

연구논문

## 자연정화공법을 이용한 2차 하수처리수의 수질 개선에 관한 연구

안태웅\* · 최이송\*\* · 오종민\*\*\*

경희대학교 대학원 환경응용과학과\*, 경희대학교 환경연구센터\*\*,  
경희대학교 건설환경공학부 · 환경연구센터 · 그린에너지센터\*\*\*

(2009년 3월 13일 접수, 2009년 4월 20일 승인)

### A Study on the Quality Improvement of Secondary Treatment Effluent Utilize the Natural Purification Method

Ahn, Tae Woong\* · Choi, I Song\*\* · Oh, Jong Min\*\*\*

Department of Environment Applied Science, Kyung Hee University, Korea\*

Center for Environmental Studies, Kyung Hee University, Korea\*\*

Center for Environmental Studies · Green Energy Center, Kyung Hee University, Korea\*\*\*

(Manuscript received 13 March 2009; accepted 20 April 2009)

### Abstract

This study was performed for the application of porous concrete blocks and aquatic plants for the water purification in small urban stream. This study investigated the ability of water purification according to various environments, algae and aquatic plants. When the porous concrete was used as contact media, the average removal efficiencies of SS, BOD and COD were 85~95%, 50~60% and 65~75%, respectively. Also, when the porous concrete and aquatic plants was used the average removal efficiency of SS, BOD and COD were 90~95%, 60~70% and 70~80%, respectively. As the results, average removal efficiency of total nitrogen, at the condition of the porous concrete and aquatic plants, was about 40-50%, then, that of total phosphorus was about 60-70%.

Keywords : porous concrete blocks, water purification, contact media

## I. 서론

최근 미처리된 생활하수나 축산폐수가 흘러들어 결과적으로 하천 및 호소를 오염시키는 주요 원인의 하나로 인식되고 있다. 이에 대한 대책으로 대규모 하수도 사업, 마을 하수도 등의 각종 환경기초시설에 대한 투자가 실시되고 있으나, 하천 및 호소의 오염물질에 대한 처리를 위한 근본적인 대책이 필요한 실정이다. 이러한 상황에서 오염된 하천수를 분류 혹은 호소에 유입되기 이전에 처리할 수 있다면 수질보전 및 환경 보전 상으로도 바람직할 것이다. 또한 국민 생활수준의 향상으로 문화적, 정서적 욕구가 증대되면서 하천은 우리와 함께 더불어 살아가야 하는 자연 생물체의 삶의 공간이 되었고, 자연 생태 교육장으로 재인식되면서 하천의 이·치수 관리뿐만 아니라 종합적인 하천환경관리의 필요성이 대두하게 되었다. 수변 식생대를 조성하는 식물들은 정화식물로서 하천 부영양화의 원인이 되는 질소와 인을 성장의 필수 영양분으로 흡수하여 2차 하수처리수 및 하천수질을 개선하는 기능을 가지고 있다. 또 여재를 이용한 접촉산화법은 부착된 미생물을 이용하여 자정 작용을 촉진, 증대시킴으로서 하천 수질을 개선시킬 수 있다.

외국에서는 자연 수역에서의 수생식물 정화효과에 대한 연구가 주로 현장조사 방법을 사용하여 진행됨으로써 이들 수생식물, 특히 정수 식물들과 수목류가 갖고 있는 수질정화능력의 중요성이 부각되었고 많은 연구자들이 수질정화의 방법으로 수생식물을 활용하는데 관심을 갖게 되었다. 식물을 이용한 자연정화에 대한 연구는 1970년대 부상된 이후 유기물과 영양물질 및 유해물질의 처리를 위한 기존의 물리 화학 및 미생물학적 처리방법의 보완책으로 제시되었으며, 수질정화와 친수 공간의 확보를 겸한 습지조성을 위해 광범위하게 적용되었다. 여재를 이용한 접촉산화법은 하천뿐만 아니라 정수 처리 등의 처리공정에서 다양하게 적용하여 연구가 시행되어왔다. 또한, 여재를 이용한 수질정화를 현장에서 수행한 사례는 자갈접촉산화 방식으로, 대도시 주변 하천에서 일부 적용되어 왔으나, 현장에

서의 유지관리 비용과다 및 홍수시 여재의 막힘 현상 등으로 현재는 중단된 사례가 대부분이다.

최근 자연에 가장 가까운 환경 친화적 공법에 대한 관심이 집중되어 환경 친화적 소재를 이용한 치수 및 수질정화에 대한 연구가 진행되고 있으나 아직 외국에 비해 국내의 연구가 미흡한 상황이다. 이에 본 연구에서는 건설비와 유지비가 적게 들고 관리가 용이하며 친환경 공법인 여재와 식물을 이용한 자연정화 공법을 이용하여 하수 처리장의 방류수를 대상으로 잔류오염물 제거를 실험함으로써, 수질 정화와 친수 기능 회복을 위한 수질 개선 효과를 검증해 보고자 한다.

