

하수종말처리장 방류수와 비점오염원 처리를 위한 주암호 인공습지 2년 운영 사례

정용준[†]

환경관리공단 유역관리처

Case Study: Operation of the Juam Constructed Wetland for Effluent from a Sewage Treatment Plant and Diffuse Pollution for Two Years

Yong-Jun Jung[†]

Watershed Management Department, Environmental Management Corporation

(Received 28 June 2006, Accepted 14 August 2006)

Abstract

In order to improve water quality of the Juam Lake, a constructed wetland was implemented and operated for 2 years with the effluent of sewage treatment plant and diffuse pollutant discharged from agricultural area. During the summer season, average removal efficiencies for BOD and SS were 15.8% and 39.4%, respectively. Due to the mixed effect of vegetation, soil microbes and sediments, the higher nutrient removal efficiencies were obtained: average T-N and T-P removal efficiencies were 64.2% and 71.7%, respectively. The concentration of sediment was increased initially, and maintained constant throughout monitoring period. The highest nitrogen and phosphorus uptake were observed in *Phragmites japonica*. The nitrogen uptake was estimated as 0.235 DW mg/g while phosphorus uptake was estimated as 2.059 DW mg/g.

keywords : Constructed wetland, Diffuse pollution, Monitoring, Nutrient

1. 서론

정부에서는 영산강권역의 상수원보호를 위해 상수원보호 구역 지정 및 환경기초시설 집중투자 등 많은 노력을 기울여 왔으나, 수질은 지속적으로 악화되고 있는 실정이다. 특히 전라남도과 광주광역시의 상수원으로서 생활 및 농업용수를 공급하고 있는 주암호의 경우 질소·인 등에 의한 호소부영양화 및 녹조방지대책 수립이 무엇보다 중요한 것으로 조사되었다(정부합동, 2000). 이에 따라 주암호 등 영산강수계 녹조방지사업 종합계획수립을 위한 단위사업별 타당성조사(환경관리공단, 2002)에서 호소 유입하천의 현황조사를 바탕으로 “주암호 등 영산강수계 물관리 종합대책”상에 제시된 수질개선사업을 검토하여 하수처리장 방류수를 재처리하기 위한 인공습지(Bio-park)조성 방안을 제시하였다.

인공습지는 인간의 요구와 필요성에 의해 자연습지의 형태 및 기능을 모방하여 설계, 시공, 운영되는 인위적 습지로서 자연습지가 보유하고 있는 정화능력을 향상시켜 수질정화를 목적으로 이용하는 습지로 정의된다(농업기반공사, 2004). 인공습지는 다양한 오염부하에 대한 적응력이 높고, 유지관리가 용이한 경제적 측면의 장점뿐만 아니라, 경관과 친수공간에 가치를 두어 자연친화적이라는 측면도 있어, 북미와 유럽을 시작으로 전세계적인 관심을 받고 있다(Bachand

et al., 2000; Mitsch et al., 1998; Kedlec et al., 1996).

수질정화를 위해 인공적으로 조성된 습지는 1차 처리된 점오염원을 2차 정화하기 위하여 사용되다가, 최근에는 질소·인제거를 위한 3차 처리 수준까지 정화하고 있으며(양, 2002), 최근에는 도시하수, CSO, 폐수, 강우유출수에 의한 비점오염원 등의 처리에 활용폭이 증대되고 있다(Haberl, 1999).

인공습지를 이용한 수질정화 공정의 다양한 장점에도 불구하고, 국내에서는 하수처리장 방류수의 재처리, 농경배수 및 비점오염원 등과 같은 저농도, 고유량 처리에 대한 인공습지의 활용 연구가 부족하며, 대부분이 단기간에 걸친 소규모 연구 결과들이어서 설계를 위한 기초 자료가 크게 부족한 실정이다.

현재 농어촌에 보급되고 있는 하수처리공정의 경우 처리효과가 감소하거나 처리비용이 높은 것이 단점이므로, 지역여건을 감안하여 반영구적으로 처리장을 사용하여도 하수가 안정적이고 경제적으로 처리될 수 있는 자연 친화형 하수처리공정을 개발하는 것이 필요하다.

이에 따라 환경관리공단은 주암호 수질개선사업으로서 하수종말처리장 방류수에 함유된 유기물 및 영양염류 처리와 강우시 인근지역에서 발생하는 초기 강우유출수에 의한 비점오염원처리를 위하여 인공습지 시설을 시범적으로 설치·운영하였다. 본 연구에서는 2002년 12월에 조성되어 2004년 12월까지 2년간 모니터링한 주암호 인공습지의 운영 결과를 고찰함으로써 이와 유사한 환경조건하에서 설치

[†] To whom correspondence should be addressed.
yjjung@emc.or.kr

된 시설들에 대한 향후 확대 적용 방안의 가능성과 설계·설치 및 운영의 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 시설 현황

전라남도 보성군 북내면 일월 북내천의 우안 하류부에 부지면적 38,738 m²의 자유수면형 인공습지를 조성하였다. 인공습지의 유입은 좌측의 산림지에서 다단식 농경지를 통하여 하천측으로 유입되는 지류와 농업용수로에서 유입되는 유로 및 북내하수처리장에서 정화되어 흐르는 유로로 형성되었다.

