

현장실험을 통한 수생식물의 수질정화 효과에 관한 연구

이 종 성 · 김 기 남*
청마환경평가 경관생태연구소, 동우환경평가 생태연구소*
(2005년 8월 29일 접수; 2005년 10월 27일 채택)

A Study on the Water Quality Purification Effect of Aquatic Plants in field work

Jong-Sung Lee and Ki-Nam Kim*

Landscape Ecology Center, Chung Ma Environmental Impact Assessment, Seoul 152-056, Korea
**Ecology Center, Dong Woo Environmental Impact Assessment, Seoul 152-053, Korea*
(Manuscript received 29 August, 2005; accepted 27 October, 2005)

Presently, aquatic plants are used for the water purification in inland water. This study was carried out to investigate the water purification effect of aquatic plants, *Oenanthe javanica* and *Typha angustata*. The experiment was conducted in outdoor flowing water was conducted for ten days. Water quality was measured in terms of water temperature, COD(chemical oxygen demand), SS(suspended solids), Total N, Total P.

The results of field experimentation showed that hydraulic retention time was the earliest in July and August 2003, and there were not any particular changes of monthly water temperature in inflow water and outflow water. As we look at the changes taken place in inflow water and outflow water throughout the whole experiment period, the change of water quality in summer was salient, especially SS removal ratio showed distinguished change as 25%, when the pebble filter and aquatic were attached to it. The removal rate of COD, total N total P were 14.7%, 8% and 9%, respectively. In relating the length of water extension to the change in water quality, the water quality tended to get lower generally in proportion to hydraulic retention time.

Key Words : Aquatic plants, COD, SS

1. 서 론

1960년대 이후 급속한 경제개발 정책으로 인해 환경보다는 경제성을 우선으로 하는 국토개발을 진행해왔다. 축산농가로부터 정화되지 않은 축산폐수의 과다유입, 공업시설에서 유출되는 유독성 환경오염 물질과 화학비료와 농약의 과다 사용으로 인한 질소와 인 성분의 유입, 인구증가에 따른 생활폐수의 증가 등의 요인으로 인해 많은 내륙 담수호나 습지, 대규모 간척지 주변의 호수들에 있어서 최근 심한 부영양화(eutrophication)현상이 진행되고 있는 상태이다. 최근 지구의 자정능력을 극대화하기 위한

자연처리법(NTS)에 대한 연구가 매우 급진전하고 있다¹⁾. 외국의 경우 펜실베이니아의 Tinicum Marsh에서 습지식물에 의한 수중의 영양염류 제거능에 관한 실험이 있는 후 많은 사람들이 수질정화의 방법으로 수생식물을 활용하는 방안에 대하여 관심을 갖게 되었으며 이들은 자신들이 수행하던 수생식물의 생산성과 영양염류순환에 관한 연구의 동향을 종래의 순수 생태학적인 차원을 넘어 수질정화에 이용하는 측면을 강조하게 되었다. 그 중 습지식물에 의해 자연 정화되던 오수가 그대로 방류되어 수질의 악화가 가속화되어 이를 위한 대책이 시급한 실정이다²⁾. 최근에 습지의 중요성이 서서히 부각되면서 습지생태계의 생태학적 역할에 관한 연구와 습지 또는 인공습지를 활용하는 방법에 관한 자연정화 연구가 활발히 진행되고 있다^{3,4)}. 최초의 자연정화 방법은 토지를 이용한 처리를 비롯하여 대형

Corresponding Author : Jong-Sung Lee, Landscape Ecology Center, Chung Ma Environmental Impact Assessment, Seoul 152-056, Korea
Phone: +82-2-6346-2288
E-mail: sonata1098@hanmail.net

수생식물을 이용한 수질정화시스템(FAMS; Floating Aquatic Macrophyte based Treatment System)에 이르기까지 많은 연구가 시도되고 있다. 수질오염물질을 제거하는 수생식물로는 부레옥잠, 개구리밥, 부들, 갈대, 사초, 생이가래, 줄, 연꽃류 등이 있는데 이와 같은 여러 가지 수생식물이 정화식물로서 실험되어 각 식물별로 그 정화효과가 평가되어 있다⁵⁾. 특히 수생식물을 이용한 처리시설은 다른 공법에 비해 다음과 같은 장점이 보고되고 있다. 경비가 적게 소요되고 효과가 빠르며 생물 농축이나 생태계 파괴와 같은 2차 오염의 우려가 없고 경우에 따라서 부산물이 증식된 생물체의 재이용도 기대할 수 있다⁵⁾. 이렇듯 수생식물은 수면에서 생활하는 여러 가지 동물의 먹이가 되기도 하고 조류의 보급자리를 제공하는 등 귀중한 작용을 하고 있다. 또한 경관이나 수질정화 등의 기능을 가지고 있으며 특히 최근 biotope와 같이 환경 친화적 개념에 조화되어 수질정화에 대한 기대가 점점 높아지고 있는바 수생식물을 포함한 식생은 현재의 생태계를 보전대상으로 하고 하천개수나 유량, 수질악화 등에 대해서는 식생이 갖는 역할을 생각하면 필요에 따라 인위적인 복원이 필요하다.

