에 각각 적하하였다. 적하된 bead의 안정화를 위해 각각 saturated boric acid와 pure ethanol에 24시간 동안 침지한후, boric acid와 ethanol를 제거하기 위해 흐르는 물로 세척한 다음 bead를 20 ppm의 ammonia가 함유된 합성폐수로 옮겨서 공기를 공급하면서 실험에 이용하였다(17) 고정화에 대한 간단한 장치 모식도는 Figure 2 (a)에 나타내었다.

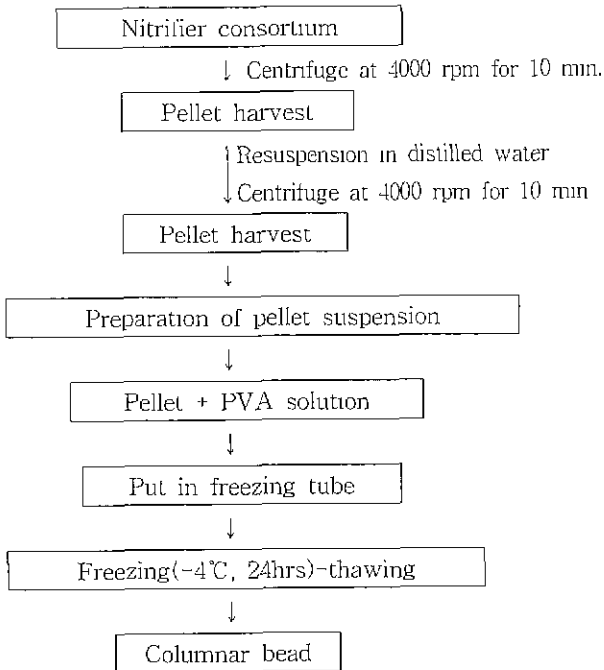
Freezing-thawing 처리법에 의한 고정화 방법은 Figure 1 (b)에 나타내었다 전처리된 질화세균군과 PVA의 mixture를 천천히 교반하면서 peristaltic pump를 통해 직경이 4 mm인 silicone tube에 유입하여 -4°C에서 24시간 냉동한다 냉동에 의해 고정화된 bead를 실온에서 녹힌 뒤 3~4 mm 간격으로 절단한다. 얻어진 bead를 물로 세척한 후 bead를 20 ppm ammonia 농도의 합성폐수로 옮겨서 공기를 공급하면서 실험에 이용하였다(16). 고정화에 대한 간단한 장치 모식도는 Figure 2 (b)에 나타내었다.

### 고정화 실험조건

고정화를 위한 실험조건은 Table 2에 나타내었다 원심 분리하여 얻은 농축된 pellet이 4.5%(w/v) 포함된 50 mL의 suspension과 30%(w/v) 농도의 PVA solution 50 mL를 혼합하여 고정화된 bead의 최종 질화세균군 농도는 2.25%(w/v)이며



(a)

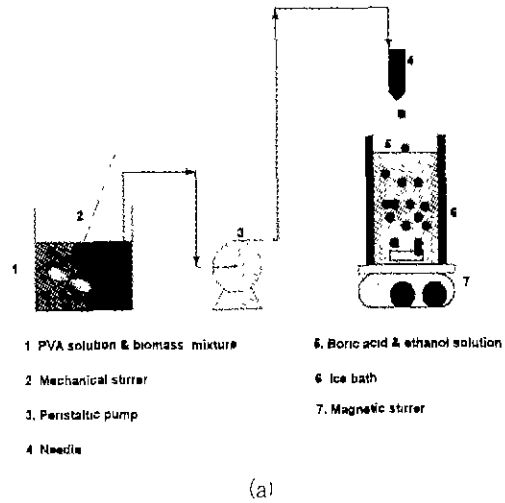


(b)

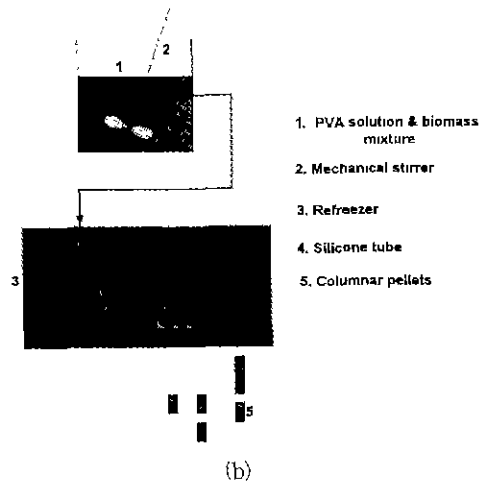
Figure 1 Flowchart for preparation of immobilized nitrifier consortium (a) Boric acid or ethanol treatment (b) Freezing-thawing treatment

Table 2. Experimental conditions of immobilization.

