

## 고정상 담체와 은나노 모래여과를 이용한 이중 공정에서 처리수의 중수도 활용에 관한 연구

선 용 호

상지대학교 환경공학과

(접수 : 2006. 7. 7., 게재승인 : 2006. 8. 22.)

### A Study on the Utilization of Effluent Treated by Double Process Using Fixed-media and Sand Filter Coated by Nano Silver for Wastewater Reclamation and Reusing System

Yong Ho Seon

Department of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju, Kangwon-Do 220-702, Korea

(Received : 2006. 7. 7., Accepted : 2006. 8. 22.)

This study focused on the availability of wastewater reclamation and reusing system as one of the alternatives against the global water shortage in near future, which system is composed of two treatment steps; first, wastewater is injected into upflow A<sup>2</sup>O biofilm process (anaerobic/anoxic/oxic) reactor filled with polyethylene fixed-media, and the effluent of 1st steps continuously passed through downflow nano silver sand filter. The pH of the effluent ranged from 7.39 to 8.06 (average 7.84), the COD<sub>Mn</sub> was 8~18 mg/L (average 12.1 mg/L), and BOD<sub>5</sub> was 2.1~10.0 mg/L (average 4.9 mg/L), that met all the wastewater reclamation and reusing system criteria. Besides, the SS concentrations of the effluent which was 3~9 mg/L (average 4.95 mg/L) met the criteria (5 mg/L), showing 94.8% of average removal efficiency. The 99.1% of the average removal efficiency of the E-coli form did not met the criteria (Not detected), which indicates the needs for the following chlorine disinfection treatment with the residual chlorine concentration of above 0.2 mg/L. There are no bacteria on the sand surface coated by nano silver. The removal efficiency of T-N and T-P that could be included into the criteria in the future was 50.3% and 27.2% respectively.

**Key Words :** Polyethylene fixed-media, A<sup>2</sup>O biofilm process, nano silver sand filter  
wastewater reclamation and reusing system, removal efficiency

### 서 론

우리나라는 1960년 인구에 비해 거의 2배로 증가한 현재 인구나 경제 및 산업발전에 따른 생활수준의 향상과 레져 문화의 발달, 대도시로의 인구 집중화로 인하여 물 수요량이 급격하게 증가하고 있다. 2004년 우리나라에서 사용된 수돗물의 총량은 5,909백만m<sup>3</sup>/년으로써 하루 평균 16,189천 m<sup>3</sup>/day을 사용하였으며 우리나라 국민 1인당 수

돗물 사용량은 365 L/day로 유럽 선진국의 사용량을 증가하고 있다. 또한, 전체 수돗물 중에서 음용, 취사, 목욕, 세면용과 변기세정, 세탁, 청소, 세차 등의 가정용이 70%로써 대부분을 차지하고 있으며 영업용으로 20%, 기타 목욕탕, 공공용, 소방용으로 약 10%가 소비되고 있다. 이상과 같은 물 부족에 대비한 수자원 확보를 위하여 새로운 수자원을 개발하거나 현재 이용이 가능한 수자원의 이용 촉진을 위한 효율적인 방안을 다각적으로 추진하고 있다(1).

하지만 새로운 수자원의 확보는 영월의 동강댐 건설 계획에서 나타났듯이 댐 건설적지의 감소, 막대한 건설비, 주민의 이주 및 보상, 환경상의 영향 등으로 인하여 어려운 점이 많은 실정이고, 또한 자연훼손의 방지 및 자연보존을 지지하는 환경단체의 반대도 심하여 난항이 계속되고 있다(2). 이에 따른 가용 수자원의 효율적인 이용 방법

† Corresponding Author : Department of Environmental Engineering, Sangji University, 660-Woosan-Dong, Wonju, Kangwon-Do 220-702, Korea

Tel : +82-33-730-0445, Fax : +82-33-730-0403

E-mail : yhseon@sangji.ac.kr

으로 한 번 이용한 수자원을 재처리하여 다시 이용하는 방법은 가용수자원의 확보 뿐만 아니라 배출되는 오염물질도 줄일 수 있으므로 이 방법의 이용이 급증할 것으로 보여 진다(3).

이미 미국과 같은 선진국에서는 1979년에 약 26만 m<sup>3</sup>/day의 오수처리수의 재이용을 하고 있는 중이며, 1984년 덴버시 (콜로라도)에서는 음용수 수질 기준에 근접한 중수도 시설을 설치하였고, 이외에도 직접 음용수로 이용하는 방법을 연구하고 있다. 일본의 경우도 부족해지는 수자원의 확보를 위해 아주 일찍부터 재이용을 시작하여 왔으며, 특히 빌딩에서의 중수도 기술은 미국보다도 더욱 많이 발전하여 왔다. 1970년대부터 빌딩에서 배출수를 재이용하기 위하여 정부와 지방 공공단체들의 협력으로 여러 Pilot규모 설비를 건설하여 각각의 처리공정에 대한 효율을 연구하여 최적시스템 개발을 하였으며, 1980년대부터 실용화되어 1990년대에는 개별순환방식으로 약 13만 m<sup>3</sup>/day 용량의 중수가 840개 빌딩에서 재이용되었다. 동경의 경우 1984년부터 연건축면적 3만 m<sup>2</sup> 이상이거나 물 사용량이 100 m<sup>3</sup>/day인 건물에 대하여 중수도 설치를 법적으로 권장하고 있고, 후쿠오카시 또한 건물의 연면적과 급수 구경에 대하여 설치 대상기준을 적용하고 있다(4).