본 연구는 최근 자연생태계관리의 측면과 더불어 biotope 창조를 병행한 수생식물을 이용한 수질정화 기술에 관하여 많은 연구가 시행되고 있는 현 시점에 수생식물을 통한 영양염의 제거효율을 측정·분석함으로써 수질정화 능력을 규명하고 향후 수생식물을 이용한 수질정화시스템 개발의 기초 자료로서 제공함으로써 궁극적으로는 자연친화적인 도심하천 정비 사업에 기여하는데 있다.

1.1. 연구사

1.1.1. 수생처리법(Aquatic Systems)의 개요

자연처리법은 크게 토지처리법과 수생처리법으로 나누어지는데 그 중에서 수생처리법을 이용한 처리 방법에는 인공습지법과 자연습지법, 수생식물처리법으로 구분되며 본 연구에서 거론되는 수생식물처리법을 이용한 수질개선기법은 처리장에서의 수처리와 자연수체내 수질개선의 두 분야에서 적용되어 왔다. 국내의 수생식물에 관한 연구는 Saito⁶⁾가 한강 및 서울 근교에서 조사한 침수성 식물을 밝힌 것을 효시로, 주로 분포에 관한 분류학적 연구로부터 시작되어⁷⁾ 현존량, 생산성 및 물질순환 등과 같은 생태학적 연구가 주로 이루어져 왔으며 김준호와 민병미, 조강현, 김현석이 축산폐수 속에 함유된 N과 P를 제량과 N 및 P 함량으로부터 폐수의 정화능을 비교하였으며^{8~10)} 수질오염과 관련된 것¹¹⁾이 비닐막을 깔은 인공호소(넓이 248m², 길이30cm)에 생

활오수를 넣고 부레옥잠을 띄워서 40일간 재배하면서 오수속의 세제를 비롯하여 COD, NH⁴⁺-N, P, Na 및 Cl 함량을 감소시킴을 밝혔고 N와 P의 제거능력에 관한 것¹²⁾등이 보고되고 있다.

1.1.2. 수생처리법에 이용되는 수생식물

수생처리법에 이용되는 일반적인 식물로서는 부들(*Typha orientalis*), 애기부들(*Typha angustata*), 큰고랭이(*Scirpus tabernaemontani*), 갈대(*Phragmites communis*), 사초(*Carex lyngbyei*, HORN)등이 있으며, 수생처리법은 부유식물법(Floating Plant Systems), 침수식물법(Submerged Plant Systems) 및 추수식물법(Emerged Plant Systems)으로 구분할 수 있다¹³⁾. 이들 수생처리법에 이용되는 수초는 수심에 따라 그 활동 범위가 서로 다르기 때문에 각 수초의 성장 조건에 의해 부유, 침수, 추수의 세 가지 형태로 분류할 수 있으며 Table 1에서는 수질정화에 적합한 수생식물의 영양염류함량, 재배, 수집, 수송, 재이용 가능성을 나타내고 있다.

부레옥잠은 다른 수초보다 근계(Root system)구조가 아주 발달해 있으므로 유기물질 분해를 위한 박테리아균이 대량 부착할 수 있는 여재로서 아주 우수하고 충분히 성장한 식물뿌리는 부유 고형물질의 여과 및 흡착을 용이하게 한다. 뿐만 아니라 부레옥잠의 왕성한 성장력은 식물체내로 N, P 등의 흡수로 인하여 하수처리의 도움이 된다. 그러나 과밀하게 성장한 경우는 수표면에서 공기와의 산소 유통을 차단하여 용존산소를 결핍시키며 내한성이 낮아 국내의 자연 수역에서는 적용이 시기적으로 제한적이고 수분함량이 높아 운반이 쉽지 않다⁵⁾. 이에 반해 좀개구리밥은 상기한 문제점은 갖지 않으나 생체량이 작고 근대발달이 적어 제거능력이 상대적으로 떨어진다¹⁴⁾. 미나리와 갈대는 부착 미생물에 의한 유기물 제거율은 높으나 조직 중에 질소, 인 함량이 낮고 성장속도가 느려서 영양염류의 흡수 능력이 약하고 수거가 어려운 반면, 사료나 비료로서의 재이용은 크다. 미나리는 내한성이 커서 국내의 기후조건에 매우 적합할 뿐만 아니라 처리대상수가 유해물질을 포함하지 않으면 식용이 가능하다¹⁵⁾. 또한 오염이 심한 곳에서도 생장이 가능하고 생식력이 뛰어나며 수중에 많은 뿌리를 지지대로 성장하여 비교적 수중 오염물과 접촉하는 면적이 넓어 이것을 이용하여 수중의 무기염류의 제거에 이용하게 되었다. 갈대는 특히 국내에서 갈대군락이 잘 발달하고 있는데 갈대군락은 수질정화와 폐기물 처리, 부영양화 억제 등 환경을 정화하는 다양한 기능을 수행한다¹⁰⁾. 갈대의 지하줄기에 저장되는 전분량은 가을에 최대가 되며 새싹의 형성이나 초봄의

