

## 부유 및 부착성장 미생물을 이용한 접촉안정형 영양염류처리 하이브리드 공정

김만수 · 박종운 · 이상일<sup>†\*</sup> · 박철휘<sup>\*\*</sup>

대양바이오테크(주) 부설환경기술연구소 · \*충북대학교 환경공학과 · \*\*서울시립대학교 환경공학부

(2006년 12월 28일 접수, 2007년 4월 16일 채택)

### Nutrient Removal Hybrid Process to Use Suspended and Attached Growth Microorganisms and Apply the Contact and Stabilization Process

Man-Soo Kim · Jong-Woon Park · Sang-Il Lee<sup>†\*</sup> · Chul-Whi Park<sup>\*\*</sup>

Environmental Technology Institute, Dae-Yang Bio Tech Co., LTD

\*Department of Environment Engineering, Chungbuk National University

\*\*Department of Environment Engineering, University of Seoul

**ABSTRACT :** Nutrient removal hybrid process to use suspended and attached growth microorganisms and apply the contact and stabilization process was process obtaining good results to HRT within 6 hours to dominate nitrifier and to promote separation and growth of autotrophs and heterotrophs to pack with EPS(Expanded Poly-Styrene) media in nitrification reactor. An average effluent quality of this process was below 5.2 mg/L, 7.3 mg/L, 4.9 mg/L as BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS concentration and 6.8 mg/L, 0.6 mg/L as T-N, T-P concentration. Also, An average removal efficiency of this process was 94.6%, 79.8%, 94.9% as BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS and 70.8%, 76.9% as T-N, T-P. 16S-rRNA analysis result of microorganisms attached to EPS media was researched Nitrosomonas and Nitrosococcus known to ammonia-oxidizing bacteria, cluster to include Gallionella and these microorganisms were researched to involve about 6% of biofilm attached EPS media. Consequently, this process was treated below 10 mg/L and 1.0mg/L as T-N, T-P concentration at short hydraulic retention time(about 6 hr) to dominate nitrifier.

**Key Words :** Nitrification, Denitrification, Dephanox, EPS(Expanded Poly Styrene), Hybride

**요약 :** 부유 및 부착성장 미생물을 이용한 접촉안정형 영양염류처리 하이브리드공정은 질산화 반응조내에 EPS(Expanded Poly-Styrene) 여재를 충전하여 autotrophs와 heterotrophs의 분리성장과 질산화균의 우점화를 도모함으로써 수리학적체류시간 6시간 이내에서도 양호한 처리수질을 얻을 수 있는 공정이다. 본 공정의 운전결과 방류수의 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS의 평균농도는 5.2 mg/L, 7.3 mg/L, 4.9 mg/L이었으며, T-N 및 T-P농도는 6.8 mg/L 및 0.6 mg/L로서 양호한 처리 결과를 얻을 수 있었다. 또한 본 공법의 평균 제거효율은 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS의 경우 94.6%, 79.8%, 94.9%이었으며, T-N 및 T-P로서 70.8% 및 76.9%로 나타났다. EPS 여재에 부착된 부착미생물 군집의 16S-rRNA 분석결과 ammonia-oxidizing bacteria로 알려진 Nitrosomonas속, Nitrosococcus속, Gallionella속이 포함된 cluster가 EPS 여재에 부착된 biofilm의 6% 정도인 것으로 조사되었다. 결과적으로 질산화미생물의 우점화를 통해 질산화 반응시간을 단축시킴으로서 6시간 이내의 짧은 수리학적 체류시간에서도 T-N 및 T-P농도를 10 mg/L 및 1.0 mg/L 이하로 처리할 수 있었던 것으로 사료된다.

**주제어 :** 질산화, 탈질, 데파낙스, EPS, 하이브리드

## 1. 서론

Dephanox 공정은 활성슬러지를 안정화조에서 내생호흡단계로 유도하여 유입수에 함유된 유기물 흡착을 극대화시키는 접촉 안정형 공정을 모델로하여 개발된 다단 슬러지 영양염류처리공정(Two-sludge system)으로 Wanner 등<sup>9)</sup>에 의해 처음 도입된 공정이며, 1996년 Borton 등<sup>1)</sup>에 의해 Daphanox 공정이라 명명되었다.<sup>3,7)</sup> Dephanox공정은 다단슬러지 공정(Two-sludge system)으로 질산화 미생물과 탈질미생물이 서

로 혼합되지 않고 분리된 공간에서 각자의 역할을 수행하는 공정을 말한다.

본 개발공정은 Dephanox 공정의 변법으로 부유성장과 부착성장을 동시에 이용한 하이브리드(Hybrid)공정으로 양질의 질산화균 농축을 도모하기 위하여 EPS 여재를 이용하였다. 질산화균 농축을 위한 여재의 사용은 부유성장 미생물을 이용한 공정에 비해 낮은 온도, 중금속 및 유기물 부하변동에서도 처리가 양호한 것으로 보고되었다.<sup>5,8)</sup> 본 공정의 배열은 혐기접촉조, 최초침전지, 질산화조, 무산소조#1, 간헐포기조, 무산소조#2, 재포기조, 최종침전지로 구성되어있으며, 하수내 유기물과 무기물을 분리시켜 종속영양미생물과 독립영양미생물을 분리성장 시킴으로서 불필요한 유기물의 소모를 감소시키고 저부하 조건에서도 탈질효율을 극대화 할 수

<sup>†</sup> Corresponding author

E-mail: gatorlee@chungbuk.ac.kr

Tel: 043-261-2469

Fax: 043-272-2469

있다. 또한 질산화 반응조내에 EPS부상여재를 충전하여 질산화 미생물의 농축을 도모함으로써 온도변화에 따른 외적 영향을 감소시키고 질산화반응속도를 증가시켜줌으로써 기존 처리장의 수리학적 체류시간 내에 고효율로 영양염류를 처리할 수 있는 고도처리기술이다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험 재료 및 방법

#### 2.1.1. 실증 plant의 제원

실증 plant는 경기도 남양주시 화도읍 화도 하수종말처리 시설내 유희 부지에 2005년도 12월 식중하여 현재까지 운전중에 있다. Fig. 1은 pilot plant의 schematic diagram이며, pilot plant 설계용량은 Table 1과 같다.

