

## 연속회분식 생물막 반응기를 이용한 폐수중의 질소·인 제거

김 조 응·이 정 복·†최 대 건·임 윤 택·김 두 현·황 재 응·<sup>1</sup>이 용 희·<sup>2</sup>반 용 병  
국립기술품질원 재료분석과, <sup>1</sup>삼성엔지니어링(주), <sup>2</sup>(주)동성화학  
(접수 : 1998. 6. 29., 게재승인 : 1998. 11. 1.)

## Nitrogen and Phosphorous Removal from Wastewater by SBBR(Sequencing Batch Biofilm Reactor) System

Cho Woong Kim, Jung Bock Lee, Dae Keon Choi†, Yoon Taek Lim, Du Hyun Kim, Jae Woong Hwang,  
Yong Hee Lee<sup>1</sup>, and Yong Byung Ban<sup>2</sup>

National Institute of Technology and Quality, 2 Joongang Dong, Kwacheon, Kyunggi, 427-010, Korea

<sup>1</sup>Samsung Engineering Co., Ltd, <sup>2</sup>Dongsung Chemical Co., Ltd

(Received : 1998. 6. 29., Accepted : 1998. 11. 1.)

An investigation was made to develop new biofilm medium which could be applied to the Sequencing Batch Biofilm Reactor(SBBR) system for enhanced nutrient removal. 21 kinds of polyurethane media were tested for adhesion ability for nitrifying bacteria. Nitrification rates were also tested by introducing synthetic wastewater containing ammonium-nitrogen to reactors with biofilm media. It was found that Z96-06 medium had higher selective adhesion ability for nitrifying bacteria than the other biofilm media. The nitrification rate was 2.21 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N /L · h · g MLSS when we operated the SBBR system containing Z96-06. Nitrification rate of the SBBR system increased approximately by 30% compared with that of the Sequencing Batch Reactor(SBR) system which did not contain biological carrier.

Key Words · Biofilm media, nitrifying bacteria, SBR, SBBR

### 서 론

산업의 발전과 더불어 빈번히 발생하는 부영양화 현상으로 인하여 하천과 호소가 크게 오염되어 사회적으로 문제를 일으키고 있다. 이러한 부영양화의 주요원인은 하·폐수 등에 함유된 질소 및 인 등의 영양염류인 것으로 밝혀졌다. 즉 질소와 인 등을 영양원으로 이용하여 호소, 내만 등의 폐쇄성 수역에서 *Microcystis viridis*, 녹조류 및 *Chattonella antiqua* 등이 과다 성장, 적조 및 청조현상을 일으켜 어패류에 악영향을 미침과 동시에 귀중한 수환경을 파괴한다(1). 특히 질소성분 중 암모니아의 경우 그 자체로서도 독성을 가지고 있고, 또한 암모니아가 질산성 질소나 아질산성 질소 등으로 산화되면서 물 속의 용존 산소를 고갈시킬 뿐 아니라 수자원의 유용가치를 떨어뜨린다(2).

이에 따라 최근 국내에서도 부영양화로 인한 수질오염을 막기 위해 호수 수질환경기준 및 폐수배출기준에 질소·인 항목을 추

가하였으며 특히 1996년 1월 1일부터 전국 하수 및 폐수처리장의 질소와 인의 배출기준을 각각 60mg/L와 8mg/L이하로 규정하여 시행하고 있다(3). 한편 97년 1월부터는 폐수의 1일 배출량이 50톤 이상인 산업체에 대하여 단계적으로 규제가 강화되어 질소·인의 배출기준이 선진국 수준인 8~25mg/L, 0.3~2.0mg/L까지 강화될 뿐 아니라 수질오염물질 총량부과금제가 도입되므로 이에 대비한 고도 탈질·탈인 신기술개발이 시급히 요구되고 있다.

하·폐수 중 질소성분은 암모니아 탈거법(ammonia stripping), 파괴점 염소주입법(break-point chlorination), 이온교환법 등의 물리·화학적 처리방법이 많이 이용되었으나(4, 5), 이러한 방법들은 처리효율이 좋은 반면에 유지, 관리비 및 비용이 많이 들고 2차 환경오염물질이 생기는 단점 등이 있어 최근에는 경제적이고 환경 친화적인 생물학적 방법을 주로 사용하고 있다. 생물학적 질소제거의 경우 질산화 반응과 탈질화 반응으로 나눌 수 있는데, 특히 질산화 반응에 관여하는 대표적인 미생물인 *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* 등은 독립영양미생물로서 활성오니 중의 다른 종속영양미생물에 비해 비성장속도가 느리고 산소친화력이 작으며 또한 pH, 온도 등의 주위 환경변화에 대처 능력이 약하기 때문에 수리학적 체류시간이 작은 경우 충분한 농도의 질산화균을 유지하기가 어려우며 장기간 운전 중에 유실되는

