

# 인공습지와 기계적 처리요소를 연계한 마을하수 처리기술의 개발

이치타오\*, 권태영\*\*, 박동소\*\*\*, 김영철\*  
\*한서대학교 환경공학과, \*\*(주) 자연과환경  
\*\*\*한서대학교 건축공학과  
e-mail:ykim@hanseo.ac.kr

## Decentralized Sewage System Coupling Mechanical Elements with Constructed Wetland

Qitao Yi\*, Tae-Young Kwon\*\*, Tong-So Park\*\*\*, Y.C Kim\*  
\*Dept. of Envir. Eng., Hanseo University  
\*\*Nature and Environment Inc.  
\*\*\*Dept. of Architectural Eng., Hanseo University

### 요 약

기계적인 요소와 자연적인 요소를 연계한 마을하수처리 실증플랜트의 가동후 공정별 수질분석 및 자료수집개시: 2008년 9월20일에 착수하여 1주에 1회 간격으로 현재까지 공정별 26회의 현장방문과 수질 조사를 실시하였다. 질산화 전환율은 70~80%로 훌륭하나 탈질은 탄소원 부족으로 저조하였다. 그 이유는 유기물질은 전처리 단계인 바이오필터에서 대부분 제거되었기 때문에 참여기업과 협의하여 바이오 필터 체류시간 감축방안 수립하여 운영한 결과 탈질효율을 향상시킬 수 있었다. 유기물질 제거효율은 상시적으로 90% 이상의 제거효율 달성할 수 있었다.

### 1. 서론

우리나라 농촌의 생활환경은 과거 수십 년 동안 환경개선을 위한 기초투자의 빈약으로 늘어나는 오염 부하량에 대한 정화능력이 미미한 형편이다. 하수 발생량과 시설의 규모가 작은 소규모 하수처리시설은 기존 하수도법에 규정된 절차이행이 힘들고 운영 관리 인력의 현장 상주가 어려우며 시설예산 부족 등으로 시설 설치 우선순위가 낮았다. 농어촌의 인구 변화, 산업구조의 변천 및 농어촌의 현대화에 따른 오수처리시설이 고안되어야 하고 처리시설의 도입과 적용에 있어 각 특성에 맞는 시스템 창안과 오수처리 후 재이용이 고려되어야 한다. 아울러 농촌에는 생태학적 개념을 적용하여 오수의 자연적 정화와 재이용 시스템을 설치하는 것이 바람직하다. 마을하수처리시설에 대한 전문지식 및 경험의 부족으로 관리 기술에 대한 뒷받침이 없어 운전 중 문제발생

시 처리시설이 제 기능을 발휘하지 못하게 되는 경우가 많다. 담당인력의 부족으로 처리시설의 체계적인 점검과 유지보수 등이 원활하지 못하다. 우리나라 대부분의 소규모 하수처리시설 설치지역의 운전 및 유지관리 전담 관리자는 해당 지자체의 일반 행정직 직원이 배치되는 경우가 허다하다. 따라서 전문을 요하는 운전 및 유지보수가 원활히 이루어 질 수 없고 지역에 따라서는 한 명의 담당자가 시설을 관리하기에는 매우 힘든 처리시설이 많고 각 시설 간 이격 거리가 멀어 혼자 점검하기에는 불가능한 것이 현실적인 어려움이다. 이에 필요한 전문기술 습득을 위한 기술교육도 중첩된 업무의 과중으로 수료가 힘든 형편이며 빈번한 인자변동으로 경험축적의 지속성이 없는 상태이다. 현행 하수도 관리규정은 처리시설에 대한 유지관리 점검으로 해당 시, 군의 담당자가 월 1회 이상 자체적인 시료채취 및 분석을 시행하고 결과에 대한 기록 유지

를 준수하도록 되어 있다. 따라서 외부로부터 운전관리에 대한 객관적인 점검이나 상태파악 등이 없으므로 운전 및 유지관리와 관련한 상위기관으로부터 어떠한 감독도 받지 않는 체계이므로 이에 대한 보완이 필요한 실정이다.

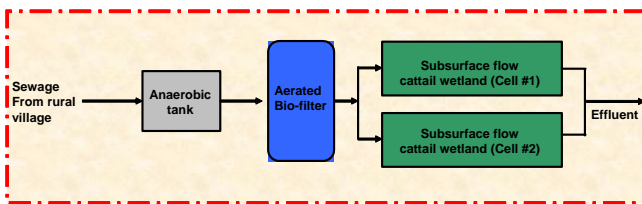
시설 설치 후 유지관리를 위한 계획 수립에서 가장 고려되어야 할 사항은 유지관리 비용 및 운전의 용이성과 방류수 허용 기준을 만족하는 처리효율을 얻을 수 있는 기술이 적용되도록 하는 일이다.