## II. 실험장치 및 방법

### 1. 실험장치

본 연구에서는 식물과 여재를 동시에 이용한 자연정화공법을 2차 하수처리수의 오염물질의 제거능력을 평가하기 위해서 자체 제작되어진 반응조에 다공성콘크리트를 침지 후 식물을 식재시켰다. 그리고 일정기간 동안 2차 하수처리수를 유입하여 유입수와 유출수를 분석함으로써 다공성콘크리트와 식물의 자연정화공법을 이용한 오염물질 정화능력을 검토하였다. 또한, 접촉산화 공정의 여재인 자갈, 콘크리트, 타이어와의 유기물 처리효율을 비교, 분석하였다. 본 연구에 사용된 반응조는 80 mm 두께의 투명 아크릴을 이용하여 2개의 반응조를 3 SET를 제작하였다(그림 1). 폭 200 mm, 길이 500 mm, 높이 300 mm 크기의 반응조에 높이 60~90cm, 앞 길이는 90 cm 안팎이며, 너비가 2~3 cm 노랑 꽃창포(*Iris pseudoacorus* LINNAEUS.)를 식재하였고, 폭 200 mm, 길이 300 mm, 높이 200 mm 크기의 반응조에 다공성 여재를 침지시켰다. 또한 매일 75 l의 시료를 채수하여 실험에 사용하였다. 반응조의 총용적은 32.52 l이고, 물리적으로 일부 부유물질을 제거하고 유속의 흐름을 조절하기 위하여 반응조에 정류판을 설치하였다.

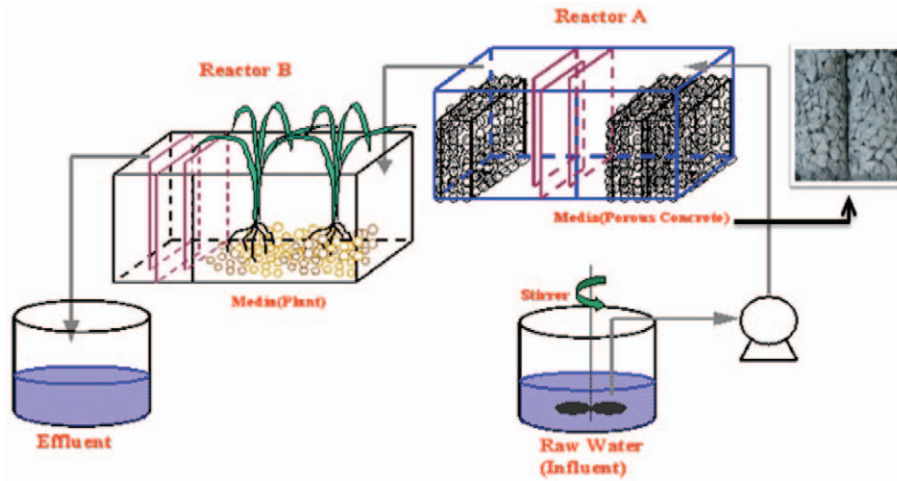


그림 1. 자연정화공법을 이용한 실험장치

## 2. 실험방법

본 연구에 사용된 시료는 경희대학교 하수처리장의 2차 하수처리수를 채취하였으며, 현장 수질조사를 위해 수회 시료를 채취하여 수질을 분석하였다. 본 연구의 실험 항목은 pH, EC, 수온, DO, SS, BOD, COD, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, T-N, T-P, Chl-a를 측정하였으며, 실험항목별 실험방법은 표 1에 나타내었다.

표 1. 수질 분석항목 및 분석방법

Items	Analysis Method
DO	Azide Modification, DO Meter Method(YSI Mo.58)
pH	pH Meter(WTW pH 330)
EC	EC Meter(HANNA)
SS	Vacuum Filtration(Glass Fiber Filters, GF/C)
BOD	Azide Modification, DO Meter Method(YSI Mo.58)
COD	Standard method
NH <sub>4</sub> -N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
NO <sub>2</sub> -N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
NO <sub>3</sub> -N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
T-N	Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method
T-P	Ascorbic Acid Method

## 3. 2차 처리 방류수의 수질분석 결과

본 연구에 사용된 유입수는 2차 하수처리수를 채취하여 사용하였다. 현장 방류수의 수질 분석 결과, 수온 평균 17°C, EC 평균 835 μs/cm, pH 평균 7.46, DO 평균 8.31 mg/L을 나타내었으며, 부유

물질(SS)의 농도는 12.73 mg/L(범위 16.25~9.2 mg/L)로 나타났으며, 생물화학적 산소요구량(BOD)이 8.97 mg/L(범위 12.36~5.53 mg/L)로 나타났다. 또한, 총인(T-P) 농도는 4.51 mg/L(범위 4.99~4.02 mg/L)로 나타났으며, 총질소(T-N)의 경우 9.66 mg/L(범위 13.95~5.31 mg/L)로 관측되었다. 다른 항목에 대한 분석 결과는 표 2에 나타내었다. 본 연구에 사용된 방류수는 방류수 수질 기준에 적합하므로, 여재와 식물을 이용한 자연정화공법을 적용하여, 2차 하수처리수의 수질 개선 방안을 연구하기에 적합한 조건으로 관측되었다.

