

## 생물담체를 증진한 토양피복 산화접촉공정의 하수처리특성

김홍재\* · 강재희\* · 이기석\* · Kubo Motoki\*\* · 강창민<sup>†</sup> · 정선용\*

\*전남대학교 환경공학과 · \*\*立命館大學 工學部 · 초당대학교 환경공학과

(2005년 1월 13일 접수, 2005년 4월 19일 채택)

### Treatment Characteristics of Soil Clothing Contact Oxidation Process using Bio-media

Hong-Jae Kim\* · Jae-Hee Kang\* · Ki-Seok Lee\* · Kubo Motoki\*\* · Chang-Min Kang<sup>†</sup> · Seon-Yong Chung\*

\*Department of Environmental Engineering, Chonnam National University

\*Faculty of Science and Technology, Ritsumeikan University · Department of Environmental Engineering, Chodang University

**ABSTRACT :** This study was performed to compare the treatment efficiencies of two media, newly developed Bio-rock and conventional gravel, in soil clothing contact oxidation process. The composition of synthetic wastewater were COD<sub>Cr</sub> 150~370 mg/L, BOD<sub>5</sub> 150~270 mg/L, T-N 20~60 mg/L, T-P 5~25 mg/L, pH 7 and 2 mL/L of trace element solution. The experiment using two reactors was comparatively conducted for the flow rate of 40 L/d for 13 months, respectively.

Initially Bio-rock reactor was increased to pH 12 due to Ca(OH)<sub>2</sub> with hydration of cement, but gravel reactor was dropped to pH 4 due to the degradation of organic material and nitrification. This significant pH variation deteriorated the growth and activity of microorganism. But the high pH of Bio-rock seems favorite to ammonia stripping and precipitation of phosphate. Such pH variation of Bio-rock and gravel reactors were finally stabilized to pH 8 and pH 6, respectively. The removal efficiencies of organic compounds from Bio-rock reactor were 96% of COD<sub>Cr</sub>, 98% of BOD<sub>5</sub>, 80% of T-N and 85% of T-P which stably coping against variation of influent concentration. But those of gravel reactor were 96% of COD<sub>Cr</sub>, 96% of BOD<sub>5</sub>, 42% of T-N and 40% of T-P, respectively. The Bio-rock was 2 times higher than T-N and T-P in treatment efficiency. And electron-microscopic examination showed that Bio-rock was more favorable to microbial adherence than gravel. The microbial populations was 5.2×10<sup>6</sup> CFU/mL of Bio-rock reactor compared to 2.6×10<sup>6</sup> CFU/mL in gravel reactor. In result Bio-rock was favor to microbial adherence and high treatment efficiency in spite of variation of influent concentration which had the advantages in saving running time and reducing site requirement.

**Key Words :** Bio-rock, Surface Area, pH, T-N, T-P, Soil Clothing Contact Oxidation Process

**요약 :** 본 연구는 토양피복 접촉산화공정에서 새로 개발된 생물담체(Bio-rock)와 기존에 이용되어온 쇄석의 처리효율을 비교하기 위해 실시되었다. 합성폐수는 COD<sub>Cr</sub> 150~370 mg/L, BOD<sub>5</sub> 150~270 mg/L, T-N 20~60 mg/L, T-P 5~25 mg/L, pH 7, 미량원소용액 2 mL/L로 조제되었다. 반응조는 2기를 준비하여 유입수량을 40 L/day로 하여 약 13개월간 운전했다.

초기 바이오락 반응기는 시멘트중의 Ca(OH)<sub>2</sub>의 용출에 의해 pH 12까지 증가하였으나, 쇄석은 유기물 분해와 질산화에 의해 pH 4까지 감소하였다. pH의 불균형은 유기물 및 질소 분해균의 성장 및 활성에 저해를 초래했다. 그러나 바이오락의 높은 pH는 암모니아 탈기와 인의 화학침전에는 유리한 것으로 판단되었다. 정상상태에서 바이오락은 COD<sub>Cr</sub> 96%, BOD<sub>5</sub> 98%, T-N 80%, T-P 85%의 높은 제거율을 나타내었고, 유입농도의 변화에도 매우 안정적이었다. 반면 쇄석의 경우 COD<sub>Cr</sub> 96%, BOD<sub>5</sub> 96%, T-N 42%, T-P 40%의 제거율을 나타내었다. 바이오락은 쇄석에 비해 질소, 인의 처리효율이 2배나 높았다. 또 전자현미경 분석결과에서 바이오락은 미생물의 부착이 쇄석에 비해 양호했고, 미생물 농도는 바이오락이 5.2×10<sup>6</sup> CFU/mL, 쇄석이 2.6×10<sup>6</sup> CFU/mL로 바이오락이 2배 높았다. 따라서 바이오락은 미생물 부착이 용이하고 처리효율이 높으며 유입농도 변동에도 안정적으로, 향후 처리기간 단축 및 부지면적의 감소에 유리하리라 판단된다.

