

인공습지 오수처리시설의 처리성능에 관한 연구

Study on the Performance of Constructed Wetland System for Sewage Treatment

윤 춘 경* · 권 순 국**
Yoon, Chun Gyeong · Kwun, Soon Kuk
함 종 화*** · 노 재 경****
Ham, Jong Hwa · Noh, Jae Kyoung

Abstract

Field experiment was performed from August 1996 to December 1999 to examine the performance of constructed wetland system for wastewater treatment in rural area. The constructed wetland system 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 bed with planted reed. From August 1996 to June 1998 the hydraulic loading rate was fixed with about 15.63cm/day and theoretical detention time was 1.38 days, and from July 1998 to December 1999 the hydraulic loading rate was about 6.25cm/day and theoretical detention time was 3.5 days.

It worked continuously even during winter time, and the sewage flowed without freezing even when average daily air temperature was below -10°C . Average removal rate of BOD, COD, and SS was about 70%, T-P removal rate was about 50.8%, and T-N removal rate was 23.9%. The reason for poor T-N removal might be due to high influent concentration and short retention times. At the later years, BOD and COD removal rates were increased, and SS and T-P removal rates did not change significantly, but T-N removal rates were decreased.

The effluent of the wetland system often exceeded effluent water quality standards for sewage treatment plant, therefore, further treatment would be required if the effluent need to be discharged to the public water. Wetland system involves relatively large land area and could be suitable for rural area. Therefore, utilization of reclaimed sewage for agricultural purpose or subsequent land treatment is recommended as a ultimate disposal of sewage in rural area.

*건국대학교 농업생명과학대학

**서울대학교 농업생명과학대학

***건국대학교 대학원

****한국수자원공사 수자원연구소

키워드 : 오수처리, 농촌지역, 인공습지, 처리효율, 생
화학적 산소요구량, 화학적 산소요구량, 부유
물질, 질소, 인

I. 서 론

우리 나라의 오폐수처리 대책은 대도시 위주로 추진되어 왔으며, 그 동안 도의시되었던 농촌의 소규모 마을은 주민의 생활수준 향상과 수세화장실의 보급, 축산시설의 증가 등으로 오폐수발생량이 급격히 증가하고 있으나, 이에 대한 적절한 처리대책이 확립되지 않아 농촌지역 수질오염 문제가 점점 악화되고 있는 실정이다.^{1,5)}

근래에 들어서 도시지역의 하수처리사업과는 별도로 농촌지역의 생활환경개선과 상수원 수질오염 방지를 위해 농촌 하수처리사업을 전국적으로 추진하고 있는데, 이 중에는 농촌의 지역적인 특성을 충분히 고려하지 않은 시스템이 적용되는 경우가 있어 기능 및 유지관리상 문제점이 발생하는 사례가 있다. 따라서 이용 가능한 자연자원이 도시에 비해 상대적으로 풍부하게 존재하는 농촌의 지역적인 특성을 고려해 볼 때, 자연 스스로가 지니고 있는 정화기능을 최대한 활용함과 동시에 지역특성에 맞고 유지관리가 용이한 처리시설을 도입해야 할 것이다.^{2,4)}

하수의 자연정화처리란 토양, 식물, 또는 미생물과 같은 자연요소들의 자정능력을 이용하여 하수를 처리하는 방법을 가리킨다. 이러한 방법은 기존의 도시형 종합하수처리시설에 비해 에너지소모가 적고 유지관리가 용이하여 소요경비가 낮으며 슬러지 발생량이 적어서 2차오염의 우려가 적다. 이러한 방법들은 농촌지역의 소규모 마을이나 사용가능한 공간이 상대적으로 넓은 지역에 유리하며, 옛날부터 사용해 오던 방법으로는 침출지, 안정지, 토양처리 등이 있다. 근래에 개발되고 있는 방법으로는 수생식물을 이용한 수중처리와 추수(抽水)식물을 이용한 습지처리 등이 있다. 습지처리는 자연습지의 자정능력에 대한 관찰, 수중처리와 토양 처리등의 경험들이 혼합된 효과적인 방법이다.^{5,6)}