Pellets conc.	45%(D.W.)
PVA solution conc.	30%
Temperature of immobilization	35°C
Pumping rate	20ml/min
Needle size	3mm



(a)



(b)

Figure 2. Schematic diagram for the immobilization apparatus (a) Schematic diagram for boric acid and ethanol treatment apparatus, (b) Schematic diagram for freezing-thawing treatment apparatus

PVA의 최종농도는 15%(w/v)로 제조되었다 또한 고정화를 하는동안 mixture의 온도는 35°C로 유지 하였으며, pumping rate는 20 mL/min 였고 needle size는 3 mm였다.

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 제거량 측정**

각각의 실험에서 시료를 동시에 채취하여 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>를 분석하였다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 제거량은 시료 50 mL에 1M-NaOH를 첨가하여 NH<sub>2</sub> 형태의 암모니아로 변화시킨 후 이온전극법(Orion-9512BN)을 사용하여 측정하였다

**용존 산소량과 pH 분석**

질산화에 필수적인 산소의 양을 측정하기 위하여 용존 산소량을 DO meter(YSI-55)를 이용하여 현장분석 하였고, 반응조의 운전이 있어서 미생물의 내부상태를 간접적으로 쉽게 알아볼 수 있는 척도가 되는 pH는 pH meter(SUN TEX SP-701)를 이용하여 측정하였다.

**유기식 반응기 운전**

Boric acid 처리법 및 ethanol 처리법, freezing-thawing 처리법으로 제조된 bead 100mL를 각각 1 L반응기에 충전한 후 유기식 배양 형태로 20 ppm ammonia농도의 합성폐수로 계속적으로 공급하고 동시에 0.1 vvm (100mL/min.)으로 통기하면서 90일 동안 암모니아 이온의 제거량을 24시간 마다 시료 50 mL를 채취하여 분석하였다.

**연속 반응기 운전**

실험에 필요한 연속 반응기의 간단한 모식도는 Figure 3에 나타내었다. 반응기는 직경이 160 mm이고 높이가 240 mm인 원통형 유리관을 이용하여 전체 용량이 3 L가 되게끔 제작하였고 그리고 반응기 하부에는 질산화 과정에서 소비되는 산소를 공급하기 위하여 air stone를 설치하여 반응기 내부에 들어있는 bead가 완전하게 유통하도록 제작하였다 또한 유통되는 bead가 반응기 밖으로 유실되는 것을 방지하기 위하여 반응기 상부에 미세한 망을 설치하였다. 반응기 내로 유입되는 합성양어장수의 조성은 ammonia 농도 2 ppm으로 양식장의 현장자료를 토대로 Table 3과 같이 제조하여 공급하였다(18). 수리학적 체류시간(HRT) 0.4~6.25 시간의 범위 내에서 운전하였으며 그리고 암모니아의 부하량은 7.68~120 g/m<sup>3</sup>/day로 조절하였다 이때 반응기 운전 조건은 Table 3에 나타낸 것과 같이 air flow rate는 0.1 vvm이고 bead충진율은 반응기 용량의 10%인 300 mL였으며 반응기 내의 운전온도는 20±1°C가 되도록 일정하게 유지하였다.

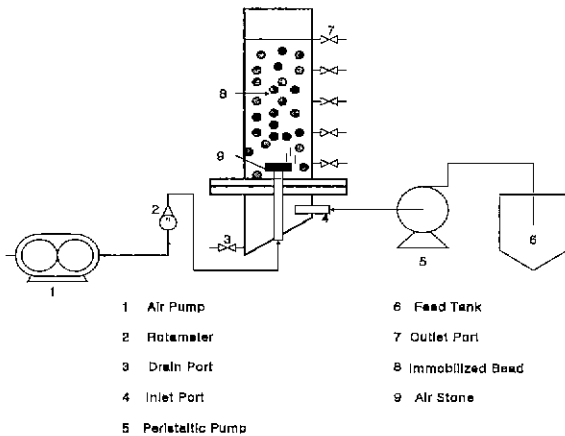


Figure 3 Schematic diagram of experimental apparatus for continuous nitrification.