**주제어 :** 바이오락, 표면적, pH, T-N, T-P, 토양피복접촉산화공법

## 1. 서론

근대에 이르러 공업화, 도시화, 인구의 증가, 농축산업의 발달로 용수의 사용량이 증가하여, 수질 악화와 더불어 영양염류에 의한 수계의 부영양화 속도가 증가하고 있다. 그 결

과 남조류(blue-green algae 또는 cyanobacteria)의 급속한 증식에 의해 이취미가 발생하여 수질저하를 초래한다. 따라서 질소 및 인의 제거를 위한 고도처리가 관심을 모으고 있다.<sup>1)</sup>

현재 국내 하수종말처리장 172곳 중 102곳이 표준활성슬러지 공법으로 전체 처리량의 94%를 처리하나, 공법의 특성상 미처리된 질소, 인이 대량으로 방류되고 있다. 반면 1996년도부터는 하수처리장 방류수 수질기준에 T-N, T-P 항목이 추가되었고 또 기준치가 점점 강화되고 있는 추세다. 1999년도부터는 팔당호 특별대책지역을 설정하여 T-N

<sup>†</sup> Corresponding author

E-mail: cmkang@chodang.ac.kr

Tel: 061-450-1266

Fax: 061-450-1979

20 mg/L, T-P 2 mg/L 이하로 규제하고 있다. 이러한 수질 기준이 마을단위 소규모 오폐수처리장에도 적용되는 것은 아니나 최근 이러한 처리장에서도 질소와 인 처리효율이 높은 공법을 채택하는 추세이다.

토양피복 접촉산화법은 타 공법과는 달리 수중뿐만 아니라 토양속의 각종 미생물을 이용하여 상대적으로 높은 질소, 인의 제거효율을 달성하여 고도처리까지 가능하다는 장점을 가지고 있으며, 또 슬러지발생량을 줄여 환경친화형 또는 에너지 절약형 공법으로서 주목받고 있다.<sup>2~4)</sup> 본 공법은 주로 농어촌, 관광지, 휴게소, 골프장, 군부대, 댐 상류의 집단방류시설 등의 소규모 개별 처리장에 많이 적용되고 있다. 반면 기존의 미생물 고정화 담체로서 널리 채택되어온 쇄석의 경우 비표면적과 기공률이 낮아 미생물 부착에 한계가 있어 처리효를 저하 및 처리조의 용량이 증대한다는 단점이 있다.

미생물 고정화 담체를 이용한 오·폐수 처리는 국내의 경우, 1980년대 중반부터 대학 및 연구소를 중심으로 연구가 진행되어 왔고 최근에는 각 기업들이 개발한 섬모상 여재나 고분자 미생물 접촉재가 오폐수 처리 시스템에 많이 이용되고 있다.<sup>5)</sup> 그러나 고분자계 담체는 많은 장점에도 불구하고 낮은 비표면적, 물리·화학적 안정성 부족, 빈번한 미생물 탈리, 슬러지발생량 과다 등의 문제점을 안고 있다.

외국의 경우, 프랑스에서 드그레몽사 및 OTV사는 고분자계 및 세라믹계 담체를 개발하여 유동상 또는 고정상으로 하여 오·폐수를 처리하고 있다. 세계적으로 미생물 고정화 담체의 기술 개발 방향은 고분자계를 이용하는 단계에서 점토성 광물과 활성탄계의 적절한 결합, 담체와 미생물간의 반응 메커니즘 규명, 그리고 실용성이 강하고 표면적이 큰 생물담체를<sup>5)</sup> 사용하여 소형반응기 개발에 중점을 두고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 비표면적이 큰 다공질의 기능성 미생물 담체를 개발하여 기존 쇄석을 이용한 토양정화법의 한정된 처리효율을 개선함과 동시에, 처리장 부지면적을 줄여 다른 처리공법과 비교하여 처리효율 및 경제성면에서 우수한 공법이 되도록 개선하는 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험장치

40 L/day 처리용량의 실험실 규모 반응기를 본 공정의 설계사양에 맞추어 2기 제작하였고, 각 반응기는 침전분리조-제1폭기조-침전조-제2폭기조-자연여과조-방류조순으로 구성되었다. 반응기 상부를 토양층으로 피복하고 하부(수중)에 쇄석 또는 바이오락을 각 단위조별로 15~100% 범위로 충전시켜 대조 및 실험반응기로 하였다. 유입수는 덮개가 있는 500 L 용량의 물통에 별도의 냉각시설 없이 저장하여 정량펌프(MasterFlex<sup>®</sup> 7553-70, U.S.A.)를 이용하여 각 반응기에 공급하였다. 접촉산화조의 DO(Dissolved Oxygen)는 2~8 mg/L로 유지시켰다. 반응기는 제작 후 건물의 옥상에 설치하였고 윗면이 투명한 비닐 텐트로 보온시켰다.

또한, 햇빛에 의해 반응기내에 조류가 번식하는 것을 방지하기 위하여 표면을 발포스티렌(Expandable Poly-Styrene)로 차단했다. Fig. 1은 실험장치를 나타낸다.