인공습지는 자연습지의 자정능력을 극대화시킨 것으로 식물, 토양, 미생물 등의 복합적인 작용에

의해 하수를 처리하는 시설이다. 인공습지에는 수면이 대기에 노출되어 수면을 통해 재폭기가 이루어지는 자유수면형(free water surface, FWS)과 토양의 공극이나 식물의 뿌리에 의해 산소가 공급되는 지하흐름형(subsurface flow system, SFS)이 있다. 습지에 생육하고 있는 대부분의 식물들은 보통의 육상식물과는 달리 통기 조직이 발달되어 뿌리 활동에 필요한 산소를 기공을 통해 흡수하고 있다. 이와 같이 뿌리 부분에 산소를 공급하므로 뿌리 부분은 호기성 상태가 유지되어 호기성 미생물들의 좋은 서식처가 된다. 여기에 서식하는 호기성 미생물들은 오수 중에 있는 영양물질을 흡수·분해하여 오수를 정화하게 되는 것이다. 습지에 유입된 오수중의 오염성분 가운데 입자가 큰 부유물질은 여과되고, 용해상태의 성분은 토양입자나 식물의 뿌리에 흡착되며, 영양물질들은 처리시설내에서 생육하는 식물에 의해 직접 흡수되고, 유기물은 토양이나 수중의 미생물 등에 의해 분해되는 정화과정을 거쳐 처리된다.^{4,5,6)}

이러한 습지의 단위면적당 정화기능은 대규모 처리용 하수종말처리시설보다 낮을 수 있으나 축조 및 유지관리에 소요되는 비용이 낮으며 처리수를 농업과 산림에 재이용할 수 있기 때문에 농촌지역의 소규모 오수정화시설로서 적용이 가능한 대안이 될 수 있다.

인공습지를 이용한 하수처리에 관한 연구는 1980년대부터 유럽에서 활발히 수행되기 시작하여 미국과 호주 등지에도 보급되어 실용화단계에 있다. 국내에서는 과학기술정책관리연구소⁷⁾에서 인공습지에 의한 처리를 군부대의 오수정화에 적용한 사례가 있으며, 김¹⁾은 농공단지 폐수 및 오수의 인공습지를 이용한 처리에 관하여 연구하는 등 인공습지를 이용한 오수처리분야에 관한 관심이 고조되고 있다. 여기에서는 농촌 지역의 오수처리에 적용방법을 연구하기 위하여 인공습지 시제품을 제작하여 약 4년간 수행한 현장실험 결과를 정리하고 분석하였다.

II. 재료 및 방법

실험에 사용된 오수처리시설은 건국대학교 농업생명과학대학 별관에서 나오는 오수를 이용하여 실시하였다. 정화조의 3단 처리조의 맨 끝 하류측 처리조에서 하수관거로 유출되기 직전에 양수하여 Fig. 1과 같이 처리시설의 저류조에 유입시킨 다음, 저류조 하단에 설치된 유출구를 통하여 자연 유하시켰다. 저류조의 유출구를 나온 오수는 관로를 통하여 처리조에 유입되었으며, 유량은 저류조의 유출구와 처리조의 유입구에 밸브를 설치하여 조절하였다.

처리조는 지하흐름형(SFS)으로서 모래를 채운 후 갈대를 심고, 한쪽에서 오수를 유입시키면 갈대의 뿌리와 모래로 이루어진 처리조를 수평으로 통과하면서 흡착, 여과 생분해 등의 자연처리가 이루어지는 시스템이다. 처리조는 유입된 오수의 원활한 흐름을 위하여 콘크리트 바닥에 1%의 경사를 주었으며, Fig. 1과 같이 2m(폭) × 9m(길이) × 1m(높이)의 concrete box에 모래를 60cm 높이로 채운 후 갈대를 심었다. 0.5m씩의 유입부와 유출부의 자갈층을 제외하면 실제 처리에 사용되는 부분은 폭 2m × 길이 8m × 높이 0.6m에 채워진 모래층으로 표면적은 약 16m²이다.

실험에 사용된 모래는 비중이 2.64이고 공극율(n)이 0.36인데, 입도분석 결과 삼각분류법(textural triangle)에 의하면 sandy loam이고, 통일분류법(unified soil classification system)에 의하면 SM (silty sand)으로 분류된다. 처리조에 사용한 추수식물은 갈대 (reeds)로서 김포매립지 등에서 채취하여 인공적으로 식재하였다.

실험을 위한 유입수와 유출수의 시료채취는 처리조의 이론적 체류시간만큼의 시간간격을 두어 유입한 오수가 유출할 시기에 측정하여 이들 사이의 농도차이로 처리효과를 검토하였다. 수리부하율은 1996년 8월부터 1998년 6월까지 약 2년간은 2.5m³/16m² · day, 약 15.63cm/day 정도로 실시하였으며, 체류기간과 오염부하율의 조절을 위하여

1998년 7월부터는 1.0m³/16m² · day, 약 6.25cm/day 정도로 낮추어 체류기간을 약 3.5일로 모형실험 실시하였다. 수질분석방법은 Standard Methods¹⁰⁾에 의해 실시하였는데 Table 1에 요약되어 있다.