#### 2.1.2. 처리대상수의 성상

본 유입하수는 Table 2와 같이 분뇨연계처리수로서 일 하변동이 상당히 큰 특징을 가지고 있다. 유입 C/N비(BOD<sub>5</sub>/T-N)는 7.4~3.2로서 변동폭이 크게 나타났으며, 평균 4.1의 C/N비를 나타내었다.

Table 1. Volume and HRT of each reactor

TANK	Volume(m <sup>3</sup> )	HRT(min)
Volume of anaerobic contact tank	1.3	25
Volume of nitrification tank	5.4	120
Volume of anoxic tank(#1)	4.6	100
Volume of intermittent aeration tank	3.3	70
Volume of anoxic tank(#2)	1.3	30
Volume of post aeration tank	0.8	15
First settling tank	9.8	240(HRT exclusion)
Terminal settling tank	9.8	240(HRT exclusion)

Table 2. Characteristics of raw wastewater

Item	Max., mg/L	Min., mg/L	Avg., mg/L
BOD <sub>5</sub>	419.0	35.3	96.4
COD <sub>Mn</sub>	180.0	10.0	36.2
COD <sub>Cr</sub>	753.6	32.0	141.4
SS	700.0	20.0	96.8
T-N	56.7	11.0	23.3
T-P	10.6	0.7	2.6
BOD <sub>5</sub> /T-N	7.4	3.2	4.1
BOD <sub>5</sub> /T-P	39.5	50.4	37.1

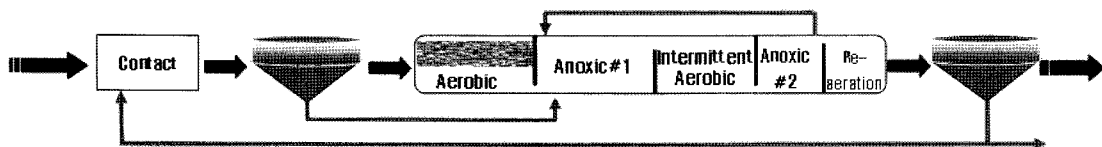


Fig. 1. Schematic diagram of pilot plant.

Table 3. Operation conditions of pilot plant

Treatment capacity	≥ 60 m <sup>3</sup> /d	MLSS	≈ 4,000mg/L
Raw activated sludge return ratio	0.5~1.0 Q	SRT	2~22(≈9)
External return ratio	0.5~1.0 Q	HRT	≤ 6.0Hr
Internal return ratio	1~1.5 Q	F/M ratio	0.18

#### 2.1.3. Pilot plant

Pilot plant의 운전모드는 Table 3과 같다. 평균 HRT는 6시간 이내를 유지하였으며, MLSS 및 F/M비는 평균 4,000 mg/L 및 0.18을 유지하였다. 유기물을 흡착한 생물리지 반송 및 외부반송율은 0.5~1.0Q의 범위내에서 동일한 반송율을 적용하였으며, 내부반송율은 1~1.5Q의 범위내에서 운전하였다.

#### 2.1.4. EPS 여재의 특성

Pilot plant 내에 충전된 EPS 여재의 물성은 Table 4와 같다.

#### 2.1.5. EPS 여재 부착미생물 군집의 분자생물학적 분석

분자생물학적 세균 군집 분석을 위하여 biofilm이 형성된 EPS 여재 시료를 멸균된 채수병에 채취하여(Fig. 2(a)), 2-3

Table 4. Characteristics of EPS media

Analysis item	Unit	Results
Density	kg/m <sup>3</sup>	10
Compression strength(25% transformation)	N/cm <sup>2</sup>	8
Compression strength(50% transformation)	N/cm <sup>2</sup>	13
Water adsorption test	g/cm <sup>2</sup>	0.5
Media pore ratio	%	35.3
Resistance test against Chemicals(5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )		Suitability
Resistance test against Chemicals(5% NaOH)		Suitability

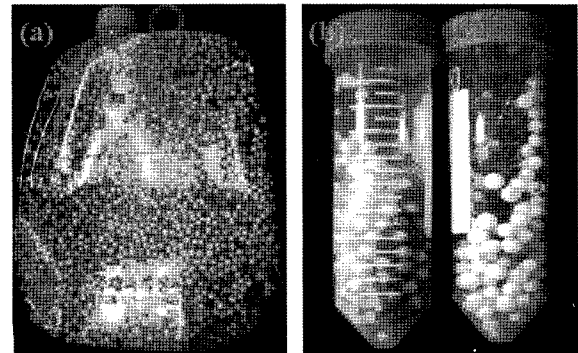


Fig. 2. EPS Media samples.