그러나, 우리나라에서는 1991년에 이르러서야 수도법에 중수도 제도를 신설하여 물을 다량으로 사용하는 시설물에 대하여 중수도 시설 설치를 국가적으로 정하여 권장하도록 하였으며 1991년 법률 제4429호로 전문 개정된 수도법에서 처음으로 중수도를 “사용한 수도물을 생활용수·공업용수 등으로 재활용할 수 있도록 다시 처리하는 시설”로 정의하고 있다(5). 중수도는 위와 같이 수도물로서 공급되고 있는 많은 용도 중에서 사람이 마시기에는 적합하지 않은 물 즉 음용수와 같은 정도의 청정도를 필요로 하지 않은 용도에 대하여 그 각각의 용도에 알맞은 물을 공급하는 시설을 말한다. 즉, 중수도는 수도물을 공급하는 상수도와 쓰고 버린 오수를 정화하는 하수도의 가운데에 위치하며, 그 수질 또한 상수와 하수의 중간 정도의 범위에 놓이므로 중수도란 용어로 표기되는 것이다. 2001년 3월 수도법이 개정되면서 물 사용량이 일정규모 이상 (수도법, 대규모 점포 등 건축 연면적 6만 m<sup>3</sup> 이상, 폐수 배출량이 1일 1,500 m<sup>3</sup> 이상인 공장시설 등)인 대규모 신축건물에는 중수도 시설을 의무화 하였으며 이로 인해 중수도 시설은 현재 증가 추세에 있다. 중수도시설 설치확대를 위하여 조세감면규제법에 의거하여 중수도 시설 설치자에 대해서는 조세감면이나 융자제도 개선 환경투자자금의 지원 확대 등의 방안을 제시하여 여러 가지 혜택으로 산업체의 환경개선비용에 대한 부담을 줄이고자 여러 가지를 실시하고 있으나 아직까지 우리나라의 중수도에 대한 연구는 초보적인 단계에 머물러 있는 실정이다(6).

이에 따라 아직 우리나라에 뿌리를 내리지 못하고 체계화되지 않은 이 중수도 시스템에 본 연구를 적용하여 보고자 직접 생활오수를 사용하여 먼저 생물학적 처리공법 중의 하나인 혐기/무산소/호기조의 3단계로 구성된 고정상 담체를 이용한 A<sup>2</sup>O 생물막 공법을 이용하여 상향류식 1차 처리를 행한 다음 그 처리수를 다시 은나노 2단 모래에

하향류식 여과 처리하여 주는 이중 처리 공정을 통하여 그 활용 가능성에 대하여 연구를 수행하였다.

**재료 및 방법**

**실험재료 및 장치**

본 연구에 이용된 두 반응기 중 상향류식 고정상 담체 반응기는 1차 처리 반응기로서 혐기 (Anaerobic), 무산소 (Anoxic), 호기 (Oxic)의 고도처리 공법인 A<sup>2</sup>O 공정법을 이용하였으며, 반응조는 아크릴 재질로 제작하여 설치하였고, 반응조의 단면도는 Fig. 1과 같다. 각 반응조는 지름은 12 cm에 높이는 혐기조가 63 cm이고, 무산소조와 호기조가 103 cm인 원통형으로서 그 용적은 약 6 L, 10 L, 10 L로서 총 용적이 26 L로 제작하였다.

생물막으로 사용할 여체는 폴리에틸렌 계열의 원통형식으로 만들어 사용하였으며, 개질의 표면을 거칠게 하기 위해 사포로 문질러 준 후 각 반응조에 충전하였으며, 각 반응조별 여재 충전율은 모두 반응조 부피의 70%로 하였다. 반응조는 각 조별로 하부유입부와 담체충진부, 상부유출부, 중앙 샘플링 채취부로 구성되어 각 조 내의 샘플링도 가능하도록 하였다.

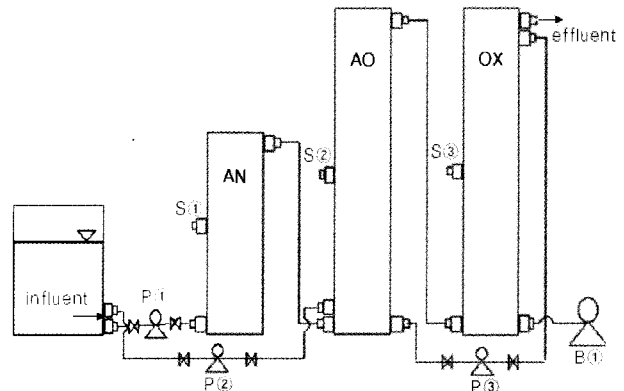


Figure 1. Schematic Diagram of Upflow Fixed-media Reactor.

2차 반응기인 하향류식 은나노 모래여과 반응기도 1차 반응조와 마찬가지로 아크릴 재질의 원통형으로 제작하였으며, 은을 둘러싼 굵은 모래로 굵기를 다르게 하여 2개의 반응조로 설치하였으며 반응조의 단면은 Fig. 2와 같다.

반응조 ①과 ②에는 각각 2.0 mm 이상과 0.5~2.0 mm 미만의 모래로 반응조 ①에 반응조 ②보다 더 굵은 모래를 충전하여 주었으며, 충전율은 각 반응조 모두 부피의 약 88%로 하여 주었고, 이에 따른 여재의 공극율은 각각 50.0%와 41.3%였다.

**실험방법**

본 실험에 사용한 원수는 S대학교 식당에서 나오는 생활오수를 사용하였으며 우선 1차 반응기인 상향류식 고정상 담체 반응기의 원활한 성능을 위해 HRT (Hydraulic Residence Time)를 실온에서 운전초기에는 약 20 hr으로 하

여 운전하면서 15일 정도 미생물 식중에 의한 담체 상의 미생물 부착을 실시한 후 HRT를 평균 12 hr으로 30일 동안의 시범 운전을 통해 미생물의 안정화를 도모하였다. 완전히 정상상태가 되었다고 판단된 후부터 성능실험을 수행하였으며 유입부를 혐기조에서 뿐만 아니라 무산소조의 하부에도 설치하여 원수를 혐기조와 무산소조의 원수 분배 비율을 10:0과 7 : 3으로 변화시켜 각각 20 여일씩 샘플링하여 반응기에 대한 실험을 실시하였다. 호기조에는 1.5 L/min 정도로 공기가 공급되도록 하였고, 호기조에서 무산소조로 이어지는 반응라인을 설치하여 100% 반응하도록 하였다.