III. 결과 및 고찰

위와 같은 처리시설을 이용하여 1996년 8월부터 시작하여 2000년 1월 현재에도 현장실험이 계속되고 있으며, 이렇게 얻은 4년간의 결과를 요약하고

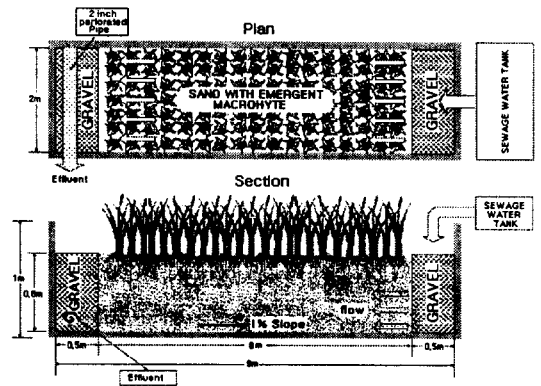


Fig. 1. Schematic plan and section of the constructed wetland system

Table 1. Analytical methods used for constituents

Constituents	Methods	Remark
DO (dissolved oxygen)	SM(standard method) 4500-O C	Azide Modification Method
BOD (biochemical oxygen demand)	SM 5210-B	5-day BOD test
COD (chemical oxygen demand)	SM 5220-B	K ₂ Cr ₂ O ₇ used
SS (suspended solids)	SM 2540-D	
T-N (total nitrogen)		
Organic nitrogen	SM 4500-N _{org} -C	
NH ₃ -N	SM 4500-NH ₃ -D	BÜCHI 435와 B-316
NO ₂ -N	SM 4110-B	Dionex DX-100
NO ₃ -N	SM 4110-B	Dionex DX-100
T-P (total phosphorus)	SM 4500-P E	HP8452A Spectrophotometer

항목별로 고찰하고자 한다.

1. 수온과 pH

수온은 Fig. 2에서 보듯이 대기의 온도변화와 동절기를 제외하고는 거의 일치한다. 하지만 동절기에는 기온이 영하로 떨어지더라도 유출수의 수온은 7~9°C를 유지하였는데, 이유는 유입되는 오수의 온도가 지하로 흐르면서 기온의 영향을 덜 받으며, 인공습지 표면의 얼음층이 일종의 보온작용을 하기 때문에 수온이 영상으로 일정 온도를 유지하는 것으로 생각되며 이러한 현상은 자연습지(지하흐름형습지)에서도 동일하게 나타날 것으로 판단된다. 따라서 동절기에 대기의 온도가 낮아서 갈대의 생장에 의한 제거율은 기대할 수 없으나, 처리조내의 여과와 생장기에 비하여 상대적으로 낮지만 미생물에 의한 오염물질제거는 어느 정도 예상할 수 있다. 이는 인공습지에 추가적인 보온시설이 이루어지지 않은 상태의 결과로서, 만약 최소한의 보온시설이 갖추어 갈대 생장을 유지한다면 활발한 미생물의 활동이 지속되어 안정적인 처리를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

pH 측정결과는 유입수의 평균이 7.90인데 유출수의 평균은 7.22로서 Fig. 3에 나타나 있는 바와 같이 처리조를 통과하면서 pH가 하향 조정되어 중성에 가까워지는 것을 알 수 있다. 이것은 유입수 중의 암모니아가 휘발성 가스 상태로 대기 중으로 날아가고, 암모늄 이온(NH₄⁺)이 호기성 미생물(질산화균)의 질산화 작용(nitrification)으로

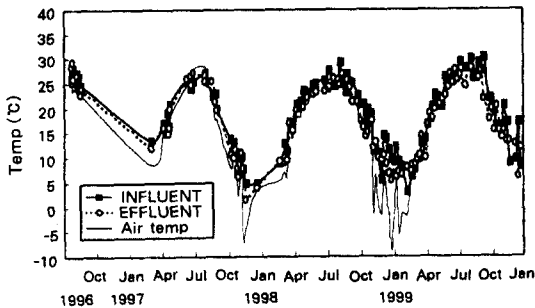


Fig. 2. Water temperatures of the wetland system

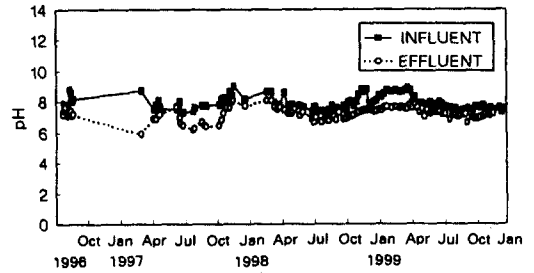


Fig. 3. pH of influent and effluent of the treatment system

NO₂⁻ 및 NO₃⁻로 바뀌는 등 처리조의 완충기능 때문으로 판단된다. 이러한 현상은 완충기능이 풍부한 자연자원으로 구성된 처리조를 지나면서 오수의 중성화가 진행되는 것으로 예상된다.