시간 이내에 4°C에 보관, 운송하였다. 여재에 부착된 biofilm 만을 획득하기 위하여 상등수를 제거하고, 1X phosphate buffered saline(PBS, pH 7.4) 용액 적당량을 첨가하여 교반 하였다(Fig. 2(b)). 각각 두 개의 시료에서 biofilm을 탈착한 후, -20°C에 보관 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. Pilot plant 운전결과

부유 및 부착성 미생물을 이용한 접촉안정형 영양염류 처리 하이브리드공정은 autotrophs와 heterotrophs의 분리성장과 질산화 반응조내에 EPS 여재를 충전하여 질산화균의 우점화를 도모함으로써 수리학적체류시간 6시간 이내에 총 질소 10 mg/L 이하, 총인 1 mg/L 이하로 처리하기 위해 개발된 공정이다. 유입 및 방류수 BOD<sub>5</sub> 농도 및 제거효율은 Fig. 3과 같다. 평균 유입 BOD<sub>5</sub>농도는 6월 중순 까지는 평균 90~100 mg/L 정도를 유지하였으나 6월 말부터 8월 중순까지는 강우에 의한 영향으로 평균적으로 약 40~50 mg/L의 낮은 범위로 나타났다. 그러나 방류수의 BOD<sub>5</sub>농도 및 제거효율은 5.2 mg/L 및 93.3%로 안정적인 처리효율을 나타내었다. Fig. 4는 유입수 및 방류수의 COD<sub>Cr</sub>농도 및 제거효율을 나타낸 그림이다. BOD<sub>5</sub>농도와 같이 6월 말부터 8월 중순까지는 강우에 의한 영향으로 100 mg/L 이하의 낮은 농도가 유입되었던 것으로 나타났다. 평균 COD<sub>Cr</sub>농도 및 제거효율 17.2 mg/L 및 84.3%로 조사되었다.

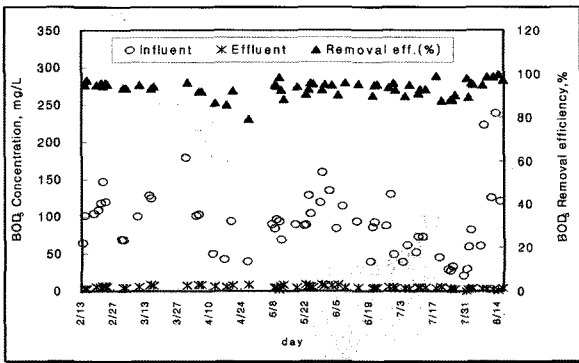


Fig. 3. Variation of BOD<sub>5</sub> removal efficiency.

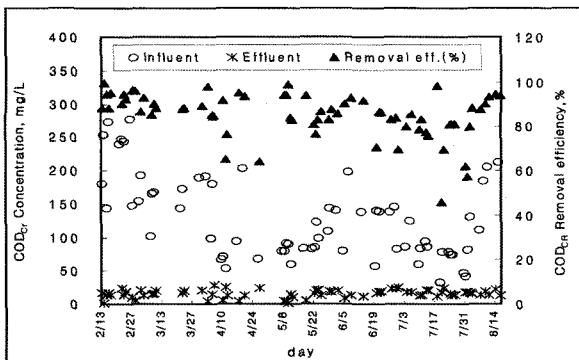


Fig. 4. Variation of COD<sub>Cr</sub> removal efficiency.

Fig. 5는 유입 및 방류수의 T-N 농도 및 제거효율을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 유입수내 T-N농도는 우수에 의한 영향으로 56.7~11.0 mg/L까지 큰 편차를 보이고 있으나 방류수내 T-N농도는 평균 6.8 mg/L로 안정적인 처리수질을 나타내었다.

T-N제거효율에 있어서는 유입수의 낮은 농도로 인하여 10.2~91.0%의 큰 편차를 보였으며, 평균적으로 70.8%의 T-N 제거효율을 나타내었다. Fig. 6은 유입 및 방류수의 T-P농도 변화 및 제거효율을 나타낸 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 유입 T-P농도변화는 10.6~0.7 mg/L를 나타내었으며, 방류수의 평균 T-P농도는 0.6 mg/L로 76.9%의 처리효율을 나타내었다. Table 5는 pilot plant의 유입수 및 방류수 농도 범위와 처리효율을 나타낸 것이다.

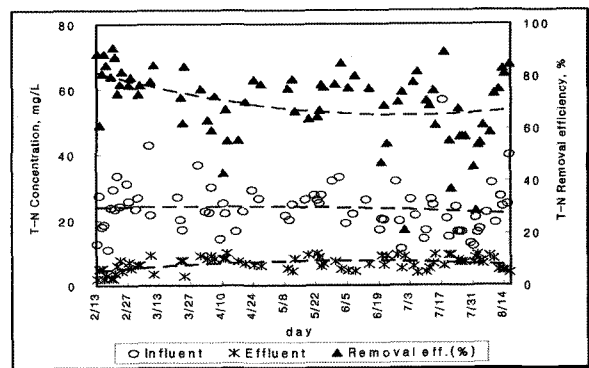


Fig. 5. Variation of T-N removal efficiency.

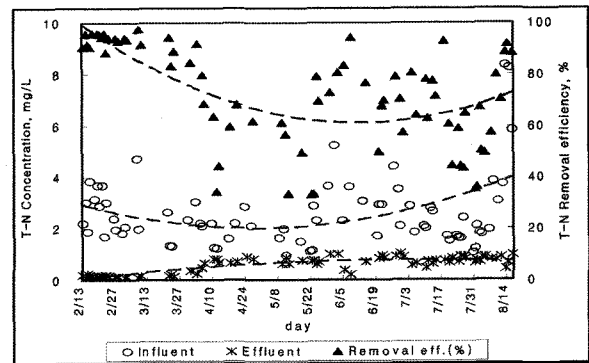


Fig. 6. Variation of T-P removal efficiency.