† Corresponding Author · National Institute of Technology and Quality, Material Analysis Division, 2 Joongang Dong, Kwacheon, Kyunggi, 427-010, Korea  
Tel : 02-509-7228, Fax : 02-507-1921,  
e-mail : daekchoi@mail.nitq.go.kr

등 많은 문제를 안고 있다(6). 이러한 이유로 질산화공정은 부유식 성장법(Suspended Growth System)을 이용하기보다는 회전원판법(Rotating Biological Contactors), 살수 여상법(Trickling Filter) 등 부착식 성장법(Attached Growth System)을 이용하는 방법에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다(7-9). 하지만 이러한 방법을 이용하는 경우 산소전달 문제로 인하여 고농도의 암모니아를 제거하는 데 어려움이 있을 뿐 아니라 새로운 시스템을 설치하기 위한 추가 설치비 등의 많은 문제를 안고 있다.

이러한 문제를 해결하는 방법으로 Carrier-activated sludge process를 들 수 있는데 이는 기존의 하·폐수 처리 장치 내에 생물막 담체를 첨가하는 방식으로 이를 이용하는 경우 고농도의 미생물 농도를 유지할 뿐 아니라 생물막 담체에 부착되어 있는 질산화균의 경우 장시간 운전 시에도 유실되지 않기 때문에 전체적인 처리 효율을 높일 수 있는 장점이 있다(10,11). 그러나 현재 상업적으로 판매되고 있는 Flexring<sup>3</sup>, Saran Lock, AQUACEL<sup>B</sup> 등의 생물막 담체의 경우 활성오니를 부착하여 일정농도의 질산화균을 확보할 뿐이다 이에 본 실험에서는 활성오니 중 질산화균을 선택적으로 부착할 수 있는 생물막 담체를 개발하기 위해 미생물에 대한 적합성이 비교적 우수한 폴리우레탄 담체를 이용하여 최적담체를 선정하였고 이를 실험실규모의 연속 회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor, SBR)에 적용한 연속 회분식 생물막 반응기(Sequencing Batch Biofilm Reactor; SBBR)를 운전하며 생물막 담체의 첨가에 따른 질산화율의 변화를 관찰하였고 또한 탈질 및 탈인에의 영향을 조사하였다.

**재료 및 방법**

**생물막 담체의 제조**

하·폐수 처리용 생물막 담체는 Polystyrene(PS)이나 Polypropylene(PP) 등이 주로 이용되고 있으나(12,13) 본 실험에서는 생체적합성이 다른 고분자에 비해 뛰어나고 장기간 운전 시에도 비교적 안정적인 Polyurethane(PU)계열의 생물막 담체를 사용하였다. 생물막 담체는 (주)동성화학에서 제조하였으며 발포제의 종류와 함량, 기타 첨가물 등을 달리하며 제조하였다(Table 1). 제조된 생물막 담체는 직경 4~5mm, 두께 3~4mm의 펠렛 형태로 가공 성형하여 사용하였다.

**활성오니의 채취 및 부착**

본 실험에 사용한 활성오니는 경기도 용인의 정수처리장에 운용되고 있는 탈질, 탈인 파일럿 플랜트에서 채취하였으며 채취해 온 활성오니는 침강시킨 후 상등액을 제거하고 합성폐수를 첨가, MLSS 농도를 약 5000mg/L로 조절하여 2일 동안 폭기조에서 폭기시키면서 활성화하였다. 이때 사용한 합성폐수의 조성은 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 85.4mg/L; NaHCO<sub>3</sub>, 564mg/L, CaCl<sub>2</sub>, 3.9mg/L, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 34mg/L; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 5.0mg/L, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 2.3mg/L; KCl, 7.1mg/L이었고 질소원으로는 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 94.4mg/L와 Bacto peptone 107mg/L를 탄소원으로는 glucose 114mg/L를 사용하였다. 활성오니를 담체에 부착시키기 위해 3L 규모의 아크릴반응조를 이용, 2일 동안 활성화시킨 활성오니에 담체를 10%(v/v) 되게 첨가하여 (운전용량 1000mL, MLSS 농도 3,000~4,000mg/L) 통기량 2vvm으로 상온에서 10일 동안