상기한 기존의 마을하수도가 가지고 있는 문제점을 해결하고 부지확보 가능성이 마을 단위의 소규모 분산지역에서 1차, 2차 처리는 기존의 범용 기계식 처리 시스템을 도입하고, 방류수계의 특성상 처리수질의 향상이 필요할 경우 추가적인 2차 처리와 함께 영양소, 병원성 미생물의 제거를 목표로 하는 자연처리법의 적용을 고려해볼만하며, 최종 방류수의 수질향상을 위한 방안으로 기계적, 생물학적인 공법 일련도에서 탈피하고, 국내 여건에 적합한 생물학적 처리공정과 자연정화처리 공정을 통합한 마을하수도 시스템 개발이 필요한 시점으로 판단된다.

## 2. 실험방법 및 재료

### 2.1 처리공정

[그림 1]에는 처리공정도 및 각 공정의 제원, 운영조건을 제시하였다. 공정의 구성은 혐기조, 포기식 바이오필터, 지하 흐름형 습지로 되어있다. 수리학적 체류시간(HRT)은 최소 24시간에서 최대 48hrs이 되도록 용량을 결정하였다.



Items	Anaerobic Tank	Bio-filter	SSF Wetland
Number of tanks	3	3	2
Number of cells	-	-	4
Length (Diameter) (m)	3.2	2.1	11.2
Width and depth (m)	2.0/3.0	2.9	2.3/1.1
Volume (m <sup>3</sup> )	19.2	10.0	28.3
Hydraulic retention time (hr)	10.7~19.2	5.6~10.0	11.0~19.8

[그림 1] 처리공정도 및 단위공정의 제원

처리시설은 [그림 2]에 제시한 것처럼 처리공정의 자연채광 온실화 및 공원화를 통하여 동절기에도 운전이 가능하고 마을 주민에게 휴식공간을 제공할 수 있도록 하였다(충남 공주시 자연과 환경 보유: 마을

하수도 실증 플랜트).



[그림 2] 처리시설의 온실화

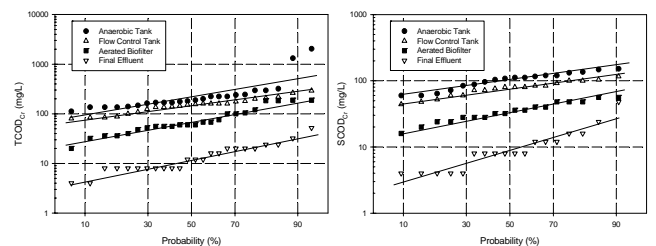
### 2.2 처리성능 모니터링 및 평가

모니터링 기간은 2007년 9월 19일에서 2008년 7월15일까지로 평균적으로 1주에 1회 현장방문을 통하여 시료채취와 운영점검 및 유지관리활동을 하였다. 모니터링 항목으로 유량, pH, DO, Alkalinity, Total과 soluble COD, TN, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TP, PO<sub>4</sub>-P였다. 모니터링 기간의 시간적 분포는 식물 성장기와 비성장기로 나누어 실시하였다. 수질분석 방법은 수질오염공정시험법(환경부, 1999), Standard Method(AWWA, WEF, APHA, 1993)에 따라 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 처리성능의 평가

각 공정별 수질을 누적확률그래프로 나타냄으로써 처리성능뿐 만 아니라 시스템의 안정성을 평가하는 도구로 유용하다. 로그확률그래프에서 각 직선의 기울기가 급할수록 처리 안정성이 저하됨을 의미한다. SS의 경우 습지에서 가장 큰 폭의 제거를 보이고 있어 Polishing 기능이 탁월함을 알 수 있다. 자료를 제시하지 않았지만 TP의 제거도 마찬가지로 습지에서의 식물흡수와 여과, 흡착에 의해 제거에 가장 큰 기여를 하고 있다. 마찬가지로 COD, TN, TKN도 동일한 결과를 보이고 있다. 전처리 공정인 기계적 처리공법과 자연형 처리공법이 상호보완적으로 적절한 오염물질 제거기능을 수행하고 있는 것으로 밝혀졌다.