Table 1. Selected plants used in water treatment

Primary required items	Secondary required items	Emergent				Floating-leaved		Submerged		Floating		
		Pa	Zl	Ta	Oj	Tj	Nn	Pm	Hv	Lp	Sn	Ec
Organics removal potential	Rootmat	○	○	○	○	△	△	×	×	△	△	○
	Oxygen depletion	△	△	△	×	○	○	○	○	○	○	×
	Detritivore	○	○	○	○	△	△	△	△	×	×	△
Nutrient uptake potential	Biomass	○	○	○	△	△	△	△	△	×	×	○
	N.P content	×	×	×	△	△	△	○	○	○	○	○
	Growth rate	×	×	×	△	△	×	×	×	○	○	○
Culture	Rhizome	×	×	×	○	△	×	△	△	○	△	△
	Coldness tolerance	△	△	△	○	△	△	△	△	○	△	×
Collection	Growing depth	△	△	△	○	×	×	×	×	○	○	○
Transport	Growing depth	○	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×
Reuse	Fodder, compost, etc	○	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○

○ : Fair, △ : Moderate, × : Unfair

Pa: Phragmites australis, Zl: Zizania latifolia, Ta: Typha angustata, Oj: Oenanthe javanica Tj: Trapa japonica, Nn: Nelumbo nucifera, Pm: Potamogeton maackianus, Hv: Hydrilla verticillata, Lp: Lemna paucicostata, Sn: Salvinia natans

급성장으로 소비되어 감소한다. 질소와 인은 거울철이 되면서 일부가 지하부에 재 배분되는데 고사되어 잎과 줄기에서도 옹아가는 경우는 적다고 한다. 이렇게 갈대는 서식 그 자체가 영양염류나 중금속 등의 물질 순환에 있어서 대단히 중요한 위치를 차지한다¹⁵⁾.

2. 재료 및 방법

2.1. 현장실험개황

장자천이 경기도 구리시에 위치하며 동서간 연장 6km, 남북간 연장 9km에 이르는 시하천이다(Fig. 1).

지리적으로는 동측의 왕숙천을 경계로 남양주시, 서측은 서울시 중랑구, 남측은 한강을 경계로 서울시 강동구 및 경기도 하남시, 동측 및 북측은 남양주시와 인접하고 있다. 또 구리시 남측의 한강은 수려한 경관을 자랑하고 있으며 동측의 왕숙천을 경계로 남양주시와 접한 접경지역은 농경지와 평야가 천변을 따라 산재해 있으며 서측은 아차산 등의 산지가 발달하여 서울시와 경계를 이루고 있다. 대규모 택지개발사업으로 인한 유입인구의 증가에 의한 무처리된 생활하수가 유입되면서 점차 수질이 저하되어 악취를 발생시키고 도시미관을 해치는 등 사지(死池)화 되어 수려한 옛 경관을 완전히 잃어 수질개선이 불가피한 실정이다.

본 연구의 대상지는 장자천으로 유입되는 지류로써 (주)한국생태하천건설에서 “장자천 유입지류 녹조 방지 사업”의 시범사업의 일환으로 조성된 곳으로 수로의 길이는 약 54m정도에 폭은 약 1~2m이

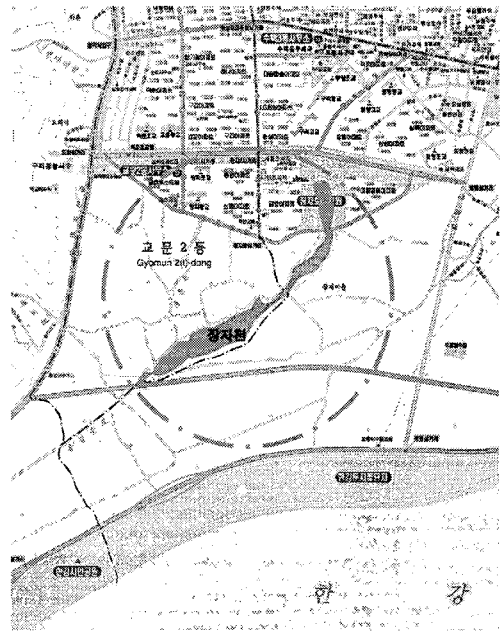


Fig. 1. Location of the study area.