고정상 개질 담체 반응조로 처리한 물을 처리수조에 모아 2차 반응기인 하향류식 은나노 모래여과 반응기에 연속적으로 주입하여 성능실험을 수행하여 2차 처리수를 얻었으며, 은나노 모래여과 반응기 역시 먼저 반응기의 기작을 알아보기 위하여 저농도의 오수로 먼저 20여 일 간 바탕 실험을 함께 실시하였고, 그 후 두 공정을 함께 연속식 운전을 통하여 실험을 실시하였다. 하향류식 은나노 모래여과 반응기의 반응조 ①과 ② 각각의 HRT는 약 36 min, 30 min으로서 평균 33 min을 나타내었고, 급속여과에 속하였다.

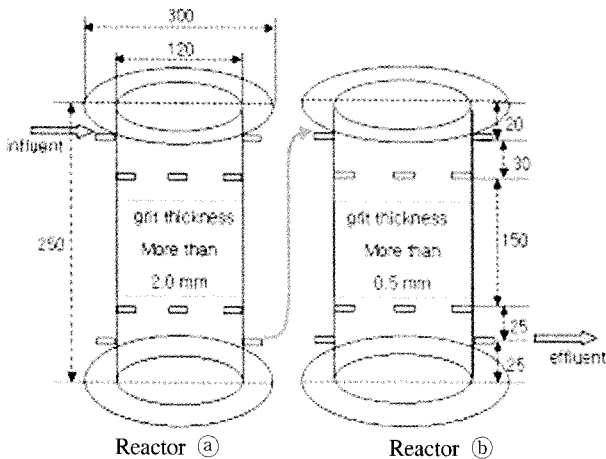


Figure 2. Schematic Diagram of Downflow Sand Filter Coated by Nano Silver.

본 실험에서 수질 분석은 수질오염공정시험방법(7)과 Standard Method (EPA)(8)를 이용하여 수행되었으며, 각 측정결과는 Microsoft Excel PC-용 Press Sheet를 이용하여 자료를 수집하고 분석하여 해석하였다.

pH와 수온, DO는 Orion 290, YSI 550A로 측정하였으며 COD<sub>Mn</sub>은 수질오염공정시험방법의 KMnO<sub>4</sub>법을, COD<sub>Cr</sub>은 EPA Standard Method의 환광광도법인 Closed reflux method로 각각 분석하였다. BOD<sub>5</sub>는 수질오염공정시험방법으로 측정하였으며 BOD<sub>5</sub> 측정에 사용된 기기는 YSI 58이다. 부유물질과 총인, 총질소 역시 수질오염공정시험방법의 유리섬유여지 (GF/C)법과 아스코르빈산 환원법, 자외선흡광도법에 의해 측정되었으며, 암모니아성 질소는 EPA에 의거한 Hach Method (정량범위; 0.02~2.50 mg/L)로 수행되었고, 질산성 질소는 EPA의 Hach Method (정량범위; 0.1~10.0

mg/L)와 수질오염공정시험방법의 부루신법을 병행하여 실시하였다. 마지막으로 대장균군은 수질오염공정시험방법의 최적확수계산법 (MPN법)으로 실험을 실시하여 분석하였으며 일반세균은 먹는물 공정시험방법(9)에 의해 측정하였다. 이 외에 Ag 이온은 은나노 모래여과 반응기에서의 용출 여부를 알아보기 위하여 실시한 것인데, EPA SW 200.8 방법 (ICP/MS)을 이용하였고, 잔류염소의 시험법으로는 먹는물 공정시험방법, 염소 이온은 EPA Method 300.8 (Ion Chromatography) 방법을 이용하여 각각의 항목들을 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 중수도 수질 기준

우리나라의 중수도 수질기준은 Table 1과 같다. 보통 전제 조건으로 위생상으로 안전하고, 이용자가 쉽게 수용하고, 이용자가 감각적으로 불쾌감을 받지 않고, 정화시스템에서 쉽게 안정적으로 얻을 수 있는 수질을 갖추고 있으면 중수로 이용 가능할 것으로 생각된다. 중수도에서 처리 대상이 되는 물질로는 탁도, 색도, 유기물 (BOD, COD, TOC, 유분 등), 질소, 인, 용존염류, 냄새, 세균, 바이러스 등이며 법에서는 대장균수, 잔류염소 (결합), 외관, 탁도, BOD, 냄새, pH, 색도, COD<sub>Mn</sub>을 규제하고 있으나 향후 질소, 인, 중금속 등이 추가되어야 할 것으로 사료된다.

대장균군수와 일반 세균수는 위생적 관점에서 물의 안전성을 평가하는데 널리 쓰이고 있는 지표이다. 이전에서는 수세식화장실용수의 기준은 10 개/mL 이하로 정하였으나 현재는 대장균이 검출되지 않을 것으로 정하고 있다.

잔류염소는 중수처리시설에 있어서 중수가 위생적인가 여부를 판별하는 지표이다. 보통 잔류염소를 0.2 mg/L 이상 유지하도록 하고 있으나 조정용수에 대해서는 관리자의 요망에 따라 어류를 서식시킬 수 있도록 규제하지 않으므로 위생적 조치로서 염소처리에 오존처리를 병용하는 것이 좋을 것이다(5).

심미적 관점에 좌우되는 외관 및 냄새는 이용자의 기호도와 가장 관계가 깊으며 정량적인 기준치보다는 정성적 기준으로 판단할 수 밖에 없다. 탁도는 미생물의 조각 및 유기성 콜로이드의 양 즉 부유물질의 농도와 관계를 가지고 있다. 법에서 2NTU로 정하고 있으며 이를 위해 부유물질 제거 장치가 필요하다.