주암호 인공습지는 크게 인공습지, 습지유지관리 및 장래 활용지구의 3개 지구로 구분되는데, 인공습지 지구의 면적은 23,092 m²와 장래활용지구는 15,646 m²로 되어 있다. 인공습지 지구는 지형 및 토지의 잠재력, 접근성 등을 고려하여 침수의 피해가 상대적으로 적은 지역에 위치하도록 하였고, 습지 지구는 관리적 측면을 고려하여 이와 인접하도록 배치하였다.

인공습지는 하수의 고도처리와 초기강우에 의한 비점오염원을 제한된 면적에서 고효율로 처리하는 것을 목적으로 하고 있으므로, Fig. 1에 제시한 바와 같이 길다란 형태의 습지로 유하길이를 길게 하였다. 유입 유량은 385 m³/d의 하수처리장 방류수와 강우시 농업지역으로부터 발생하는 6,700 m³/d의 농경배수 및 320 m³/d의 시가지 유출수 등으로 설계하였으나, 실제 유입 유량은 800~6,500 m³/d 정도

로 변화폭이 컸으며, 유량은 시설의 말단부에 설치된 자동 유량측정장치로 측정하였다. HRT는 평균 유입 유량과 시설 면적을 고려하여 산정했을때 3일 정도로 나타났다.

습지의 유하길이가 긴 구간에 대해서는 일정거리마다 유량 조절조와 연못(Pond)을 설치하여 균등한 물 흐름이 이루어질 수 있게 하였다. 또한 습지의 말단부에는 산소 공급 및 재부유를 방지하기 위하여 저류지와 유사한 구조로, 중심은 평상시 수심이 1.0 m가 되도록 유지할 수 있는 800 m² 규모의 마이크로풀(micropool)을 설치하였다.

2.2. 식생 조성

인공습지를 이용한 국내 하수처리장 배출수 처리 연구에 의하면 부레옥잠, 미나리, 창포, 애기부들 순으로 인 제거 효율이 높게 나타났고, 질소의 제거효율은 미나리, 부레옥잠, 창포, 애기부들의 순으로 높은 제거 효율을 나타내었다. 또한 이러한 결과들에서 영양물질의 흡수량은 식물종에 따라 크게 차이가 발생하지 않은 것으로 나타나, 수질정화용 인공습지의 식재식물 선정에 있어서 영양물질 흡수량을 결정요인으로 하기보다는 채취와 번식 및 관리의 용이성, 토착종(native species)과의 경쟁 관계들을 고려함이 더욱 중요한 것으로 판단하였다(Mitsch, 2002).

인공습지에는 Fig. 1에 표시한 바와 같이 수질정화 효율이 높은 갈대, 애기부들, 미나리, 줄 등의 식생이 우점하도록 식재하였다. Mitsch 등(2000)의 연구에 의하면, 인공습지에서는 복합종으로 할 경우 병충해와 천적의 공격으로부터 안정화, 다양한 생물들에게 서식환경 및 먹이원 등을