Table 3 Synthetic feedstock solution

Composition	mg/L
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	30
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	40
MnSO <sub>4</sub>	2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	2
NaHCO <sub>3</sub>	as need

Table 4. Experimental conditions of operating continuous bioreactor.

Bioreactor volumn	3 L
Influent NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N conc	2 mg/L
Air flow rate	0.1 vvm
Packed bead volumn	300 ml
Temperature	21 °C

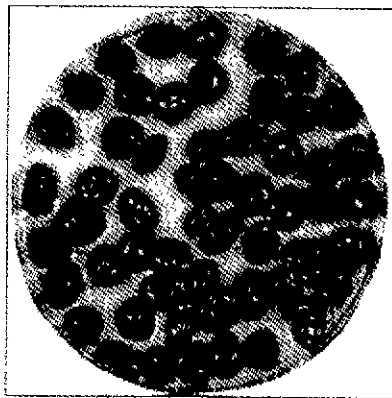
**결과 및 고찰**

**고정화된 bead의 성상**

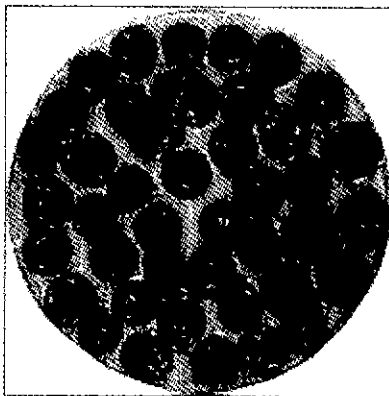
Figure 4의 (a), (b), (c)는 각각 PVA를 boric acid 처리법과 ethanol 처리법 및 freezing-thawing 처리법으로 제조된 spherical bead와 columnar bead의 성상이다. 제조된 bead를 반응기에서 사용하기에는 크기가 균일하고 구형이 효과적인데 (b)의 ethanol 처리법에 의해 제조된 bead는 낙하직후 구형이 되지 못하고 원관형으로 고정화 되었고 (c)의 freezing-thawing 처리법에 의해 제조된 bead는 인위적으로 절단해야 하므로 bead의 크기와 모양이 균일치 않았다. 그러므로 (a)의 boric acid 처리법에 의해 제조된 bead는 크기가 균일하고 구형이면서도 탄력이 있어 성상 면에서는 가장 효과적이었다.

**유기식 배양에서 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 제거량**

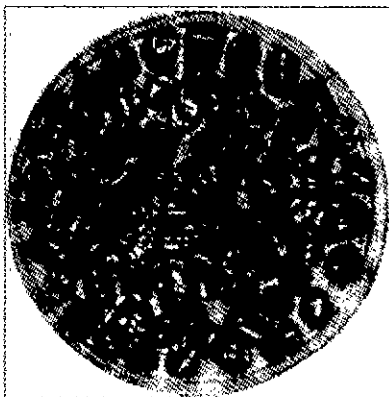
Boric acid 처리법과 ethanol 처리법 및 freezing-thawing 처리법으로 고정화된 nitrifier consortium을 각각 air lift reactor에서 유기식 배양 형태로 운전하여 그 결과를 Figure 5에 나타내었으며 그 제거속도를 Figure 6에 나타내었다. Ethanol 처리법으로 제조된 bead는 암모니아 제거량이 6일 까지는 약 2 ppm의 제거수준에 지나지 않았으나 7일부터 급격히 증가되어 약 10 ppm의 ammonia를 제거하였으며 그 후 조금 증가되어 약 12 ppm의 ammonia를 제거하는 수준이었으며 90일 동안 일정하게 유지되었다. 또한 freezing-thawing 처리법으로 고정화된 bead는 암모니아 제거량이 처음은 약 2 ppm정도의 제거수준에 지나지 않았으나 점차적으로 증가되어 15일 이후부터는 약 14 ppm을 제거하는 수준으로 90일 동안 제거되는 암모니아 량이 일정하였다 Boric acid 처리법으로 제조된 bead는 암모니아 제거량이 7일까지는 약 2 ppm에 지나지 않았으나 시간의 흐름과 동시에 점차적으로 증가되어 12일 이후 약 16 ppm을 제거하였으며 90일 동안 일정하게 유지되었다. Ethanol 처리법 및 freezing-thawing 처리법으로 고정화된 bead는 비교적 낮은 암모니아 제거량을 나타내었는데 그 이유는 ethanol이 지닌 살균효과에 의한 미생물의 damage와 냉동으로 인한 미생물 세포벽의 damage 때문이라 사료된다 따라서 연속 반응기 실험은 세 가지 고정화 방법중 미생물의 활성과 암모니아 제거 능이 가장 높은 boric acid 처리법으로 제조된 bead로 실험을 행하였다.