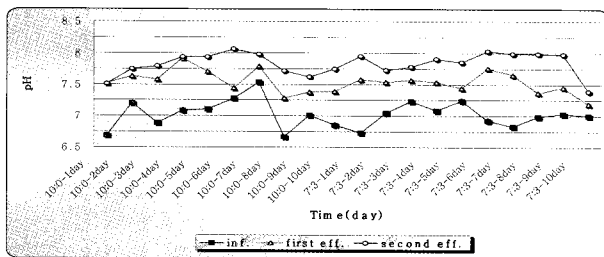
BOD (Biochemical Oxygen Demand) 농도와 COD (Chemical Oxygen Demand)는 중수 중에 포함된 유기물질로 인한 간접적인 오염도를 나타내는 지표이다. BOD 농도 10 mg/L 이하와 COD 농도 20 mg/L 이하를 유지하기 위해 고도처리 장치가 필요하다.

pH는 배관, 펌프, 밸브 부식, 스케일 등의 발생에 의한 기능장애와 생물 증식과 대사에 관련되는 지표이다. 수세식 화장실용수, 살수용수, 세차·청소용수 사용시의 부식 방지와 조정용수, 관개용수 사용시의 식물 기능 장애 방지를 위해 pH를 조정해 주는 것이 바람직하다.

**Table 1.** The Water Quality Standard using Wastewater Reclamation and Reusing System in Korea

parameter	Water closet use	Sprinkling use	landscape use	Washing cleaning use
E-Coliform Group	not detected	not detected	not detected	not detected
Combined Residual Chlorine	More than 0.2 mg/L	More than 0.2 mg/L	-	More than 0.2 mg/L
Appearance	User didn't feel displeasure	User didn't feel displeasure	User didn't feel displeasure	User didn't feel displeasure
Turbidity	less than 2 NTU	less than 2 NTU	less than 2 NTU	less than 2 NTU
BOD	less than 10 mg/L	less than 10 mg/L	less than 10 mg/L	less than 10 mg/L
Smell	not unpleasant smelled	not unpleasant smelled	not unpleasant smelled	not unpleasant smelled
pH	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5	5.8~8.5
Color	less than 20 mg(Pt)/L (or degree)	-	-	less than 20 mg(Pt)/L (or degree)
SS	less than 5 mg/L	less than 5 mg/L	less than 5 mg/L	less than 5 mg/L
COD <sub>Mn</sub>	less than 20 mg/L	less than 20 mg/L	less than 20 mg/L	less than 20 mg/L

1. "Sprinkling use" is said wastewater reclamation and reusing system to used sprinkling water in case load cleaning and construction work, etc.
2. "Landscape use" is said wastewater reclamation and reusing system to used fountain, artificial pond and lake of housing complex, etc.
3. Wastewater reclamation and reusing system for industrial use didn't apply to water quality standard.



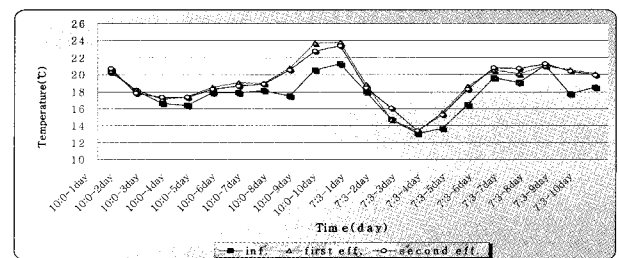
**Figure 3.** Changes of pH with Double Process.

**수온 및 pH, DO의 변화 특성**

Fig. 3은 두 상향류식 고정상 담체 반응기와 하향류식 은나노 모래여과 반응기의 연속 공정에서의 pH 변화를 나타낸 것이다. pH의 급격한 변화는 생물의 환경에 해가 되어 처리시설의 정상적인 운전을 방해하게 되므로 pH의 변화는 중요한 운전조건 중의 하나이며, 유기물 및 질소의 제거에도 영향을 미친다. 그렇기에 물을 직접 작업환경에 이용하는 중수도 수질 기준에서도 pH 5.8~8.5로 제한하고 있다. 두 장치의 연속 공정 결과 유입수는 6.67~7.54 사이에서 평균 7.02를, 1차 처리와 2차 처리에서 각각 평균 7.54, 7.84를 기록하면서 전체적으로 pH의 상승을 보였으며 하루 간 최고 차이는 1.21이었다. 중수도의 수질 기준 안에서 모두 포함되었으며 기준에는 이상이 없는 것으로 나타났다, 유기물의 제거에 저해할 만한 수준으로는 pH 변화가 크지는 않은 것으로 나타났다. 처리수의 pH는 7.39~8.06 범위에 있으며, 처리수의 pH가 대부분 7.5이상으

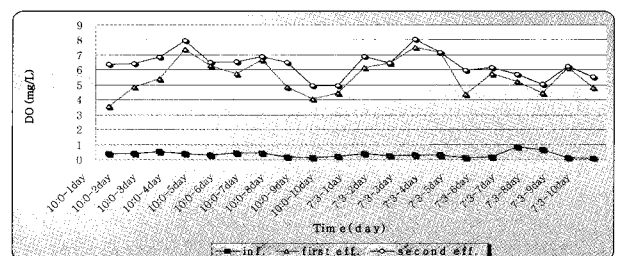
로 상승된 이유는 탈질의 과정에서 N<sub>2</sub>가스로의 변환 중 알칼리도의 생성 때문으로 사료된다.