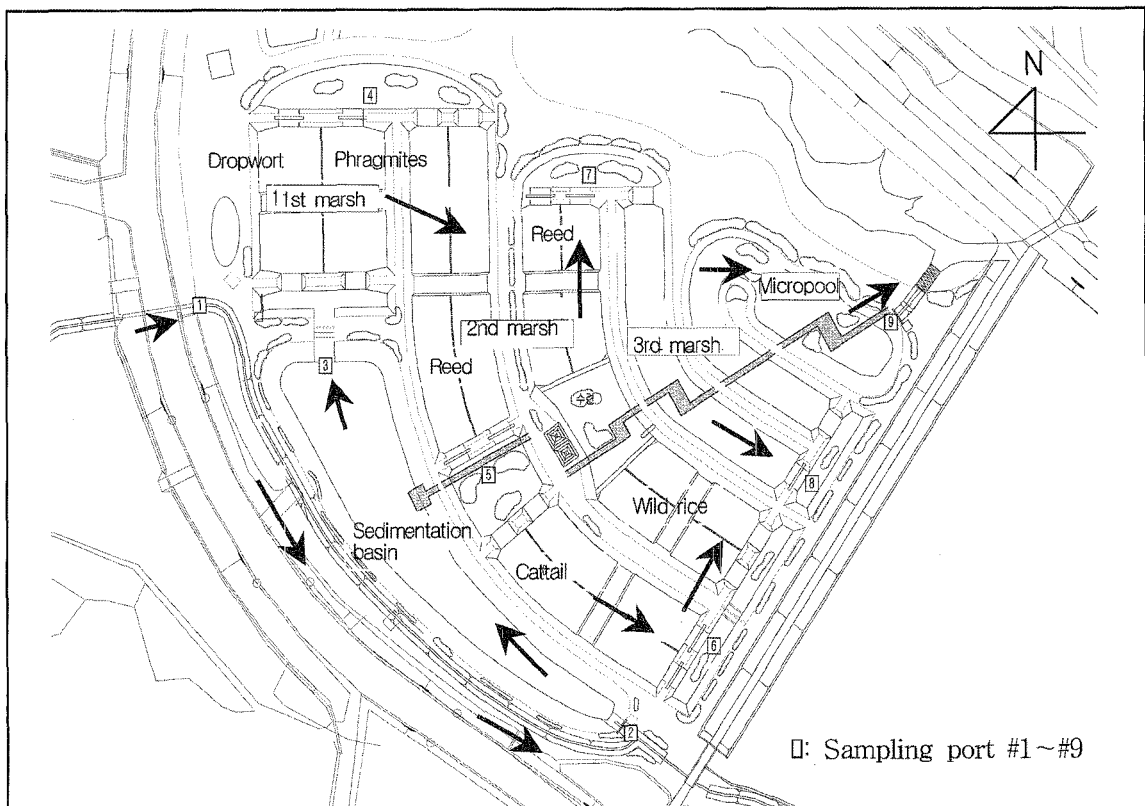


Fig. 1. Layout of the Juam constructed wetland.

공급하는 이점이 있으므로 복합종의 식재가 유리한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서도 곳곳에 위치한 연못에는 수질정화 외에 경관과 생태적 기능, 어류서식처 제공 등의 기능을 고려하여 노랑어리연꽃, 수련 등 다양한 식생을 도입하였다.

저류지, 연못에는 식물자체에 의한 영양염류의 흡수 및 제거 기능보다는 침전 및 탈질화 등의 기능이 강하며, 수심이 인공습지보다 깊으므로 자연발생하는 개구리밥 등의 부수식물과 검정말, 새우가래 등의 침수식물에 의한 수질정화가 이루어지도록 하였다.

식재 직후 한두 달 동안은 맑은 물이나 농도가 낮은 물을 유입시켰고, 그 다음 일정 기간 동안은 강우시에 농경배수와 시가지 유출수 등을 유입시키면서 계속하여 농도와 유량을 증가시켰다. 봄철 성장 초기단계에서는 의도된 식물종의 유도 및 잡초 제어를 위해 수위를 조절하였는데, 정상적인 운영상태의 수심은 얇은 습지부분에서 10~20 cm 정도, 깊은 습지구간(연못)에서는 0.7~1.0 m 정도를 유지하였다.

2.3. 수질 분석

습지에 대한 수질측정지점은 크게 습지의 유입부와 유출부로 나누었고, 습지 단계별 처리 효율등을 분석하기 위해 Fig. 1에 표시한 바와 같이 세분화하여 전체 9개 지점으로 구성하였으며, 하수처리장의 방류수 수질데이터도 간접적인 자료로 활용하였다.

수질분석은 수온, pH, 전기전도도, ORP 등 5개 항목은 현장에 설치된 수질 자동측정기를 사용하였다. BOD, COD, SS, T-N, T-P, NH₃, NO₂, NO₃, PO₄ 및 Chl-a 등 10개 항목은 수질오염공정시험법(환경부, 1998)과 Standard Method (APHA, 1998)에 준하여 월 1회 실시하였다.

오염물질의 침전 및 식물체의 잔체물 등에 의한 습지 토양의 농도 변화를 모니터링하기 위하여, 2003년 7월과 11월 및 2004년 6월과 10월에 걸쳐 4회 퇴적물 현황조사를 실시하였다. 퇴적물 조사 지점은 습지 단계별로 구분하여 침강저류지, 얇은 습지, 깊은 습지 및 마이크로폴 등 8개 지점으로 세분화하였으며, 채취된 시료는 COD, T-N 및 T-P를 중심으로 분석하였다. 습지내에 식재된 수생식물은 달뿌리풀, 애기부들, 갈대, 줄 등 4가지로, 수종별, 습지 구획별로 6개 지점(1 m × 1 m 구역)으로 분류하여 식물체의 지상경과 분얼수를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질분석

인공습지에 의한 오염물질의 정화효과를 안정적으로 나타내기 위해서는 습지내 식재 식물의 역할이 중요하지만, 대상 시설은 2002년 12월에 준공되어 식생이 어느 정도 밀식되기까지 6개월 이상 소요되었고, 수온과 같은 외적인 자연환경도 중요하게 작용함에 따라 본 연구에서의 제거 효율은 크게 습지 안정기, 하절기 및 동절기로 구분하여

분석하였다.

월별 평균 유입, 유출 농도 및 제거 효율은 Fig. 2에 제시하였다. 시설 설치 초기에는 BOD농도가 불안정하여 5~20 mg/L로 유입되었으나, 6개월 경과 이후부터는 5 mg/L이하로 유지되었다. 습지 운영기간 동안의 평균 유입 BOD 농도는 4.3 mg/L, 유출 농도는 3.8 mg/L로 나타났고, 이때의 평균 제거 효율은 11.6%였다. Table 1에 각 수질항목별 평균 유입, 유출 농도 및 제거 효율을 정리하였다.

