

인공습지 실험시설의 5년간 결과 및 고찰

Review of 5-year Experimental Data from Treatment Wetland

김 민 희* · 윤 춘 경 (건국대)
Kim, Min Hee · Yoon, Chun Gyeong

Abstract

Field experiment was performed from August 1996 to June 2000. The pilot plant was installed in KonKuk University and the effluent from septic tank of school building was used as an influent to the treatment basin. The treatment basin was composed of sand and reed. Average removal rate of BOD, SS was about 75.9%, 73.4%, respectively. T-P removal rate was about 47.3%, and T-N removal rate was 19.6%. The reason for poor T-N removal might be due to high influent concentration and short retention times. As operation period increased, BOD removal rates were increased, and SS and T-P removal rates did not change significantly, but T-N removal rates were decreased.

1. 서 론

농촌지역이 생활양식의 변화와 주택개량 사업 등으로 인해 물 소비 형태가 도시지역과 유사해 지고 있으며, 그에 따른 오수발생량이 증가하고 있다. 그러나, 농촌지역은 도시와 달리 하수관거가 미비하고 오수처리시설의 보급 및 운영이 쉽지 않아 농촌마을로부터의 오수는 대부분 소하천 및 수계에 그대로 방류되고 있는 실정이며, 이는 수자원의 수질을 악화시키고 상수원 등에 악영향을 주어 공중보건에도 부정적으로 작용한다. 이러한 농촌오수를 효율적으로 처리하기 위해서는 농촌환경과 지역특성을 고려한 저기술적이며 경제적인 소규모 오수처리시설이 적합한데, 이를 위하여 최근에 자연정화방법을 이용한 처리시설 등이 관심을 받고 있다¹⁾. 자연정화처리 방법은 오수를 토양, 식물, 미생물과 같은 자연요소들을 이용해 오폐수를 처리하는 것을 뜻한다. 이런 처리 방법은 인공적으로 설계한 오폐수처리시설에 비해 에너지 소모가 적고, 유지관리가 용이하고, 소요경비가 낮으며, 오니 발생량이 적어 2차 오염의 우려가 적다. 1996년부터 윤 등은 농촌지역에 적합한 오수처리시설의 개발을 위해 자연정화방법 중 인공습지를 이용한 오수처리시설의 시작품을 건국대학교 농업생명과학대학에 설치하여 수년간에 걸친 현장실험을 수행하여 그 연구 결과를 보고한바 있다.

본 연구에서는 5년간에 걸친 인공습지 실험시설의 처리시설 운영에 따른 결과와 처리시설에 미치는 영향 등을 검토하고자 한다.

II. 재료 및 방법

실험에 사용한 오수처리시설은 Fig. 1과 같으며, 수질분석방법은 Standard Methods⁹⁾에 의해 실시하였으며, 자세한 실험시설 및 수질분석방법에 관한 상세한 설명은 윤⁴⁾ 등의 문헌에 잘 나타나 있다. 실험에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

본 오수처리시설은 건국대학교 내에 설치하였고, 세로 8m, 가로 2m, 깊이가 1m이고 경사도는 1%인 콘크리트 구조물에 모래와 갈대를 이식하였다. 오수는 건국대학교 농업생명과학대학 별관에 설치된 정화조의 것을 이용하였다. 정화조의 3부분 중 가장 하단에 위치한 곳을 펌프로 이용해 본 시설의 저류조로 양수하여, 저류조의 자동수위감지 센서를 통해 일정한 양을 처리시설로 유입시키게 된다. 이렇게 유입시킨 양을 Fig. 1의 처리조에서 유입 밸브를 통해 유량을 일정하게 고정시켰다. 1996년 7월부터 1998년 5월까지의 2.5 m³/day 유량을 흘려보냈으나, 체류기간이 1.38일로 너무 짧았기 때문에, 1998년 6월부터 2000년 6월 현재까지는 체류기간이 3.46일인 1m³/day의 유량을 흘려 보내고 있다. 이렇게 이론적인 체류기간이 지난 후 유출수를 채취하여 유입수와 유출수사이의 농도를 비교함으로써 처리효과를 분석하였다. 처리조에 사용한 모래는 공극률(n)이 0.36이고 토성은 삼각분류법(textural triangle)에 의해 sandy loam 형태이다. 갈대는 1996년 7월 말경 팔당호 주변에 서식하고 있는 갈대를 채취하여 처리시설에 이식하였다. 처리조를 운영하는 동안 갈대이외의 식물들이 자연적으로 자랐으나, 인위적으로 갈대 한 종류만을 유지하기 위한 노력은 기울이지 않았다.