다. 수로의 중심부에는 수질정화를 위한 미나리 식재를 통한 여과층 조성(2곳)과 수변부에 애기부들을 식재했으며 또한 큰고랭이, 꽃창포, 노랑꽃창포, 갯버들, 부처꽃, 벌개미취를 식재하여 자연스러운 경관을 조성하였다. 수로의 중심부의 수심은 지소와 계절에 따라 차이가 있지만 평균 0.6m 내외이며 하절기에는 수량이 풍부한 관계로 수심이 다소 깊지만 봄, 가을에는 수심이 낮은 편이다. 수로의 주변은

비닐하우스나 일반경작지이며 낮은 구릉성 지형으로 되어 있다.

2.2. 연구방법

내수면역을 대상으로 식물의 수질정화능력의 적용성을 검토하기 위해 현장실험을 실시하였다. 현장실험은 Biogeofilter법¹⁶⁾으로 적용하였으며 내수면적의 A, B, C 지점 즉, 3곳을 선정하였다. “A지점”은 A형여과지의 2m 전의 지점으로 유입부의 역할을 하며, “B지점”은 A형여과지의 통과 이후의 수질정화효과를 확인할 수 있는 지점이다. 마지막으로 “C지점”은 B형여과지의 통과 직후의 지점으로 “A지점”에서 “C지점”의 체류시간을 산정하여 각 지점의 영양염 제거효율을 비교 측정·분석하면 최종적인 수질정화효과를 볼 수 있다(Fig. 2).

Biogeofilter법의 실험내용은 Table 2와 같다. 현장실험의 대상지는 경기도 구리시 수택동 및 토평동에 위치하고 있는 장자천의 지류로서 (주)한국생

태하천건설에서 “장자천 유입지류 녹조방지사업”의 일환으로 조성한 곳이다(Fig. 3, 4). 현장실험의 내용을 요약하면 다음과 같다.

그리고 유입수 및 유출수를 채수하여 실시한 수질측정 항목은 수온, COD, SS, 총질소농도(T-N), 총인농도(T-P)로 설정하였다.

채취된 물 시료의 수온을 측정하고 COD, SS, 총질소(T-N), 총인(T-P)을 분석하였다. COD, SS, T-N, T-P는 시료채취 후 냉장 보관하여 실험실로 직송한 후 HACH사의 DR/4000을 이용하여 분석하였다. 물 분석을 위해 만들어진 용기에 일정량의 시료를 주입하고 (COD: 2ml, T-N: 2ml, T-P: 5ml), 일정온도에서 (COD: 2시간, T-N: 30분, T-P: 30분) 반응시켜 DR/4000으로 시료의 발색도에 따라 농도를 측정하였다. SS는 수질오염공정시험법에 따라 GF/C(φ=47mm)여과지를 이용하여 여과전과 여과후의 무게차이로 측정하였다. 물시료 분석 방법은 Table 3과 같다.