2. 용존산소량(DO)

일반적으로 정화조에서 처리된 유출수는 산소가 부족한 혐기성상태가 대부분이다. 따라서 정화조의 유출수를 처리하는 본 실험의 경우 대부분의 유입수가 혐기성상태이다. 그러나 유입수가 처리조를 통과하면서 산소공급이 이루어진다. 이러한 현상은 Fig. 4를 보면 알 수 있는데 유입수의 총 평균농도는 0.35mg/L이었는데, 처리조를 거친 유출수의 총 평균농도는 2.12mg/L로 증가하였다. 그 이유는 식물체의 통기조직을 통해 산소가 뿌리로 전달되고 오수가 처리조를 통과하는 동안 대기로 부터 재폭기가 이루어졌기 때문이며, 겨울보다 여름에 유출수 DO가 더 높은 것은 식물 생장이 왕성한 여름에 뿌리를 통한 산소 공급이 더 많기 때문인 것으로 생각된다.

습지의 종류 가운데 지하흐름형(SFS)인 경우에는 적용된 추수(抽水)식물의 종류에 따라 호기성 상태를 유지하는 토양의 깊이가 달라지는데, 그 이유는 식물뿌리가 성장하는 깊이가 다르기 때문이며, 근권(root zone)이하에서는 혐기성 상태가 되어 호기성 미생물의 활동에 영향을 줄 수 있다. 문헌상에 의하면 cattail의 경우 300mm, reed는 600mm, bulrush는 760mm의 근권을 갖는 것으로

제시하였다.⁹⁾ 실제 수질개선용 인공습지를 설계할 때에는 이 점을 고려하여 식물종과 깊이를 결정해야 한다.

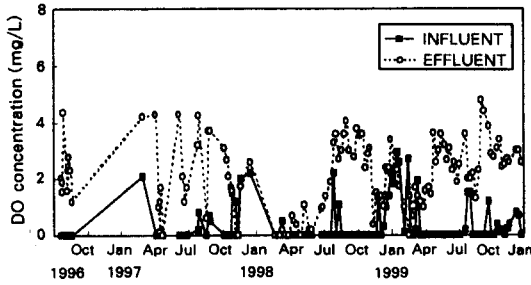


Fig. 4. DO concentration of influent and effluent of the wetland system

3. 생화학적산소요구량(BOD)

Fig. 5에서 보는 바와 같이 유입수의 총 평균농도는 131.4mg/L이었고 유출수의 총 평균농도는 39.5mg/L로서 겨울철을 포함한 평균 제거율은 72.1%를 나타냈다. 미생물의 분해활동이 왕성한 여름철에는 최고 94.6%의 높은 제거율을 보인 반면, 겨울에는 상대적으로 낮은 제거율을 나타냈다. 여름에 BOD의 제거율이 높은 값을 보이는 것은 미생물이 활동하기에 온도가 적합하고 식물의 뿌리로부터 산소공급이 원활하기 때문에 호기성 미생물의 왕성한 활동에 의한 것으로 판단된다. 겨울에도 BOD가 제거되는 것으로 보아 이것은 부유성 유기물의 토양에 의한 여과, 흡착, 그리고 제한적인 미생물에 의한 분해에 의해 이루어지는 것으로 판단된다.

오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률⁸⁾에서 오수정화시설에 대한 BOD의 방류수 수질기준이 20mg/L인 것을 감안하면, 인공습지가 갖는 처리효율만으로는 오수처리시설의 경우 특히 겨울철에 현행 방류수 수질기준을 안정적으로 만족시키기 어려울 것으로 생각된다. 이를 개선하기 위해서는 겨울철에도 식물이 생장할 수 있도록 보온시설을 설치하든지, 아니면 추가처리로서 산화지 등

을 이용하여 겨울동안의 유출수를 저류하는 방법도 고려할 수 있다. 이러한 인공습지처리시설은 2차 처리수의 추가 개선을 위한 3차 처리시설로서는 어려움이 없겠으나, 2차 처리시설로 활용할 경우에는 추가처리를 통하여 방류수 수질기준을 만족시킨 후에 방류하거나, 또는 토지처리(land treatment)등의 농업적인 활용을 병행하여 궁극적으로 처리하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