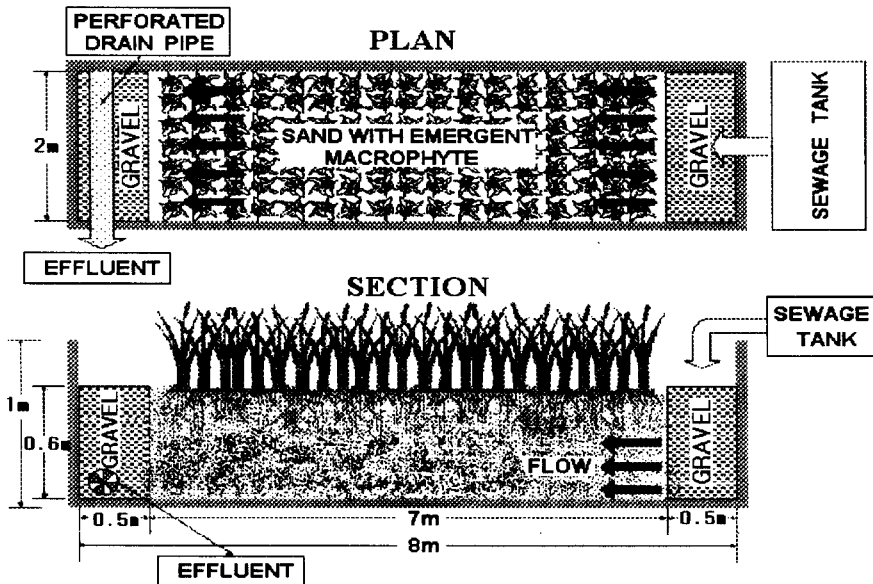


Fig. 1. Schematic plan and section of the constructed wetland system

III. 결과 및 고찰

본 실험은 1996년 여름부터 시작하여 2000년까지 5년간 계속되어 왔지만, 실험 초기의 1996년의 자료는 처리조가 안정화가 되지 않은 상태이어서, 본 논문은 1997년 봄부터의 자료를 토대로 분석하였다.

3.1 생물화학적 산소요구량(BOD)

Fig. 2에서 보는 바와 같이, BOD의 유입수 농도 범위는 24.4~345.0 mg/L로 다양하다. 유출수의 총 평균농도는 24.0 mg/L로서, 평균 제거율은 75.9%로 나타낸다. 대부분은 하수처리 시설 방류수 수질기준인 20.0 mg/L 안에 포함되지만, 겨울에는 수질기준을 초과하는 것이 많다. 이는 여름에는 미생물이 활동하기에 온도가 적합하고, 식물 뿌리의 활발한 산소공급으로 인하여 호기성 미생물의 활동이 활발해지기 때문이다³⁾. 그러나 겨울에도 BOD가 제거되는 것으로 보아 부유성 유기물의 토양에 의한 여과, 흡착, 그리고 제한적인 미생물에 의해 분해가 이루어지는 것으로 판단된다.

