

저수지 수질개선을 위한 식생정화시스템

A Vegetation Purification System for Water Quality Improvement in Irrigation Reservoirs

박 병 훈* · 장 정 렬** · 이 광 식**
Park, Byung Heun · Jang, Jeong Ryul · Lee, Kwang Sik
윤 경 섭** · 권 순 국***
Yoon, Kyung Sup · Kwun, Soon Kuk

Abstract

A vegetation purification system was applied to improve water quality of Masan Reservoir in Korea, which was composed of constructed wetlands in series. Five different kinds of macrophytes were planted in each wetland. The system was operated with the condition of low concentrations and high hydraulic loadings. Removal efficiencies(%) of chemical oxygen demand(COD), total nitrogen(T-N) and total phosphorus(T-P) in this system were 9.0, 12.8, 20.1%, respectively, and removal rates(g/m²/d) were 1.9(COD), 0.34(T-N) and 0.05(T-P). Comparing this system with other wetlands operated at low hydraulic loadings, average removal efficiencies were low but removal rates were relatively high. Accordingly, this system could be applied to improve reservoir water quality, because removal rates are more important than removal efficiencies in case of reservoir water quality improvement. However, the removal efficiencies and rates of this system are less than those of the hydroponic biofilter method which is a kind of a constructed wetland and utilize root zones of emergent macrophytes for trapping pollutants. Therefore, it is recommended that this system should be modified to utilize root zones of emergent macrophytes enough to improve reservoir water quality more efficiently.

I. 서 론

고도경제성장기 이전의 농촌에는 농업생산활동 등으로 배출되는 오염부하량은 농촌지역의 환경용량을 초과하는 경우가 적고, 아름다운 농촌경관을

유지하며, 깨끗한 물을 이용하여 농업생산을 영위할 수 있었다. 그러나, 최근 도농의 혼재화, 생활양식의 다양화 및 화석연료에 과도한 의존에 의한 농업생산의 집약화 등으로 농촌으로부터 오염부하량은 증가되어 저수지의 수질이 크게 악화되는 경

*서울대학교 대학원

**농업기반공사 농어촌연구원

***서울대학교 농업생명과학대학

키워드 : 식생정화시스템, 인공습지, 저수지 수질개선, 처리효율, 제거량

향을 보이고 있다.^{1, 15)} 광대한 농촌지역의 수질개선에는 도시지역에서 이용되는 에너지 소비형의 수질정화기술을 적용하는 것은 어렵고, 농업생태계가 가지고 있는 물질순환기능을 유효하게 활용할 수 있고 지역특성에 부합되는 자원순환형의 수질정화시스템의 구축이 되어야 한다.¹⁵⁾

최근에는 호소 등의 수질보전에 대형수생식물이 가지고 있는 정화능력을 활용하는 방법이 시도되고 있다.^{1,3,5,7,11,12)} 대형수생식물은 부영양화의 요인인 질소와 인 등의 영양염을 식물체내로 흡수하고, 수중의 식물체표면에 부착된 생물막에 의해 유기물의 분해와 영양염의 제거효과 등의 2차적효과를 기대할 수 있다. 또한 갈대 등의 추수(抽水)식물은 이러한 효과뿐만 아니라 질산·탈질을 동시에 일으키는 환경을 창출하여 뿌리 주위의 토양에 있는 질소제거를 촉진하는 것으로 알려져 있다. 추수식물의 지상부가 줄기, 지하경을 통해 산소가 뿌리에 수송하므로 뿌리의 근방에는 호기적이어서 암모니아성 질소는 질산화되고, 호기적인 부분의 외측은 혐기적인 환경이 되어 아질산성 질소는 탈질되어 제거된다. 대형수생식물을 이용한 수질정화시스템은 통상의 처리시설과 비교할 때 넓은 부지가 요구되고, 고부하에는 적합하지 않으며, 효율면에서 낮은 등 단점이 있으나, 고도의 운전관리가 요구되지 않고, 퇴비로 환원이 될 수 있으며, 자원순환, 환경공생을 고려한 적용이 가능하며 수질개선 이외의 부차적인 효과도 얻게 되는 점 등 긍정적인 효과도 있다.¹³⁾

수질정화 인공습지는 수문학적 특성에 따라 자유수면시스템(surface flow system), 토양여과시스템(subsurface flow system), 부유식물시스템(float- ing aquatic plant system)으로 크게 분류된다.^{4,9)} 토양여과시스템은 시설비용이 많이 들며, 부레옥잠이나 개구리밥 같은 부유식물을 이용하는 부유식물시스템은 국내와 같은 온대권에서는 겨울철에 부유식물이 고사한다.⁴⁾ 인공습지에 유입하는 유입수의 수질과 식물의 종류에 따라 다르겠지만 수량부하가 낮으면 원수와 처리수의 수질차이를 표시하는 제거율은 높지만 제거량은 적어지고 수

량부하가 크면 제거율은 낮지만 제거량은 많아진다. 부영양화된 수역에서는 소량의 물을 깨끗하게 처리해도 부영양화된 수계에 미치는 영향은 적으므로 수질정화방법에서는 제거율보다는 제거속도(제거량)가 더 중요하다.¹¹⁾ 수량부하가 커지면 인공습지의 기능이 침전지와 같은 기능이 될 수 있지만 수생식물 표면체에 부착된 생물막에 의한 흡착, 여과 기능으로 침전지에 비해 처리효율을 높힐 수 있고, 침전된 물질은 식물에 의해 흡수·분해되므로 침전지에서 발생될 수 있는 재부유현상을 방지할 수 있는 장점이 있다.