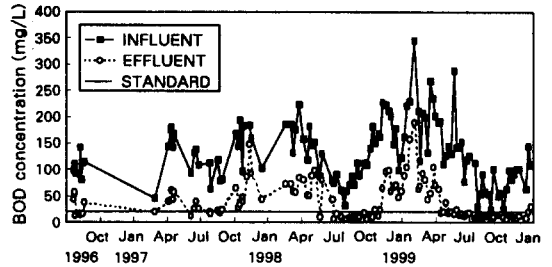


Fig. 5. BOD concentration of influent and effluent of the wetland system

4. 화학적산소요구량(COD)

COD는 화학적 산소요구량으로서 미생물에 의해 분해 가능한 유기물을 분해하는데 필요한 산소요구량에 난분해성 유기물을 분해하는데 필요한 산소요구량을 더한 값을 말한다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 실험결과 유입수의 총 평균농도는 219.6mg/L이었으며 유출수의 총 평균농도는 75.6mg/L로서 처리 효율이 약 64.0%이다. BOD와 COD의 제거율은 대체적으로 대기온도변화와 유사한 형태를 나타내었는데, 온도가 감소함에 따라 제거율도 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 인공습지내의 온도저하로 인한 미생물활동저하와 갈대의 동사(凍死)로 인한 인공습지내의 산소 공급 부족이 원인으로 생각된다.

또한, 유입수와 유출수의 COD/BOD 비율을 살펴보면 각각 1.81과 2.98으로서 유출수에서 높게 나타났다. 이유는 COD는 난분해성부분까지 포함한 산소요구량인데 처리조를 통과한 유출수의 경우에 미생물에 의해 분해가 가능한 BOD부분이

많이 제거되었으므로 작아져서 상대적으로 비율이 커진 것으로 생각된다.

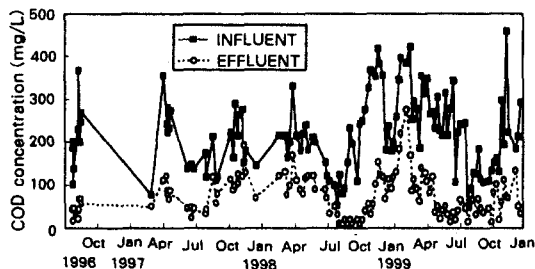


Fig. 6. COD concentration of influent and effluent of the wetland system

5. 부유물질량(SS)

습지의 경우 SS의 제거에 큰 효과를 기대할 수 있다. 유입수의 총 평균농도는 63.0mg/L였으며 유출수의 총 평균농도는 17.2mg/L로서 71.1%로 비교적 높은 값을 나타내었다. Fig. 7에서 보면 1997년 4월~10월, 1998년 7월 말~11월, 1999년 4월~12월초까지 유출수의 대부분이 방류수 수질기준을 만족시켰다. 1998년 전반기의 경우 상대적으로 처리효율이 떨어졌는데 이는 겨울동안 갈대가 고사하여 봄이 시작되어도 습지의 안정화가 늦게 이루어졌기 때문으로 생각된다.

인공습지에 의한 SS의 처리는 주로 여과기능에 의해 이루어지는데, 이러한 여과는 궁극적인 제거가 아니고 물리적인 분리과정이기 때문에 여과된 부유물질은 입자상태로 처리조내에 잔류하게 된다. 이렇게 잔류하는 고형물질중에서 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. 약 4년간의 현장실험 결과, 고형오염물질 누적으로 인한 처리조의 전반적인 효율저하는 나타나지 않았다.

습지를 운영하는 과정에서 처리조의 유입부분에

초기에는 나타나지 않았던 ponding현상이 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 ponding이 과도하게 발생하지 않도록 수리부하율을 조절하는 등의 적절한 설계 및 운영방법에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

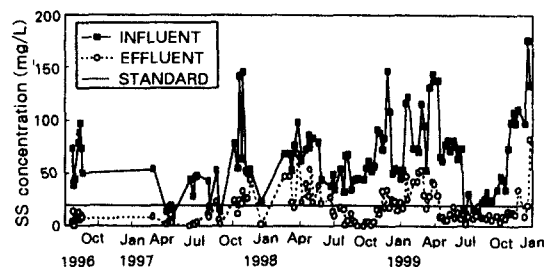


Fig. 7. SS concentration of influent and effluent of the wetland system

6. 총인(T-P, total phosphorus)

인은 식물의 생육에 필수요소로서 자연계에서 주로 인산으로 존재하며 인산성분은 질소성분과는 달리 물에 용해가 잘 안되고 토양에 견고하게 부착되어 광물질이나 유기물질들과 복합화합물의 형태를 이루고 있다. 총인은 용해상태와 입자상태의 모든 인산성분을 합한 것으로서 본 연구에서는 총인을 측정하였으며, 일반적으로 하수나 폐수의 방류수수질기준에서도 인성분은 총인으로 규제하고 있다.