표 2. 2차 하수처리수의 분석 결과

항 목	Maximum	Minimum	Average
pH	7.73	7.19	7.46
EC(μs/cm)	1078	592	835
수온(°C)	19.8	14.2	17
SS(mg/L)	19.8	6.4	12.73
DO(mg/L)	10.82	5.79	8.31
BOD(mg/L)	12.36	5.53	8.97
COD(mg/L)	20.8	7.4	12.7
NO <sub>2</sub> -N(mg/L)	0.36	0.16	0.24
NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	2.13	1.70	1.89
NH <sub>4</sub> -N(mg/L)	4.83	4.09	4.46
T-N(mg/L)	13.95	5.31	9.66
T-P(mg/L)	4.49	4.02	4.5
Chl - a(μg/L)	6.25	2.15	4.2

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 접촉여재 종류 및 부착미생물군집량에 따른 유기물 처리효율 검토

##### 1) 접촉여재 종류에 따른 유기물 처리효율 검토

접촉여재 종류에 따른 유기물질에 대한 처리효율을 검토하기 위해 자갈, 콘크리트, 타이어 여재들과 다공성콘크리트의 처리효율을 비교·검토하였다. 본 연구에 사용된 다공성 콘크리트 여재는 입경 5~20 mm의 쇄석을 혼합하였을 때 20~35%의 공극율로 나타났다. 표 3에는 자갈(공극율 : 57.3%), 콘크리트(공극율 : 60%), 타이어(공극율 : 64%)를 이용한 접촉산화 공정과 다공성콘크리트(공극율 : 30%)를 이용한 경우의 SS, COD, BOD 처리효율을 비교하여 나타내었다. 다공성콘크리트를 이용한 경우가 SS(92%), COD(58%), BOD(72%)의 높은 처리효율로 나타났고, 자갈, 콘크리트, 타이어를 이용한 경우보다 높은 유기물 처리효율을 보여주고 있는 것으로 관측되었다. 이러한 결과는 다공성콘크리트가 다른 여재들에 비해 비표면적이 크고, 다양한 공극

이 존재하기 때문에 다양한 생물이 서식할 수 있고, 내부까지 연속한 공극이 형성되어있기 때문에 자갈, 콘크리트, 타이어에서 구성되는 공간에 비해 공간형상이 훨씬 복잡하므로 다양한 생물이 내부까지 서식하고, 다양한 생물군이 형성된 것으로 판단된다. 또한 표면에는 호기성 미생물의 부착과 동시에 내부에는 혐기성 미생물의 서식공간이 형성되어 높은 유기물 처리효율을 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 자연정화공법을 통한 방류수 수질 개선 연구에 다공성 콘크리트를 여재로 사용하였다.

##### 2) 부착 미생물 군집량의 변화에 따른 유기물 처리효율 검토

그림 2에는 Batch test에서 사용된 부착 미생물량의 변화와 부착 미생물량에 따른 유기물 농도 변화를 나타내었다. 또한, 부착 미생물 군집량 변화에 따른 유기물 제거효율은 그림 3에 나타내었다.

초기 유입수 유기물 농도는 28 mg/L(DOC 농도)로 방류수와 Glucose를 사용하여 조제하였고, 외부 환경조건은 pH 7.8~8.5, DO농도 6~8 mg/L, 수온 16~18℃로 모두 같은 조건하에서 실험을 실시하

표 3. 접촉여재에 따른 유입수와 유출수 농도 및 제거효율 비교 검토

Items	Media	Gravel		Concrete		Tire		Porous Concrete	
		Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent
SS(mg/L)		13.5	2.6	13.5	4.1	13.5	4.3	20	1.6
Removal efficiency(%)		80		70		68		92	
COD(mg/L)		15.1	8.0	15.1	9.0	15.1	6.7	14.6	6.0
Removal efficiency(%)		47		40		55		58	
BOD(mg/L)		13.2	5.5	13.2	6.8	13.2	4.2	12.2	3.4
Removal efficiency(%)		58		49		68		72	

