

## 망상형 회전식 바실러스 접촉장치를 이용한 하수의 고도처리공정에 관한 연구

김응호<sup>†</sup> · 조연제<sup>\*</sup> · 박성주<sup>\*\*</sup> · 신광수<sup>\*\*</sup> · 임수빈 · 정진권

홍익대학교 건설도시공학부

(주)세일기술

<sup>\*\*</sup>대전대학교 이과대학 생명과학부 미생물학전공

### Advanced Wastewater Treatment Process using Rotating Activated Bacillus Contactor (RABC)

Eung-Ho Kim<sup>†</sup> · Yoen-Je Cho<sup>\*</sup> · Seong-Joo Park<sup>\*\*</sup> · Kwang-Soo Shin<sup>\*\*</sup> · Soo-Bin Yim · Jin-Kwon Jung

School of Urban and Civil Engineering, Hongik University, Seoul 121-791, Korea

<sup>\*</sup>Seil Technology Co., Busan 609-701, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Microbiology, College of Science, Daejeon University, Daejeon 300-716, Korea

**Abstract** : A new technology for advanced wastewater treatment was developed using a modified Rotating Biological Contactor (RBC) process, named as Rotating Activated Bacillus Contactor (RABC) process that utilizes *Bacillus* sp., the facultatively anaerobic or activated microaerophilic bacteria on multiple-stage reticular rotating carriers, as a predominant species. The RABC process for a municipal wastewater with relatively low concentrations of organics, nitrogen, and phosphorus showed stable and high removal efficiencies, less than BOD<sub>5</sub> 10 mg/L, T-N 15 mg/L, and T-P 1.5 mg/L in final effluent. The performance load of RABC process was shown to be 1.23 kg·BOD/m<sup>2</sup>·day for the first stage (average 0.31 kg·BOD/m<sup>2</sup>·day for the total stages) based on both removed BOD and converted disc area corresponding to the reticular one. The sludge produced in the RABC process is characterized by low generation rate (about 0.18 kg·MLSS/kg·BOD) and excellent settleability. The number ratio of *Bacillus* (2.4×10<sup>6</sup> CFU/ml) to heterotrophic bacteria (3.6×10<sup>7</sup> CFU/ml) inhabiting in the biofilms of the RABC process was 6.7 %, indicating that *Bacillus* sp. was a predominant species in the biofilms. The RABC process with reticular rotating carriers showed its excellent performance for the advanced wastewater treatment without any offensive odor problem due to organic overloading.

**keywords** : Advanced Wastewater Treatment, *Bacillus* sp., Nitrogen, Phosphorus, Rotating Activated Bacillus Contactor (RABC) Process

## 1. 서 론

2002년 이후 단계적으로 하수처리장 방류수 수질기준이 강화되고 특히 질소, 인에 대한 항목에 대한 규제가 강화되면서, BNR 등의 하수고도처리 공법에 대한 관심이 증대되어 왔다. 최근 바실러스(*Bacillus* sp.)균을 하폐수처리에 활용하면 유기물제거는 물론 질소와 인의 제거를 효과적으로 달성할 수 있으며 유기물의 고부하로 인한 냄새문제를 해결할 수 있다는 연구결과가 나와 크게 주목받았다. Murakami 등<sup>1)</sup>은 바실러스균의 특성을 생물학적 분뇨 처리 공정에 효과적으로 이용할 수 있다는 연구결과를 발표하였고 이 연구결과를 배경으로 하여 몇몇의 연구자들이 고도처리를 목적으로 바실러스균을 우점종으로 하는 생물학적 처리공정을 개발하는데 노력을 기울여 왔다. 조 등<sup>2)</sup>은 활성 슬러지공정과 호기성 소화공정을 결합시킨 시스템에서

우점화된 바실러스균에 의해 돈·도축폐수내에 있는 유기물과 영양염류가 효과적으로 제거될 수 있다는 사실을 보여 주었고 성 등<sup>3)</sup>은 우점화된 바실러스균을 이용하여 매립지내 침출수의 높은 유기물과 영양염류를 대상으로 처리한 결과 매우 높은 처리효과를 얻어 낼 수 있다고 밝히고 있다.