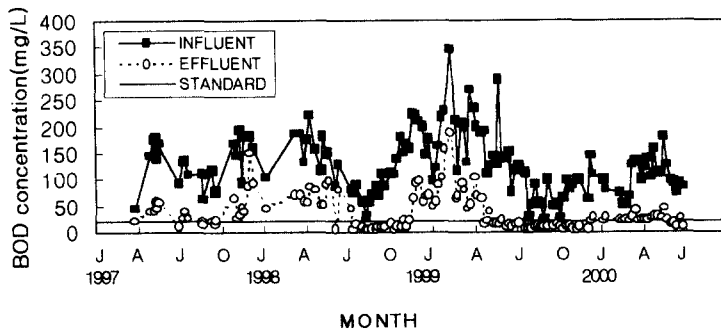


Fig. 2 BOD₅ influent and effluent concentrations of the constructed wetland system

3.2 부유물질량(SS)

Fig. 3에서 보는 바와 같이, SS는 유입수의 총 평균 농도가 61.0 mg/L인 것이 처리조를 거치면서, 73.4%가 처리되어 유출수의 총 평균농도가 13.0 mg/L이 되었다. 이 수치는 방류수 수질기준 20.0 mg/L를 만족하는 수치로, 습지에서 SS제거는 상당한 효과가 있었다.

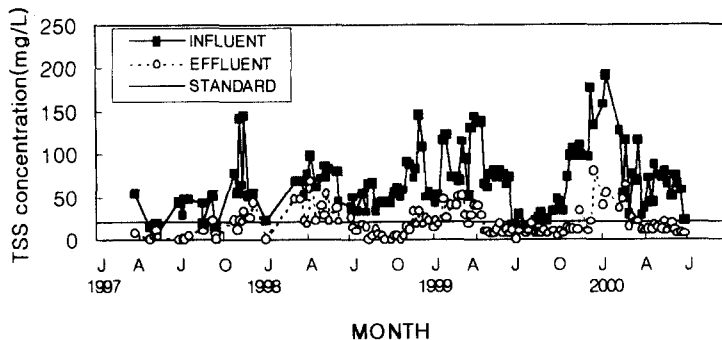


Fig.3. TSS influent and effluent concentrations of the constructed wetland system

인공습지에 의한 SS의 처리는 주로 여과기능에 의해 이루어지는데, 이러한 여과는 궁극적인 제거가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 부유물질은 입자 상태로 처리조 내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 고형물질 중에서 오염성분들은 미생물에 의한 생물학적 분해, 용해된 후 식물에 의한 흡수, 기타 화학반응 등을 거치면서 궁극적으로 제거된다. 그런데 유입되어 잔류하는 고형물질의 부하량이 처리조내의 제거율을 초과하게 되면 처리조에 고형오염물질이 누적되어 처리조의 전반적인 효율을 감소시킬 수 있다. 그러나 본 실험의 5년 동안에는 계속 높은 처리효율을 나타내었다.

습지를 운영하는 과정에서 처리조의 유입부분에 초기에는 나타나지 않았던 ponding 현상이 발생하였는데, 이는 오수의 지속적인 유입으로 난분해성 입자들의 누적과 다짐에 의한 공극률 감소로 인해 오수의 지하흐름이 지연되면서 유입량과 유출량의 평형이 이루어지지 못하였기 때문인 것으로 생각된다. 이와 같이 습지에 오수가 고이게 되면 악취뿐만 아니라 모기 및 각종 해충 등이 발생하여 오수처리의 1차 목적인 보건위생의 기능이 약화될 우려가 있다. 따라서 위와 같은 문제점을 방지하기 위해 ponding 현상이 과도하게 발생하지 않도록 수리부하율을 조절하는 등의 적절한 설계 및 운영방법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다⁶⁾.