Table 1. Summary of influent, effluent concentration and removal efficiency

	Influent(mg/L)	Effluent(mg/L)	Removal(%)
BOD	4.3	3.8	11.6
SS	10.4	6.3	39.4
T-N	11.39	4.08	64.2
T-P	0.90	0.26	71.1

BOD 제거 효율은 습지내 식생식물의 성장 정도에 따라 차이가 발생하였다. 습지내 식생식물의 성장이 안정적으로 유지되는 하절기에는 15.8%의 처리 효율을 나타내다가, Fig. 2에 도시한 바와 같이 습지내 식생식물의 성장이 둔화되는 동절기 및 유입 농도가 낮은 경우에는 유출 농도가 더 높게 나타나서 제거 효율을 도출할 수 없는 경우도 발생하였다.

2003년도에는 습지내 식생식물의 성장이 불완전하였기 때문에 BOD 처리 효율이 낮았고, 2004년도에도 하절기의 일부 기간을 제외하면 처리 효율이 크게 개선되지 않는 것으로 분석되었는데, 이는 저농도의 유입수가 습지내로 유입되었기 때문으로 판단된다. 본 연구 결과는 수질자료가 부족하고, 식생이 밀식되기까지 6개월 이상 소요되었으며, 준공후 불과 2년 정도 경과하였기 때문에 인공습지의 설계기준으로 사용하기 위한 수질정화 효율을 제시하기에 다소 부족하지만, 본 연구에서와 유사한 환경조건으로 인공습지를 설계할 경우 BOD 기준으로 50% 이상, 유출수 농도 2 mg/L 이하를 유지하기 위해서는 유입수 농도를 5 mg/L 이상 유지함이 바람직할 것으로 판단된다.

대상 시설의 유입수는 대부분이 비점오염원으로 분류되는 저농도의 농경배수와 하수종말처리장의 방류수로 구성

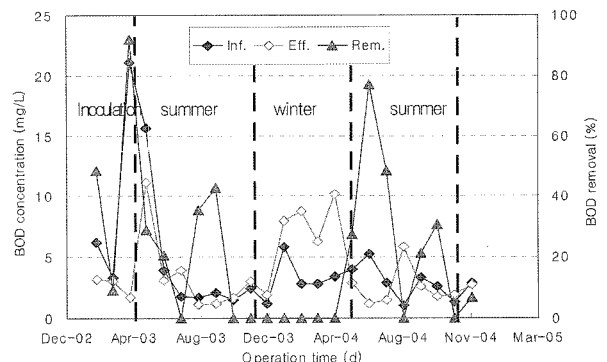


Fig. 2. Profiles of influent, effluent BOD concentration and BOD removal efficiency.

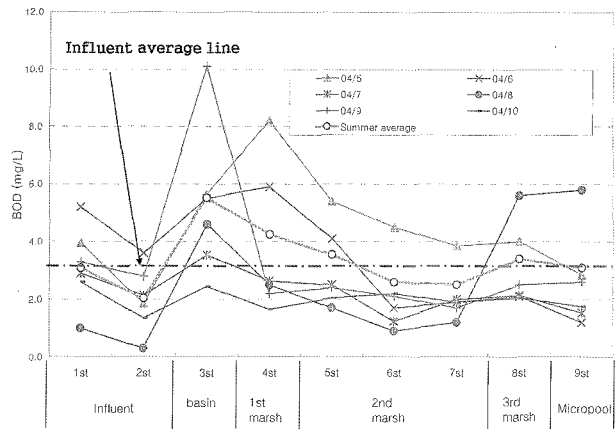


Fig. 3. Profiles of BOD concentration at each monitoring point.

되어 있다. 농경배수의 농도는 직접 측정할 수 없었지만, 농업유역 비점오염원 저감을 위한 인공습지를 실험모로 조성하여 운전한 장 등(2005)의 연구에서 농번기의 COD는 10 mg/L 정도에서 장마기에는 5 mg/L로 낮게 나타난 결과를 참고하면, 본 연구에서도 저농도의 유입수가 유입된 것으로 판단할 수 있다. 또한 하수종말처리장 방류수의 평균 BOD 농도는 4~15 mg/L로 조사되었다.

Fig. 3에는 2004년 하절기 동안(5~10월) 각 습지 단계별 9개소의 평균 BOD 농도 변화를 표시하였다. 습지로 유입된 유기물질은 침강저류지를 통과하면서 농도가 급격하게 증가한 후 1,2차 습지를 지나면서 정화되어 방류되는 것으로 판단된다. 침강지는 인공습지내로 유입되는 토사와 오염물질을 억제하여 퇴적물 준설 작업을 효율적으로 수행할 수 있도록 도와준다. 저수지내 유입부 침강지의 수질정화 효율을 평가한 장 등(2004)에 의한 연구에 의하면, COD와 SS의 제거 효율이 40% 정도 유지되었으나, 본 연구에서는 침강저류지에서 조류 등의 영향으로 인하여 오히려 농도가 일시적으로 증가해서 이에 대한 지속적 관찰 및 대책 수립이 필요한 것으로 나타났다. 특히, 하절기와 동절기의 지점별 BOD 농도 변화를 비교해 보면 동절기의 경우 유출 BOD가 유입 BOD 보다 높게 나타났다. 하절기에는 유입후 침강저류지를 통과하면서 증가된 BOD 농도가 습지를 통과하면서 감소되지만, 동절기의 경우 증가된 BOD 농도의 감소가 적게 되어 유입수보다 높은 농도로 유출되었다.