Table 1. Description of biofilm media

| Sample no. | Recipe                       | Bulk density (g/cm <sup>3</sup> ) | Cell size (μm) | Apparent density (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------------|
| Z96-01     | 5085/cellcom(2)              | 0.708                             | 35-120         | 0.8195                                |
| Z96-02     | 6185/BIH70(2)                | 0.9                               | 40-130         | 1.0333                                |
| Z96-03     | 6193/CT232(2)                | 0.9                               | 20-100         | 1.0225                                |
| Z96-05     | 6193/BIH70(2)                | 0.85                              | 200-400        | 1.0135                                |
| Z96-06     | 6193/BIH70(2)                | 0.676                             | 50-250         | 1.0382                                |
| Z97-01     | PP/CF70(2)                   | 0.883                             | 40-400         | 0.7374                                |
| Z97-02     | 6193/CF70(2)                 | 0.821                             | 60-210         | 1.0033                                |
| Z97-03     | 6193/PP/CF70(90/10/2)        | 0.917                             | 70-290         | 0.9997                                |
| Z97-04     | 6193/PP/CF70(90/10/2)        | 0.859                             | 110-200        | 1.0020                                |
| Z97-05     | 6193/PP/CF70(50/50/2)        | 0.83                              | 70-280         | 0.9858                                |
| Z97-12     | 6193/PP/BIH70(80/20/2)       | 0.9                               | 20-200         | 0.9921                                |
| Z97-14     | 6193/SurlynA/BIH70(80/20/2)  | 0.625                             | 100-400        | 0.8243                                |
| Z97-15     | 6193/Surlyn A/BIH70(70/30/2) | 0.9                               | 50-100         | 1.0343                                |
| Z97-16     | 6193/SurlynA/BIH70(50/50/2)  | 0.87                              | 50-90          | 1.0390                                |
| Z97-17     | 6193/SurlynB/BIH70(70/30/2)  | 0.83                              | 50-150         | 1.0401                                |
| Z97-18     | 6193/SurlynB/BIH70(50/50/2)  | 0.95                              | 20-80          | 1.0110                                |
| Z97-19     | 6193/C850(2)                 | 0.75                              | 100-700        | 1.1501                                |
| Z97-20     | 6193/D1500(2)                | 0.9                               | 10-70          | 1.0242                                |
| Z97-21     | 6193/BIH70(3)                | 0.82                              | 50-500         | 1.1255                                |
| Z97-22     | 6193/BIH70(1)/DX77N(0.5)     | 0.75                              | 20-70          | 1.0443                                |

폭기시켰다. 24시간 간격으로 새로운 합성폐수를 교체공급하여 미생물 부착시 최적조건을 유지하게 하였다.

**최적 담체의 선정**

담체선정을 위해 활성오니를 10일 동안 부착시킨 담체를 수거하여 증류수로 세척한 후 동일한 아크릴조 반응기에서 폭기시키며 합성폐수(Bacto peptone 제외)를 이용한 질산화 반응을 수행하였다. 질산화반응시 각 사용담체에 따른 암모니아 감소속도와 질산염 생성속도를 비교하였다. 특히 합성폐수내 암모니아는 질산화균에 의해 질산염으로 전환될 뿐 아니라 종속영양 미생물에 의해 세포합성에도 사용되기 때문에 각 담체에 부착되어 있는 질산화균의 상대적인 비율을 알기 위해 질산화가 끝난 후에 감소된 암모니아와 생성된 질산염, 아질산염의 비율 조사하여 최종적으로 각각의 담체에 부착되어있는 질산화균의 상대적인 양을 비교하였다.

**실험실규모의 운전**

본 실험에 사용된 실험실규모 실험장치의 개략적인 그림을

Figure 1에 나타내었다.

질산화반응은 호기성 독립영양체인 질산화균에 의해 일어나기 때문에 질산화반응 수행시 산소 공급은 아주 중요하다(14). 본 실험에서는 질산화 반응의 수행시 에어콤프레서를 통해 공기를 주입시켰으며 동시에 교반기를 작동시켰다. 공기주입 유량은 0.5 vvm이었으며 질산화 반응시 암모니아가 질산염으로 전환되면서 pH 감소가 일어나는 바 pH 조절을 위해 2N의 NaOH를 이용하였다.

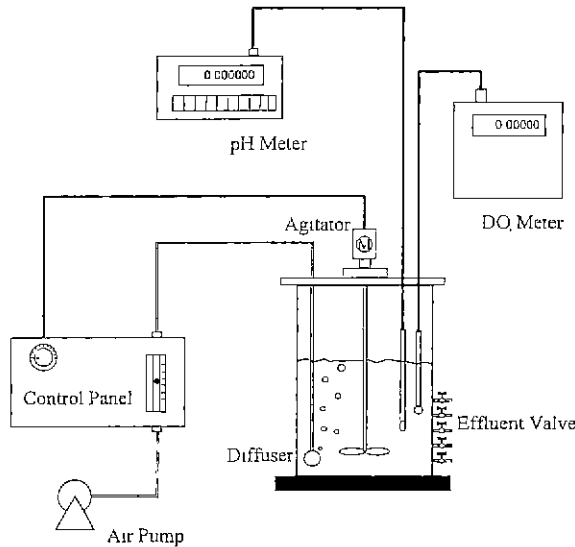
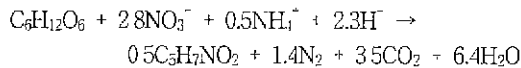