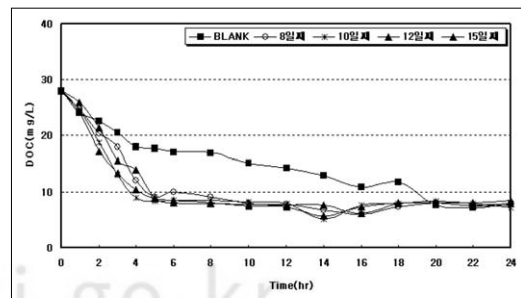
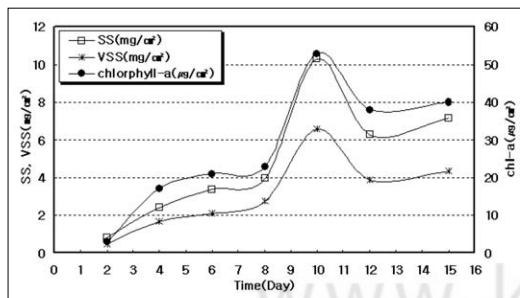


그림 2. Batch test에서의 부착미생물량 변화 및 수질정화능력 검토

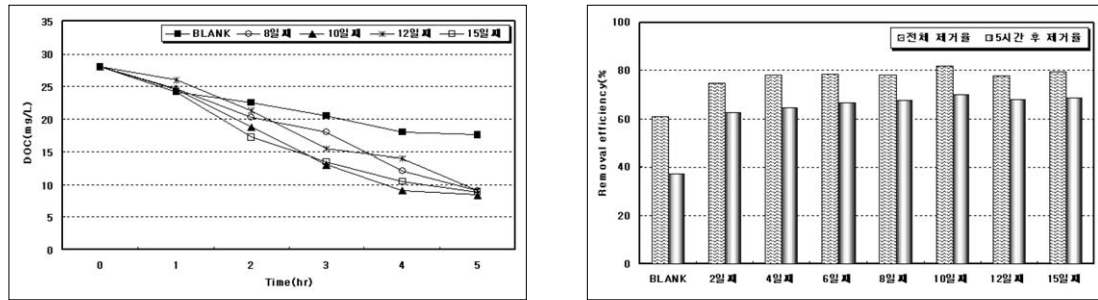


그림 3. 부착 미생물 군집량 변화에 따른 유기물 제거효율

였다. 부착물 없이 실험을 실시한 경우 수중에 포함되어 있는 부유 미생물에 의해 시간변화에 따른 유기물의 제거효율이 나타나지만 감소되는 시간이 오래 걸리고, 처리효율은 다른 부착미생물을 이용한 것과 비교할 때 상대적으로 낮은 것으로 조사되었다. 본 연구에서 사용된 부착 미생물량은 초기에 서서히 증가하면서 10일째에 가장 높은 부착 미생물량이 나타났으며, 12, 15일째에는 조금씩 부착 미생물량이 감소하는 경향이 나타났다. 부착 미생물량이 가장 높게 조사된 10일째 부착판을 이용한 경우 14시간 경과 후 약 82 %의 가장 높은 제거효율을 나타내었으며, 유기물 제거에 필요한 시간도 14시간으로 가장 빠른 시간 안에 많은 양의 유기물이 제거되는 것으로 관측되었다. 2, 4, 6, 8, 12, 15일째 부착판을 이용한 경우 각각 부착 미생물량 변화에 따른 작은 차이는 있으나 일반적으로 16시간이 경과한 시점에서 최저의 유기물 농도가 나타났고, 제거효율 측면에서도 약 75~79%로 비슷한 경향이 나타났다. 부착량이 많은 경우 초기에 제거되는 유기물량이 높은 반면 부착량이 적은 경우는 서서히 유기물이 제거되는 경향이 나타났다. 각각 최저 유기물 농도를 나타낸 16시간 경과 후에는 부착미생물의 정착성이 약해지면서 발생하는 탈리 현상과 부착미생물의 재생산에 따라 유기물 제거효율이 증감되는 현상을 보여주고 있다. 부착량 변화에 따른 시간당 유기물 제거율을 살펴보면, 부착량이 가장 많은 10일째 부착판을 이용한 경우가 가장 높은 유기물 제거율을 나타내는 것으로 나타났다. 본 연구에 나타난 부착 미생물 군집량 변화에 따른 유기물 제

거효율을 살펴보면 약 5시간 경과 후에 전체 제거효율 중 85% 이상의 제거효율을 보이고 있다. 따라서 부착 미생물량 변화에 따른 작은 차이는 있지만 일반적으로 약 5시간 정도의 시간 안에 분해되어질 수 있는 모든 유기물의 분해가 이루어진다고 판단된다.