Table 5. The results of experiment

ITEM	UNIT	Concentration					Removal efficiency (%)
		Influent		Effluent			
		Max. ~ Min.	Avg.	Max. ~ Min.	Avg.	Discharge Limit	
BOD <sub>5</sub>	mg/L	419.0 ~ 20.9	96.4	11.2 ~ 0.4	5.2	10	94.6
COD <sub>Cr</sub>	mg/L	763.6 ~ 32.0	141.4	46.1 ~ 0.9	17.2	-	87.8
COD <sub>Mn</sub>	mg/L	180.0 ~ 10.0	36.2	15.0 ~ 0.4	7.3	20	79.8
SS	mg/L	700.0 ~ 20.0	96.8	23.0 ~ 1.0	4.9	10	94.9
T-N	mg/L	56.7 ~ 11.0	23.3	11.3 ~ 2.0	6.8	20	70.8
T-P	mg/L	10.6 ~ 0.7	2.6	1.2 ~ 0.1	0.6	2	76.9

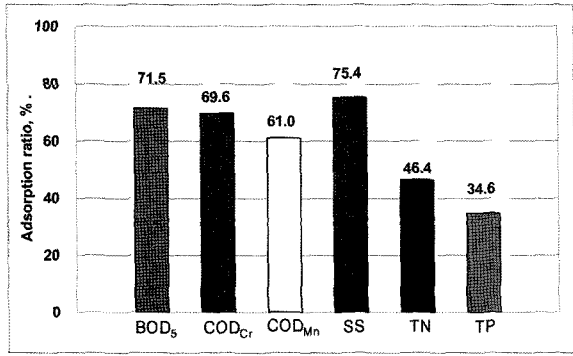


Fig. 7. Analysis results of organic adsorption.

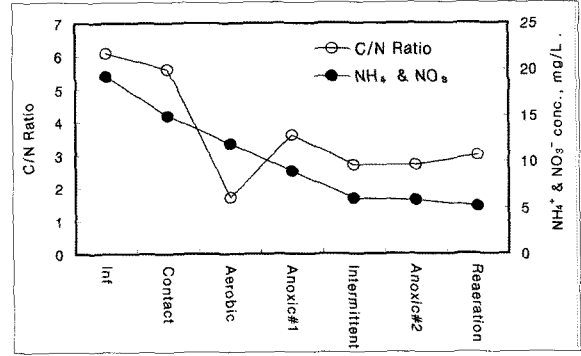


Fig. 9. Analysis results of C/N ratio.

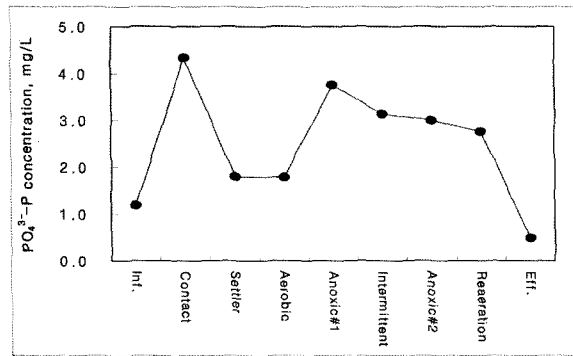


Fig. 8. Analysis of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P variation.

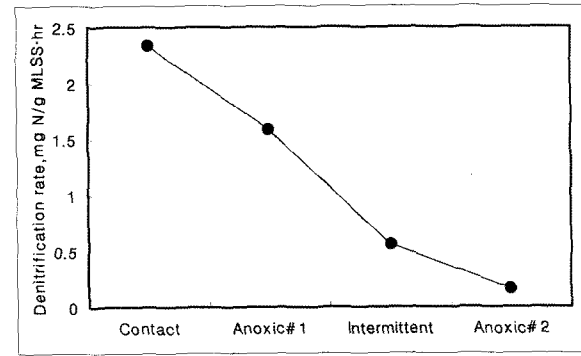


Fig. 10. Analysis results of denitrification rate.

Fig. 7은 원수내 유기물 및 영양염류가 혐기접촉조에서 활성슬러지내 흡착 효율을 나타낸 그림이다. 흡착효율은 유입 수 농도대비 혐기접촉조와 최초침전지에서 분리된 상등수의 유기물 및 영양염류 농도차를 분석함으로써 최초침전지 슬러지와 공침된 양을 나타낸 것으로 그림에서 보는바와 같이 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS의 흡착효율은 71.5%, 69.6%, 61.0%, 75.4%로 높은 흡착효율을 보였으며, 영양염류인 T-N 및 T-P의 흡착효율은 46.4%, 34.6%로 나타났다. 이와같이 질산화 반응조로 유입되는 최초침전지 상등수는 상당부분 유기물이 제거된 처리수로 autotrophs와 heterotrophs의 경쟁관계에 있어서 autotrophs가 우점화 될 수 있는 조건을 제공해 주는 것으로 나타났다. 또한 흡착 후 분리된 T-N이 유입 T-N의 46.4%로 이는 기존 dephanox공정에서 제거되지 않아 방류수 T-N농도가 높았던 원인으로 본 처리 공정은 이러한 흡착 T-N의 제거를 위해 후속처리 공정으로 간헐기조, 무산소조#2 및 재포기조와 내부반송 라인을 설치하여 방류수의 T-N농도를 저감시킬 수 있었다. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 내부거동 분석결과 혐기접촉조와 무산소조#1에서 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 방출이 약 400% 이상 나타나 순혐기 조건이 제공되어 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 방출량을 극대화시킬 수 있는 것으로 조사되었으며, 이후 재포기조를 거치며 0.4 mg/L 이하로 흡수되는 것으로 조사되었다(Fig. 8).