하지만, 기존의 우점화된 바실러스균을 이용하는 기술들은 주로 부유미생물법을 응용한 분뇨 및 하수처리 방법으로 개발되어 왔으며, 부착미생물법으로는 일부의 산업 폐수 처리에는 이용되고 있으나, 생활하수의 고도처리에 이용된 사례는 지금까지 보고된 바 없다. 부착미생물법에 바실러스균 우점화 기술을 적용시킬 경우, 부착미생물법의 일반적인 특징인 유량변동 및 유기물 부하에 적응하는 능력이 우수하며 공정설치 면적이 적게 소요되는 장점이 있을 뿐만 아니라 바실러스 중 혼합균의 특성으로 인하여 바실러스 중 혼합균 증식과정에서 생성되는 강력한 가수분해 효소에 의하여 난분해성 유기물제거에도 유리하게 되고 하·폐수에 함유되어 있는 악취성분들이 바실러스 중 혼합균에 의하여

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
kimeh@hongik.ac.kr

직접 섭취되어 별도의 탈취시설이 필요 없게 되는 장점을 얻을 수 있게 된다. 또한 부착미생물법의 후단에 점감포기 방식의 부유미생물반응조를 설치하게 되면, 바실러스균이 효과적으로 우점화될 수 있는 환경이 조성되며 혼합액 반송 등으로 본 RABC공정내에서 질소와 인의 성분도 효과적으로 제거할 수 있다. 또 빈양상태에서 바실러스균은 내생포자를 형성하는 특성이 있어 슬러지의 침강성이 향상되는 효과도 있다. 본 연구에서는 미호기성 혹은 통성혐기성 세균(microaerobic or facultatively anaerobic bacteria)인 바실러스균에 대한 미생물학적 특성을 토대로 다단의 망상형 회전담체에 바실러스균을 고밀도로 우점화시키는 회전식 미생물 접촉장치를 응용한 기술을 발전시켜, 전단에는 망상형 바실러스 접촉장치를 두고 후단에는 점감포기방식의 생물반응조를 설치함으로써 유기물제거는 물론 질소, 인을 고효율로 제거하면서 동시에 별도의 탈취시설 없이 처리수를 안정적이면서 경제적으로 처리할 수 있는 새로운 고도처리공정인, 망상형 회전식 바실러스 접촉공법 (Rotating Activated Bacillus Contactor (RABC) Process)을 개발하고 그 특성을 보고한다. 또한 본 연구에서는 새로운 공정에 대한 설계인자의 도출에 관한 연구와 함께 일반 도시하수에 대한 본 공정의 적용가능성을 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

본 연구의 실험은 서울의 N 하수처리 사업소내에 설치한 Pilot Plant 규모의 RABC 공정을 대상으로 수행되었다. Fig. 1은 Pilot Plant 규모의 RABC 하수처리 공정도를 나타낸 것이다. 본 RABC 공정은 기본적으로 기존의 회전원판법과 표준활성슬러지 공법을 단순히 결합시킨 복합공법이 아닌, 바실러스균의 특성과 망상형 담체의 특성을 잘 결합시킨 새로운 복합공정이다. RABC 공정은 크게 전단의 RABC반응조와 점감포기방식으로 운전되는 생물반응조, 침전지의 세부분으로 나눌 수 있으며, 장치내의 균체량을 조정하고 바실러스균의 내생포자 형성을 유도하기 위한 내부 반송(포기액 순환 및 슬러지 반송)과 유기물 부하에 따른 미생물활성제 투입을 주요공정으로 분류할 수 있다.

RABC공정의 전단에 위치하고 있는 RABC반응조 장치에는 polyvinylidene chloride 재질로 제작된 직경 550mm, 두께 40mm의 망상형 회전체를 45mm 간격으로 12개의 디스크가 배치되어 있다. RABC반응조, 미생물반응조 및 침전조의 수리학적 체류시간은 각각 20, 300 및 228분으로 나타났다.

### 2.2. 운전조건

RABC 공정은 실험목적에 따라 각기 다른 조건(Run1, Run2, Run3)에서 일정기간 운전되었다. Run1의 운전기간에는 생물반응조 4조에서 생물반응조 1조로 1.5Q, RABC 장치 초단부로 0.5Q 포기액 순환을 하고, 침전조로부터 생물반응조 1조로 0.7Q의 슬러지를 반송시켰다. Run2의 운전기간에는 탈질원으로서 원수의 재이용 가능성을 모색하기 위하여 원수의 70%를 RABC반응조 초단부로 유입시키고, 원수의 30%를 생물반응조 1조로 유입시켰다. 또한, 조 내 MLSS증가량을 측정하여 슬러지발생량을 예측하기 위한 방법으로 생물반응조로부터의 슬러지 인출을 하지 않는 운전방식을 취하였다. Run3 기간의 운전조건은 Run1의 운전방식과 동일하게 이루어졌다.

본 공정에서 바실러스균의 우점화는 점감포기방식과 미생물활성제에 의하여 유지되었다. 전체 포기량의 70~80%에 해당하는 산소를 생물반응조 1단에 주입시켰으며, 나머지 산소는 생물반응조 2, 3, 4단에 단계적으로 감소하면서 공급되었다. 생물반응조 1단에서는 DO가 0.5~1.0 mg/L로 유지되었고 나머지 반응조에서는 0.3~0.1 mg/L의 낮은 DO 조건으로 운전되었다. 또한 주요성분이 활성규소인 미생물활성제를 0.02 kg/kgBOD·day의 속도로 생물반응조에 주입시켜 바실러스종을 우점화하였다. 수온은 운전기간동안 15~30 °C로 유지되었다.