Figure 1. Schematic diagram of bench-scale reactor

탈질반응에서는 용존산소가 부족하거나 고갈 된 상태에서 중속영양생물이 에너지를 얻기 위해 유기물을 산화시킬 때 질산성 질소가 전자수용체로 사용되면서 질소가스로 전환된다. 탈질반응은 질산화반응과 달리 몇몇 특정한 미생물에 의해서 단계적으로 진행되는 것이 아니고 일반적으로 많은 중속영양미생물에 의해서 이루어진다. 탈질을 위해서는 이처럼 전자공여체로써 유기물이 필요한데, 전자공여체로는 메탄올이나 글루코즈 등의 순수한 유기물을 외부에서 인위적으로 첨가해줄 수도 있고, 하수를 그대로 탄소원으로 사용할 수도 있다. 이밖에 슬리지자체가 탄소원으로 사용되는 경우도 있다. 본 실험에서는 글루코즈를 탄소원으로 사용하였다. 글루코즈를 탄소원으로 이용하는 경우의 반응은



가 되며 여기에서 탈질에 필요한 유기물의 상대적 요구량, 즉 COD/N = 4.2가 된다(15). 본 실험에서는 COD/N을 4.2 이상으로 유지시켰다.

생물학적 인제거의 경우 혐기조건에서는 인제거 미생물에 의해 유기물이 섭취됨과 동시에 인이 미생물 외부로 방출되며 호기조건에서는 과량의 인이 섭취된다(16). 본 실험에서는 생물학적 질소제거와 동시에 인제거를 위해서 혐기, 호기, 무산소, 호기 상태 순으로 반응기를 조작하였다

**분석방법**

MLSS의 분석은 Standard Method에 준하여 측정하였다(17) COD<sub>Cr</sub>, 암모니아성 질소(NH<sub>3</sub>-N), 질산성질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), 아질산성질소(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N) 그리고 인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)의 분석을 위해서는 DR2000(Hach, USA) kit를 이용하였다. pH와 DO의 측정은 EA940(Orton research, USA)과 YSI5000(YSI Inc., USA)을 이용하였으며 전자현미경을 이용하여 담체에의 미생물 부착상태를 관찰하였다.

**결과 및 고찰**

**활성오니의 부착**

Figure 2는 Z96-06 생물막 담체의 미생물 부착전(a)과 후(b)의 SEM(Scanning Electron Micrograph) 사진을 나타내었다. 10일 동안 폭기조에서 미생물을 부착한 경우 담체 표면에 미생물들이 부착되어 있음을 알 수 있으며 생물막 담체의 종류에 따라 부착된 미생물의 양에 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다.

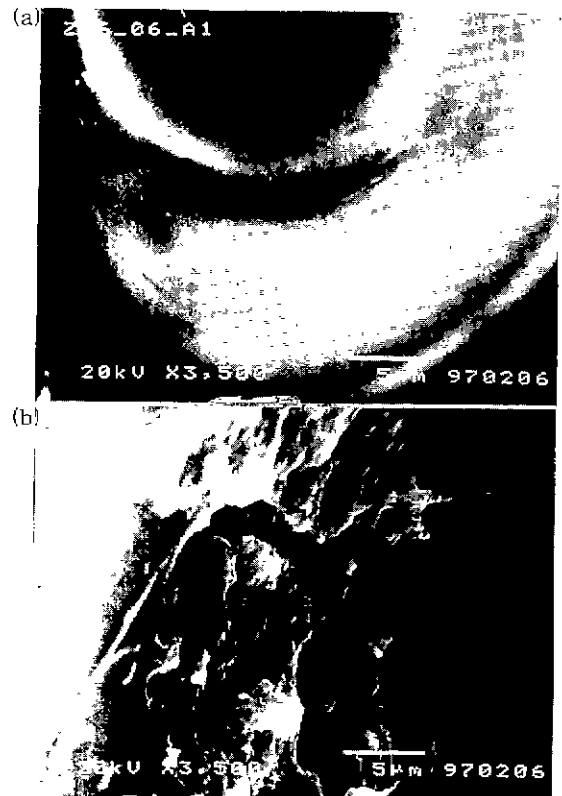


Figure 2. Scanning electron micrographs of polyurethane carrier before(a) and after(b) sludge attachment.