## 2. 자연정화공법을 이용한 수질정화 효율 검토

### 1) 부유물질 및 유기물질의 제거효율 변화

본 연구에서의 실험기간동안의 유입수와 유출수의 부유물질 및 유기물질의 제거효율 변화를 그림 4에 나타내었다. 운전기간 동안 조사된 유입수의 평균 부유물질의 농도는 12.9 mg/L, 유출수의 평균 농도는 1.6 mg/L로 조사되어, 평균 90.2%의 높은 처리효율을 나타내었다. 여재만을 이용한 부유물질의 처리효율보다 여재와 식물을 이용하여 처리 시 효율이 증대되는 것으로 관측되었다. 유기물질의 경우, 유입수의 평균 BOD 농도는 8.97 mg/L로 나타났고, 최종 유출수의 평균 BOD 농도는 3.13 mg/L로 조사되어 평균 70.12%의 처리효율로 나타났다. 여재만을 이용한 BOD 처리효율보다 여재와 식물을 이용하여 제거효율이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 유입수의 평균 COD 농도는 12.7 mg/L, 최종 유출수의 평균 COD 농도는 5.9 mg/L로 나타났으며, 평균 63.5%의 높은 처리효율로 나타났다. 여재만을 이용한 COD 처리효율보다 여재와 식물을 이용하여 처리 시 효율이 증대되는 것으로 관측되었다. 따라서 여재만을 이용하였을 때보다 여재+식물을 이용하였을 때 유기물 및 부유물의 제거효율이 증가하는 것으로 나타났다.

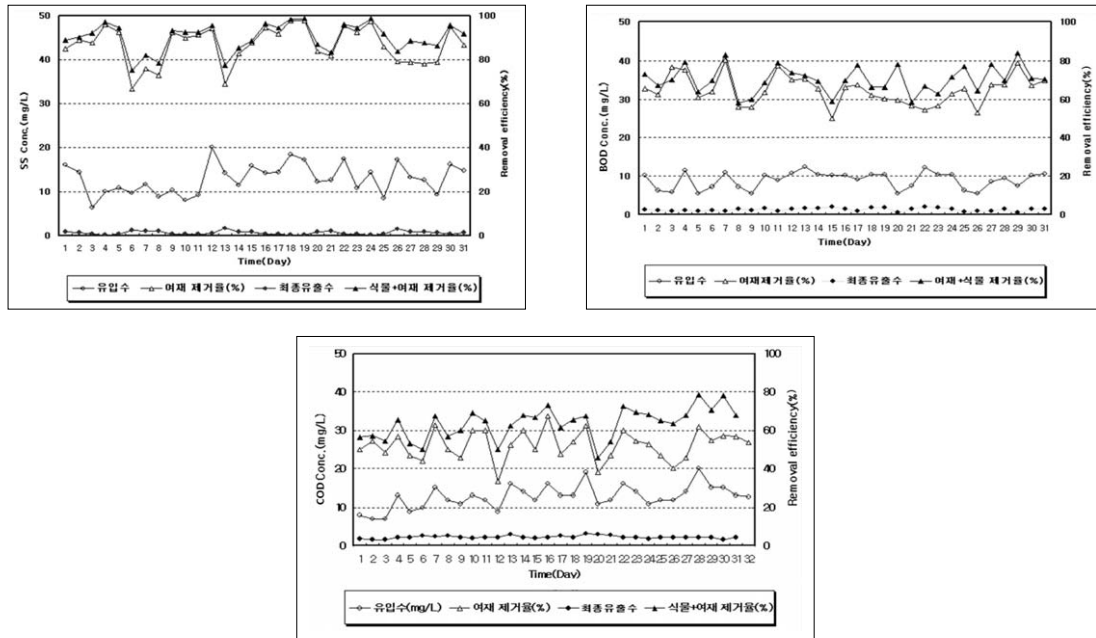


그림 4. 시간에 따른 부유물질 및 유기물 농도 및 제거효율 변화

2) 영양물질의 제거효율 변화

본 연구에서의 실험기간동안의 유입수와 유출수의 영양물질의 농도 및 제거효율 변화를 그림 5에 나타내었다. 운전기간 동안 조사된 유입수의 평균 T-N 농도는 9.66 mg/L, 최종유출수의 평균 T-N 농도는 7.63 mg/L로 조사되어 평균 44.26%의 처리효율을 나타내고 있다.

여재만을 이용한 처리 시, 질소와 인의 제거율이 다른 항목에 비해 낮았다. 여재와 식물을 이용한 처리 시 여재만을 이용한 처리보다는 제거율이 증가하여 비교적 양호한 처리효율로 나타났다. 실험기간동안 조사된 유입수의 평균 T-P농도는 4.5

mg/L, 최종 유출수의 평균 T-P농도는 1.70 mg/L 조사되어 평균 61.83%의 처리효율로 나타났고, 여재만을 이용한 오염물질의 처리보다 여재와 식물을 이용한 자연정화공법을 적용할 때 더 높은 처리효율을 보였다.