### 2.3. 실험 방법

본 RABC 공정의 설계인자를 구하기 위하여, 유기물, 질소, 인에 대한 물질수지(Mass Balance)를 구하여 하·폐수 처리에 적용할 수 있는 설계 기초를 마련하였다. 우선 유기물, 질소, 인 등의 기질의 물질수지를 통하여 RABC의 내부 반송공정을 포함한 각 공정에 대한 기질의 제거 성상

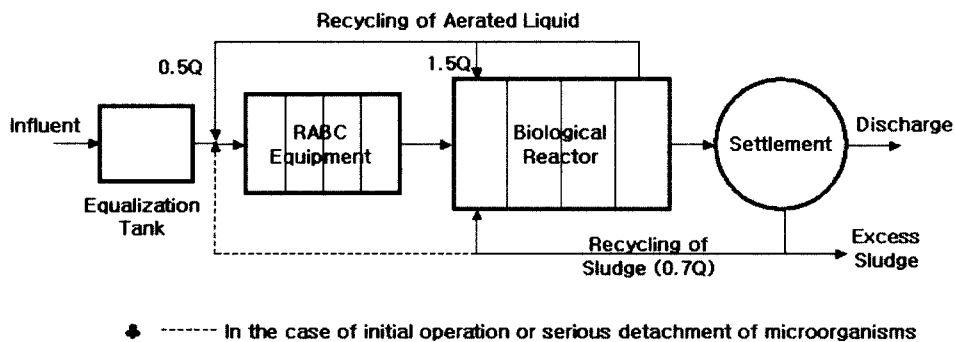


Fig. 1. Schematic RABC process diagram.

및 처리효율을 분석하였다. 또한 반응장치로부터의 생물반응조내의 MLSS의 증감과 잉여 슬러지 분석을 통하여 기질제거에 대한 슬러지 발생량에 관하여 조사 분석하였고 반응장치로부터의 미생물 분석을 통하여 바실러스균에 의한 우점화를 확인하고 성장·증식에 관한 특징을 분석하였다. 또한 질소성분에 대한 새로운 제거기전(Removal Mechanism)의 가능성을 모색하고, 본 공정에서의 적용 가능성에 대하여 분석하였다.

## 2.4. 분석방법

파일럿 플랜트 규모의 RABC 공정 수질분석은 유기물 및 영양염류제거와 관련해 SS, BOD, COD<sub>cr</sub>, T-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, T-P, 의 항목에 대해 분석하였고, 제거반응의 양상을 파악하기 위해 수온, pH, DO 및 MLSS농도에 대한 분석도 함께 수행하였다. 채취된 시료는 Standard Methods(1998)<sup>4)</sup>와 수질오염 공정 시험법(1999)<sup>5)</sup>에 따라 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유기물의 제거특성

Fig. 2는 운전경과일수에 따른 각 반응조에서의 BOD농도 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 약 160일간의 운전기간동안 RABC공정은 안정적이고 높은 BOD제거효율을 나타내었다. BOD 90~150 mg/L의 농도로 유입되는 유입수에 대하여 최종 유출수의 평균 BOD농도는 6 mg/L으로서 BOD 제거효율은 약 96%를 나타내었다. RABC 1단 유출수의 성상을 보면 알 수 있듯이 대부분의 BOD물질이 RABC 1단을 통과하며 제거되었는데, 이는 RABC 반응조 1개단만으로도 현재 국내 하수방류수 기준인 20 mg/L을 충족시킬 수 있음을 시사하고 있다. RABC 공정 전단의 원판체의 면적과, 제거된 BOD량을 기준으로 한 RABC장치의 설계부하는 초단을 기준으로 1.23 kg·BOD/m<sup>2</sup>·day으로 나타났으며, 4단을 기준으로 할 경우는 평균 0.31 kg·BOD/m<sup>2</sup>·day의 값을 보이고 있었다. 이는 기존의 일반 회전원판공정에 의한 처리를 이용한 설

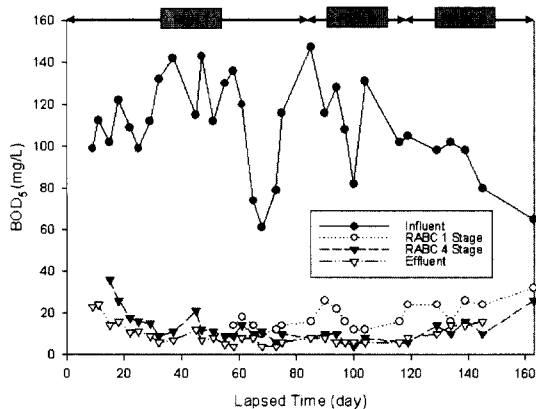


Fig. 2. BOD<sub>5</sub> variation according to the lapsed time.