(a)



(b)



(c)

Figure 4 Photos of nitrifier consortium immobilized in various PVA bead preparation methods (a) Boric acid treatment, (b) Ethanol treatment, (c) Freezing-thawing treatment.

**연속 반응기에서 암모니아성 질소의 제거**

반응장치에서 유입수중의 암모니아의 농도를 본 대학 양어장수의 암모니아 농도인 2 mg/L로 조절한 인공양어장수를 제조하여 유입수로 사용하였다. 양어장수를 유입수로 사용할 경우 암모니아 농도의 증감이 심하므로 인공 양어장수를 조제하여 유입수의 암모니아 농도를 일정하게 유지하였다. 본 실험에서 체류시간 변화에 따른 암모니아제거 특성의 영향을 조사하기 위하여 boric acid 처리법으로 제조된 bead를 공기량을 일정하게 유지

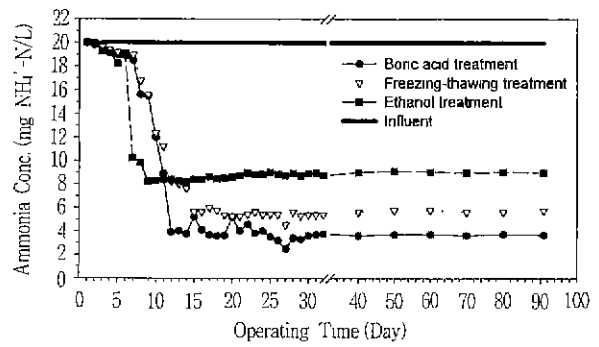


Figure 5. Fed-batch operation of airlift reactor with nitrifier consortium immobilized in various PVA bead

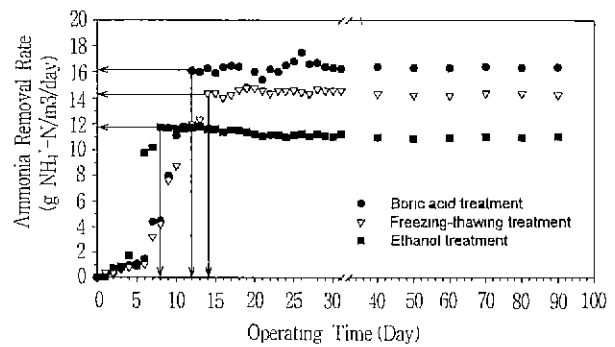


Figure 6. Ammonia removal rate of fed-batch operation with nitrifier consortium immobilized in various PVA bead

하면서 체류시간을 6.25~0.4시간으로 변화시켜 49일(1176hrs)동안 유출수 중의 암모니아 농도를 측정하여 Figure 7에 도시하였다. 이때의 분석 값들은 체류시간을 변화하고 운전이 시작된 후 미생물이 정상상태에 도달했을 때 취한 시료를 분석한 평균값들을 나타내었다. 고정화된 질화박균을 증진한 연속 반응기에서의 암모니아 제거 효율은 수리학적 체류시간(HRT)이 6.25시간일 때 95%수준이었으나 HRT가 그보다 짧아질 수록 암모니아의 제거 효율은 떨어지고, HRT가 0.4시간 일 때 8.68%의 제거 효율을 나타내었다. 그러나 Figure 8에서 나타낸 암모니아 제거속도를 보면 수리학적 체류시간이 짧을 수록 그 제거량은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 수리학적 체류시간이 짧을 수록 제거효율은 떨어지지만 유입수 유량의 증가로 인한 전체적인 제거량은 증가하는 것이다. HRT가 0.6시간 일 때 암모니아 제거속도는 최대의 값인 31.87g ammonia /m<sup>3</sup>/day를 나타내었다 HRT가 0.6시간 이하에서는 빠른 유속으로 인해 유입되는 암모니아가 bead내의 미생물과의 충분한 접촉시간이 주어지지 않기 때문에 암모니아가 처리되기 전에 유출됨으로서 처리속도는 오히려 감소되는 것을 보여준다. 그러므로 최적 운전조건으로 HRT를 0.6시간으로 조절하여 최대의 암모니아 제거속도를 얻을 수 있었다.