각 반응조별 SCOD<sub>C</sub>과 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도비를 C/N ratio로 평가한 결과 Fig. 9와 같이 유입 C/N ratio는 6.1 정도이었으며, 이후 혐기접촉조에서 5.8 내외로 비교적 높게 유지되었으며, 질산화조에서는 1.5 정도의 낮은 C/N ratio를 나타내었다. 따라서 질산화 반응조내에서 heterotrophs 성장은 상당

히 제한적인 것으로 조사되었으며, 이후 무산소조#1에서는 유기물을 흡착한 슬러지의 이송으로 인하여 C/N ratio가 3.5 이상 회복되는 것으로 나타났다. Fig. 10은 각 반응조별 탈질반응 속도를 분석한 결과로서 그림에서 보는바와 같이 혐기접촉조에서의 탈질반응 속도는 2.4 내외로 상당히 높게 나타났으며, 무산소조#1에서도 내생 탈질반응속도가 1.5 이상인 것으로 조사되었다. 이후 반응조내 잔존유기물량의 부족으로 인하여 0.5 이하의 낮은 탈질반응속도를 나타내었다.

### 3.2. EPS 여재 부착미생물 군집의 분자생물학적 분석 결과

#### 3.2.1. 핵산의 추출 및 정제

Miller 등<sup>10)</sup>의 bead beating 방법을 변형하여 시료로부터 핵산을 직접 추출하였고, 0.5X TBE, 1% agarose로 전기영동한 후 EtBr 염색하여 DNA를 확인하였다(Fig. 11). 10 Kbp 이상의 genomic DNA가 추출되었음을 확인하였다.

#### 3.2.2. Ammonia-, Nitrite-Oxidizing bacteria의 16S rRNA 유전자 증폭

Ammonia-oxidizing bacteria의 specific primer Nso1225R과 nitrite-oxidizing bacteria의 specific primer NIT3, NIS를 사용하여 16S rRNA 유전자를 증폭하였다(Fig. 12). 이를 통해 EPS 여재에 부착된 biofilm에 질산화 균이 있음을 확인할 수 있었다.

#### 3.2.3. Eubacteria의 16S rRNA 유전자 증폭

Eubacterial primer 27F와 1492R을 사용하여 16S rRNA 유

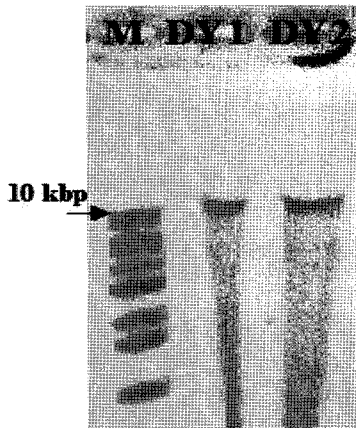


Fig. 11. All nucleotide extraction.  
(M) Size Marker ; 10 kbp ladder

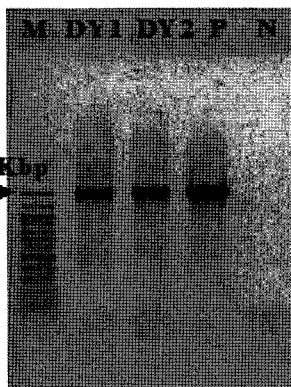


Fig. 13. 16S rRNA gene amplification.  
(M) Size Marker; 100 bp ladder, (P) Positive control; *Bacillus megaterium*, (N) Negative control(no template)

전자를 증폭하여 PCR product는 1% agarose gel에서 전기영동하여 확인하였다(Fig. 13). 약 1.5 Kbp 크기의 16S rRNA 유전자가 증폭되었으며, Power Gel Extraction Kit(Takara, Japan)로 PCR product만을 정제 및 농축하였다(Fig. 14).

3.2.4. 16S rRNA 유전자의 Library 구축 및 염기서열 분석

증폭된 PCR 산물을 pGEM-T vector를 이용하여 *E. coli* DH10B에 Sambrook와 Russell(2001)의 방법에 따라 형질전환 시켰다. Blue-white colony 선별법에 의해 각 시료 당 약 50개 정도의 재조합 클론을 선별하였다. 16S rRNA 유전자 증폭에 이용된 eubacterial primer 1492R과 T-vector 삽입자리에 존재하는 염기서열에 상보적인 prGTF primer쌍을 사용하여 direct amplified PCR을 수행하였고, 증폭된 PCR 산물의 크기를 확인하여 5'에서 3' 방향으로 삽입된 재조합 클론을 2차 선별하였다.