3.3 총 질소(T-N, total nitrogen)

Fig. 4 에서 보는 바와 같이, T-N은 유입수의 평균 농도는 105.6 mg/L이고 그 중 19.6%가 처리되어 유출수의 평균농도가 81.3 mg/L로 나타났다. 습지에서의 질소제거 원리는 질산화 과정에 의해 생성된 질산염이 식물의 흡수나 탈질화 과정에 의해 제거된다. 따라서 습지처리의 경우 질소제거를 위해서는 우선 질산화 과정이 선행되어야 할 것이다. 본 실험에서는 질소 제거율이 다른 항목보다 상대적으로 낮은 처리율을 나타내고 있는데, 이유는 유입수의 질소농도가 일반적인 오수의 농도범위보다 훨씬 높았고, 실험시설의 체류기간이 상대적으로 짧아서 충분한 질산화-탈질화과정이 이루어지지 않아 처리효율이 낮은 것으로 생각된다. 질소는 식물생장에 필수요소이며, 유기성질소(ON, organic nitrogen), 암모니아성질소(NH₃-N), 아질산성질소(NO₂-N), 그리고 질산성질소(NO₃-N)등의 형태로 자연계에 존재한다. 질소가 수계(水界)에 과도 유입될 경우엔, 부영양화를 유발하여 수질문제를 일으켜 수자원의 가치를 저하시키는 원인이 된다. 그러므로 유출수에서 질소 성분을 적정 수준으로 낮추기 위해서는 이들 성분을 제거하기 위한 추가시설이 필요하다.

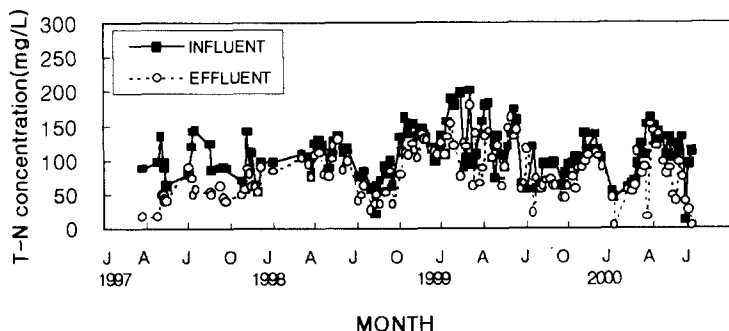


Fig.4 T-N influent and effluent concentrations of the constructed wetland system

3.4 총 인(T-P, total phosphorus)

인은 식물의 생육에 필수요소로서, 자연계에서 주로 인산의 형태로 존재하며 인산성분은 질소성분과는 달리 물에 용해가 잘 안되고 토양에 견고하게 부착되어 광물질이나 유기물질들과 복합화합물의 형태를 이루고 있다. 총 인은 용해상태와 입자상태의 모든 인산성분을 합한 것으로서 본 연구에서는 총 인을 측정하였는데, 일반적으로 하수나 폐수의 방류수 수질기준에서도 인성분은 총 인으로 규제하고 있다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이, 유입수의 총 평균농도는 13.6 mg/L이며 유출수의 총 평균농도는 7.7 mg/L로서 약 47.3%의 제거효율을 가지고 있었다. 식물이 자라는 기간에는 비교적 안정적인 제거율을 나타냈으나, 동절기에는 인의 제거율이 저조하여 유출수의 농도가 유입수보다 높은 경우도 자주 발생하였다. 1999년도에는 동절기를 지나서도 상당기간 제거율이 낮게 나타났는데, 이유는 연속적인 오수유입에 따라 동절기에 누적된 인 성분이 봄이 되어도 일정기간 동안 용출·세척되기 때문으로 생각된다. 1999년 6월경부터 다시 제거율이 회복되어, 그러한 현상은 일시적이며 갈대의 생장이 활발해지면서 다시 정상적인 운영이 가능해짐을 알 수 있었다. 습지에서 인 제거는 식물의 흡수, 미생물에 의한 식물조직에 고정, 여과, 흡착 등에 의해 이루어진다. 그리고, 인을 흡수한 식물을 harvesting 함으로써 제거율을 높일 수도 있다.⁸⁾ 인은 수질의 부영양화를 일으키는 중요한 영양물질로서, 인 성분을 다량 함유한 오수를 처리할 때에는 습지를 이용한 단독 처리보다는 기타 추가적인 제거시설을 병행하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 인은 미생물에 의한 제거량이 낮고 식물 흡수에 의한 부분적인 제거가 일어나지만 대부분이 흡착, 여과, 화학적 결합과 같은 기능들에 의하여 처리조 내에 잔류·누적될 수 있기 때문에 처리조의 제거용량이 초과하면 제거율이 저조해질 수 있다.