Fig. 8에서 유입수의 총 평균농도는 18.4mg/L이며 유출수의 총 평균농도는 7.6mg/L로서 약 58.8%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.

습지에서의 인 제거는 식물의 흡수, 미생물에 의한 식물조직에 고정, 여과, 흡착 등에 의해 이루어진다. 인을 흡수한 식물을 harvesting 함으로써 제거율을 높일 수 있다.²⁾ 또한 식물이 흡수하는 최적 N/P비율을 결정함으로써 식물의 성장을 제한하는 영양물질을 결정하고 N/P의 비율을 인위적으로 조절함으로써 처리효율을 높이는 연구도 진행되었다.¹⁾

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. 하지만, 4년간의 현장실험 결과 아직은 이러한 현상이 뚜렷하게 지속적으로 나타나지는 않았다.

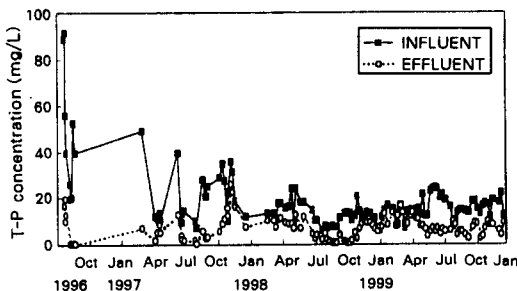


Fig. 8. T-P concentration of influent and effluent of the wetland system

7. 총질소(T-N, total nitrogen)

질소는 인과 함께 식물생장에 필수요소이며 유기성질소 (ON, organic nitrogen), 암모니아성질소 (NH₃-N), 아질산성질소 (NO₂-N), 그리고 질산성질소(NO₃-N) 등의 형태로 자연계에 존재한다. 질소는 인과 함께 수계(水界)에 과다 유입될 경우에 부영양화를 유발하여 수질문제를 일으켜 수자원의 가치를 저하시키는 원인이 된다. Fig. 9에 질소에 대한 실험결과가 요약되어 나타나 있다.

유입수의 총 평균농도는 110.9mg/L였으며 유출수의 총 평균농도는 83.3mg/L로서 23.9%의 비교적 낮은 처리효율을 나타내었다. 각 항목별로 나누어서 보면 유기성질소의 경우 유입수의 총 평균농도는 약 7.4mg/L이었고 유출수는 3.1mg/L로서 제거율은 57.8%를 보였다. 암모니아성질소는 유입수의 총 평균농도가 103.0mg/L, 유출수가 73.6mg/L로 제거율 29.0%를, 아질산성질소는 유입수가 0.70mg/L이고 유출수가 0.6mg/L로 크게 변동이 없었으며, 질산성질소의 경우 유입수는 0.8mg/L이며 유출수는 6.7mg/L로서 오히려 농도가 더 증가하였다. 그 이유는 호기성을 유지하고 있는 처리조를 통과하면서 질산화작용(nitrification)이 일어나 유기성질소, 암모니아성질소와 아질산성질소가 질산성질소로 바뀌었기 때문이다.

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 범위보다 훨씬 높았고, 실험시설의 체류시간이 상대적으로 짧아서 충분한 질산화-탈질화과정이 이루어지지 않아 처리효율이 낮은 것으로 생각된다. 실제 full scale로 적용할 경우에는 정상적인 질소부하량과 체류시간을 5이상으로 유지하면 질소제거율이 상당한 수준으로 유지되는 것들이 보고된바 있다.¹¹⁾ 또한 표면 얼음층은 일종의 보온작용을 도와주지

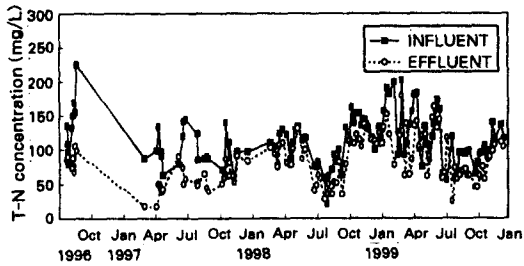


Fig. 9. T-N concentration of influent and effluent of the wetland system

만, $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 휘발을 제한하기 때문에 얼음 층 상부의 갈대를 잘라서 갈대의 통기조직을 통한 가스의 교환이 이루어지도록 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.⁷⁾

8. 연차별 제거율 변화

인공습지를 이용한 오수처리실험이 5년차에 접어들면서 현재까지 축적된 결과를 바탕으로 연차

Table 2. Average concentration and removal rate of components for experiment period