EPS 여재에 부착된 biofilm으로부터 구축한 16S rDNA 라이브러리에서 5'→3' 방향으로 삽입된 클론을 DY1 시료와 DY2 시료에서 각각 50개씩 선별하여 ABI 3730XL Capillary DNA Sequencer(Applied Biosystems)로 염기서열을 분석하였다. 분석된 염기서열의 크기는 500~900 bp로 다양했으며,

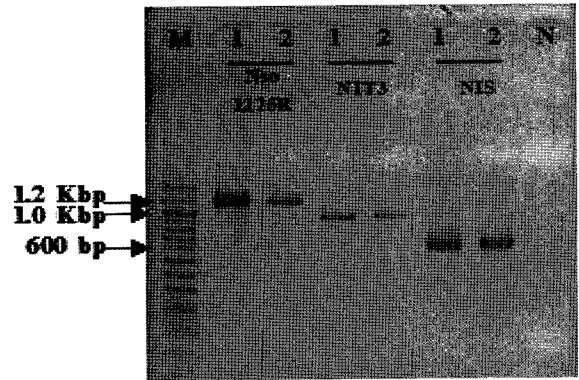


Fig. 12. 16S rRNA gene amplification of Ammonia-, Nitrite-Oxidizing bacteria.  
(M) Size marker; 100 bp ladder (1) DY1 (2) DY2 (N) Negative control(no template)

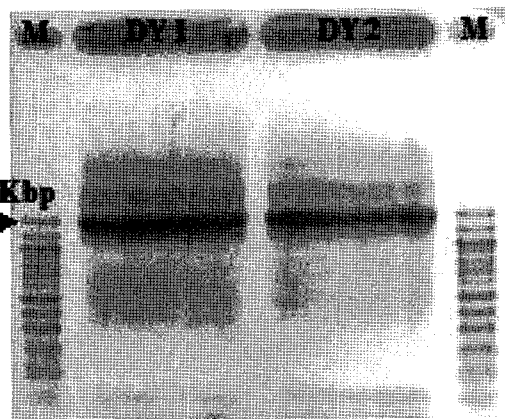


Fig. 14. Concentration of amplified gene.  
(M) Size Marker; 100 bp ladder

이 부분 염기서열들을 GenBank에 등록되어 있는 세균들의 16S rDNA 서열과 비교하였다. EPS 여재에 부착된 biofilm의 염기서열들과 GenBank에 등록되어 있는 세균들의 16S rDNA 서열을 비교한 결과, 근접한 세균들과 각각 89~98%의 유사도를 보였다.

3.2.5. 16S rRNA 염기서열의 계통분류학적 분석

EPS 여재에 부착된 biofilm의 100개 클론 중에서 Proteobacteria가 전체의 63%로 가장 우점하였고, Planctomycetes가 12%를 차지하는 것을 알 수 있었다. 그 외 Acidobacterium과 Verrucomicrobia는 5% 등을 차지하는 것을 알 수 있었다(Fig. 15). GenBank(htT-P://ncbi.nlm.nih.gov/)의 database로부터 확인된 염기서열을 ClustalX(version 1.83) 프로그램을 이용하여 정렬하고 PHYLIP package v3.6a3을 이용하여 Jukes & Cantor distance model과 neighbor-joining method에 의해 염기서열간의 진화적 거리를 계산하고 계통분류학적 tree를 작성하였다(Fig. 16).

계통분류학적 tree에서도 Proteobacteria가 가장 우점하였고, 특히 α-proteobacteria가 가장 우점하였으며, Phylum 수준에서 분류되었다. 또한 Proteobacteria는 유연관계가 비슷한 α-,

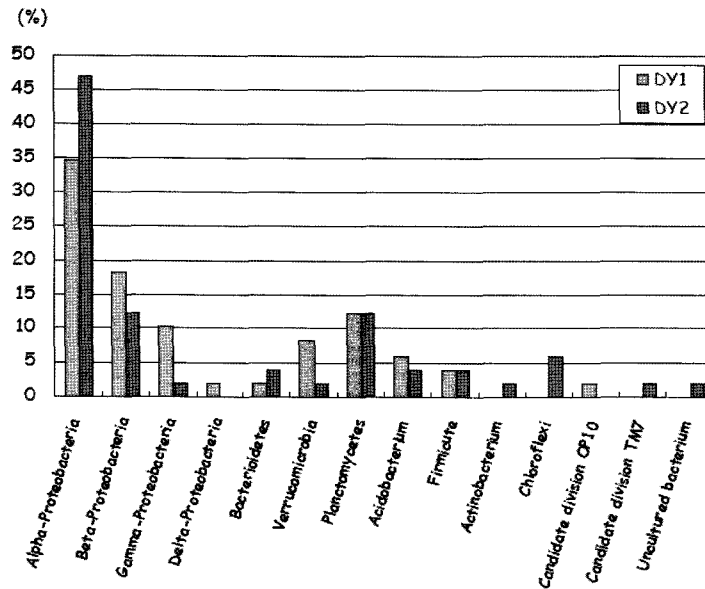


Fig. 15. Distribution ratio of biofilm attached EPS media.

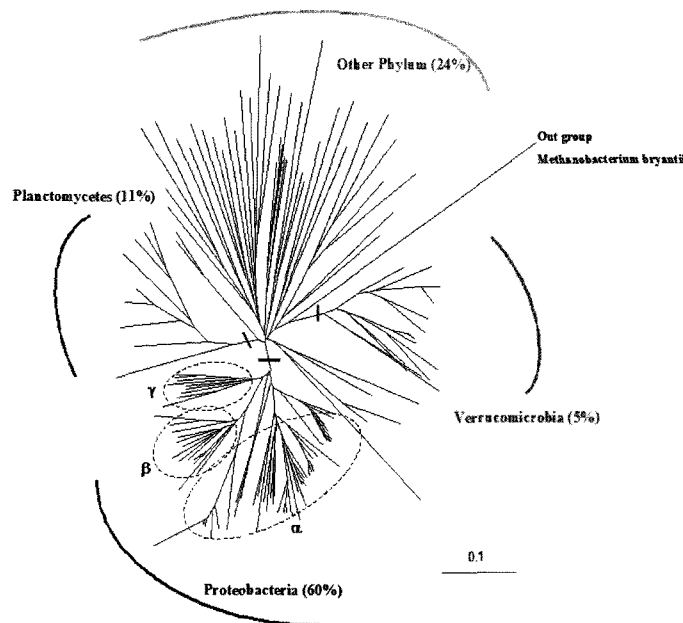


Fig. 16. Phylogenetic diversity tree of biofilm clone attached EPS media.