[그림 3] 공정별 유기물질의 누적확률분포

### 3.2 총괄성능평가 지표

처리 시스템의 안정성을 평가할 때 보통 전체 기간의 80%에 해당하는 최종 처리수의 농도( $P_{80}$ )와 10%에 해당하는 농도( $P_{10}$ )의 비, 즉  $P_{80}/P_{10}$ 를 안정도 계수(stability coefficient)를 이용한다. 그림 1의 확률 그래프로부터 처리수의 COD에 대한 안정도 계수는 3.53으로 매우 안정적인 처리성능을 보였고  $P_{10}$ 과  $P_{80}$  COD 농도는 6.5~23.0으로 매우 낮은 수준의 처리가 가능하였다.

자연형 처리공법의 최대 단점은 처리성능이 계절적 요인 즉 기온, 수온에 의해 크게 영향을 받는다는 점이다. 본 연구개발 과제를 통하여 계절적 요인이 처리성능 및 안정도에 미치는 영향을 검토하는 기회를 제공하였다.

본 처리기술에서 COD와 TN의 경우 계절적 요인은 처리성능과 큰 관련이 없는 것으로 보인다. 그러나 TP의 경우 성능( $P_{50}$ )에 있어서 성장기에 효율이 증가하는 것으로 나타났으나 처리 안정도는 비성장기에 비해 불량한 것으로 밝혀졌다.

총괄적으로 본 처리기술을 통하여 마을하수를 처리했을 경우 SS의 경우 평균적으로 98%, 총 COD의 91%를 제거할 수 있다.

그러나 TN과 TP의 경우 제거효율이 30.8%와 36.8%로 상대적으로 낮은 것처럼 보이나 수치는 일반 기계적 처리공법과 비교하여 큰 차이를 나타내는 것은 아니다.

[표 1] 총괄 오염물질 제거효율

Parameters	Maximum (%)	Minimum (%)	Average (%)
SS	100.0	90.2	98.0
Turbidity	95.3	63.4	83.6
TCOD	99.8	66.2	90.7
SCOD	100.0	60.0	87.7
TN	74.8	4.2	30.8
TKN	78.6	-2.1	44.2
NH <sub>3</sub> -N	95.8	8.4	60.2
TP	76.6	-5.5	36.8
PO <sub>4</sub> -P	71.4	-61.9	7.99

### 3.3 질소제거 효율

질소의 제거경향을 파악할 수 있도록 마을하수와 각 공정별 질소를 수중에 존재하는 형태(암모니아, 질산성질소, 유기성 질소 등)별로 검토하였다.

지면부족으로 자료를 제시하지 않았지만 검토한 결과에 따르면 수온이 5°C 정도의 낮게 유지되는 동계 기간에도 안정적으로 총질소의 함량이 대부분 20 mg/L 내외로 처리가 가능한 것으로 나타났음.

또한 최종적으로 배출되는 질소성분의 대부분이 일부 동계기간을 제외하면 상대적으로 암모니아와 유기성질소성분은 매우 낮은 수준으로 감소하였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 수중의 용존산소를 소비시킬 수 있는 잠재성을 사전에 수생 시스템에서 제거해주는 역할을 수행하는 것으로 수계 안정적 측면의 고려로서 필요한 환경 친화적인 처리시스템이라고 판단된다. 기존의 유기물제거 위주의 활성 슬러지 공정의 유출수는 방류수 수질기준(특별대책구역의 질소배출농도 15 mg/L 이하)을 상회하고 있다. 이러한 기존하수처리장의 질소제거를 위해 부산물의 발생을 줄일 수 있으며 환경 친화적인 자연처리시스템을 도입하는 것은 또 다른 대안적인 질소제거 방법이라 판단된다.

### 4. 요약 및 결론

기계적인 요소와 자연적인 요소를 연계한 마을하수 처리 실증플랜트의 가동후 공정별 수질분석 및 자료 수집개시: 2008년 9월20일에 착수하여 1주에 1회 간격으로 현재까지 공정별 26회의 현장방문과 수질조사를 실시하였다. 질산화 전환율은 70~80%로 훌륭하나 탈질은 탄소원 부족으로 저조하였다. 그 이유는 유기물질은 전처리 단계인 바이오필터에서 대부분 제거되었기 때문에 참여기업과 협의하여 바이오 필터 체류시간 감축방안 수립하여 운영한 결과 탈질효율을 향상시킬 수 있었다. 유기물질 제거효율은 상시적으로 90% 이상의 제거효율 달성할 수 있었다.

### 사사

본 논문은 환경부 수생태 복원사업단의 지원으로 이루어진 것으로 감사드립니다.

### 5. 참고문헌

[1] 환경부, 수질오염 공정 시험법, 1999.  
 [2] APHA, AWWA and WEF., *Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater*, 18th edition, Washington D.C., USA 1993.