수온 역시 급격한 변화는 유기물 제거를 위한 생물환경에 좋지 않은 영향을 미치기 때문에 반드시 확인해 두어야 할 항목 중의 하나로 Fig. 4는 두 장치에서 수온의 변화를 나타낸 것으로 연속공정 결과 유입수는 평균 17.8℃이고, 1차와 2차 처리에서는 19.1, 19.0℃로 거의 비슷한 양상을 보였다. 하루 간 수온의 최대 변화 폭은 3.1℃으로 알맞은 변화폭 이었다. 또한 원수 유입 차이에 따라서는 유입과 배출수가 혐기조와 무산소조의 원수 분배 비율 10:0에서 평균 18.5와 19.6℃, 분배 비율 7:3에서 17.1℃과 18.5℃로 전체적으로 7:3에서 조금 낮은 온도를 보였으나 생물 환경에 악영향을 줄 정도의 급격한 변화양상이 아닌 날씨 변화에 따라 반응 공정 역시 완만하고 일정한 변화를 보였다.



**Figure 4.** Changes of Temperature with Double Process.

DO의 경우 제1반응기의 최종 단계인 호기조에서의 농도가 2.0 mg/L 이하이면 유기물 제거와 질산화에 적지 않은 영향을 주기 때문에 항상 그 이상의 농도를 배출수에서 유지해야 한다. Fig. 5는 두 장치에서 DO 농도의 차이를 나타낸 것으로 평균 0.34 mg/L로 유입된 원수가 1차와 2차 처리에서 각각 평균 5.56 mg/L과 6.36 mg/L를 보여주어 안정적인 농도를 보여주었다.



**Figure 5.** Changes of DO with Double Process

**유기물의 제거 특성**

유기물 제거에 관련한 중수도의 수질 기준 중 COD<sub>Mn</sub>은 20 mg/L를 넘지 않을 것으로 규정하고 있기 때문에 분석 결과에 있어 중요한 인자이었다. Fig. 6은 두 처리장치로 구성된 연속공정에서 유입수의 평균 COD<sub>Mn</sub> 농도가 60.9 mg/L인 1차 처리는 평균 16.6 mg/L로, 2차 처리는 12.1 mg/L로 처리되었다. 특히 2차 처리 후 방류수의 COD<sub>Mn</sub> 농도 범위는 8~18 mg/L이었으며 최고 농도는 18 mg/L로써 모두

중수도 수질 기준에 적합하게 처리되었다. 평균 COD<sub>Mn</sub> 제거율은 1차에서 72.7%, 2차에서는 80.0%까지 증가하였다. 유입수의 유입 차이에 따른 비교에서는 혐기조와 무산소조의 원수 분배 비율 10:0에서 평균 COD<sub>Mn</sub> 유입농도가 60.6 mg/L, 분배 비율 7:3에서 57.2 mg/L이었고, 2차 처리 후 각각 평균 14.1과 10.1 mg/L를 나타내어 최종적으로 각각 77.6%와 82.4%의 제거율을 보이며 분배 비율 7:3에서 약 5%정도 높은 제거율 정도로 비슷하게 나타나 이는 무산소조에 원수를 유입하여도 호기조에서 무산소조의 농도 증가에 따른 용적부하에서 유기물 제거의 변화에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

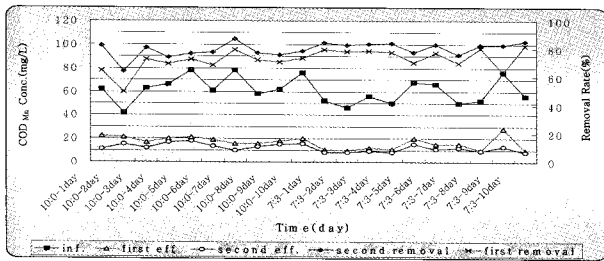


Figure 6. Changes and Removal rate of COD<sub>Mn</sub> Concentration with Double Process.

COD<sub>Cr</sub>은 중수도 수질 기준에는 제외되어 있지만 COD<sub>Mn</sub>과 함께 유기물 제거에 대해 조사함에 있어 참고할 만한 비중 있는 인자로 Fig. 7은 COD<sub>Cr</sub> 농도의 변화를 나타낸 것이다. 이중 공정 실험 결과 유입수의 평균 COD<sub>Cr</sub> 농도가 314.5 mg/L인 1차와 2차 처리에서 각각 평균 COD<sub>Cr</sub>가 51.1 mg/L, 40.0 mg/L를 나타내었으며, 평균 제거율을 살펴보면 1차에서는 평균 COD<sub>Cr</sub> 제거율이 82.3%, 2차에서는 86.0%까지 증가하여 효과적인 처리효율을 보였다. 유입수의 유입 차이에 따른 비교에서는 혐기조와 무산소조의 원수 분배 비율 10:0에서 평균 유입 COD<sub>Cr</sub> 농도가 317.7 mg/L, 분배 비율 7:3에서 311.3 mg/L이었고, 연속 공정 후 2차 처리수가 각각 평균 52.6 mg/L와 49.6 mg/L를 나타내면서 최종적으로 각각 84.8%와 87.1%의 약 2% 높은 거의 비슷한 배출수 농도와 제거율을 보여 COD<sub>Mn</sub>과 마찬가지로 무산소조에 원수를 유입하여도 호기조에서 무산소조의 농도 증가에 따른 용적부하에서 유기물 제거의 변화에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

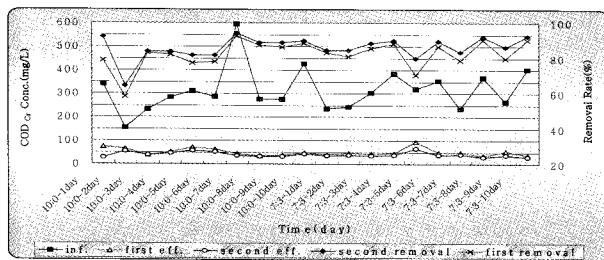


Figure 7. Changes and Removal rate of COD<sub>Cr</sub> Concentration with Double Process.