$\beta$ -,  $\gamma$ -proteobacteria가 각각의 clade를 형성하였다. 하지만 대부분이 unclassified bacteria와 유연관계가 높아 phylum 수준에서만 계통의 유추가 가능하였고, Genus 수준까지의 정확한 유추는 할 수 없었다.

3.2.6. Ammonia-, Nitrite-Oxidizing bacteria의 계통분류학적 분석

Ammonia-, nitrite-oxidizing bacteria의 경우 Proteobacteria phylum과 Nitrospira phylum에 속한다. EPS 여재 biofilm의 16S rRNA 유전자 클론의 경우 60% 이상이 Proteobacteria에 속하였으며, 특히 39%가  $\alpha$ -proteobacteria에 속하였다. 하지만 Nitrospira phylum에 속하는 nitrite-oxidizing bacteria의 군집은 확인되지 않았다. 따라서 biofilm에서 확인된 Pro-

teobacteria phylum만을 살펴보았다(Fig. 17). Proteobacteria phylum에 속하는 대부분의 클론이 unclassified  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -proteobacteria로 GenBank의 database와 계통분류학적 tree로부터 order 수준까지는 유추가 가능하였으나 genus 수준까지의 유추는 할 수 없었다. 특히 이러한 경향은  $\alpha$ -,  $\gamma$ -proteobacteria에서 가장 두드러졌다. 하지만  $\beta$ -proteobacteria의 경우 ammonia-oxidizing bacteria로 알려진 *Nitrosomonas*와 *Nitrosococcus* 속과 이와 관련된 chemolithotropic bacteria인 *Gallionella*속이 포함된 cluster에 EPS 여재에 부착된 biofilm의 클론 중 6%가 속함을 알 수 있었다. 이들에 의해 EPS 여재에 부착된 biofilm에서 질산화가 이루어질 것으로 생각된다. Nitrite-oxidizing bacteria의 경우 specific primer NIT3

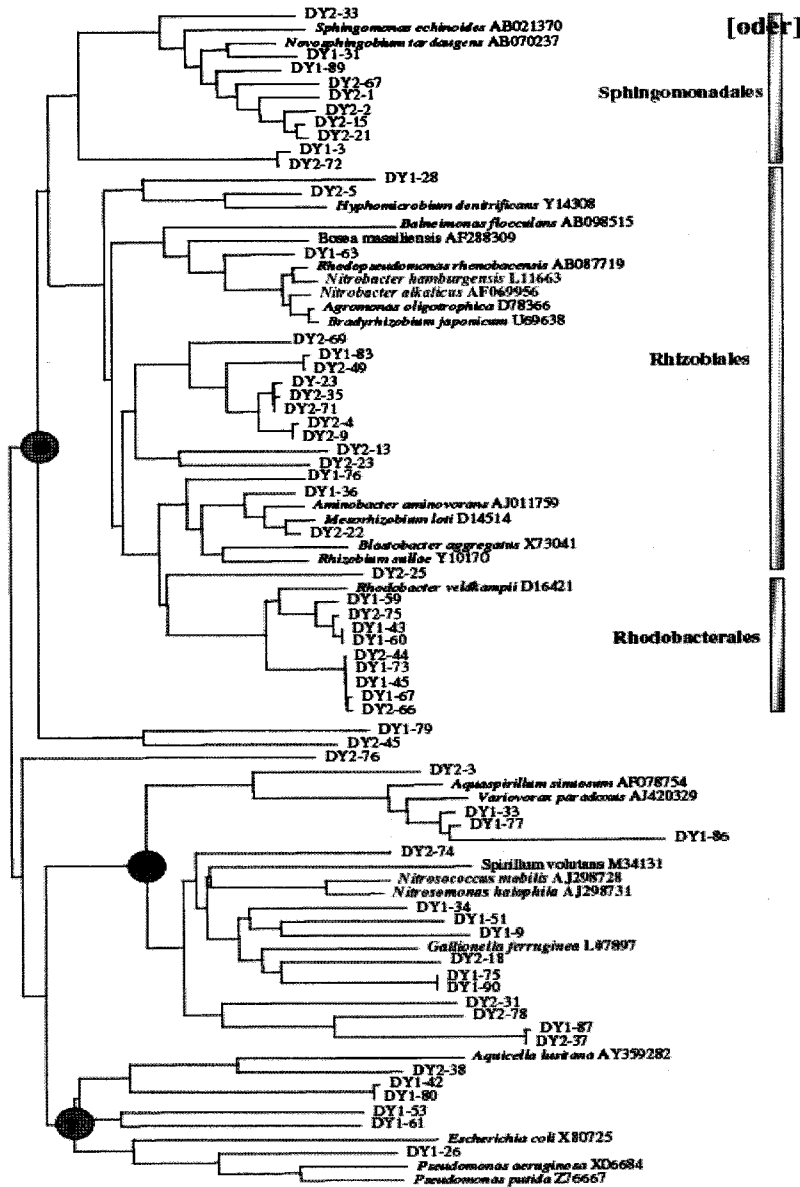


Fig. 17. Phylogenetic diversity tree of confirmed proteobacteria to biofilm attached EPS media

●; α-proteobacteria, ●; β-proteobacteria, ●; γ-proteobacteria

와 NIS를 이용한 PCR은 양성반응을 보였다. 그러나 16S rRNA 유전자의 library에서는 분포비율이 1% 이하로 낮았다. 따라서 EPS biofilm 군집에서 아질산염 산화와 관련된 미생물 군집은 개체군의 크기가 작거나 현재까지 보고된 분류군과는 진화학적으로 다른 군집에 의해 이루어진다고 생각된다.