3. 자연정화공법의 유입부하에 따른 처리효율

1) 부유물질 및 유기물질의 유입부하에 따른 제거효율

본 연구에서의 실험기간동안의 부유물질 및 유기물질의 유입부하변동과 처리효율을 비교한 그림 6에서 보면, 유입수의 SS 부하율이 0.007~0.022

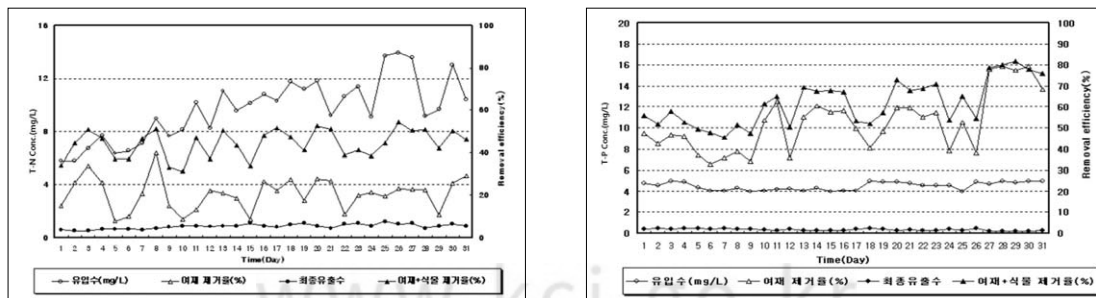


그림 5. 시간에 따른 영양물질 농도 및 제거효율 변화

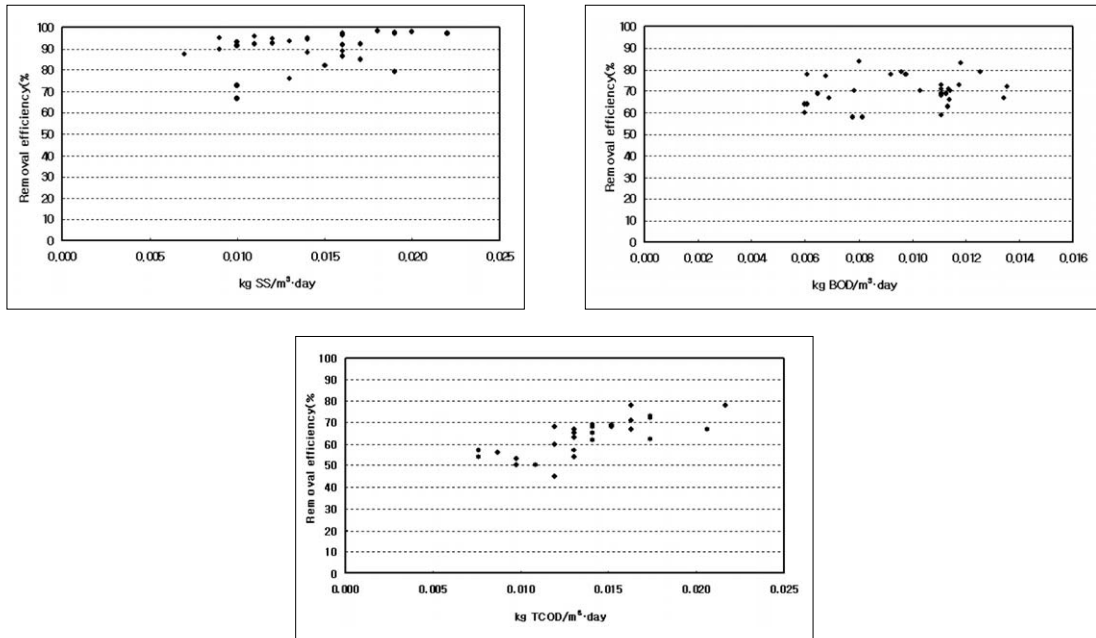


그림 6. 부유물질 및 유기물질의 유입부하에 따른 처리효율 비교

kg SS/m<sup>3</sup> · day에서 약 90%이상의 높은 처리효율을 나타내어 SS의 경우 심한 부하변동에 따른 유출수 처리효율의 변화가 크지 않을 것으로 판단된다.

BOD 부하변동과 처리효율과 관계를 보면, 실험 기간동안 0.006~0.014 kg BOD/m<sup>3</sup> · day의 부하를 보여주고 있으며, 평균 유입부하는 0.0097 kg BOD/m<sup>3</sup> · day로 분석되었고, 유입부하 0.008 kg BOD/m<sup>3</sup> · day와 0.012 kg BOD/m<sup>3</sup> · day 부하에서 약 83%로 가장 높은 BOD 처리효율을 나타내는 것으로 나타났다. 그리고 COD 부하변동과 처리효율과 관계를 비교하면, 실험기간동안 0.008~0.022 kg COD/m<sup>3</sup> · day의 부하를 보여주고 있

며, 유입부하 0.022 kg COD/m<sup>3</sup> · day 부하에서 약 78%로 가장 높은 COD 처리효율을 나타내는 것으로 조사되었다.