계치(0.01 kg·BOD/m<sup>2</sup>·day) 보다 약 30배 이상에 해당하는 값으로, RABC공정을 이용하게 되면 하수처리를 위한 소요부지의 최소화 및 시설비용절감에 기여할 것으로 기대된다.

### 3.2. 질소 및 인의 제거특성

Fig. 3(a)는 운전경과일수에 따른 T-N의 농도 변화를 나타낸 그래프이다. 수온이 15 °C 이상일 때의 수질데이터를 분석한 결과, RABC 반응조 유입수의 평균 농도는 24.2 mg/L, RABC반응조 평균유출농도는 13.9 mg/L, 최종유출수 평균농도는 10.8 mg/L의 값을 나타내었다. RABC 반응조 장치에서의 T-N 처리효율은 약 50%이고 전체 공정으로는 약 70%정도의 처리 효율을 나타내었다. 이는 T-N의 처리가 RABC반응조에서 대부분이 이루어지고 있음을 시사하고 있다. Fig. 3(b)와 3(c)는 각각 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 제거특성을 나타낸 그래프이다. T-N의 제거특성을 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N와의 관계를 통하여 분석해 보면, 일반적인 질산화를 거친 후 메탄올 등의 외부 탄소원을 주입하여 탈질공정을 유도하는 일반적인 생물학적 공정과는 분명한 비교의 대상이 됨을 알 수 있다.<sup>6-10)</sup> Fig. 3(b)에서 보여주는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 자료로부터, 대부분의 T-N성분이 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N임을 알 수 있고, RABC반응조를 경유하면서 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N가 제거됨을 알 수 있다. Fig. 3(c)의 결과로부터 RABC반응조를 경유하는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 값이 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N에 비하여 상대적으로 낮은 값을 보여주는데, 이는 일반적인 질산화공정을 거친 후 탈질되는 것이 아니라 바실러스등의 미생물 군체에 의한 암모니아성 질소의 직접섭취에 의하여 질소가 제거되는 기작으로 판단된다. 한편, 본 논문에서는 RABC 공정에서의 탈인 기작에 대해서는 공정내의 인 제거 결과를 제시하는 정도로 다루고 있으며, 별도로 바실러스균주들에 대한 분리배양 실험 및 원소구성 분석시험이 현재 진행 중에 있다.

Fig. 3(d)는 운전경과일수에 따른 T-P의 농도 변화를 나타낸 그래프이다. 유입수의 T-P의 범위는 2~3 mg/L의 농도로 유입되었으며, 최종 유출수의 평균 T-P농도는 1.5 mg/L 이하로 안정적인 처리결과를 나타내었다. 최종유출수의 T-P제거효율은 약 50%정도로 나타났다.

### 3.3. 실시간 수질 변동 분석

Fig. 4(a)는 BOD, COD<sub>cr</sub>의 제거능을 각각 실시간으로 분석한 그래프이다. 4단으로 이루어진 RABC반응조의 각 단계에서의 체류시간은 약 5분으로 RABC장치에서의 총 체류시간은 20분 내외이고 생물반응조에서의 체류시간은 5시간으로 300분에 해당한다. 그래프에서의 두 점선은 각각 RABC반응조와 생물반응조에서의 체류시간을 나타낸 것이다. Fig. 4(a)에서 알 수 있듯이 BOD의 제거능이 RABC반응조 초단에서 이미 85%이상의 제거율을 나타내고 있다.

Fig. 4(b)는 체류시간에 따른 T-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N의 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 4(a)의 유기물 제거능과 마찬가지로 RABC반응조 초단부에서 대부분의 질소성분이 제거되고 있다. 후단의 생물반응조를 통하여 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N가