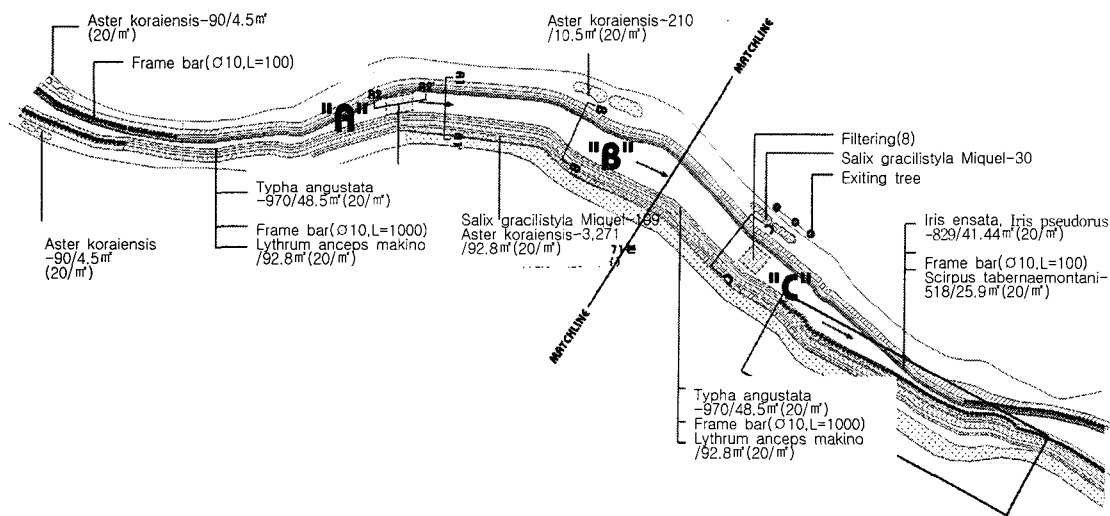


Fig. 2. Location of the water sample collection : “A”, “B” and “C”.

Table 2. A summary of the biogeofilter method applied in this study

Purification	Content	
Water purification method using aquatic plants with pebble filter (Biogeofilter method)	Structure of Total waterway	Waterway length : 54m, Waterway width(d) : 1~2m, Height of waterway(h) : 2~2.5m, Water depth(H) : 0.4~0.8m, Material of filter : pebble
	Testing water	Creek water
	Aquatic plant	Oenanthe javanica(Blume) DC. Typha angustata Bory et Chaub

현장실험을 통한 수생식물의 수질정화 효과에 관한 연구

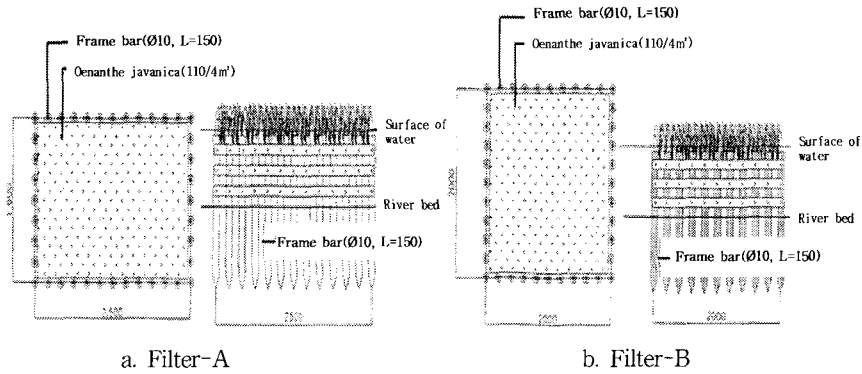


Fig. 3. Diagram of bigeofilter(Non-Scale).

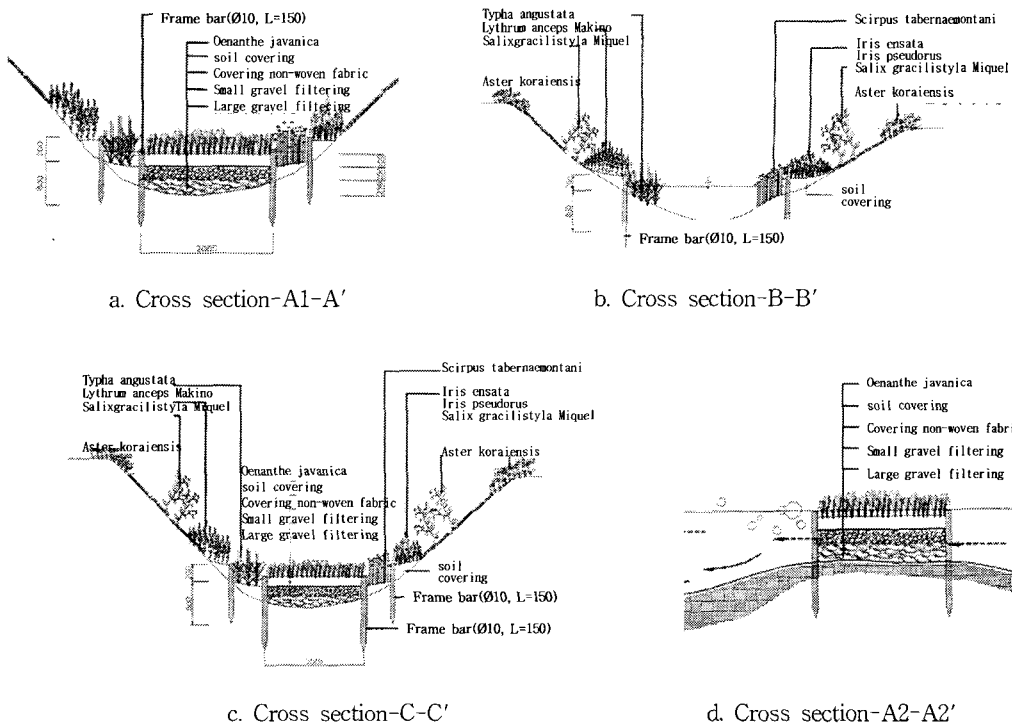


Fig. 4. Cross sections at the water collecting points(Non-Scale).