**담체의 선정**

최적 담체의 선정을 위해 21종류의 담체를 발포제 종류와 함량, 기타 첨가제의 종류 등에 따라 5개 그룹으로 나누어서 각각 질산화 속도를 측정하였으며 각 사용담체에 따른 암모니아 감소 속도와 질산염 증가 속도를 조사, 비교하였다. 암모니아는 산화되면서 아질산염을 거쳐 질산염으로 전환되는데 본 실험에서 질산화의 중간 생성물로써 아질산염의 생성량은 질산염의 생성량에 비해 미미하였다. Table 2에 21종류의 생물막 담체를 테스트

Table 2. Nitrification rate test of various biofilm media( 1 )

|         |        | Ammonia consumption rate (mg/L · hr) | Nitrate production rate (mg/L · hr) | Nitrate and nitrite production / Ammonia consumption (mg · L <sup>-1</sup> /mg · L <sup>-1</sup> ) |
|---------|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Group 1 | Z96-01 | 0.563                                | 0.021                               | 0.046  |
|         | Z96-02 | 0.656                                | 0.087                               | 0.232  |
|         | Z96-03 | 0.635                                | 0.038                               | 0.090  |
|         | Z96-05 | 0.667                                | 0.083                               | 0.166  |
| Group 2 | Z97-01 | 0.732                                | 0.350                               | 0.512  |
|         | Z97-02 | 0.636                                | 0.286                               | 0.480  |
|         | Z97-03 | 0.573                                | 0.255                               | 0.479  |
|         | Z97-04 | 0.518                                | 0.236                               | 0.491  |
| Group 3 | Z96-06 | 0.737                                | 0.358                               | 0.532  |
|         | Z97-05 | 0.553                                | 0.074                               | 0.196  |
|         | Z97-12 | 0.737                                | 0.189                               | 0.291  |
|         | Z97-14 | 0.697                                | 0.237                               | 0.384  |
| Group 4 | Z97-15 | 0.735                                | 0.159                               | 0.346  |
|         | Z97-16 | 0.750                                | 0.182                               | 0.309  |
|         | Z97-17 | 0.794                                | 0.118                               | 0.326  |
|         | Z97-18 | 0.809                                | 0.118                               | 0.269  |
| Group 5 | Z96-04 | 0.676                                | 0.076                               | 0.191  |
|         | Z97-19 | 0.675                                | 0.215                               | 0.442  |
|         | Z97-20 | 0.438                                | 0.075                               | 0.153  |
|         | Z97-21 | 0.613                                | 0.155                               | 0.293  |
|         | Z97-22 | 0.475                                | 0.120                               | 0.303  |

트한 결과를 나타냈는데 먼저 첫 번째 그룹에서 Polyester계 PU인 Z96-01의 경우 Polyether계 PU인 Z96-02,03,05에 비해 암모니아 감소속도와 질산염 증가속도가 느렸다 특히 질산염 및 아질산염의 생성량과 암모니아 감소량의 비를 살펴보면 Z96-01의 경우 다른 생물막 담체에 비해 낮은 수치를 보이는데 이는 암모니아의 대부분이 생물막 담체에 부착된 중속영양미생물에 의해 미생물 합성에 쓰여졌기 때문으로 판단된다. 또한 일반적으로 Polyester계 PU의 경우 물 속에서 장시간 있을 시 가수분해가 되기 때문에 Polyester계 PU는 질산화담체의 재료로는 적합하지 않음을 알 수 있었다. 동일한 Polyether계 PU중에서 BIH70 발포체를 사용한 Z96-02와 Z96-05가 암모니아 감소속도 및 질산염 증가속도가 빨랐고 암모니아 감소량에 대한 질산염 및 아질산염 생성량의 비가 컸다.

두 번째 그룹에서는 동일한 발포체를 사용하는 한편 비용절감을 위해서 polypropylene(PP) 수지를 첨가하여 제조한 생물막 담체를 비교하였다. Z97-03과 Z97-04는 PU에 10% PP 수지를 첨가하였고 같은 재질에 가공조건을 변화시킨 것이다. 수지를 첨가한 경우 표면이 불균일해지는 단점이 있고 질산화 테스트를 한 결과에서도 수지를 첨가하지 않은 경우에 비해 암모니아 감소속도와 질산염 증가 속도가 조금 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 PU에 PP 수지를 첨가할 때 서로 잘 섞이지 않기 때문에 발포율이 저하되고 이에따른 공극률 저하로 인하여 미생물이 부착할 수 있는 비표면적이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 PU가 아닌 소수성 고분자로 만든 담체

(Z97-01)를 테스트한 결과 PU만으로 이루어진 담체(Z97-02)와 비교하여 질산화 속도가 비슷한 것을 알 수 있었다. 두 번째 그룹의 테스트 결과 수지를 첨가한 PU의 경우 질산화 속도가 감소하였다 하지만 소수성 고분자만으로 만들어진 Z97-01은 순수 PU계 담체와 비교하여 질산화 속도가 감소하지 않았다. 이에 세 번째 그룹에서는 수지의 첨가비율을 50%로 높인 Z97-05와, 수지 첨가비는 같으나 다른 발포체를 이용하여 제조한 담체인 Z97-12를 비교 테스트하였다. 또 새로운 재질의 담체 Z96-06과 polyether계 PU에 초기 미생물 부착단계에서 좀더 미생물이 잘 부착되도록 유도하기 위해 가능성을 부과한 Zn 양이온 수지를 20% 첨가한 Z97-14를 테스트하였다.