SS의 월별 평균 유입, 유출 농도 및 제거 효율을 Fig. 4에 제시하였다. BOD농도 변화와 마찬가지로 시설 설치 초기에는 SS농도가 불안정하여 6~40 mg/L로 유입되었으나, 6개월 경과 이후부터는 15 mg/L이하로 유지되었다. 습지 운영기간 동안의 SS의 평균 유입 농도는 10.4 mg/L, 유출 농도는 6.3 mg/L였고, 이때의 평균 제거효율은 39.4%로 나타나 BOD의 제거 효율보다 높았다.

주암호 인공습지의 월별 T-N 및 T-P의 유입, 유출농도 및 처리효율을 Fig. 5에 표시하였다. 인공습지 운영기간 중의 T-N 및 T-P 제거 효율은 BOD와 비교하여 높게 나타났는데, T-N은 64.2%, T-P는 71.7%였다.

T-N과 T-P의 하절기 처리효율은 각각 79.3%와 78.8%를

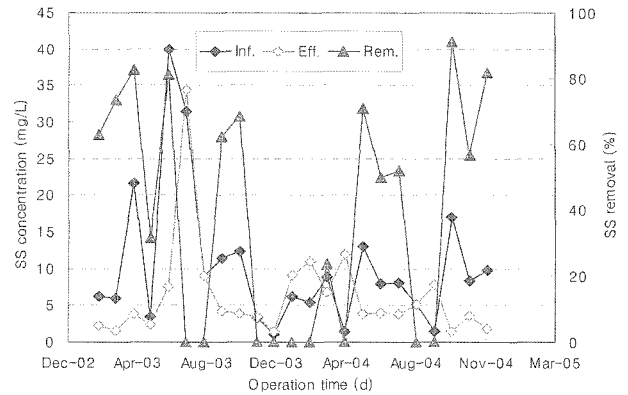


Fig. 4. Profiles of influent, effluent SS concentration and SS removal efficiency.

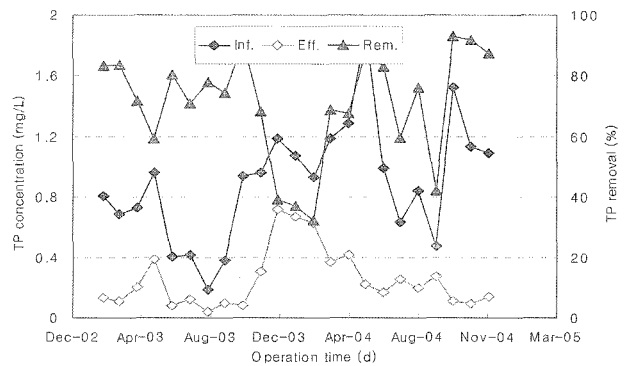
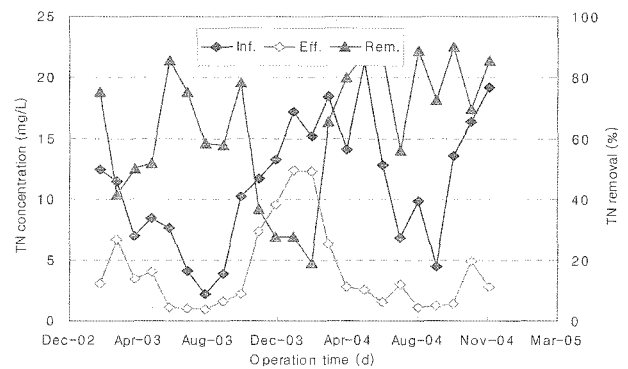


Fig. 5. Profiles of influent, effluent T-N and T-P concentration and removal efficiencies.

나타내다가, BOD와 마찬가지로 식재식물의 성장이 멈추는 동절기에는 53.2% 및 62.1%로 처리효율이 떨어졌으나, 대체로 높은 처리효율을 유지하였다.

수질정화를 목적으로 하는 인공습지의 경우 유기물질의 처리보다는 T-N, T-P와 같은 영양물질 제거에 효과적인 것으로 나타났다(윤 등, 1999; Oswald, 1987). 본 연구에서 영양물질의 처리효율이 높은 원인으로서 인공습지 내부에서 진행되는 생물학적 질산화·탈질에 의한 질소 제거와 침전에 의한 인 제거 메커니즘 관련 및 고도처리가 되지 않은 하수처리장의 방류수가 유입된 원인으로 분석된다.