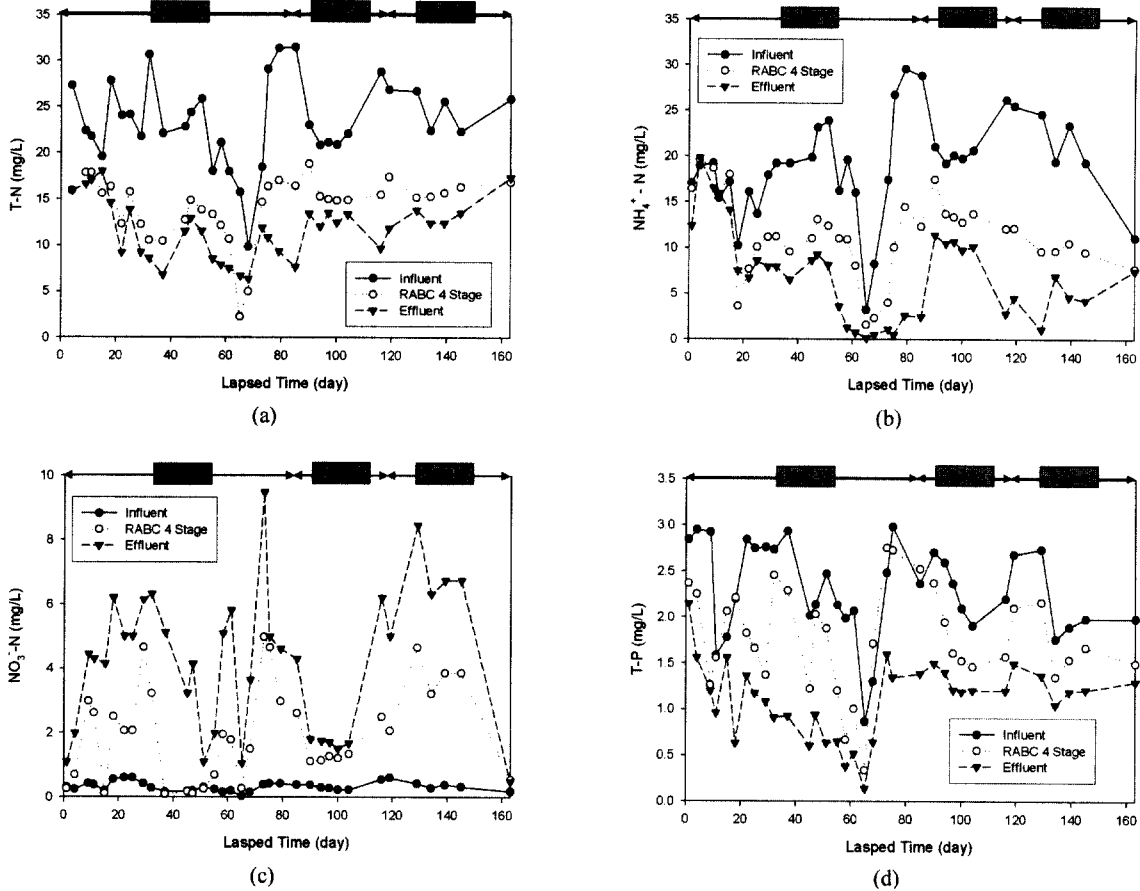


Fig. 3. Variation of (a) T-N, (b)  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , (c)  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , and (d) T-P concentrations according to the lapsed time.