먼저 수지를 첨가한 경우 2차 테스트와 같이 수지를 첨가하지 않은 담체에 비해 질산화속도가 감소하였고 특히 CF70 발포체를 사용한 경우 수지 첨가비가 커짐에 따라 질산화속도가 급격히 감소함을 알 수 있었다(Z97-05). 20% Zn 양이온 수지를 첨가한 경우 초기에 질산화 미생물이 담체에 부착되는데 큰 도움이 되지 않음을 확인하였다.

네 번째 그룹 테스트에서는 양이온 수지의 영향을 알아보기 위해 PU에 Zn 양이온 수지를 각각 30%와 50% 비율로 첨가한 Z97-15, Z97-16 그리고 Na 양이온 수지를 30%와 50% 비율로 첨가한 Z97-17, Z97-18에 대한 질산화 실험을 수행하였다. 각각의 경우 양이온 수지의 종류와 첨가비에 관계없이 양이온 수지를 첨가하지 않은 Z96-04에 비해 질산화 속도가 높은 것을 알 수 있었다.

발포제의 영향에 대해서 좀더 자세히 알아보기 위해서 동일한 재결에서 새로운 발포제를 사용하여 몇몇 담체를 제조하여 다섯 번째 그룹으로 나누어 테스트하였다 우선 새로운 C850 발포제와 D1500 발포제를 2%씩 사용하여 각각 Z97-019와 Z97-020을 제조하였고 지금까지 테스트 결과에서 가장 좋은 결과를 나타내는 BIH70 발포제를 3% 사용한 Z97-021, 그리고 1% BIH70 발포제와 0.5% DX77N 발포제를 사용한 Z97-22를 테스트하였다. D1500 발포제를 사용한 경우 다른 담체에 비해 질산화 속도가 낮았으며 C850 발포제의 경우가 다른 발포제를 사용한 것과 비교하여 좋은 결과를 나타냈다.

**최종담체 선정**

일반적으로 활성오니 중 질산화 미생물은 약 5%가량을 차지한다고 알려져 있다 하지만 동일한 하수처리장에서 활성오니를 채취하더라도 각 시기별로 질산화 미생물의 양이나 활성이 다르기 때문에 5개의 그룹 테스트를 통해 얻어진 최적 담체들을 동일한 활성오니를 이용해서 부착시킨 후 최종 질산화 테스트를 행하였다(Figure 3).

폴리우레탄 재질의 경우 PP 수지로 이루어진 Z97-01이나 초기 제조한 담체(Z96-02)보다는 Z96-06이 좋은 결과를 나타냈고 동일한 재질의 폴리우레탄인 Z96-06과 Z97-19를 비교해 보았을 때 2% B 발포제를 사용한 Z96-06이 좋았다. 또한 양이온 수지를 첨가한 Z97-16의 경우 PP 수지를 첨가한 경우와 마찬가지로 서로 잘 섞이지 않아서 발포율이 낮았고 질산화 속도도 Z96-06보다 낮았다.

이상의 결과에서 질소·인 제거를 위한 담체로 Z96-06을 선정하였다.

**담체 형태에 따른 질산화율 비교**

실험에 사용된 생물막 담체는 직경 4~5mm, 두께 3~4mm의 펠릿 형태의 담체였다. 담체의 형태에 따라 질산화 미생물의 부착 정도와 질산화 속도가 달라 질 수 있기 때문에 최적 담체로 선정된 Z96-06을 가공조건에 조금 변화를 주어 직경 10~14mm, 두께 3~4mm의 디스크(Disk) 타입으로 가공하여(Z96-07) 기존의 Z96-06과 비교하여 보았다.

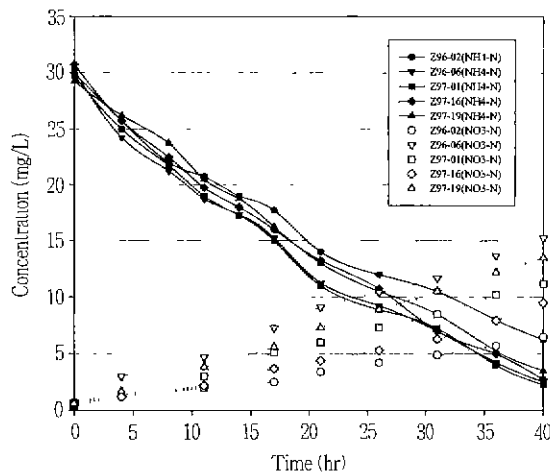


Figure 3. Screening of optimal biofilm media.