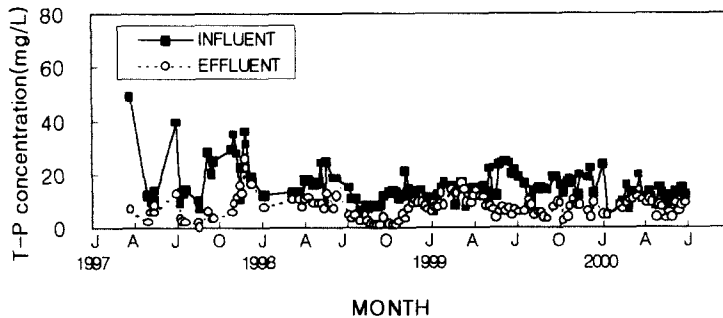


Fig.5 T-P influent and effluent concentrations of the constructed wetland system

IV. 요약 및 결론

농촌유역의 수질개선에 인공습지시설의 적용가능성을 검토하기 위하여 시작품에 의한 오수 처리실험을 약 5년간 수행하였으며, 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. BOD, SS는 약 70.0%에 가까운 제거율을 나타내었으며, 시간이 지날수록 점점 높은 처리

효율을 보이는데, 이는 처리시설이 점점 안정화되기 때문이다. 간혹, BOD와 SS의 유출수 농도는 방류수 수질기준을 초과하는 경우도 있었다.

2. 영양물질인 인이나 질소의 제거율은 상대적으로 낮았는데, T-P의 제거율은 47.3%, 그리고 T-N은 그보다 낮은 19.6%에 머물렀다. 그리고, T-N의 경우는, 제거율이 점점 낮아지는데, 이는 유입수의 농도가 과다하게 높고, 체류기간이 짧아서 처리조 내에 질소성분이 누적되고 있기 때문으로 생각된다. 실제 현장에서는 유입수 농도가 보통 오수의 범위에 있고 체류기간을 약 5일 이상으로 증가시키면 이러한 현상은 나타나지 않을 것으로 예상된다.

3. 이러한 영양물질이 수계로 직접 유입될 경우에는 부영양화의 원인이 될 수 있지만, 농업적으로 활용되면 자원화가 가능한 성분들이다. 따라서, 농촌지역의 오수처리에서는 가능하면 공공 수역의 방류를 억제하고 주변의 농지 등 자연자원과 연계하여 최종 처리하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

V. 참고문헌

1. 권순국 외 6인, 1998, 지역환경공학, 향문사.
2. 윤춘경, 1997, 자연정화방법을 이용한 농촌지역의 오폐수처리, 한국농촌환경연구회.
3. 윤춘경, 권순국, 우선호, 권태영, 1999, 농촌지역 수질개선을 위한 인공습지실험시설의 3년간 실험결과 검토, 물환경학회, 15(4), pp. 581~589.
4. 윤춘경, 권순국, 권태영, 1998, 인공습지의 농촌지역 오수정화시설에 적용가능성 연구, 한국농공학회지, 40(3), pp. 83~93.
5. 윤춘경, 함종화, 1999, 성장기와 동절기의 인공습지 오수처리성능, 한국농공학회지, 41(4), pp. 37~46.
6. 윤춘경, 권순국, 함종화, 노재경, 2000, 인공습지 오수처리시설의 처리성능에 관한 연구, 한국농공학회지, 42(4), pp. 96~105.
7. 김형중, 1997, 자연정화방법을 이용한 농촌지역의 소규모 오폐수처리 시스템, 박사학위논문, 건국대학교 농공학과 대학원.
8. APHA, 1995, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Edition, American Public Health Association.
9. U.S EPA, 1988, Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, EPA/625/1-88/022, Cincinnati, OH.