### 2.2. 바이오락의 특성

바이오락은 송이석, 흑음지, 시멘트를 각각 59%, 22%, 19%의 비율로 혼합 시켜 제조했다. 비중 및 강도는 1.8 kg/m<sup>3</sup> 및 70~100 kgf/mm<sup>2</sup>으로 쇄석에 비해 낮았다. BET(Brunauer-Emmett-Teller)표면적<sup>6)</sup>은 15.5 m<sup>2</sup>/g으로 쇄석의 4.2 m<sup>2</sup>/g보다 약 3.7배 높았다. 공극률을 나타내는 수분함유율<sup>6)</sup>(Water content ratio)은 27.1%(w/w)였다. 내화학약품성(Chemical resistance)은 pH 4와 pH 12에서 무게 손실율이 각각 0.7%와 0.1%로 매우 낮아 안정성이 높음을 알 수 있었다. 원자흡광계로 성분 분석을 실시한 결과 주로 Al, Ca, Fe, K, Na, Si 등으로 이루어져 있었다. Fig. 2는 바이오락과 일반 쇄석의 표면을 전자 현미경으로 촬영한 것이다. 현미경 관찰 결과 바이오락은 쇄석에 비하여 미생물이 부착하기 용이한 거친 표면과 높은 기공률을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

### 2.3. 합성폐수

인공합성폐수는 일반적인 농어촌 오폐수의 주요수질특성에 맞춰 조제하였다. 인공합성폐수는 유기탄소원으로 Glucose, 질소원으로 Urea, 인산원으로 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>를 사용하였고, COD<sub>Cr</sub> 150~465 mg/L, BOD 70~320 mg/L, T-N 15~58 mg/L, T-P 5~30 mg/L, 미량원소 용액 2 mL/L, 초기 pH 7이 되도록 조제했다. 사용한 수돗물은 염소를 제거하기 위하여 일정기간 방치 후 사용하였다. 미량원소 용액의 조성은 Table 1과 같다.

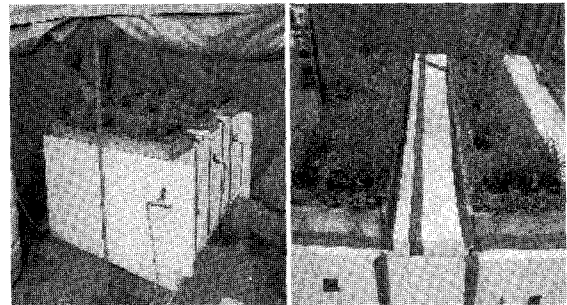


Fig. 1. The photography of reactors.

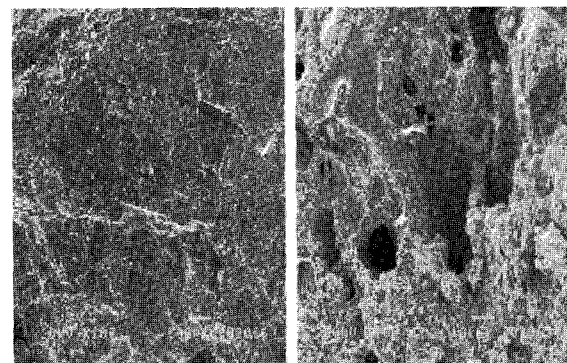


Fig. 2. SEM for gravel(a) and Eco-rock(b)(×100).

**Table. 1.** The components of trace elements solution

Trace elements Sol.	2 mL/L
MoO <sub>3</sub>	1.0 mg
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	7.0 mg
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.5 mg
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.0 mg
MnSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	1.0 mg
CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	1.0 mg
NiSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1.0 mg
Deionized Water	1,000 mL