주암호 인공습지에서 단계별 T-N 농도의 변화를 Fig. 6에 제시하였는데, 처리효율은 평균 64.2%(하절기 : 79.3%, 동절기 : 53.2%)로 높게 나타났다. T-N의 경우는 BOD와 비교하여 유입수의 T-N 농도가 침강저류지와 습지를 통과

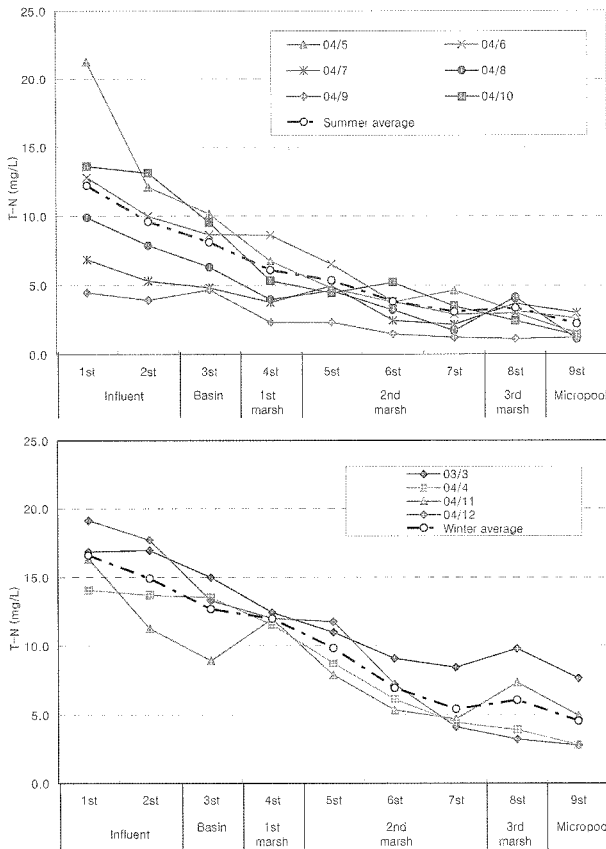


Fig. 6. Profiles of T-N concentration at each monitoring point.

하면서 일정한 비율로 저하되었으며, 동절기에는 수온 저하 및 수생식물의 성장 중지 등의 원인으로 하절기보다는 다소 낮은 처리효율을 나타냈지만 전체적인 농도 변화의 경향은 하절기와 동절기가 비슷하게 나타났다. 인공습지에서의 질소는 습지내의 식물체에 의한 제거뿐만 아니라 토양 내에 성장하는 질소 제거 미생물의 기작 등과 같은 다양한 요인에 의해서 제거되는 것으로 판단된다.

습지내에서의 단계별 T-P 농도 변화를 Fig. 7에 표시하였는데, 처리효율은 평균 71.7%(하절기 : 78.8%, 동절기 : 62.1%)로 나타났다. 단계별 평균 유입, 유출 농도 및 제거 효율을 Table 2에 정리하였다.

T-P의 경우도 T-N의 경우와 같이 습지 단계를 거치는 동안 감소되는 경향을 나타내었는데, T-N과는 달리 침강저류지에서 대부분의 T-P가 제거되는 것으로 나타났다. 이는 T-P가 침전 및 흡착 등에 의해 제거되기 때문으로 판단되며, 식물체 등에 의한 제거량은 침전에 의해 제거되는 양에 비해 적은 것으로 판단된다.

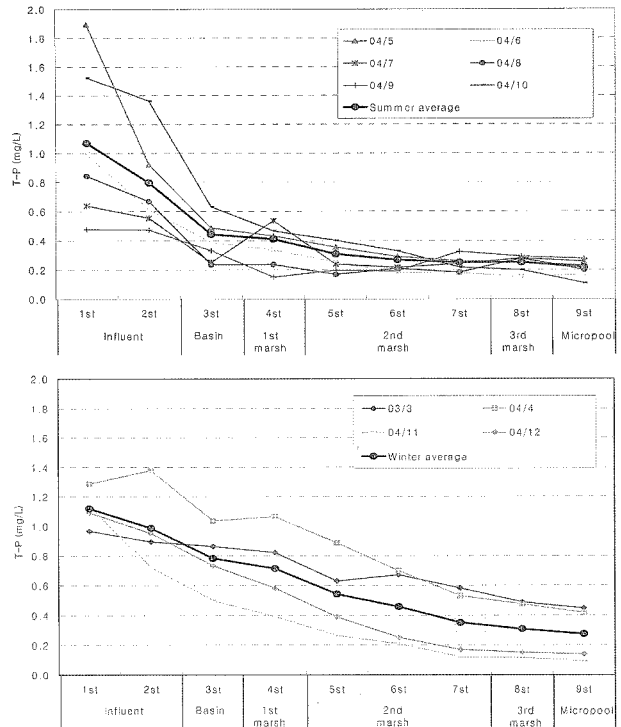


Fig. 7. Profiles of T-P concentration at each monitoring point.