Table 3. A summary of water sample analysis

Items	Measure instrument	Analytical methods
COD _{cr}	DR 4000(HACH)	HACH Program Method
SS	Filter GF/C 47mm	Glass-fiber filtration
T-N	DR 4000(HACH)	TNT Persulfate Digestion Method
T-P	DR 4000(HACH)	Test'N Tube Procedure

3. 결과 및 고찰

3.1. 체류시간과 수온변화

현장실험은 수생실험의 생장이 왕성한 7월 초부

터 수생식물의 고사하기 직전인 11월까지 진행되었으며 최대체류시간은 8.8분이었고 7월과 8월에 다소 낮았다(Fig. 5). 유입수와 유출수는 수온차이가 거의

없었다(Fig. 6).

3.2. COD 감소효과

식물의 생장이 왕성한 7월에서 8월의 유입수 A와 유출수 B, C의 COD농도 변화가 두드러졌으며 8월 25일 측정값을 보면 유입수 A의 COD농도가 13.66 mg/l였으며 유출수 B, C의 COD농도는 각각 11.59 mg/l, 10.28mg/l로 15.1% 과 24.7%감소되었다.(Fig. 7). 이후 9월과 10월에는 10%정도의 감소효과를 보이다가 11월에는 더욱 낮아져 4.8%의 감소효과를 보였다. 유입수 A에서 유출수 B, C까지의 COD농도 변화로 수로 길이와의 관계를 보면 일반적으로 COD농도는 체류시간이 길수록 감소하는 경향을 보였다.

3.3. SS 감소효과

식물생장이 왕성한 7월에서 8월에 유입수 A와 유출수 B, C사이의 SS농도 변화가 25~37%정도로 저

감효과가 두드러졌으며, 8월 25일 측정값을 보면 유입수 A의 SS농도가 38.87mg/l였으며 유출수 B, C의 SS농도는 29.67mg/l, 24.69mg/l로, 각각 23.6%와 36.4%감소되었다(Fig. 8). 이후 9월과 10월에는 20%정도의 감소효과를 보이다가 11월에는 더욱 낮아져 10.6%의 감소효과를 보였다. 수질정화효과 중 SS농도 항목에서 가장 높은 정화효과를 나타냈는데 이는 수생식물에 의한 저감효과와 더불어 자갈필터가 추가되어 감소효과가 높아진 것으로 생각된다. 유입수 A에서 유출수 B, C까지의 SS농도 변화와 수로 길이와의 관계를 보면 일반적으로 SS농도는 체류시간이 길수록 감소하는 경향을 보였다.

3.4. Total-N 감소효과

식물생장이 왕성한 7월에서 9월 중순까지 유입수 B, C사이의 Total-N농도변화가 11~17%정도로 저감효과가 두드러졌으며 8월 25일 측정값을 보면 유

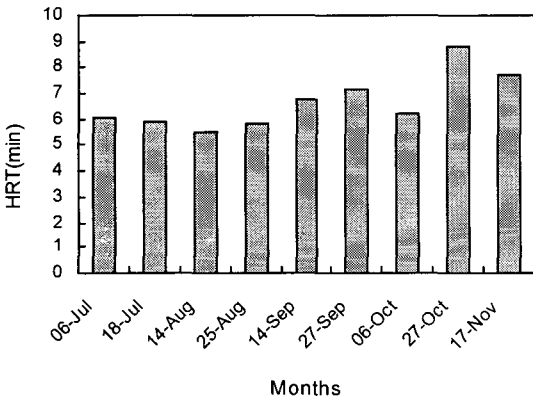


Fig. 5. Monthly changes of hydraulic time(HRT) between inflow and outflow water.

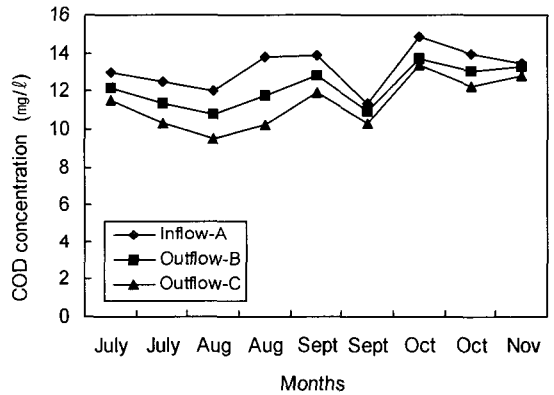


Fig. 7. Monthly changes in COD removal between inflow and outflow water.