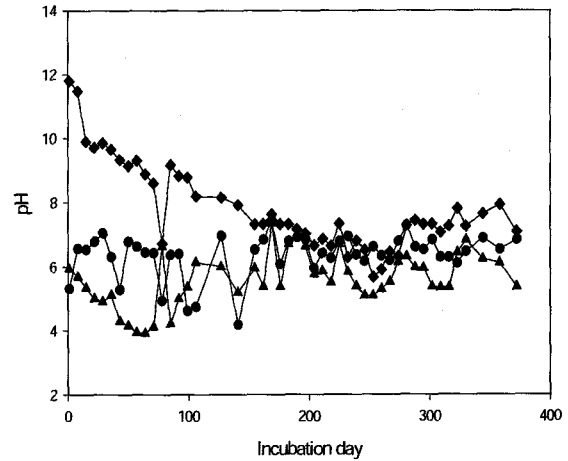
**2.4. 분석방법**

시료는 주 1회 채취하여 분석하였다. 시료 채취는 침전분리조의 유입구와 최종방류구에서 이루어졌다. 반응기 가동직후 상부를 토양층과 잔디로 피복하는 과정에서 일부 다공질 토양층이 물에 씻겨 반응기 내부로 흘러들어 그에 따른 영향을 배제하기 위해 처음 몇 주간은 시료를 채취하지 않았다. 각 시료는 채취 후 아이스박스에 저장하여 실험실로 운반 후 Standard Methods<sup>7)</sup>와 공정시험방법<sup>8)</sup>에 준하여 분석하였다. COD<sub>Cr</sub>는 Closed Reflux 법(DR2000 UV Spectrophotometer), BOD<sub>5</sub>는 BOD meter(YSI model 5000), T-N과 T-P는 자외선 흡광도법(TU-1800pc UV/VIS Spectrophotometer), pH는 pH meter(pH/mv/TEMP Meter P25)로 각각 측정했다. 담체 표면적은 BET표면적 측정기(Micromeritics Instrument Corp., ASAP2010), 표면사진은 표면전자현미경(JOEL, JSM 5400), 원소조성은 원자흡광도법(Spectra Atomic Analyzer OPTIMA 4300DV, Perkin Elmer.)으로 각각 분석했다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. pH 변화**

pH는 미생물의 성장과 증식에 많은 영향을 미치는 요인으로 호기성처리에서는 유기물의 분해과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>와 질산화에 따른 알칼리도 감소로 저하되며, 탈질에 의해서 증가하는 것으로 알려져 있다. 따라서 pH의 변화는 각각의 공정에 참여하는 미생물의 성장에 영향을 미쳐 적정 범위를 이탈할 때 오염물질의 처리효율에 중요한 영향을 미친다. Fig. 3은 쇠석 반응기와 바이오락 반응기의 pH 변화를 나타낸다. 유입수의 pH는 일시적으로 6까지 저하하는 경우도 있으나 대체적으로 7 정도를 유지 하였다. 이러한 pH의 변화는 합성폐수 저장탱크내부에서 유기물이 일부 분해되어 발생하는 것으로 판단된다. 한편 쇠석반응기는 처리시간과 더불어 점차 낮아져 4까지 감소하였으나 85일 이후 서서히 상승하여 pH 6의 약산성을 유지하였다. pH의 급격한 감소는 합성폐수중의 유기물분해와 질산화에 따른 것으로 판단되며, 이후 탈질화되면서 생성된 알칼리도에 의해 서서히 회복되었다고 생각된다. 그러나 회복후의 pH 6도 유기물 분해균의 적정 증식범위<sup>9)</sup>(pH 6~8)에서 가장 낮은 수준을 나타내었고, 또 아질산균의 적정 증식범위인 pH 7~8.5를 벗어나 미생물의 성장에 영향을 주는 것으로 나타났다.

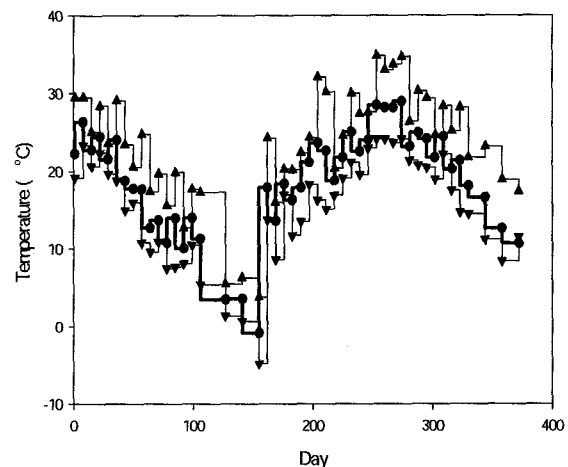


**Fig. 3.** The variation of pH. ●: Influent, ▲: Effluent of gravel, ◆: Effluent of Bio-rock.

한편 바이오락반응기는 초기에 pH 12의 강염기를 나타내었으나 서서히 감소하여 pH 8의 약알칼리를 나타내었다. 이는 바이오락 제조시 각 원료의 고형화를 위해 사용된 시멘트 중의 Ca(OH)<sub>2</sub>가 수화반응으로 용출되어 초기 알칼리도가 상승하였으나 시간이 경과됨에 따라 용출성분이 감소되어 pH도 서서히 감소했다고 생각된다. 따라서 초기의 높은 pH에서는 유기물 및 질소 산화균의 적정 생육범위인 pH 6~8을 벗어나 저해를 받았을 것으로 생각되나, 이후 pH 8까지 저하되어 이들 균의 성장에 적절한 수준을 유지하였다. 한편 pH완충 효과는 바이오락이 쇠석보다 유리한 것으로 판단되었다.

**3.2. 온도변화**

유기물분해, 질산화 및 탈질균의 적정온도범위는 대개 15~25℃, 30℃전후 및 34~37℃로 보고되고 있다.<sup>10)</sup> 따라서 겨울철 외부의 낮은 온도에 노출된 유입수는 미생물의 활성저하를 초래해 처리효율에 영향을 미친다. 따라서 본 실험에서는 온도변화에 따른 처리효율의 변화를 검토하였다. Fig. 4는 실험기간중 광주지역의 일일 최고, 평균, 최저온도를 나타내고 있다.