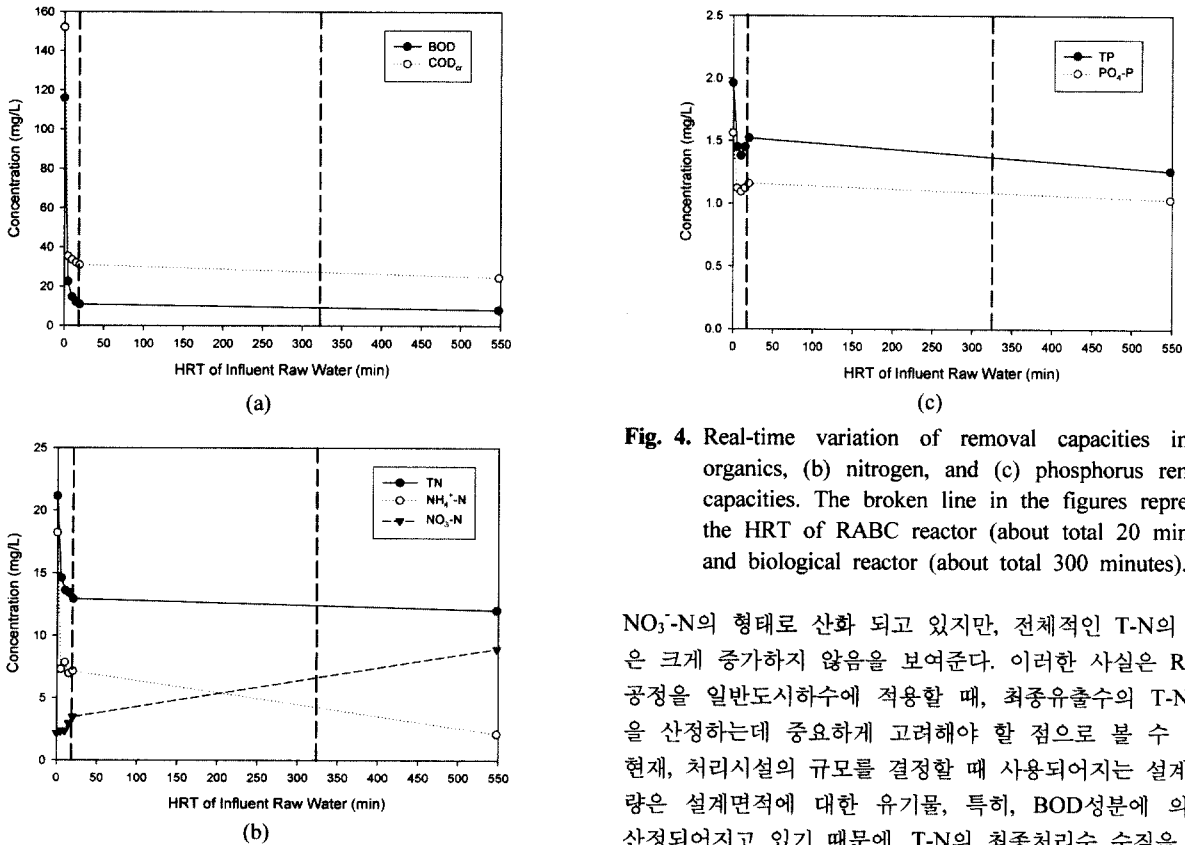


Fig. 4. Real-time variation of removal capacities in (a) organics, (b) nitrogen, and (c) phosphorus removal capacities. The broken line in the figures represents the HRT of RABC reactor (about total 20 minutes) and biological reactor (about total 300 minutes).

$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 형태로 산화 되고 있지만, 전체적인 T-N의 효율은 크게 증가하지 않음을 보여준다. 이러한 사실은 RABC 공정을 일반도시하수에 적용할 때, 최종유출수의 T-N기준을 산정하는데 중요하게 고려해야 할 점으로 볼 수 있다. 현재, 처리시설의 규모를 결정할 때 사용되어지는 설계부하량은 설계면적에 대한 유기물, 특히, BOD성분에 의해서 산정되어지고 있기 때문에, T-N의 최종처리수 수질을 낮추

기 위해서는, 단순히 설계부하값을 낮추어서, 시설의 규모를 늘리는 것만으로는 부족할 수 있음을 보여준다.

Fig. 4(c)는 체류시간에 따른 T-P, PO<sub>4</sub>-P의 변화를 실시간으로 분석한 그래프이다. T-P의 70% 이상이 PO<sub>4</sub>-P임을 알 수 있고, RABC반응조 초단에서 PO<sub>4</sub>-P의 제거가 대부분 이루어지지만, RABC반응조 내에서 증가하는 경향을 보이는 등, 다소 변동폭이 크게 나타났다.

3.4. 슬러지 발생량 및 침강성 분석

Fig. 5는 BOD제거 누적량에 대한 MLSS증가 누적량을 그래프로 나타냄으로써 BOD제거량에 대한 슬러지 발생을 분석한 것이다. 그래프에서 알 수 있듯이 93%의 높은 상관성을 갖고 있으며, 결과적으로 BOD제거량에 대한 슬러지 발생율은 약 0.18 kg · MLSS/kg · BOD로 나타났다. 이는 기존의 활성슬러지공법(약 0.43 kg · MLSS/kg · BOD)과 비교해 볼 때 매우 낮은 슬러지 발생율을 가지고 있음을 알 수 있다.

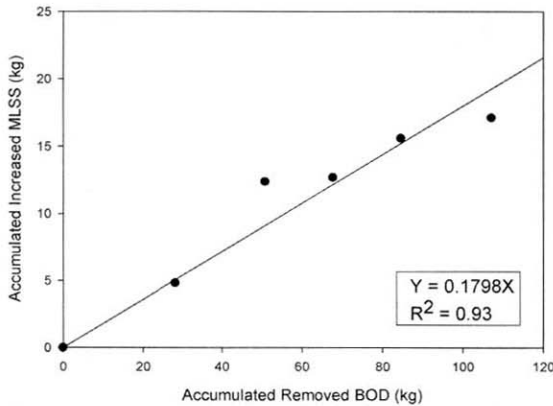


Fig. 5. Sludge production rate with respect to the removed amount of BOD.

RABC공정의 슬러지 침강성은 슬러지 체적지수(SVI)를 통하여 평가하였다. 그 결과 RABC공정의 생물반응조에서 채취한 슬러지는 SVI<sub>30</sub>의 값이 100이하로 매우 우수한 침강성을 가지고 있는 것으로 나타났다. Table 1은 RABC공법과 일반적인 활성슬러지공법의 SVI값을 비교한 자료이다. Table 1에서 나타난 바와 같이, RABC공법은 기존의 활성슬러지공법보다 우수한 슬러지 침강성을 보이고 있음을 알 수 있다.