유기물 제거에 관련한 중수도의 수질 기준 중 BOD<sub>5</sub> 농도도 10 mg/L를 넘지 않을 것으로 규정하고 있으므로 분석

에서 역시 중요한 관련인자이었다. Fig. 8은 두 처리장치로 구성된 공정에서 BOD<sub>5</sub>의 유입수와 배출수의 농도 변화와 그 제거율을 나타낸 것이다. 유입수의 평균 BOD<sub>5</sub> 농도 120.7 mg/L에서 1차 처리에서 평균 BOD<sub>5</sub> 농도는 11.8 mg/L로, 2차 처리에서는 4.9 mg/L로 처리되었다. 여기서 초점인 2차 처리 후 방류수의 BOD<sub>5</sub> 농도는 2.1~10.0 mg/L 범위에 있으며 최고 농도가 10 mg/L로써 모든 배출수가 중수도 수질 기준에 적합하게 처리되었다. 이에 따른 평균 BOD<sub>5</sub> 제거율은 1차에서 89.0%, 2차에서는 95.1%까지 증가하여 효율적인 처리를 보였다. 유입수의 유입 차이에 따른 비교에서는 분배 비율 10:0에서 평균 BOD<sub>5</sub> 유입농도가 126.2 mg/L, 분배 비율 7:3에서 115.9 mg/L이었고, 2차 처리 후 각각 평균 5.7 mg/L과 4.3 mg/L를 보이며, 최종적으로 각각 94.0%와 96.0%의 제거율 보이며 분배 비율 7 : 3에서 약간 높은 제거율을 보였으나 그 차이는 매우 미세하여 역시 유기물 제거에 악영향을 미치지지는 않았다.

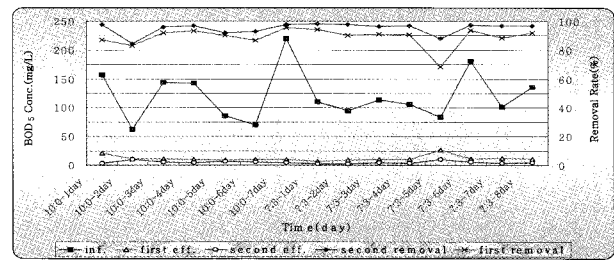


Figure 8. Changes and Removal rate of BOD<sub>5</sub> Concentration with Double Process.

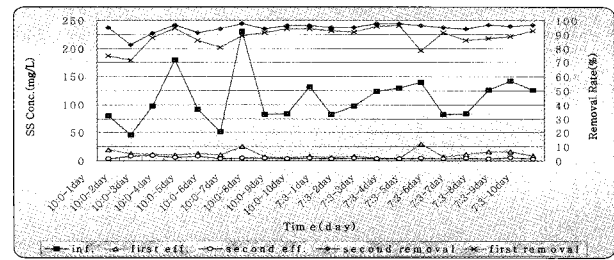


Figure 9. Changes and Removal rate of SS Concentration with Double Process.

**부유물질 제거 특성**

유기물 제거에 관련하여 SS는 중수도의 수질 기준에서 권고사항으로 5 mg/L를 넘지 않을 것으로 하고 있으며, Fig. 9는 연속공정에서 SS의 유입수와 배출수의 농도 변화와 그 제거율을 나타낸 것이다. 유입수의 평균 SS 농도가 110 mg/L인 1차 처리는 평균 SS 농도가 11.9 mg/L로, 2차 처리는 4.95 mg/L로 처리되었다. 최종 처리 후 방류수의 SS 농도 범위는 3~9 mg/L이었고, 최고 농도는 9 mg/L이었으나 방류수의 SS 농도가 대부분 5 mg/L 이하의 보여 권고 수준에 거의 부합되었다. 이에 따른 평균 SS 제거율은 1차에서 88.3%, 2차에서는 94.8% 제거되어 역시 효과적인 제거율을 보였다. 유입수의 유입 차이에 따른 비교에서는 분배 비율 10:0에서 평균 SS 유입농도가 107.6 mg/L, 분배 비율 7:3에서 113.4 mg/L인 원수가 2차 처리 후 각각 평균 5.6과 4.3 mg/L를 나타내어 최종적으로 각각 93.5%와

96.0%로 역시 배출수 농도와 제거율이 비슷한 결과를 보였다.