3.2. 퇴적물 분석

습지내의 지점별 퇴적물 분석결과를 Fig. 8에 표시하였다. 퇴적물의 오염물질 농도가 2차 조사(2003년 11월)까지는 전반적으로 증가하였다. 인공습지의 운영기간이 경과함에 따라 퇴적물의 오염물질 농도가 점차 증가될 것으로 예상하였으나, 3차 이후 조사에서는 일부 지점의 경우 오히려 오염물질의 농도가 감소하는 경우가 발생하였다. 특히, T-P의 경우 침전 및 흡착 등에 의하여 제거되기 때문에 습지내 퇴적물의 T-P 농도가 점차 증가할 것으로 예상하였으나, 일부 구간에서는 감소하기도 한 것으로 나타나, 다른 항목과 유사한 경향이였다.

일반적으로 습지의 운영기간이 경과함에 따라 습지내 퇴적물의 양은 증가하게 되며, 과도한 퇴적물의 증가는 습지 용량 감소로 인하여 오염물질의 체류시간을 감소시키며, 이에 따라 오염물질 처리효율에 영향을 미칠 수 있다. 또한 침전된 오염물질이 재용출되는 등의 2차 오염이 발생될 수 있으므로 인공습지의 안정적인 유지관리를 위해 퇴적물의 농도뿐만 아니라 침전지에서의 퇴적물 퇴적율을 지속적으로 모니터링 하여야 한다. 습지에서 퇴적물은 통상 매년 2~3 cm 정도 쌓이는 것으로 알려져 있다.

Table 2. Summary of influent, effluent concentration and removal efficiency at monitoring period

	Inoculation			Summer			Winter		
	Inf.(mg/L)	Eff.(mg/L)	Rem.(%)	Inf.(mg/L)	Eff.(mg/L)	Rem.(%)	Inf.(mg/L)	Eff.(mg/L)	Rem.(%)
BOD	10.2	2.6	74.3	3.8	3.2	15.8	2.8	5.3	-
SS	11.3	2.6	77.3	13.4	7.3	45.5	5.5	6.1	-
T-N	10.30	4.42	57.1	8.80	1.82	79.3	15.67	7.33	53.2
T-P	0.74	0.15	79.7	0.81	0.17	79.0	1.11	0.42	62.2

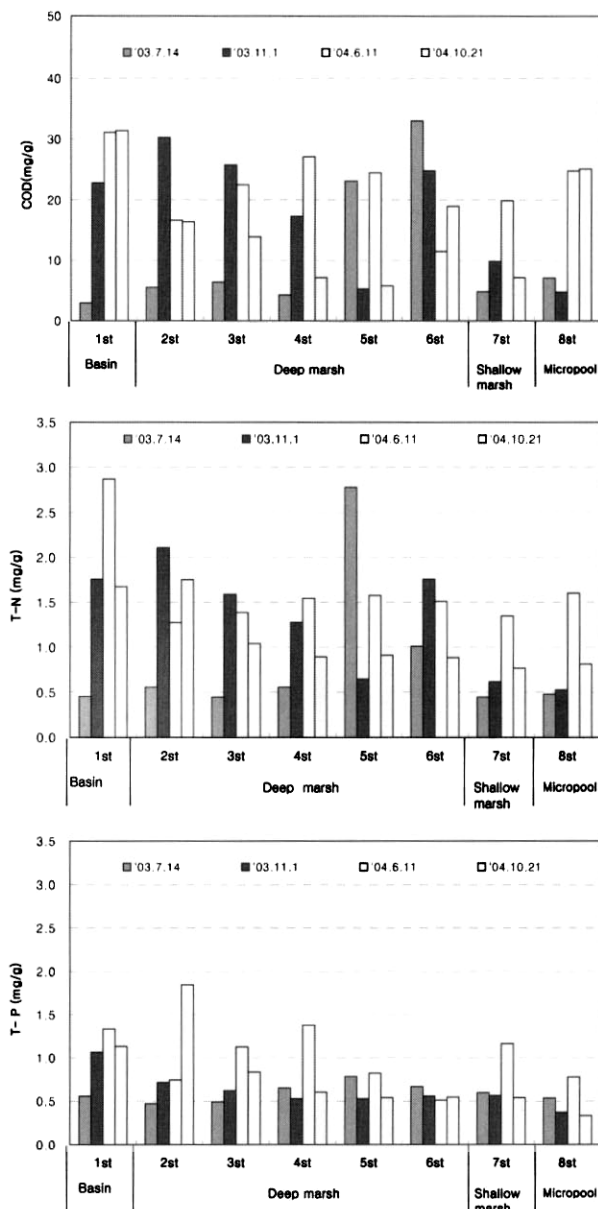


Fig. 8. Profiles of influent, effluent SS concentration and removal efficiency.

식물체 성장량을 조사한 결과 지상경의 크기는 애기부들, 분얼수는 갈대가 가장 많은 것으로 분석되었다. 단위 면적당 건조 중량 (DW: Dry weight)은 갈대가 가장 높았지만, 영양염류 흡수량은 달뿌리풀이 질소 0.235 DWmg/g, 인 2.059 DWmg/g 으로 가장 높게 관찰되었다.