Table 1. SVI values of RABC and activated sludge processes

| Process                        | MLSS (mg/L) | SVI <sub>10</sub> | SVI <sub>30</sub> |
|--------------------------------|-------------|-------------------|-------------------|
| RABC                           | 3,650       | 89                | 70                |
|                                | 2,300       | 121               | 87                |
| Activated Sludge <sup>a)</sup> | 2,150       | 161               | 107               |

<sup>a)</sup> measured for activated sludge in Nanji WWTP

3.5. 미생물 부착특성 및 생물막내 미생물 수

Fig. 6은 망상형 회전 미생물접촉장치에 미생물이 부착된

형상을 보여주는 사진으로서 각 망상체에 부착미생물들이 굉장히 두껍게 형성되어 있음을 알 수 있었다. 이러한 RABC장치내의 생물막 부착특성에도 불구하고 두꺼운 생물막의 혐기화로 인한 냄새 및 악취문제가 발생하지 않았다. 이는 기존의 부착미생물 공법에서 흔히 나타나는 냄새 및 악취발생으로 인한 별도의 악취방지시설 및 처리시설이 RABC공법에서는 불필요함을 알 수 있었다.



Fig. 6. Biofilms attached onto reticular rotating carrier of RABC reactor.

Table 2는 RABC Pilot Plant의 생물막, 전형적인 RBC공정의 생물막, 그리고 표준활성슬러지공정의 포기조내에서식하는 호기성 중속영양세균수와 바실러스균수를 나타낸 것으로서 RABC Pilot Plant 생물막내 바실러스균수는 2.4 × 10<sup>6</sup> CFU/ml로서 RBC 생물막의 24배, 활성슬러지공정 포기조의 160배이었다. 그리고 바실러스균이 차지하는 비율에 있어서도 RABC 생물막은 6.7%로서 RBC 생물막의 0.4%, 포기조의 0.8%에 비하여 현저히 높은 값을 보임으로써 RABC공정의 생물막에는 바실러스균의 우점화가 성공적으로 일어났음이 확인되었다. 따라서 효과적인 바실러스 우점화를 목적으로 점감포기방식으로 운전되는 생물반응조의 역할이 RABC공정의 성공적인 처리결과를 얻는 데에는 매우 중요한 것으로 판단된다.

4. 결론

유기물제거는 물론 질소, 인을 고효율로 제거하면서 동시에 별도의 탈취시설 없이 처리수를 안정적이면서 경제적으로 처리할 수 있는 새로운 고도처리공정인, 망상형 회전식 바실러스 접촉공법 (Rotating Activated Bacillus Contactor (RABC))을 유기물, 질소 및 인의 부하가 낮은 도시하수를 대상으로 한 Pilot Plant규모의 하수처리에 응용한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수질실험결과에서 최종 유출수는 BOD<sub>5</sub> 10mg/L, T-N 15mg/L, T-P 1.5mg/L이하의 안정적인 처리 결과를 얻었으며, 이는 특별대책지역내의 하수처리장의 방류수 수질기준도 안정적으로 만족하고 있음을 보여준다.

**Table 2.** Number ratio of *Bacillus* sp. to heterotrophic bacteria in RABC, RBC, and activated sludge processes

| Wastewater Treatment Plant | Process <sup>a)</sup> | Sample                         | 단위 <sup>b)</sup> | Number of Heterotrophs (A) | Number of <i>Bacillus</i> sp. |                   | Ratio of <i>Bacillus</i> to Heterotrophs (C/A, %) |
|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|---|
|                            |                       |                                |                  |                            | Colony (B)                    | Endospor (C)      |   |
| N                          | RABC                  | Biofilm                        | CFU/ml           | $3.6 \times 10^7$          | $5.1 \times 10^6$             | $2.4 \times 10^6$ | 6.7   |
|                            |                       | Suspended Sludge <sup>c)</sup> | CFU/ml           | $2.4 \times 10^6$          | $4.3 \times 10^5$             | $2.2 \times 10^5$ | 9.2   |
|                            |                       | Recycling Sludge               | CFU/ml           | $4.6 \times 10^6$          | $9.8 \times 10^5$             | $4.3 \times 10^5$ | 9.3   |
| S                          | RBC                   | Biofilm                        | CFU/ml           | $2.4 \times 10^7$          | $2.4 \times 10^5$             | $1.0 \times 10^5$ | 0.4   |
| D                          | AS                    | Suspended Sludge <sup>d)</sup> | CFU/ml           | $1.1 \times 10^6$          | $7.0 \times 10^4$             | $1.5 \times 10^4$ | 0.8   |

<sup>a)</sup> RABC, rotating activated *Bacillus* contactor; RBC, rotating biological contactor.