**Fig. 4.** The temperature changes in Gwangju city. ●: Mean, ▲: Maximum, ▼: Minimum.

일반적으로 물의 비열이 공기보다 커, 수온의 변화가 공기보다 적으나 본 실험의 경우 실외에 설치된 유입수 저장탱크가 일반하천이나 호수와 같은 수체에 비하여 극히 적으므로 외부온도의 영향을 직접 받을 것으로 생각된다. 따라서 온도변화에 따른 쇄석층진 반응기와 바이오락층진 반응기의 각 성분별 처리효율은 각 처리단계에 관여하는 미생물의 종류에 따라 서로 달랐다. 일평균온도가 10°C 이상을 유지하는 단계에서는 유기물 분해균의 경우 유입수 농도의 변동에도 불구하고 BOD, COD의 처리효율에 거의 영향을 받지 않았으나, 온도가 5°C 이하로 급강하한 100일 이후에는 처리효율이 소폭으로 감소하는 경향을 나타내었다 (Fig. 5, 6). 반면 질소와 인 분해균의 경우, 기온이 10°C 이하로 하강함으로써 유입농도의 감소에도 불구하고 처리효율이 크게 저하되어 유기물 분해균에 비해 온도에 더 민감함을 알 수 있었다. 그러나 본 공법의 경우 상부가 두꺼운 토양층으로 피복되어 있어 상부가 개방되어 있는 다른 공법에 비해 외부온도에 의한 영향은 상대적으로 적을 것으로 기대된다(Fig. 7, 8).

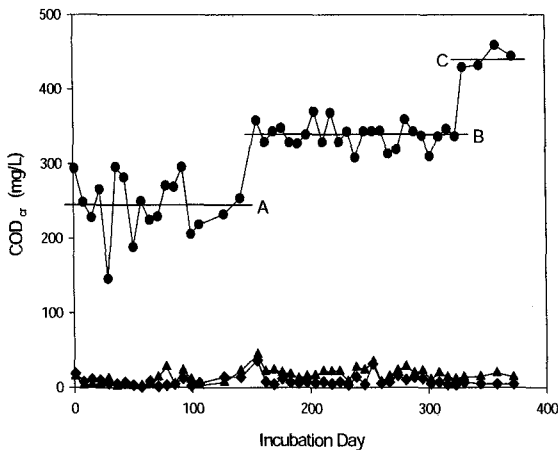


Fig. 5. The variation of COD<sub>Cr</sub>. ●: Influent, ▲: Effluent of gravel, ◆: Effluent of Bio-rock. A: 25 kg/m<sup>3</sup> · day, B: 35 kg/m<sup>3</sup> · day, C: 45 kg/m<sup>3</sup> · day.

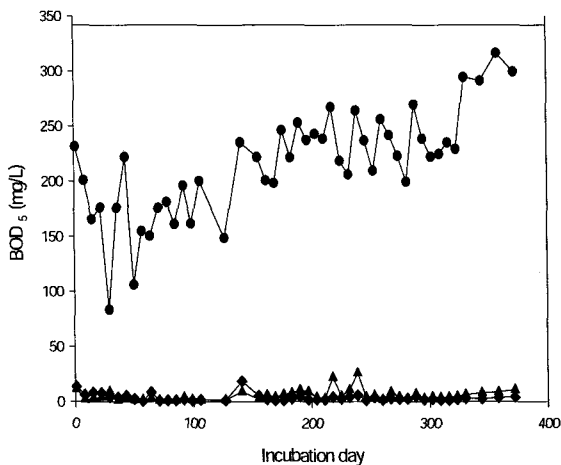


Fig. 6. The variation of BOD<sub>5</sub>. ●: Influent, ▲: Effluent of gravel, ◆: Effluent of Bio-rock.

### 3.3. 유기물제거

Fig. 5와 Fig. 6에서 쇄석층진 반응기와 바이오락층진 반응기의 COD<sub>Cr</sub> 및 BOD<sub>5</sub> 제거율은 양 반응기 모두 96%~98%라는 높은 처리효율을 나타내었다. 이는 박 등<sup>11)</sup>이 세라믹 담체를 이용한 합성폐수의 활성슬러지처리 실험에서 COD<sub>Cr</sub>의 제거율이 95~97%라고 보고하여 본 실험과 유사한 결과를 나타내고 있다. 또 정 등<sup>12)</sup>은 부직포를 이용한 합성폐수의 활성슬러지처리 실험에서 COD<sub>Cr</sub> 및 BOD<sub>5</sub> 제거율이 각각 94.1%와 94.4%라고 보고하고 있다.

본 실험의 경우 양 반응기의 처리효율은 거의 동일하여, 실험의 계획단계에서 기대했던 바이오락에 의한 처리효율의 상승효과는 기대에 충분히 미치지 못했다. 그러나 쇄석에 비해 바이오락의 방류수 수질이 더 안정적이었고, 최종 유출수도 방류수수질기준을 만족시켰다. 또 유입수의 COD<sub>Cr</sub> 농도가 초기보다 2배 이상 증가하였음에도 불구하고 안정된 처리효율을 확보하였다.