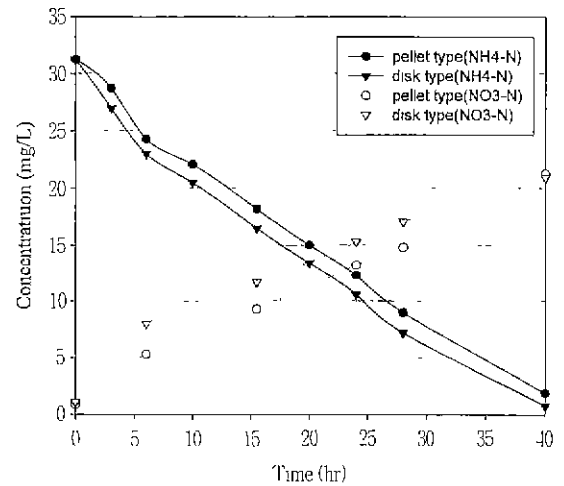


Figure 4 Shape effect of biofilm media on nitrification rate

Figure 4에 결과를 도시하였는데 그림에서 알 수 있듯이 두 담체들 간의 암모니아 감소속도나 질산염 증가 속도의 차이는 거의 없었다. 이는 두 종류 생물막 담체가 직경의 변화는 있으나 두께가 일정하므로 생물막 담체내부에 있는 질산화균이 받는 산소전달이나 영양분전달 등에 차이가 없기 때문으로 생각된다.

**합성세수를 이용한 SBBR공정에서의 탈질·탈인**

선정된 담체(Z96-06)를 SBR 시스템에 10%(v/v)가 되게 첨가해서 SBBR 시스템을 운전하였다 초기에는 담체가 가라앉지 않아서 시스템이 불안정했으나 일주일 경과 후 기공으로 물이 침투하고 미생물이 부착됨에 따라 담체의 비중이 약 1정도로 유지되게 되면서 시스템이 안정화되었다. 15일 정도 운전 후 기존의 SBR 시스템과 동일한 조건에서 질소·인 제거효율 등을 비교하였다. 이때 인 제거 효율을 높이기 위해 질산화가 진행되는 혐기상태 이전에 COD를 100 mg/L로 하여 혐기상태로 6시간 운전, 인 제거 미생물들이 체내의 인을 충분히 방출하도록 유도하였다. 또 탈질반응이 끝난 후 생성된 인 제거를 위해 4시간의 호기상태를 유지하였다(Figure 5).

초기 혐기조건에서 COD 감소와 더불어 인은 최고 14.5 mg/L까지 증가하였고 여분의 질산염과 아질산염의 경우 혐기상태에서 완전히 제거되었다. 이후 호기상태에서 질산화를 수행하였는데 SBR의 경우 암모니아 감소속도가 1.70 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / L·h·g MLSS이었고 SBBR은 2.21mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N / L·h·g MLSS이었다 이는 Shin과 Park(10), Garzon-Zumiga(11) 등의 실험결과와 비교하여 질산화속도가 향상된 것이며 담체에 질산화 미생물이 충분히 부착되었기 때문으로 판단된다. 질산화가 끝난 후 탈질 반응을 수행하였는데 12시간 동안 질산염이 완전히 제거되었다. 무산소조건에서 탈질반응 수행시 질산염의 감소와 더불어 인의 증가가 관찰되어지는데 이는 질산염이 감소됨에 따라 무산소조건에서 혐기조건으로 전환되면서 인 제거 미생물이 인을 방출하기 때문이다. 방출된 인은 4시간 동안의 호기조건을 수행함으로 제거 할 수 있었다. 31시간의 운전의 결과 질소 제거 효율은 SBR, SBBR 두 시스템 모두 100%이었고 인 제거 효율은 각각 67%, 69%이었는데 운전조건의 최적화시 인 제거 효율도 상승할 것으로 판단된다. 특히 SBBR의 경우 시간경과에

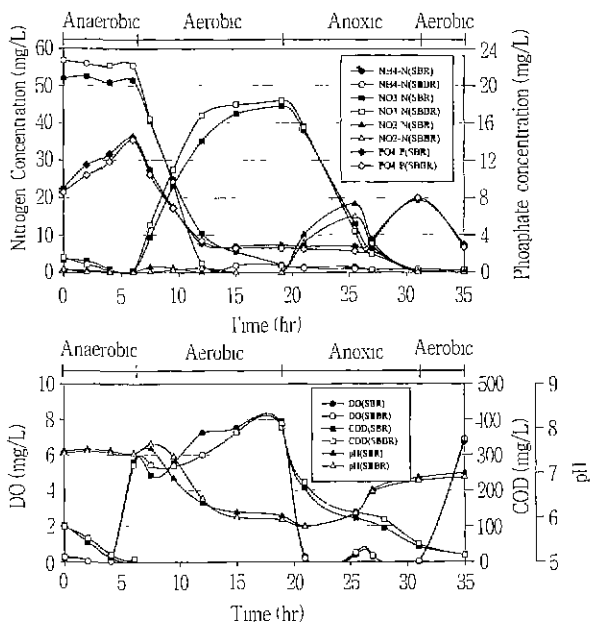


Figure 5. Comparison of SBR and SBBR system.