<sup>b)</sup> CFU/ml, colony forming units per milliliter of sample.

<sup>c)</sup> Suspended sludge in the 1<sup>st</sup> biological reactor

<sup>d)</sup> Suspended sludge in the aeration tank

- 2) RABC 공정의 원판체의 면적과, 제거 BOD량을 기준으로 한 RABC장치의 설계부하는 초단을 기준으로  $1.23 \text{ kg} \cdot \text{BOD}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ , 4단을 기준으로 평균  $0.31 \text{ kg} \cdot \text{BOD}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ 의 값으로서 일반 회전원판공정에 의한 처리를 이용한 설계값보다 30배 이상의 효율을 나타낸다.
- 3) MLSS의 증감을 통하여 간접적으로 추정된 BOD제거량에 대한 슬러지 발생률은 약  $0.18 \text{ kg} \cdot \text{MLSS}/\text{kg} \cdot \text{BOD}$ 으로 나타났으며 슬러지 침강성을 나타내는 SVI는 100 이하의 값을 보였다. 이는 기존의 활성슬러지공법과 비교해 볼 때 RABC공법이 매우 낮은 슬러지 발생률과 높은 슬러지 침강성을 가지고 있음을 알 수 있었다.
- 4) RABC공정의 각 단계에서의 수질분석 결과에서 공정내의 질소제거가 일반적인 질산화·탈질과정을 거치지 않고 원판체를 경유하며  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 형태로 직접 제거되는 기작을 가지고 있는 것으로 판단된다.
- 5) RABC 공정의 생물막내 종속영양세균수는  $3.6 \times 10^7$  CFU/ml, 내생포자(endospores)의 존재로 확인한 바실러스균수는  $2.4 \times 10^6$  CFU/ml, 바실러스균 비율이 종속영양세균수의 6.7 %로서, RBC 공정의 생물막이나 표준활성슬러지공정의 포기조의 바실러스균수  $1.0 \times 10^5$  및  $1.5 \times 10^4$  CFU/ml, 바실러스균 비율 0.4 % 및 0.8 %에 비하여 우점화되어 있음을 알 수 있었다.
- 6) RABC장치내의 생물막 부착특성으로부터, 두꺼운 생물막의 혐기화를 원인으로 하는 냄새 및 악취발생이 없었으며, 이로써 별도의 악취방지시설 및 처리시설이 불필요함을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 '차세대 핵심환경기술개발사업'의 '망상형 회전식 바실러스 접촉장치를 이용한 하수고도처리공법'과제(No. 10-002)의 연구성과의 일부입니다. 연구개발비를 지원한 환경부와 참여기업인 (주)세일기술에 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. Murakami, K., Doi, Y., Aoki, M. and Iriye, R., Dominant Growth of *Bacillus* spp. In the Aerobic Night Soil Digestion Tanks and Their Biochemical Characteristics, *J. J. Wat. Env.*, **18**(2), pp. 97-108 (1995).
2. 조연제, 성기문, 바실러스균을 이용한 돈·도축폐수처리에 관한 연구, *한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 추계 학술발표회* (2000).
3. 성기문, 조연제, 안영태, 이철희, 이창근, 류병순, Seil-Bio 공법을 이용한 매립장 침출수 처리, *한국 폐기물학회 추계 학술발표회* (1997).
4. APHA, AWWA and WEF, *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, Washington D.C., USA (1998).
5. 환경부 수질오염 공정시험법 (1999).
6. van Loosdrecht, M.C.M. and Jetten, M.S.M., Microbiological Conversions In Nitrogen Removal, *Wat. Sci. Tech.* **38**, pp. 1-7 (1998).
7. Siegrist, H., Reithaar, S., Koch G., and Lais, P., Nitrogen Loss In a Nitrifying Rotating Contactor Treating Ammonium-Rich Wastewater Without Organic Carbon, *Wat. Sci. Tech.*, **38**, pp. 241-248 (1998).
8. van Dongen, L.G.J.M., Jetten, M.S.M., van Loosdrecht, M.C.M., *The Combined Sharon/Anammox Process*, IWA publishing, pp. 1-61 (2001).
9. Hellinga, C., Schellen, A. A. J. C., Mulder, J. W., van Loosdrecht, M. C. M. and Heijnen, J. J., The SHARON process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, **37**, pp. 135-142 (1998).
10. van Dongen, U., Jetten, M.S.M., van Loosdrecht, M.C.M., The Sharon-Anammox Process For Treatment Of Ammonium Rich Wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, **44**, pp. 153-160 (2001).