### 3.4. T-N 제거

현재 현장에서 운영중인 토양피복형 접촉산화 공법을 포함한 모든 생물학적 폐수처리시스템은 원수의 C/N비가 낮아 모두 질소제거에 곤란을 겪고 있다. 유입폐수중의 질소에 비해 유기물 함량이 너무 낮으면 질소의 상대적 유입부하량이 높아 처리수가 방류수기준을 넘어서는 현상을 나타내기도 한다. 따라서 질소처리에서 많은 애로를 겪고 있어 낮은 C/N비에서 높은 질소제거 효율을 확보하기 위해 국내에서도 단계주입 순환형 SBR(Sequential Batch Reactor)<sup>13)</sup> 등과 같은 질소제거 공법의 개선에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적인 BOD:N:P = 100:5:1임을 고려할 때 적정 C/N비는 20이나 본 유입폐수의 경우, 5~15로 상대적으로 낮았다.

Fig. 7에서 쇄석반응기와 바이오락반응기의 유입수와 유출수의 질소변화를 비교하여 보면 실험의 초기(1-2일)에 양 반응기는 아직 유기물의 급격한 분해와 알칼리물질의 과다 용출에 의한 급격한 pH변화가 없었다. 따라서 아직 질산균

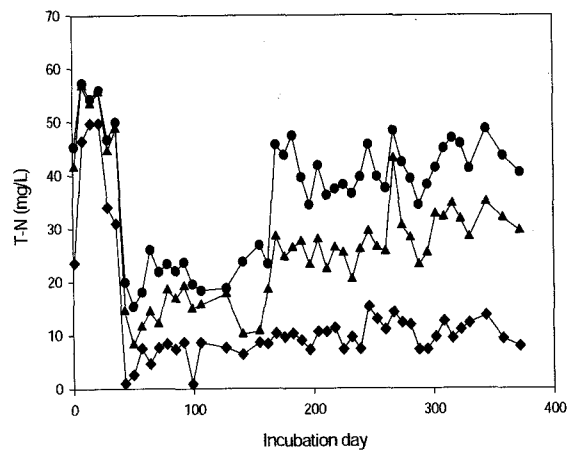


Fig. 7. The variation of T-N. ●: Influent, ▲: Effluent of gravel, ◆: Effluent of Bio-rock.

및 탈질균의 활동이 가능한 조건으로 바이오락반응기의 탈질율은 47%를 나타내었다. 그러나 시간이 경과하면서 양반응기의 pH에 급격한 변화가 발생하여 질산균 및 탈질균의 생육에 불리한 pH환경이 형성되고 또 매우 낮은 C/N비(약 5)로 인한 상대적 질소부하량의 증가로 인해 양 반응기 모두 처리효율은 크게 떨어졌다. 따라서 초기 43일까지의 높은 pH에서는 질소제거 기작이 생물학적 처리보다 주로 바이오락의 물리적 흡착과 암모니아 탈기에 의해 이루어진 것으로 추측된다. 그러나 43일 이후 C/N비(약 15)가 개선되고 유입수, 바이오락 반응조 및 쇄석반응조의 pH도 7, 9 및 4로 일정하게 유지되면서 처리효율도 일정수준에서 안정화되는 경향을 나타내었다. 바이오락의 경우 담체 내에서 용출되는 알칼리성분의 감소로 pH는 9로 떨어져 질산균 및 탈질균의 적정생육범위인 pH 6~8.5<sup>9)</sup>에 근접하였고 질소제거율은 약 73%를 나타내었다. 쇄석의 경우 pH가 약 4 정도에서 유지되어 질산균 및 탈질균의 적정 생육범위를 크게 벗어나 있고, 또 바이오락에 비해 낮은 공극률과 비표면적, 그로 인한 균체수의 열세 및 낮은 외기온도(10℃)로 처리율은 약 30%에 불과했다. 한편 질산균 및 탈질균의 적정생육온도가 26~37℃<sup>10)</sup>임을 고려하면 온도의 상승과 더불어 처리효율도 일정수준까지 개선될 것으로 예측된다. 박 등<sup>14)</sup>은 실제 하수를 사용한 다공성 폴리우레탄 충전 활성슬러지 실험결과, 담체 충전 여부에 상관없이 10℃ 부근에서 T-N제거율이 급격히 떨어졌다고 보고하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 본 실험 후반기(153일 이후)에 유입수, 바이오락 반응조 및 쇄석반응조의 pH가 각각 7, 8 및 6으로 안정되고 외기온도도 15~25℃를 유지하여 세균의 활성에 유리한 조건을 갖추었으므로 쇄석반응조가 41~44%, 바이오락 반응조가 78~80%의 높은 처리효율을 나타내었다. 특히 바이오락의 경우 유입수의 질소농도가 실험중간기(43~153일)에 비해 2배 이상 높음에도 불구하고 더 높은 처리효율을 나타내어 바이오락이 유입농도의 변화에도 상당히 안정적임을 알 수 있었다. 본 실험의 경우 높은 농도변화에도 불구하고 안정적 처리효율을 나타내는 것은 담체부착 질소제거균 뿐만 아니라 상부에 피복된 토양속의 질산화 및 탈질균의 역할이 동시에 작용했기 때문이라 생각된다.