따라 시스템이 안정화 되면서 질산화 속도가 SBR에 비해 30% 가량 증가되었다

요 약

부 영양화의 주 원인인 질소 및 인의 생물학적 제거를 위한 방법으로 부유식 성장법이 광범위하게 사용되고 있으나 벌킹(Bulking), 외부 조건변화에 따른 안정성 그리고 장기간 운전시 질산화균의 유실 등의 문제로 인해 현재는 부착식 성장법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나 부착식 성장법을 이용하는 경우 기존의 부유식 성장법에 비해 추가 설치비가 많이 들기 때문에 최근에는 기존의 부유식 성장법에 생물막 담체를 첨가한 carrier-activated sludge process에 대한 연구가 활발히 진행중이다. 본 연구에서는 이러한 carrier-activated sludge process에 적용하기 위한 생물막 담체를 개발하기 위해 21종의 폴리우레탄 담체를 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다 먼저, 생물막 담체의 경우 발포제로 2%의 BHH70을 사용하는 경우 다른 생물막 담체에 비해 선택적으로 질산화균을 잘 부착시켰고, PP 수지나 기능성을 부과하기 위해 양이온 수지를 첨가하는 경우 서로 혼합시 잘 섞이지 않기 때문에 발포율이 저하되고 또한 공극을 저하로 인하여 미생물이 부착할 수 있는 비표면적이 줄어들어 하·폐수 처리용 생물막 담체로는 적합하지 않았다 이들중 Z96-06 담체가 다른 생물막 담체에 비해 질산화균을 부착시키는 정도가 뛰어났으며 이를 실험실규모의 SBR 시스템에 적용시켜 SBBR 시스템을 운전한 결과 질산화 속도가 2.21mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/L·h·g MLSS로 SBR 시스템에 비해 30%의 증가를 가져왔다.

감 사

본 연구는 1996년도 공업기반 기술 과제에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 드립니다

참 고 문 헌

- Halling-Sorensen, B. and S. E. Jorgensen(1993), The Removal of Nitrogen Compounds from Wastewater, p. 3, Elsevier, Amsterdam.
- Bitton, Gabriel(1994), Wastewater Microbiology, p. 60, Willey-Liss, Inc., New York.
- 水質環境保全法시행규칙(개정 92. 8. 8 총리령 제 405호) 제 40조
- Sedlak, Richard I(1989), Principles and Practice of Phosphorous and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater, p.26, SDA, New York.
- Tchobanoglous, G.(1970) Physical and Chemical Process for Nitrogen Removal. Theory and Application. Proc. 12th Sanitary Engineering Conf., University of Illinois, Urbana.
- Bock, E and Koops, H. P(1989), The genus Nitrobacter and Related genera. The Prokaryotes, 2nd ed., vol 3, p 2302.
- Farrimond, M. and John Upton(1993), A Strategy to Meet the Nutrient(N and P) Standards of the Urban Wastewater Directive, *Wat. Sci. Tech.* 27, 297-306
- Watanabe, Y., S Okabe, K. Hirata and S. Masuda(1995). Simultaneous Removal of Organic Materials and Nitrogen By Micro-Aerobic Biofilms, *Wat. Sci Tech* 31, 196-203
- Okabe, S., Y. Oozawa, K. Hirata and Y. Watanabe(1996), Relationship Between Population Dynamics of Nitrifiers in Biofilm and Reactors Performance at Various C : N ratios, *Wat. Res.* 30, 1563-1572.
- Shin, Hang-Sik, Hung-Suck Park(1990), Enhanced Nutrient Removal in Porous Biomass Carrier Sequencing Batch Reactor(PBCSBR). *Wat. Sci. Tech.* 23, 719-728
- Garzon-Zuniga, M. A. and S. Gonzalez-Martinez(1996), Biological Phosphate and Nitrogen Removal in a biofilm Sequencing Batch Reactor, *Wat. Sci. Tech* 34, 293-301
- Scott, D. Charles(1987), Immobilized Cells : A Review of Recent Literature, *Enzyme Microb. Technol.* 9, 66-73.
- Rosevear, Alan(1984). Immobilized Biocatalysts - a Critical Review, *J Chem Tech. Biotechnol.* 34B, 127-150.
- Wild, H. E Jr, Clair N. S. and Thomas C. M.(1971). Factor affecting Nitrification Kinetics, *J. WPCF*, 43, 1845-1854
- Monteith, H. D. et al.(1980), Industrial waste carbon source for biological denitrification, *Pro. Wat. Tech* 12, 127-141
- Fuhs, G W and M. Chen(1975), Microbiological basis of a phosphate removal in mthe activated sludge process for the treatment of a wastewater, *Microbial Ecology*, 2, 119-138
- Eaton, A. D., Lenore S. C and Arnold E. G.(1995), Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 19th ed., APHA-AWWA-WEF.