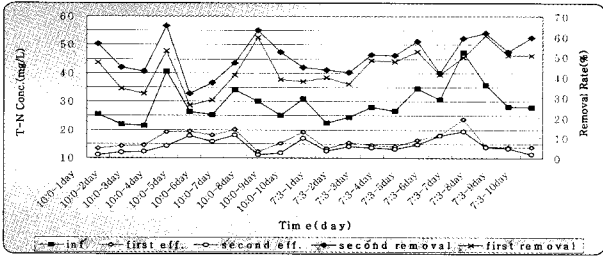


Figure 10. Changes and Removal rate of T-N Concentration with Double Process

**영양염 제거 양상**

현재 T-N 농도는 중수도 수질 기준에는 적용되고 있지 않지만 머지않아 총인과 함께 적용될 것으로 예상되어지고 있으며, Fig. 10은 연속 공정상에서 질소에 관련된 인자들의 변화에 의한 질소 농도의 변화와 제거율에 대해 나타낸 것이다. 암모니아성 질소는 평균 유입농도가 16.13 mg/L로 1차와 2차에서 평균 9.56 mg/L, 8.09 mg/L로 제거되어 50.6%의 최종적인 제거율을 보였고, 질산성 질소는 평균 유입농도가 0.41 mg/L로 1차와 2차에서 평균 3.15 mg/L, 3.72mg /L로 증가되어 13.7배의 최종적인 증가율을 보였다. 이와 비교하여 총질소의 변화 추이를 보면 유입수의 평균 농도가 29.40 mg/L로서 평균 16.17 mg/L과 14.28 mg/L로 1차와 2차에서 처리되어 배출하여 제거율이 43.9%와 50.3%를 나타냈다. 무산소조 유입 비율에 따른 차이에서는 분배 비율 10 : 0과 7 : 3에서의 암모니아성 질소와 질산성 질소의 변화 추이를 보면 유입 평균 농도가 암모니아성 질소의 유입농도가 각각 16.68 mg/L과 15.58 mg/L인 경우 37.0%와 45.3%의 평균 제거율을 보였고, 질산성 질소가 0.34 mg/L와 0.48 mg/L의 유입 평균 농도에서 10.6배와 11.8배의 증가율을 보여 분배 비율 7 : 3의 경우 고도처리 장치에서 암모니아의 질산화에 대한 약간 좋은 경향을 보였다. 총질소에서 분배 비율 10 : 0과 7 : 3의 유입수 평균 농도가 28.16 mg/L과 30.63 mg/L에서 총질소 제거율이 각각 39.9%와 47.8%로 분배 비율 7 : 3에서 약 10% 정도의 조금 나은 제거 결과를 보였다. 분배 비율 7 : 3과 10 : 0 경우, 암모니아성 질소와 질산성 질소의 변화의 차이가 거의 없었던 것에 반해 10% 정도의 제거 효율이 좋아진 이유는 무산소조로의 탈질에 적극 관여하는 탄소원을 지닌 원수 유입으로 인한 영향을 받으면서 변한 것으로 판단된다. 하지만 전체적으로 최종 배출수의 농도가 14.18 mg/L와 14.38 mg/L로 비슷하였기 때문에 이로 인한 눈에 띄는 처리효율을 얻지는 못하였다. 분배 비율 10 : 0과 7 : 3에서는 최종 배출수의 각각의 최저 농도는 11.13과 11.33 mg/L로 비슷하였으며, 이 이하로는 처리가 되기 힘들 것으로 사료된다.

현재 T-P 농도는 중수도 수질 기준에는 적용되고 있지 않지만 머지않아 적용이 되어질 것으로 예상되며, Fig. 11은 연속 공정상에서 인 농도의 변화와 제거율에 대해 나타낸 것이다. 유입수의 평균 총인 농도가 6.79 mg/L인 1차 처리가 평균 5.44 mg/L로, 2차 처리는 4.89 mg/L로 처리되

었다. 이에 따른 평균 제거율은 1차에서 19.4%, 2차에서는 최종적으로 27.2%까지 제거되었다. 유입수의 유입 차이에 따라서는 분배 비율 10:0에서 평균 유입농도가 6.97 mg/L, 분배 비율 7:3에서 6.61 mg/L인 원수가 2차 처리 후 각각 평균 4.96 mg/L과 4.82 mg/L를 나타내어 최종적으로 각각 27.8%와 26.7%로 배출수 농도와 제거율은 비슷하여 원수 유입 비율 변화에 따른 변화는 전체적인 변화와 비교하여 별다른 특이 사항이 발견되지 않았다. 여기서 알 수 있는 사항은 인의 제거는 질산염과 관련하여 질소의 제거와 밀접하게 관계되어 있어 총질소의 제거효율이 증가될수록 총인의 제거 효율이 점차 감소함을 보이는데, 혐기조에 질산염이 유입되면 탈질화에 적극 관여하면서 인산염 박테리아에 영향을 주어 저장될 폴리인산염이 없어지므로 인 제거를 위한 미생물의 기질 공급을 제한하여 인 제거를 힘들게 하게 된다고 한다. 이는 고도처리에 적용된 생물막법의 큰 난점이기도 하다.

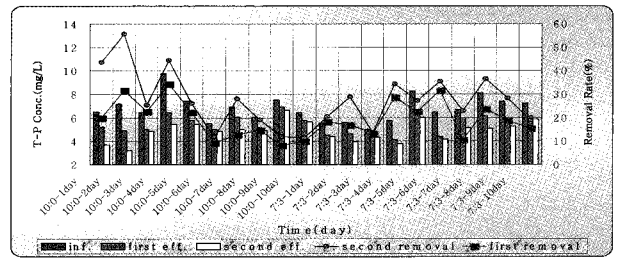


Figure 11. Changes and Removal rate of T-P Concentration with Double Process.

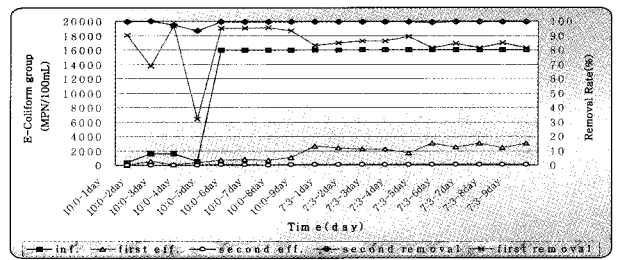


Figure 12. Changes and Removal rate of E-coliform Group with Double Process.

**대장균군 (E-coliform group)**

Fig. 12는 연속 공정상에서 대장균군수의 유입에서 배출까지의 그 변화와 그 제거율을 나타낸 것이다. 이중 공정 실험 결과 유입수의 대장균군수는 평균 12,669 MPN/100 mL으로, 이에 따른 1차 처리는 평균 1,632 MPN/100 mL, 2차 처리에서는 65 MPN/100 mL로 처리되었다. 처리 효율은 1차에서 평균 83.9%, 2차 처리에서 99.1%로 대부분의 대장균군이 사멸하여 높은 효율적인 처리를 보였다. 그러나 중수도의 수질 기준에서는 대장균군은 검출이 되지 않을 것으로 규정하고 있어, 최고 110 MPN/100 mL이라는 수치에 대부분의 처리 공정 동안에 있어서 검출이 되었기 때문에 염소 농도가 0.2 mg/L (유리 잔류염소는 0.1 mg/L) 이상 되도록 염소를 주입하여 주어야 할 것으로 본다. 원수 유입 비율 변화에 따른 대장균수의 변화는 전체적인

변화와 비교하여 별다른 특이 사항은 발견되지 않았다.