### 3.5. T-P 제거

토양피복형 접촉산화공법은 별도의 추가 시설이 없이 유기물과 영양염류를 동시에 처리 가능한 고도처리 공법이다. 인은 수역의 부영양화에 직접적 원인물질로서 중점 처리대상이 되고 있다. Fig. 8은 쇄석반응기와 바이오락반응기의 유입, 유출수의 T-P농도 변화를 나타내고 있다.

실험후 약 150일까지는 유입T-P의 농도가 상대적으로 낮은 경우로 각 반응기의 T-P제거율은 쇄석반응기에서 약 19%, 바이오락반응기에서 약 74%로 매우 큰 차이를 보이고 있다. 이러한 처리효율상의 큰 차이는 양 담체의 공극률 및 pH변화에 의한 것으로 추측된다. 바이오락의 경우 공극

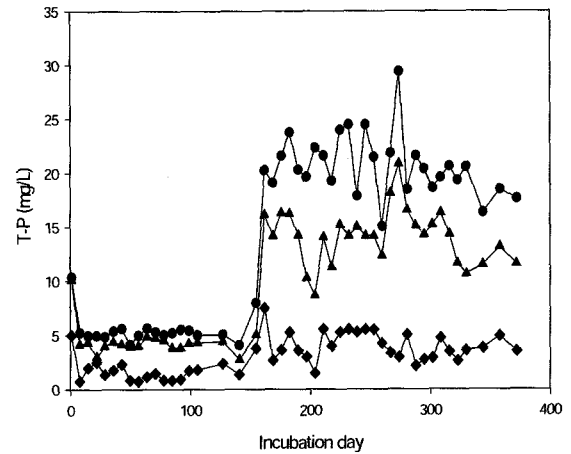


Fig. 8. The variation of T-P. ●: Influent, ▲: Effluent of gravel, ◆: Effluent of Bio-rock.

에 의한 흡착과 높은 pH에서 Ca(OH)<sub>2</sub>와 인이 결합해 침전함으로써 인의 처리효율이 높았다고 추측된다. 153일 이후 인은 질소와 마찬가지로 온도, pH 등의 적정조건이 확보됨으로서 처리효율은 쇄석반응기에서 40~42%, 바이오락반응기에서 80~85%로 증가했다. 특히 쇄석의 경우 pH가 6으로, 온도가 15~25℃로 상승함으로써 처리효율이 20% 이상 증가하여 바이오락에 비해 운전조건의 영향을 크게 받는 것으로 판단되었다. 인과 질소의 제거형태로 보아 두 물질간에는 높은 상관성이 있는 것으로 생각된다. Keren-Jespersen 등<sup>15)</sup>은 호기 및 무산소 조건에서 인제거 실험을 실시한 결과, 인섭취 미생물은 크게 전자수용체로 산소만을 이용하는 그룹과, 산소와 Nitrate를 모두 이용할 수 있는 그룹이 있다고 보고하여 상호연관성을 제시하고 있다. 또 Kuba 등<sup>16)</sup>은 탈질과 동시에 인제거(Denitrifying dephosphatation)를 하는 것이 COD소모량, 산소소모량 및 슬러지 발생량을 함께 줄인다고 보고하며 여기에 관여하는 미생물을 탈질탈인세균(Denitrifying Phosphorus removing Bacteria)이라 설명하고 있다.

### 3.6. 미생물부착

Fig. 9는 쇄석과 바이오락에 부착된 미생물의 전자현미경 사진이다. 바이오락은 미생물의 군집이 잘 이루어진 반면 쇄석은 상대적으로 부착미생물의 숫자가 적었다. 이는 바이오락의 표면이 쇄석이나 고분자담체 등에 비해 거칠어 부착이 용이한 반면 탈리는 어려운 구조이기 때문이며, 또 부피의 27.1%를 차지하는 높은 공극률로 미생물의 서식과 흡착된 유기물의 이용이 용이하기 때문으로 판단된다. 또 수중의 미생물 농도를 조사한 결과 바이오락이 5.2×10<sup>6</sup> CFU/mL, 쇄석이 2.6×10<sup>6</sup> CFU/mL로 바이오락이 2배 높았다. 따라서 바이오락이 생물담체로서 기존의 쇄석에 비해 월등히 우수함을 알 수 있었다. 결국 이러한 담체특성의 차이로 인한 미생물막의 형성정도가 질소 및 인 제거에서 큰 차이를 나타낸 것으로 생각된다.

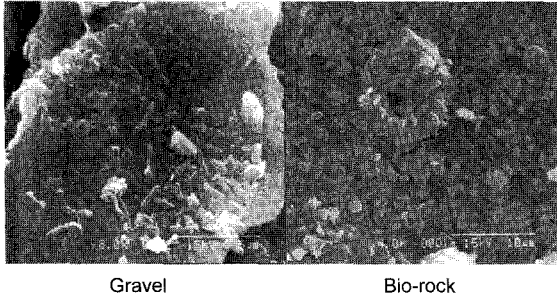


Fig. 9. The electron photography of attached bacteria.