		Average concentration			Average removal rate		
		2nd year	3rd year	4th year	2nd year	3rd year	4th year
Temp. (°C)	Influent	18.7	21.8	22.4	-	-	-
	Effluent	18.0	20.5	21.1	-	-	-
pH	Influent	7.8	7.8	7.7	-	-	-
	Effluent	7.0	7.1	7.2	-	-	-
DO (mg/L)	Influent	0.2	0.1	0.2	-	-	-
	Effluent	2.1	1.9	2.6	-	-	-
BOD (mg/L)	Influent	136.0	123.3	115.7	72.4	75.1	81.1
	Effluent	38.2	33.4	21.1	-	-	-
COD (mg/L)	Influent	206.4	201.1	216.8	60.1	67.8	70.0
	Effluent	80.9	60.6	59.2	-	-	-
SS (mg/L)	Influent	44.3	60.4	62.8	74.1	71.3	72.9
	Effluent	10.8	17.9	13.3	-	-	-
TP (mg/L)	Influent	18.9	13.5	16.6	57.3	60.2	53.1
	Effluent	7.4	5.7	7.4	-	-	-
PO ₄ -P (mg/L)	Influent	5.7	7.4	9.2	64.3	57.7	52.9
	Effluent	2.7	3.3	4.3	-	-	-
TN (mg/L)	Influent	98.4	105.3	110.4	39.9	23.3	22.3
	Effluent	55.5	83.4	84.0	-	-	-
TKN (mg/L)	Influent	94.7	104.4	110.0	49.6	28.4	30.3
	Effluent	44.7	78.0	76.2	-	-	-
Org.-N (mg/L)	Influent	5.1	9.3	6.5	48.7	56.9	69.7
	Effluent	2.5	4.5	1.7	-	-	-
NH ₃ -N (mg/L)	Influent	89.6	95.2	103.6	49.6	26.0	29.7
	Effluent	42.2	73.5	74.5	-	-	-
NO ₂ -N (mg/L)	Influent	2.6	0.0	0.0	-	-	-
	Effluent	2.1	0.1	0.1	-	-	-
NO ₃ -N (mg/L)	Influent	1.1	0.8	0.4	-	-	-
	Effluent	8.7	5.3	7.7	-	-	-

(2nd year : '97. 4~'97.11, 3rd year : '98. 4~'99.4, 4th year : '99. 4~'99.11)

별 인공습지의 오염물질 제거효율의 변화를 Table 2에 요약하였다. 2년차의 동절기에 대한 자료부족으로 각 연차별 생장기(4월~11월) 자료만을 이용하여 비교하였다.

Table에서와 같이 BOD의 제거율은 COD보다 다소 높게 나타났는데, 이것은 유입수가 대부분 미생물에 의해 분해가 가능한 유기물로 이루어졌기 때문으로 판단된다. 또한, 두 항목 모두 연차가 지남에 따라 제거율이 감소하지 않고 소폭 증가하였다. 이것은 연차가 지남에 따라 습지 내부의 환경이 미생물에 의한 유기물 분해에 적합한 조건으로 안정화가 충분히 이루어졌기 때문으로 판단된다.

SS의 유입수 농도는 3, 4년차에서 보다 높게 나타났다지만, 평균 제거율은 거의 비슷한 수준을 유지하였으며, 시간이 경과함에 따라 처리조내에 잔류한 고형물질로 인한 유출수의 SS농도 증가는 나타나지 않았다.

T-P의 평균제거율은 3년차에 약간 증가를 보였다가 다시 4년차때 감소하는 경향을 나타낸 반면, PO₄-P의 평균제거율은 연차가 지남에 따라 계속 감소하는 것으로 나타났는데, 이것은 처리조에 의해 제거되었던 유기인이 시간이 지남에 따라 분해가 되어 PO₄-P의 형태로 용출되어 유출수에 포함되었기 때문으로 판단된다.

유기질소의 제거율은 시간이 지남에 따라 계속적으로 증가한 반면, 암모니아성질소의 제거율은 2년차 보다 3, 4년차에서 절반 이상 감소하였다. 이것은 PO₄-P와 마찬가지로, 처리조에 의해 제거되었던 유기질소가 시간이 지남에 따라 분해가 되어 암모니아성질소의 형태로 용출되었기 때문으로 판단된다. 본 실험에 사용된 처리조는 체류시간이 작고, T-N의 유입부하가 너무 높아 제거율이 낮게 나왔지만, 문헌상에 나와있는 T-N의 제거율은 약 70% 이상의 수치를 나타내었다.¹¹⁾ 그러므로, 인공습지 설계시 체류시간을 길게하고(최소 5일이상), T-N의 유입부하를 낮게 한다면, 높은 제거율을 계속 얻을 수 있을것으로 판단된다. 아질산성질소(NO₂-N)와 질산성질소(NO₃-N)의 농도는 유입수보다 유출수에서 더 높은 농도를 나타내 연차

별 제거율변화가 의미가 없어서 계산하지 않았다.