인공습지 조성에 의한 수질정화는 식생, 물, 하부층 및 미생물 등의 4가지 주요 인자가 복합적으로 장기간 동안 작용하지만, 조성 후 3년 정도 경과한 주암호 인공습지의 단기간 운전 결과로서는 정상 가동 여부 등을 판단하기 어려울 것으로 사료된다.

따라서 본 연구 시설과 유사한 환경에서 하수고도처리와 비점오염원처리를 목적으로 향후 설치 예정인 인공습지의 규모 결정과 설계 인자 등을 도출하기 위해서는 장기간에 걸친 지속적인 모니터링의 결과 및 고찰 등이 필요할 것으

로 판단된다.

4. 결론

주암호 수질개선사업으로 하수종말처리장의 방류수와 비점오염원 처리를 위하여 설치된 인공습지의 2년 운영 결과는 다음과 같다.

1. 습지내 식생식물의 성장이 안정적으로 유지된 하절기에는 15.8%의 BOD 제거 효율을 나타냈고, 평균 SS 제거 효율은 39.4%였다.
2. 운영 기간중의 T-N 및 T-P의 제거 효율은 64.2%와 71.7%로 나타났고, 특히 식생이 밀식되고 안정화된 하절기의 T-N 및 T-P 제거 효율은 각각 79.3%와 79.0%로 나타났는데, 이는 습지내의 식물체에 의한 제거, 토양 미생물의 역할 및 침전과 흡착 작용 등에 의한 복합적인 원인으로 유기물 제거 효율보다 높았다.
3. 퇴적물의 초기 오염물질 농도는 증가하였지만, 2년제 운전 이후에는 일정한 농도를 유지하다가 감소하는 경우도 관찰되었다.
4. 식물체 성장량에서 지상경의 크기는 애기부들, 분얼수는 갈대가 가장 많은 것으로 분석되었고, 단위 면적당 건조 중량은 갈대가 가장 높았지만, 영양염류 흡수량은 달뿌리풀이 질소 0.235 DWmg/g, 인 2.059 DWmg/g이었다.
5. 본 연구는 설치 후 2년 정도 경과한 운전 결과를 분석하였기 때문에 시설의 설계 및 설치 기준으로 사용하기 위한 수질정화 효율을 제시하기에 다소 부족하며, 유입 수 농도와 유량 유지 확보 방안, 침강저류지 운영 방안 및 습지 내부에서의 퇴적물 퇴적물의 모니터링 등에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 나타났다.

참고문헌

농업기반공사 농어촌연구원, 농업용수 수질개선을 위한 인공습지 설계·관리 요령 (2004).
 양흥모, 하천수 정화 자연형 인공습지의 초기 질소제거, 한국물환경학회지, 21(4), pp. 269-273 (2002).
 윤춘경, 권순국, 우선호, 권태영, 농촌지역 수질개선을 위한 인공습지 실험 시설의 3년간 실험 결과 검토, 한국물환경학회지, 15(4), pp. 581-589 (1999).
 장정렬, 최선화, 권순국, 저수지내 유입부 침강지의 수질정화 효율, 한국물환경학회지, 20(5), pp. 473-479 (2004).
 장정렬, 최선화, 황선경, 권순국, 농업유역 비점원오염 저감용 자유수면형 인공습지의 초기 운영 결과 검토, 대한상하수도학회·한국물환경학회 2005 공동 추계학술발표회 논문집, pp. 521-530 (2005).
 정부합동, 영산강수계 물관리종합대책 -호남의 생명수 지키기 대역사- (2000).
 환경관리공단, 주암호 등 영산강수계 녹조방지사업 종합계획 수립을 위한 단위사업별 타당성조사용역 보고서 (2002).
 환경부, 수질오염공정시험법, 동화기술, 서울 (1998).
 American Public Health Association, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,

- 20th edition, Washington DC. USA (1998).
- Bachand, P. A. M. and Horne, A. J., Denitrification in Constructed Free-water Surface Wetlands: II. Effects of Vegetation and Temperature, *Ecol. Eng.*, **14**, pp. 17-32 (2000).
- Haberl, R., Constructed Wetlands: A Chance to Solve Wastewater Problems in Developing Countries, *Wat. Sci. Tech.*, **40**, pp. 11-17 (1999).
- Kadlec, R. H. and Knight, R. L., Treatment Wetlands, CRC Press, pp. 415-442 (1996).
- Mitsch, W. J., Development of Macrophyte Communities and Subsequent Ecosystem Function in Two Created Wetlands: A Whole-Ecosystem Experiment, *In proceedings of the Nanjing International wetlands symposim, Society of wetland scientists*, Nanjing, pp. 55-65 (2002).
- Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G., *Wetlands*, John Wiley & Sons, New York (2000).
- Mitsch, W. J., Wu, X., Narin, R. W., Weihe, P. E., Wang, N., Deal, R. and Boucher, C. E., Creating and Restoring Wetlands -A Whole Ecosystem Experiment in Self Design, *Bio Science*, **48**, pp. 1019-1030 (1998).
- Oswald, W. J., Introduction to Advanced Integrated Wastewater Ponding System, *Wat. Sci. Tech.*, **19**, pp. 393-398 (1987).