#### 4. 결론

토양피복형 접촉산화공법에서 새로 개발된 미생물담체 바이오라크와 기존에 이용되었던 담체인 쇄석의 폐수처리 효과를 검토하여 아래의 결론을 얻었다.

1) 쇄석충진 반응기와 바이오라크충진 반응기 모두 COD<sub>Cr</sub>과 BOD<sub>5</sub>를 기준하여 평균 96%~98%의 높은 처리율을 나타내어 양자 간에는 효율상의 차이는 없었으나, 유입농도의 변동에 따른 처리수의 안정성에서는 바이오라크가 더 우수했다.

2) 정상상태에서 T-N제거율은 쇄석이 42%, 바이오라크가 80%였고, T-P제거율은 쇄석이 39%, 바이오라크가 85%로 바이오라크의 처리효율이 쇄석에 비해 2배 높았다. 바이오라크의 높은 처리효율은 물리화학적 측면에서는 부피의 27.1%에 상당하는 높은 공극률로 흡착이 용이하고, 또 초기의 높은 pH(12)에서 암모니아 탈기와 인의 화학침전이 발생하기 때문으로 판단된다. 바이오라크의 높은 pH는 재료(시멘트)에 포함된 Ca(OH)<sub>2</sub>가 수화반응으로 용출되었기 때문이며, 이는 반응중 생성되는 H<sup>+</sup> 이온을 중화시켜 pH저하를 방지하는 효과가 있었다.

3) 바이오라크의 경우 유입농도, C/N비, 온도 및 pH의 변동에도 지속적이고 안정적인 처리효율을 확보해 향후 본 공법의 처리시간 및 부지요구량을 상당히 줄여 줄 것으로 판단된다.

4) 바이오라크의 경우 쇄석에 비해 생물막이 양호하게 형성되었고 미생물 농도도 5.2×10<sup>6</sup> CFU/mL로 쇄석의 2.6×10<sup>6</sup> CFU/mL보다 2배 높았다. 이는 바이오라크의 표면이 쇄석이나 고분자담체 등에 비해 거칠어 부착이 용이한 반면 탈리는 어려운 구조이기 때문이며, 또 부피의 27.1%를 차지하는 높은 공극률로 미생물의 서식과 흡착된 유기물의 이용(먹이확보 및 섭취)이 용이하기 때문으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 2004년도 광주지역환경기술개발센터 연구비지원에 의해 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. 현대환경연구원, 환경 VIP 리포트, 제32호, 15~20(1999).
2. 남궁완, 원종철, 토양트렌치법을 이용한 생활하수처리- 문헌고찰, 대한환경공학회, 14(4), 345~353(1992).
3. 김종흡, 토양정화공법공정 및 장치구조, 신비롭고 고마운 토양권, 전파과학사, 서울, 174~198(1992).
4. 김홍재, 토양피복형 오폐수처리공정의 개선방향, 전남대학교 석사학위논문(2000).
5. 송승구, "담체의 물리화학적 특성이 생물막 형성에 미치는 영향," 첨단환경기술, 11, 2~8(1998).
6. 박성열, 김도한, 박영식, 송승구, "혐기성조건에서 미생물부착에 미치는 세라믹 담체와 고분자 담체의 특성," 대한환경공학회지, 23(6), 951~959(2001).
7. APHA, AWWA, WEP., Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19th ed., American Public Health Association, Washington, D.C.(1995).
8. 환경부, 환경오염공정시험법(1993).
9. Loveless, J. E. and Painter, H. A., "The influence of metal ion concentration and pH values on the growth of a Nitrosomonas strain isolated from activated sludge," J. Gen. Microbiol., 52, 1~4(1968).
10. Bitton, G., Wastewater microbiology, John Wiley & Sons, INC., New York, 189~198(1994).
11. 박영식, 안갑환, "세라믹 담체의 제조와 성능 고찰," 대한환경공학회지, 23(3), 507~516(2001).
12. 정유진, 성낙창, "간헐폭기침지형 부직포 활성슬러지법을 이용한 하수처리," 대한환경공학회지, 24(9), 1531~1537(2002).
13. Park, D. W., Jung, J. Y., and Jung, Y. C., "Nitrate accumulation and removal in a sequencing batch reactor," Environ. Eng. Res., 1(1), 37~41(1996).
14. 박희등, 김선형, 임성균, 최광호, 박찬혁, 황규대, "다공성 폴리우레탄 담체를 이용한 도시하수의 영양염류 제거," 대한환경공학회지, 20(4), 489~498(1998).
15. Kerm-Jespersen, J. P. and Henze, M., "Biological phosphorus uptake under anoxic and aerobic conditions," Water Res., 27(4), 617~624(1993).
16. Kuba, T. M., Loosdrecht, C. M., and Heijnen, J. J., "Phosphorus and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of denitrifying dephosphatation and nitrification in two sludge system," Water Res., 30(7), 1702~1710(1996).