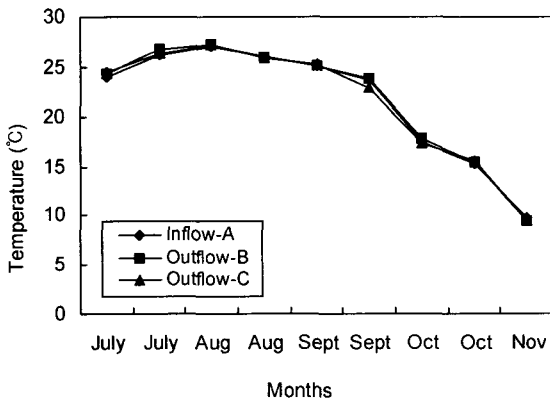


Fig. 6. Monthly changes of water temperature between inflow and outflow water.

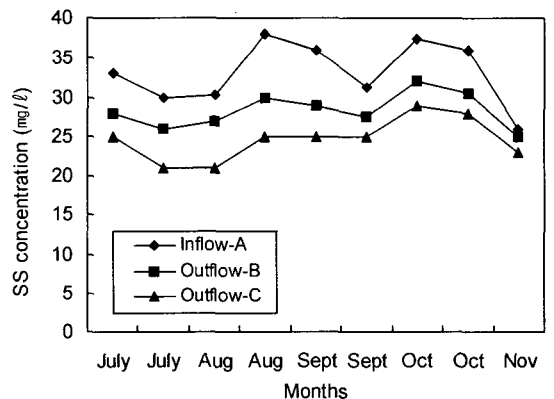


Fig. 8. Monthly changes in SS removal between inflow and outflow water.

입수 A의 Total-N농도가 16.39mg/ℓ였으며 유출수 B, C의 Total-N농도는 14.17mg/ℓ, 13.61mg/ℓ로 각각 10.4%와 14.1% 감소되었다(Fig. 9).

이후 9월과 10월에는 5.8%~10.2% 정도의 감소효과를 보이다가 11월에는 3.2%로 낮아졌다. 유입수 A에서 유출수 B, C까지의 Total-N농도변화와 수로 길이와의 관계를 보면 일반적으로 Total-N농도는 체류시간이 길수록 감소하는 경향을 보였다.

3.5. Total-P 감소효과

식물생장이 왕성한 7월에서 9월 중순까지 유입수 A와 유출수 B, C사이의 Total-P농도변화가 두드러졌으며 다른 측정항목과 마찬가지로 8월에 가장 높은 감소효과를 나타냈다. 8월 25일 측정값을 보면 유입수 A의 Total-P농도가 2.02mg/ℓ였으며 유출수 B, C의 Total-P농도는 1.87mg/ℓ, 1.77mg/ℓ로 각각 7.4%와 12.3% 감소되었다(Fig. 10). 이후 9월과 10월

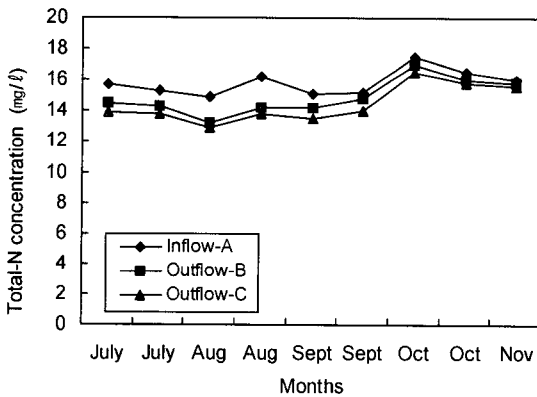


Fig. 9. Monthly changes in T-N removal between inflow and outflow water.

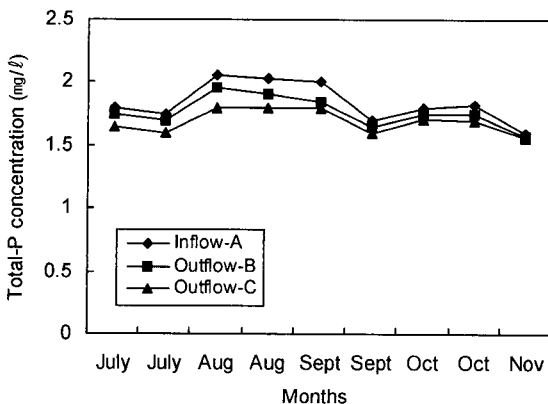


Fig. 10. Monthly changes in T-P removal between inflow and outflow water.