## 2) 영양물질의 유입부하에 따른 제거효율

본 연구에서의 실험기간동안의 영양물질의 부하변동과 처리효율과 관계를 비교한 그림 7에서 보면, 유입부하는 0.006~0.015 kg TN/m<sup>3</sup> · day로 나타났으며, 유입부하가 0.015 kg TN/m<sup>3</sup> · day로 약 54%로 가장 높은 T-N 처리효율을 나타내는 것으로 나타났다. 그리고 T-P 부하변동과 처리효율의 관계를 비교하면, 유입부하는 0.004~0.005 kg

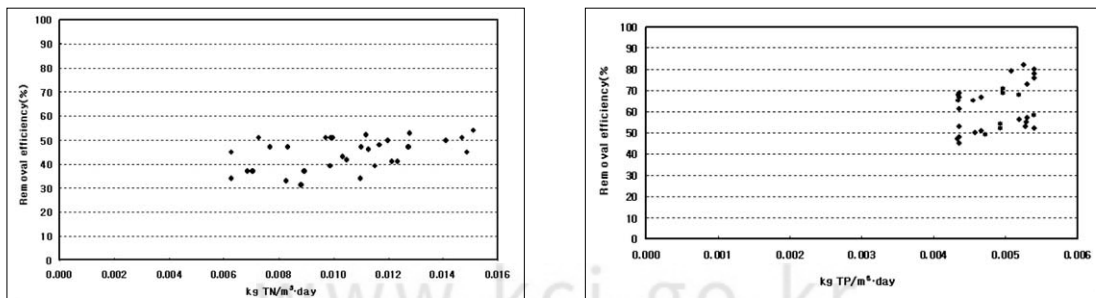


그림 7. 영양물질의 유입부하에 따른 처리효율

TP/m<sup>3</sup>·day의 부하를 보여주고 있으며, 유입부하 0.0053 kg TP/m<sup>3</sup>·day 약 82%로 가장 높은 T-P 처리효율로 나타났다.

#### IV. 결론

식물과 여재를 이용한 자연정화공법을 이용한 2차 하수처리수에 대한 수질정화 효과를 검토한 결과, 실험장치에 유입한 유입수의 평균 부유물질의 농도는 12.9 mg/L로 나타났고, 여재와 식물을 지나 유출된 최종유출수의 부유물질의 농도는 1.2 mg/L, 부유물질의 평균 유입부하는 0.016 kg SS/m<sup>3</sup>·day, 여재만의 제거율 86.65%, 여재와 식물을 이용한 자연정화공법의 적용시 90.19%의 제거율을 보였다. 이 결과를 통해 식물과 여재를 이용한 자연정화공법을 2차 하수처리수의 오염물질 저감에 적용시 SS의 효과적인 제거가 가능하다고 판단된다.

실험장치에 유입한 유입수의 평균 COD 농도는 12.7 mg/L로 나타났고, 여재와 식물을 지나 유출된 최종유출수의 COD 농도는 4.5 mg/L로 나타났다. 또한, COD의 평균 유입부하는 0.015 kg COD/m<sup>3</sup>·day로 나타났고, 여재만을 통한 제거율 52.3%로 나타났으며, 여재와 식물을 이용한 자연정화공법의 적용시 63.5%의 제거율로 나타났다. 이 결과를 통해 자연정화공법 적용시 COD의 제거가 여재만을 이용한 처리보다 제거효율이 증가하였다. 또한, 반응조에 유입한 유입수의 평균 BOD 농도 8.97 mg/L, 여재와 식물을 지나 유출된 최종유출수의 BOD 농도 4.5 mg/L, BOD의 평균 유입부하 0.010 kg BOD/m<sup>3</sup>·day, 여재만을 적용시 제거율은 64.72%, 여재와 식물을 이용한 자연정화공법의 적용시 70.12%의 제거효율로 나타났다. 이와 같은 결과를 통해 자연정화공법 적용시 BOD가 약 5.4% 더 제거가 가능한 것으로 나타났다.

반응조에 유입한 유입수의 평균 T-N 농도는 9.66 mg/L로 나타났고, 여재와 식물을 지나 유출된 최종유출수의 T-N 농도 5.32 mg/L, T-N의 평균 유입부하 0.011 kg T-N/m<sup>3</sup>·day, 여재만의 제거율 20.68%, 여재와 식물을 이용한 자연정화공법의

적용시 44.26%의 제거효율을 보였다. 이 결과를 통해 여재만을 적용했을 때 T-N 제거율이 크지 못하는데 비하여 자연정화공법 적용시 제거율이 크게 향상될 수 있음을 시사한다. 또한 평균 T-P 농도는 4.5 mg/L, 여재와 식물을 지나 유출된 최종유출수의 T-P 농도는 1.7 mg/L, T-P의 평균 유입부하는 0.005 kg T-P/m<sup>3</sup>·day, 여재만의 제거효율은 52.51%로 나타났으며, 여재와 식물을 이용한 자연정화공법의 적용시 61.83%의 제거율을 보였다. 여재만을 적용했을 때 T-P 제거율보다 자연정화공법 적용시 약 10% 제거율이 증가하는 것으로 나타났다.