여과처리 장치에서 은 이온은 최종 배출수에서 평균 0.04 mg/L, 최고 0.05 mg/L의 매우 낮은 용출을 보이면서 pH가 현저하게 산성 상태로 떨어지지 않는 한 배출 상태에서 양호한 수준으로 나타났으며, 잔류 염소의 경우는 배출수에서 모두 0.2 mg/L 이하로 검출되어 공정상에서 따로 고도처리 및 여과처리 장치의 연속 공정 사이에서 반드시 최소 0.2 mg/L 이상의 염소를 주입해야 될 것으로 보였으며, 일반세균도 비교적 많은 양이 검출되어 역시 염소 주입의 필요성을 보였다. 은모래 표면의 SEM 사진은 Fig. 13과 같으며 은모래 표면에서는 박테리아가 존재하지 않음을 SEM 사진에서 알 수 있다.

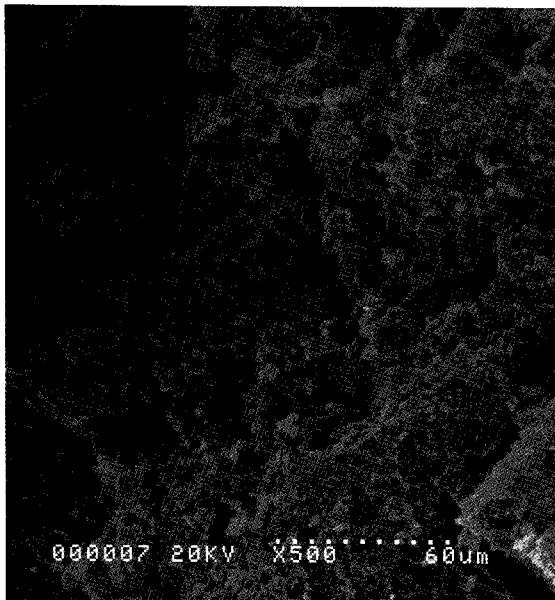


Figure 13. Scanning Electron Microscope of Sand Surface Coated by Nano Silver.

## 요 약

본 연구는 다가울 물 부족에 따른 하나의 대안으로서 중수도 시스템에 초점을 맞추어, 생활오수를 이용하여 혐기/무산소/호기조의 A<sup>2</sup>O 생물막 공법으로 구성된 상향류식 고정상 담체 반응기로 처리한 오수를 하향류식 은나노 모래여과 반응기에 다시 연속 통과시켜 이중 처리하여 얻은 처리수를 중수도에 활용이 가능하지에 대하여 연구하였다. 이중 공정 후 배출수의 pH는 7.39~8.06 (평균 7.84) 범위 이었고, COD<sub>Mn</sub>은 8~18 mg/L (평균 12.1 mg/L), BOD<sub>5</sub>는 2.1~10 mg/L (평균 4.9 mg/L)로 중수도 수질 기준에 적합하였다. SS는 3~9 mg/L의 범위로 평균 농도가 4.95 mg/L를 나타내면서 SS 제거율이 94.8%로 대부분 법적 기준치 5 mg/L 이하로 처리되어 가능성을 보여 주었다. 대장균군수의 평균 제거율이 99.1%이었으며, 배출수의 평균 대장균군수는 65 MPN/100mL이 검출되었으나 중수도 수질 기준에는 불검출로 되어 있으므로 완벽한 제거를 위해서는 0.2 mg/L 이상의 결합잔류염소의 양을 고려한 염소 처리를 하

여야 한다. SEM 사진으로부터 은모래 표면에서는 박테리아가 존재하지 않음을 알 수 있었다. 이 외에 중수도 수질 기준에 포함될 가능성이 있는 총질소 및 총인의 제거율은 각각 50.3%와 27.2%이었다.

## 감 사

이 논문은 2004년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사를 드립니다.

## REFERENCES

1. Ministry of Environment (2005), Statistics of Water Supply 2004, p.1056, Ministry of Environment, Seoul.
2. Choi, Y. H. (2002), The value improvement of water resources and the strategy of developing resources, *J. Environ. Hitechno.* 10(7), 64-71.
3. Ryu, H. J. and S, H. Kang (2004), Newest Waterworks and Wastewater Engineering, p.514, Sin Kwang Publishing Co., Seoul.
4. Kong, H. H. (1996), Technical investigation of reuse treated sewage, *J. Environ. Hitechno.* 4(3), 23-27.
5. Ministry of Environment (2005), The Law of Waterworks, p.1, Ministry of Environment, Seoul.
6. Song Y. Y. (2001), A study on the water quality standard using Wastewater Reclamation and Reusing System and the plan to control it, *J. Environmental Supervisor* 17(8), 82-85.
7. Ministry of Environment (2002), Korean Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, p.691, Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul.
8. APHA (1998), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., p.5-17, American Public Health Association, Washington DC.
9. Ministry of Environment (2002), Korean Standard Methods for the Examination of Drinking Water, p.340, Sin Kwang Publishing Co., Seoul.
10. Metcalf & Eddy (2003), Wastewater Engineering : Treatment and Reuse, 4rd ed., pp1345~1446, McGraw-Hill, New York.
11. Jang, A. H., S. Kim, and I. S. Kim (2000), Effect of nitrate and nitrite load on denitrification reaction in anoxic biofilm reactor, *J. of KSEE.* 22(9), 1617-1625.
12. Han, S., Y. H. Seon, and S. K. Koh (2002), Microbe adhesion and organic removal from synthetic wastewater treatment using polypropylene media modified by ion-assisted reactions, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 17(3), 235-240.
13. Wett, B. and W. Rauch (2003), The role of inorganic carbon limitation in biological nitrogen removal of extremely ammonia concentrated wastewater, *Wat. Res.* 37, 1100-1110
14. Seon, Y. H. (2003), A study on the simultaneous removal of organics and nutrients in upflow packed bed column reactor, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 18(3), 234-238.
15. Nam, Y. W. and T. U. Park (2000), Study on installation capacities of wastewater reclamation and reusing system applying to contact aeration process, using cost-benefit analysis, *J. KSEE.* 22(11), 1945-1954.