에는 4.1~6.6% 정도의 감소효과를 보이다가 11월에는 2.3%로 낮아졌다. Total-P는 측정항목들 중에서 감소효과가 가장 낮았다. 유입수 A에서 유출수 B, C까지의 Total-P의 농도변화와 수로 길이와의 관계를 보면 일반적으로 Total-P농도는 체류시간이 길수록 감소하는 경향을 보였다.

4. 적 요

본 연구는 자연 상태의 소규모 오수배출지역인 장자천에서 수생식물을 이용한 정화처리시스템을 통해 수질정화효과를 측정하는 현장실험을 측정된 결과 최대의 체류시간은 5.7-6.1분으로 7-8월경에 유속이 다소 빨랐던 것으로 나타났다.

수로연장길이와 수질과의 연관성은 체류시간에 비례하여 모든 수질측정 항목에서 수질농도는 감소하는 경향을 나타냈는데 실험기간 전반에 걸쳐 여름철이 7-8월경에 유입수와 유출수의 수질농도의 변화가 두드러졌다. 특히 부유물질은 평균제거율이 25%로 COD:14.7%, T-N:9.5%, T-P:8.0%로 나타난 다른 항목에 비해 수생식물에 의한 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 수생식물의 저감효과와 더불어 자갈필터가 추가되어 저감효과를 한층 높인 때문으로 생각된다.

수생식물의 수질정화능력과 다양한 환경조건에 다른 수질정화 능력에 대한 지속적인 연구의 필요성과 식물 자체만으로는 수질정화에는 한계가 있는 것으로 나타났으며 수질정화비용과 처리면적확보의 어려움을 고려할 때 수생식물을 이용한 효율적인 수질정화시스템의 개발에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 1) U.S. Environmental Protection Agency, 1981, Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater, Cincinnati, OH, October, EPA, 625/1-82-031.
- 2) Rohlich, G. A., 1963, Methods for the removal of phosphorus and nitrogen from sewage plant effluents, J. Air water pollution, Pergamon Press, pp. 427-434.
- 3) Moshiri, G. A., 1993, Constructed wetlands for water quality improvement, Chelsea, Mich., Lewis Publishers, pp. 142-152.
- 4) Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink, 1996, Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 125-129.
- 5) 정재욱, 1994, 부레옥잠을 이용한 하수처리공정

- 에 중금속이 미치는 영향, 아주대학교 산업대학원, 석사학위논문, pp. 38-45.
- 6) Saito, K.N. 1940, Water plants of the Han River, Bull of Teachers Assoc. of Sci. Chosun, 4, 20pp.
- 7) 최홍근, 1986, 한국의 수생식물지, 서울대학교 박사학위논문, 272pp.
- 8) 김준호, 민병미, 1983, 해안 염생식물군집에 대한 생태학적 연구(3), 인천 간척지의 토양환경, 종의 다양성 및 염류순환에 대하여, 한국생태학회지, 26, 53-71.
- 9) 조강현, 1992, 팔당호에서 대형수생식물에 의한 물질생산과 질소와 인의 순환, 서울대 박사학위논문, pp. 165-169.
- 10) 김현석, 1998, 수생식물에 의한 축산폐수 처리에 관한 연구, 연세대학교 환경공학과대학원 석사학위논문, pp. 28-34.
- 11) 김용범, 임양재, 1990, 단천의 대형수생식물군집의 분포와 분류, 한국생태학회지, 13, 297-309.
- 12) 김명화, 1996, 수중 습지식물에 의한 질소와 인의 제거능력에 관한 연구, 목포대학교 대학원 석사학위논문, 64pp.
- 13) EPA, 1988, Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Proceedings ASEC, October, 107(5), 214-218.
- 14) 박미란, 김병욱, 임재명, 2000, 생물학적 처리공정을 거친 돈사폐수의 영양염류 제거를 위한 Duckweed(Lemna Species)의 이용 및 성장특성(Ⅱ), 한국물환경학회지, 16(5), 696-670.
- 15) 왕승호, 1998, 수생식물을 이용한 수질정화 시스템에 관한 연구, 조선대학교 환경보건대학원 석사학위논문, pp. 3-7.
- 16) 이인철, 송현구, 2000, 수생식물을 이용한 수역의 수질정화기술의 적용성, 한국물환경학회지, 16(3), 346-355.