식물과 여재를 이용한 자연정화공법은 미처리된 2차 하수처리수의 수질 개선뿐만 아니라 친수기능 및 생물권 회복이라는 의미에서 그 의의가 크다고 할 수 있다. 또한 자연정화공법은 시공비가 고도처리에 비해 저렴하며, 유지관리가 용이하고, 인력 사용 면에 있어서도 효율적으로 관리가 용이할 것으로 판단된다. 특히, 여재 중에서 다공성콘크리트를 이용한 수질정화 기법은 다른 여재와는 달리 수질정화 기능뿐만 아니라 연속된 내부 공극과 넓은 표면적을 가지고 있어 물의 투수와 공기의 흐름이 가능하여 식물의 성장과 동물과 박테리아가 자연적인 환경과 조화되어 서식할 수 있는 공간이 제공되어져 친수적인 기능과 자연생태계의 보존이라는 측면에서 기여가 클 것으로 판단된다. 또한 자연정화공법의 식물에 의한 정화를 통해, 여재만으로 오염물질이 처리되지 못한 유기물의 높은 제거효율도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 사 사

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심B01)의 연구비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

곽병찬, 1999, 생물막공법을 이용한 질소·인 제거, 중앙대학교 토목공학과 대학원 석사논문.

- 김현우, 1998, 하경, 주기재, 한국환경과학회, 상류 하천에서의 인공저층을 이용한 부착조류의 생체량 측정을 위한 노출기간 평가, 7(1), 112-115.
- 김현주, 윤해순, 김진수, 김현우, 주기재, 1997, 한국육수학회, 산지하천에서 빛과 초식에 의한 부착조류의 생체량 변화, 30(4) 385-392.
- 김진춘, 김기수, 최광일, 오희갑, 다공성콘크리트의 기초적 특성과 녹화실험, 쌍용중앙연구소, 153-159.
- 나규환, 권성환, 이장훈, 1996, 수생식물을 이용한 수질정화에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 22(3), 49-55.
- 심우섭, 한인섭, 1998, 한국환경과학회지, 울산지역에서 자생하는 갈대, 부들, 갈풀을 이용한 Reed-Bed의 생활하수 정화능력 연구, 7(2), 117-121.
- 진서형, 1999, 다공질 여재에 부착한 생물막의 기질 제거특성에 관한 연구, 서울시립대학교 환경공학과 대학원.
- 정연식, 1998, 포러스콘크리트의 특성과 용도, 동양중앙연구소, 23-31.
- 閔敬珍, 1998, 固定 生物膜 裝置를 利用한 窒素除去 效率 比較, 漢陽大學校 大學院.
- 崔以松, 1996, 觸酸化法의 濾材 및 滯留時間에 따른 處理效率에 관한 研究.
- 玉井 元治, 河合 章, 來田, 1994, 生態系를 考慮した 콘크리트, 社團法人資源素材學會, (4)1, 41-48.
- 古川 憲治, 中川 雅世, 玉井 元治, 藤田 正憲, 1991, 多孔性콘크리트블록을 이용한 開水路의 淨化機能에 關する 研究, 日本水處理生物學會誌, 27(1), 67-75.
- 金子 文夫, 橋本宏治, 1995, ポーラス콘크리트를 利用した 生物的水質淨化方法, 自然環境との 調和를 考慮した 에코콘크리트의 現代와 未來展望에 關する 시놉조움 論文報告集, 67-69.
- 伊藤昌昭, 近藤義春, 石丸寬, 金子文夫, 1995, 自然環境との 調和를 考慮した 에코콘크리트의 現代와 未來展望에 關する 시놉조움 論文報告集, 67-69.
- 金子 文夫, 片倉, 徳男, 岡田, 美徳, 1998, 에코콘크리트による 水質淨化, 콘크리트工學, 36(3), 46~48.
- Takana, Miyajima, Funakosi and Chida, 1995, Filtration of Municiple Sewage by Ring Shaped Floating Plastic Net Media, *Wat. Res.*, 29(5), 1387-1392.
- Thorsten D. Mosisch, Syuart E. Bunn, Peter M., and Davies, 1999, Effect of shade and nutrient manipulation on periphyton growth in a subtropical stream, *Aquatic botany*, 64(2), 167-177.

최종원고채택 09. 04. 21