**연속 반응기에서 DO와 pH의 변화**

본 실험에서 이용된 반응기 내의 용존산소와 pH 변화를 알아보기 위하여 반응기 상부의 유출구 부분에 DO와 pH 미터를 매 측정 때마다 설치하여 측정하였으며 정상상태에서의 평균값을 Figure 9에 나타내었다. 수리학적 체류시간의 변화에 따른 실험

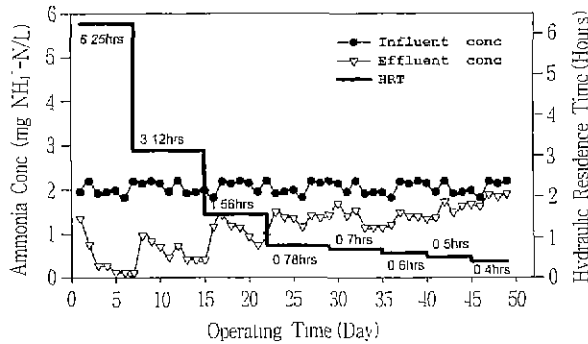


Figure 7. Change of ammonia concentration in PVA bead airlift bioreactor as various HRT

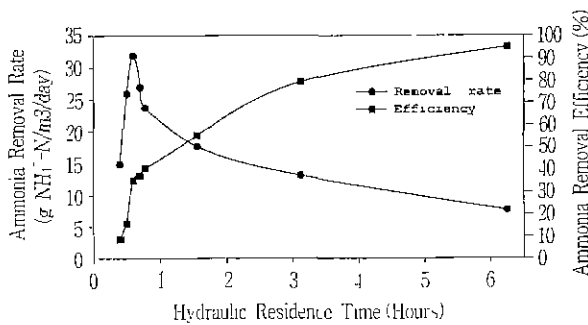


Figure 8 Change of ammonia removal rate and efficiency in PVA bead airlift bioreactor as various HRT

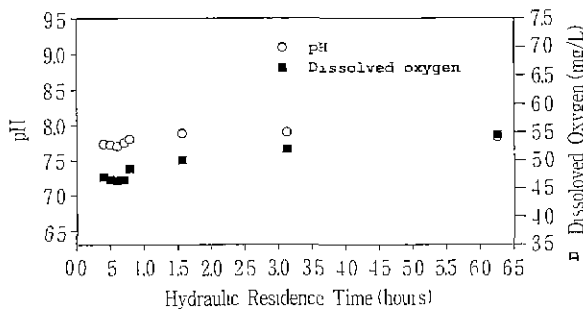


Figure 9. Change of pH and DO in PVA bead airlift bioreactor as various HRT.

에서 반응기 내의 DO농도와 pH는 각각 4.64 ~ 5.40 mg/L 그리고 7.7 ~ 7.9 정도의 범위를 유지하였는데 양어장에서 일반적으로 권장되고 있는 이들의 값은 DO가 4.0 ~ 5.0 mg/L이며 그리고 pH는 6.5 ~ 8의 범위 이므로(19), 본 시스템을 양식장의 순환수 처리에 적용할 경우 DO와 pH로 인한 유해한 영향은 초래되지 않을 것으로 여겨진다.

요 약

양어장 순환수 속의 암모니아성 질소를 제거하기 위하여 PVA를 borc acid 처리법과 ethanol 처리법 및 freezing-thawing 처리법으로 제조된 구형 bead와 칼럼형 bead에 이들을 이용한 질화균을 고정화 시켰다. 유가식 배양에서는 borc

acid 처리법으로 제조된 구형 bead가 유동층 반응조에서 사용하기에 정상면에서나 암모니아 제거율에서 가장 이상적이었으며, 90일 동안의 유동층 반응기에서 운전하였으나 bead의 성장이나 효율은 변화없이 일정하였다. Borc acid 처리법으로 제조된 bead를 증진한 연속 반응기에서의 암모니아성 질소 제거에 대한 실험에서 수리학적 체류시간이 0.6시간에서 암모니아 제거 속도는 31.9g NH<sub>4</sub>-N /m<sup>3</sup>/day였으며 제거효율은 36% 였다. 연속 반응기내에 2 mg/L의 암모니아가 주입되고 공기량을 0.1 vvm으로 공급하더라도 용존산소 농도를 4.64 ~ 5.40 mg/L로 유지할수 있었으므로 질산화에 필요한 용존산소를 충분히 유지할 수가 있는 것으로 나타났으며 pH는 7.7 ~ 7.9의 범위를 유지할 수가 있어 pH에 따른 위해 요소는 없는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 해양수산부 한국해양수산개발원에서 시행한 98년도 수산특정연구 개발사업의 연구결과이며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다