IV. 요약 및 결론

농촌유역의 수질개선에 지하흐름형 인공습지시설의 적용방법을 개발하기 위하여 시작품에 의한 오수처리실험을 약 4년 동안 수행하였으며, 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 유입수와 유출수의 수온은 대기온도의 영향을 받았으나, 동절기에 일평균기온이 영하 10°C 이하인 경우에도 오수는 얼지 않고 흐르며 습지운영에 지장이 없었다.

2. DO의 경우는 유입수 평균농도가 0.35mg/L이고 유출수 평균농도가 2.12mg/L으로서 처리조를 통과하면서 증가하였고, 처리조가 호기성을 유지하고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 인공습지의 경우는 오수처리에 호기성을 유지하기 위하여 인위적인 폭기시설이 필요하지 않다고 생각된다.

3. BOD, COD, 그리고 SS는 약 70% 가까운 제거율을 나타내며 안정적으로 처리되었는데, BOD와 SS의 유출수 농도는 방류수 수질기준을 초과하는 경우도 있었다. 따라서, 농촌지역이라는 특성을 고려하면 주변 농지나 산림 등 자연자원을 이용하여 최종 마무리 처리하는 방법이 바람직할 것이다.

4. 영양물질인 인이나 질소의 제거율은 상대적으로 낮았는데, T-P의 제거율은 약 50%, 그리고 T-N은 그보다 낮은 20%대에 머물렀다. 이러한 영양물질이 수계로 직접 유입될 경우에는 부영양화의 원인이 될 수 있지만, 농업적으로 활용되면 자원화가 가능한 성분들이다. 따라서, 농촌지역의 오수처리에서는 가능하면 공공 수역에 방류를 억제하고 주변의 농지 등 자연자원과 연계하여 최종 처리하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

5. BOD, COD는 시간이 지남에 따라 제거율이 소폭 증가하였고, SS와 T-P는 큰 변화를 나타내지 않은 반면, T-N은 2년차보다 3, 4년차에 절반 정도 낮은 제거율을 나타냈다. T-N의 제거율이 감소하는 이유는 유입수의 농도가 과다하게 높고, 체류기간이 짧아서 처리조내에 질소성분이 누적되

고 있기 때문에 생각된다. 실제 현장에서는 유입수 농도가 보통 오수의 범위에 있고 체류기간을 약 5일 이상으로 증가시키면 이러한 현상은 나타나지 않을 것으로 예상된다.

6. 본 연구에서는 오수를 사용하여 인공습지시설의 처리효과를 조사하였지만, 인공습지시설을 오수처리외에도 농촌유역 비점원오염의 처리에 적용이 가능할 것으로 판단되며 이에 관한 적극적인 관심과 연구가 요구된다.

본 연구는 농림부의 첨단기술개발연구과제인 “농촌하천유역의 종합적 수질관리 시스템 개발”의 지원으로 수행되었음

참 고 문 헌

1. 김형중, 1997, 자연정화방법을 이용한 농촌지역의 소규모오폐수처리 시스템, 박사학위논문, 건국대학교농공학과대학원.
2. 권태영, 1999, 농촌오수 처리수의 농업용수로의 재이용 가능성에 관한 연구, 석사학위논문, 건국대학교농공학과대학원.
3. 윤춘경, 권순국, 김형중, 1997, 인공습지에 의한 농촌오수처리에 관한 연구, 한국농공학회지, 39(4), pp. 55~63.
4. 윤춘경, 권순국, 권태영, 1998, 인공습지의 농촌지역 오수정화시설에 적용가능성 연구, 한국농공학회지, 40(3), pp. 83~93.
5. 윤춘경, 권순국, 함종화, 1999, 성장기와 동절기의 인공습지 오수처리 성능, 한국농공학회지, 41(4), pp. 37~46.
6. 권순국, 김복영, 김진수, 김태철, 윤춘경, 정재춘, 홍성구, 1998, 지역환경공학, 향문사.
7. 과학기술정책관리연구소, 1997, 인공습지를 이용한 군부대 오수정화처리에 관한 연구.
8. 홍문관, 1998, 환경관계법규II, 수질편, 오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률, 별표-1, pp. 597.
9. U. S. EPA, 1988, Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, EPA/625/1-88/022, Cincinnati, OH.
10. APHA, 1995, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Edition. American Public Health Association.
11. WPCF(Water Pollution Control Federation), 1990, Natural Systems for wastewater Treatment, Manual of Practice FD-16, pp. 217~222.