#### 4. 결론

1) 부유 및 부착성장 미생물을 이용한 집적안정형 영양염류처리 하이브리드공정은 수리학적체류시간 6시간 이내에서도 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS의 농도가 평균 5.2 mg/L, 7.3 mg/L, 4.9 mg/L이었으며, 영양염류인 T-N 및 T-P농도가

6.8 mg/L 및 0.6 mg/L로서 양호한 처리 결과를 얻을 수 있었다. 결과적으로 질산화미생물의 우점화를 통해 질산화 반응시간을 1~2시간 단축시킴으로서 6시간 이내의 짧은 수리학적체류시간에서도 T-N 및 T-P농도를 10 mg/L 및 1.0 mg/L 이하로 처리할 수 있었던 것으로 사료된다.

2) 혐기접촉조에서 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Ct</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS의 흡착효율은 71.5%, 69.6%, 61.0%, 75.4%로 높은 흡착효율을 보였으며, 질산화 반응조로 유입되는 최초침전지 상등수는 상당부분 유기물이 제거된 처리수로 autotrophs와 heterotrophs의 경쟁관계에 있어서 autotrophs가 우점화 될 수 있는 조건을 제공해 주는 것으로 나타났다.

3) 각 반응조별 SCOD<sub>Ct</sub>과 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 및 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도비를 C/N ratio로 평가한 결과 유입 C/N ratio는 6.1 정도 이었으며,

이후 혐기접촉조에서 5.8 내외로 비교적 높게 유지되었으며, 질산화조에서는 1.5 정도의 낮은 C/N ratio를 나타내었다. 따라서 질산화 반응조내에서 heterotrophs의 성장은 상당히 제한적일 것으로 조사되었으며, 이후 무산소조#1에서는 유기물을 흡착한 슬러지의 이송으로 인하여 C/N ratio가 3.5 이상 회복되는 것으로 나타났다. 각 반응조별 탈질반응 속도를 분석한 결과 혐기접촉조에서의 탈질반응 속도는 2.4 내외로 상당히 높게 나타났으며, 무산소조#1에서도 내생 탈질반응속도가 1.5 이상인 것으로 조사되었다.

4) EPS 여재 biofilm의 16S rRNA 유전자 클론의 경우 60% 이상이 proteobacteria에 속하였으며, 특히 39%가  $\alpha$ -proteobacteria에 속하였다.  $\beta$ -proteobacteria의 경우 ammonia-oxidizing bacteria로 알려진 *Nitrosomonas*와 *Nitrosococcus* 속과 이와 관련된 chemolithotropic bacteria인 *Gallionella*속이 포함된 cluster에 EPS 여재에 부착된 biofilm의 클론 중 6%가 속함을 알 수 있었으며, 이들에 의해 EPS 여재에 부착된 biofilm에서 질산화가 이루어질 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 2006년 환경부 차세대 핵심 환경기술개발사업의 지원으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 환경부 및 환경기술진흥원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Bortone, G., Saltarelli, R., Alonso, V., Sorm, R., Wanner, J., and Tilche, A., "Biological anoxic phosphorus removal-The dephanox process," *Water Sci. Technol.*, **34**(1~2), 119~128(1996).
- Deguchi, H. and Kashiwaya, M., "Study on nitrified liquor recycling process operations using polyurethane foam sponge cubes as a biomass support medium," *Water Sci. Technol.*, **30**(6), 143~149(1994).
- Jenicek, P., Bortone, G., Cech, J. S., Wanner, J., and Tilche, A., "New configurations of NDEBPR system-Experimental verification with municipal wastewater," Newsletter of the IAWQ Specialist Group on Activated Sludge Population Dynamics, **5**(2), 11~15(1993).
- Kim, Y., Mikawa, T., Tanaka, K., and Emori, H., "Development of novel anaerobic/aerobic filter process for nitrogen removal using immobilized nitrifier pellets," *Water Sci. Technol.*, **36**(12), 151~158(1997).
- Kuba, T., Loosdrecht, M. C. M. Van and Heijnen, J. J., "Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of denitrifying dephosphatation and nitrification in a two-sludge system," *Water Res.*, **30**(7), 1702~1710(1996).
- Randall, C. and Sen, D., "Full-scale evaluation of an integrated fixed-film activated sludge(IFAS) process for enhanced nitrogen removal," *Water Sci. Technol.*, **33**(12), 155~162(1996).
- Sorm, R., Wanner, J., Saltarelli, R., Bortone, G., and Tilche, A., "Verification of anoxic phosphate uptake as the main biochemical mechanism of the "DEPHANOX" process," *Water Sci. Technol.*, **35**(10), 87~94(1997).
- Tarek, A. E., Valdimir, S., Grietje, Z., and Gatez, L., "Low temperature pre-treatment of domestic sewage in an anaerobic hybrid or an anaerobic filter reactor," *Bio-resource Technology*, **82**, 233~239(2002b).
- Wanner, J., Cech, J. S., and Kos, M., "New process design for biological nutrient removal," *Water Sci. Technol.*, **25**(4~5), 445~448(1992).
- Miller, D. N., Bryant, J. E., Madsen, E. L., and Ghiorse, W. C., "Evaluation and optimization of DNA extraction and purification procedures for soil and sediment samples," *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**, 4715~4724(1999).