참 고 문 헌

- 1 Miller, G. E., and G. S. Libey (1984). Evaluation of a Trickling Biofilter in Recirculating Aquaculture System Containing Channel Catfish *Aquacultural Engineering*, 3, 39-57
- 2 Roger, G L., and S L Klementon (1985), Ammonia Removal in Selected Aquaculture Water Reuse Biofilter *Aquacultural Engineering*, 4, 135-154.
- 3 Liao, P B., and R. D. Mayo (1974), Intensified Fish Culture Combine Water Reconditioning with Pollution Abatement *Aquacultural Engineering*, 3, 61-85
- 4 Spotte, S H. (1979). Seawater Aquariums, the Captive Environment, p.413, Wiley, New York.
- 5 Panter, H. A. (1970), *Wat. Res.*, 4, p 393-450
- 6 Sumino, T., H. Nakamura, M Naomichi, and K. Yukio (1992). Immobilization of Nitrifying Bacteria by Polyethylene Glycol Prepolymer. *J. Ferment Bioeng.*, 73(1), 37-42.
- 7 Nakasaki, K, T Murai, and T Akiyama (1989). Dynamic Modeling of Immobilized Cell Reactor . Application to Ethanol Fermentation. *Biotech Bioeng.* 33, 1317-1323.
- 8 Tanaka, II. H. Kurosawa, and II. Murakami (1986), Ethanol Production from Starch by a Coimmobilized Mixed Culture System of *Aspergillus awamori* and *Zymomonas mibilis*, *Biotech. Bioeng.*, 28, 1761-1768
- 9 Furai, M., and K Yamashita (1985), Horizontal Baffle Effects on Compaction of Immobilized Cell Catalvst Beds, *J Ferment Technol.*, 63(1), 73-78
- 10 Kim, J. H., D K. Oh, Y. H. Park, and D. A. Wallis (1985), Production of Pencillin in a Fluidized-Bed Bioreactor Using a Carrier-Supported Mycelial Growth, *Biotech*

- Bioeng.*, **28**, 1838-1844.
11. Arcuri, E. J., J. R. Nichols, T. S. Brnx, V. G. Santamaran, B. C. Buckland, and S. W. Drew (1983), Thienamycin Production by Immobilized Cells of *Streptomyces cattleya* in a Bubble Column, *Biotech. Bioeng.*, **25**, 2399-2411
  12. Furusaki, S. (1988), Engineering Aspects of Immobilized Biocatalysts, *J. Chem. Eng.*, **21**(3), 219-230.
  13. Karel, S. F., S. B. Libicki, and C. R. Robertson (1985), The Immobilization of Whole Cells - Engineering Principles, *Chem. Eng. Sci.*, **40**(8), 1321-1354
  14. Tanaka, K., M. Tada, T. Kimata, S. Harada, Y. Fujii, T. Mizuguchi, N. Mori, and H. Emon (1991), Development of New Nitrogen Removal System Using Nitrifying Bacteria Immobilized in Synthetic Resin Pellets, *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 681-699
  15. 김의용 (1993), 고정화 미생물을 이용한 유동층 반응기에서의 폐수처리, *생물환경*, **7**(1), 85-91.
  16. Asano, H., H. Myoga, M. Asano, and M. Toyao (1992), A Study of Nitrification Utilizing Whole Microorganisms Immobilized by the PVA-Freezing Method, *Wat. Sci. Tech.*, **26**, 1037-1046.
  17. Hashimoto S., and K. Furukawa (1987), Immobilization of Activated Sludge by PVA-Boric Acid Method, *Biotech. Bioeng.*, **3**, 52-59
  18. Kim, J. S. (1995), Aquaculture Water Treatment by Biofilm Processes, Ph. D. Thesis, Dep of Env. Eng., National Fish. Univ. of Pusan, Korea
  19. Klontz, G. W., P. C. Downey, and R. L. Focht (1979), A Good Deal from Egg Sac to Creel, A Manual for Trout and Salmon Production, Sterling H. Nelson and Sons, Murray, Utah