농림부와 농업기반공사에서는 충남 아산시에 위치한 마산저수지의 수질개선을 위하여 식생정화시스템인 Bio-Park을 조성하였으며,¹⁾ 이 시스템은 자유수면형 인공습지형태로 수량부하를 높게 운영하면서 저수지내의 유기물과 영양염류를 제거하도록 되어 있다. 본 연구에서는 식생정화시스템의 인공습지를 높은 수량부하조건으로 운영하면서 나타난 수질정화특성을 분석하여 향후 호소수질개선 공법 개발의 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

충남 아산시에 위치한 마산저수지(신정호)의 수질정화를 위한 식생정화시스템인 Bio-Park은 Fig. 1과 같이 저수지 주변에 조성하였으며, 그 구조는 저수지 심층부 → 접근수로 → 양수장(수중모터펌프) → 송수관 → 침전조 → 인공습지(제1단, 제2단, 제3단) → 중간수로 → 인공습지(제4단, 제5단, 제6단) → 유출관로의 순서로 통과되면서 수질이 정화된 후 저수지의 심층부로 다시 유입되도록 되어 있다. 저수지의 심층수를 양수하기 위하여 수중모터펌프를 2대 설치하고 12시간씩 교대 운전토록 하였다. 수중모터펌프의 규격은 300mm × 30마력 × 2대이며, 수중모터펌프의 위치는 저수지 만수위 EL(+)20.30m보다 3.30m 낮은 EL(+)17.00m까지 양수할 수 있도록 하였다.

인공습지의 규모는 제1~3단은 30×15m, 제4~6

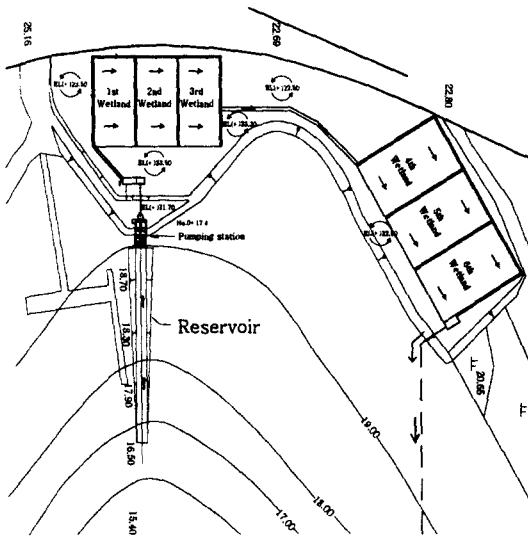


Fig. 1. Layout of vegetation purification system in Masan reservoir

단은 33×20m로 되어 있다. 바닥은 콘크리트(두께 12cm)구조로 하였으며, 그 위에 30cm의 토양을 포설하였다. 월류벽의 높이는 20cm로 하고, 수위 조절을 위해 월류벽 6m마다 각각판(stop log)을 설치하였다. 인공습지의 제1단에서 제5단에는 각각 미나리, 창포, 줄, 애기부들, 갈대를 식재하였으며, 제6단은 부유식물에 의한 처리조로 금번 실험에서는 제외되었다.

저농도의 수질과 수리학적 부하량(Hydraulic loading)의 조건에서 식생정화시스템의 수질정화 특성을 분석하기 위하여 유량은 0.014~0.122m³/s (평균 3370m³/d)의 범위에서 조절하였으며, 수리학적 부하량의 평균은 268cm/d이다. 습지의 수심은 10~20cm를 유지하였으며, 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time : HRT)은 Fig. 2와 같이 0.8~6.7시간으로 평균 1.8시간이다.

인공습지에서 수생식물의 성장특성은 현존량으로 나타내었으며, 현존량은 습지에서 채취한 수생식물을 65°C의 항온조에서 건조한 무게로 하였다.

수질측정은 '99. 5. 17~11. 26일 사이에 주기적으로 18회 시행하였다. 수질측정항목 중 수온, pH, EC

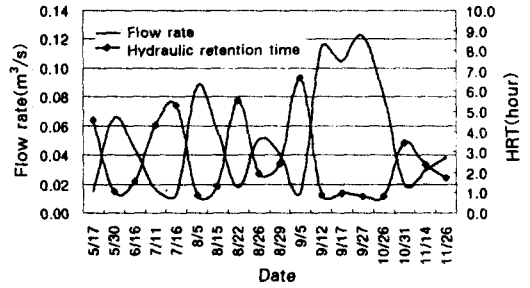


Fig. 2. Changes of discharge and HRT in vegetation purification system

는 휴대용 측정장비로 측정하였으며, COD, T-P, T-N은 수질오염공정시험방법⁶⁾에 따라 분석하였다. 인공습지의 수질개선효과분석은 수질처리효율과 제거량을 이용하였다. 수질처리효율은 유입수와 유출수의 농도차를 유입수 농도에 대한 백분율로 하였으며, 제거량은 유입수와 유출수의 농도차에 유량을 곱하고 습지의 면적으로 나누어 구하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수생식물의 성장특성

'98. 12월에 식재된 수생식물의 개체수는 Fig. 3과 같이 갈대가 516개체로 가장 많았으며, 현존량은 줄이 931g/m²로 가장 높은 것은 것으로 나타났다. 줄, 애기부들, 갈대의 현존량은 Fig. 4와 같이 각각 931g/m², 723g/m², 683g/m²으로 팔당호에서 조사된 결과치⁶⁾인 1,260g/m², 1,400g/m², 1,610g/m²에 비해 낮은 분포를 보였다. 창포의 경우는 현존량이 매우 낮은 것으로 나타났는데, 이는 줄, 애기부들, 갈대에 비해 키가 크지 않아 다른 잡초에 의해 성장에 방해를 받았기 때문인 것으로 생각된다. 수생식물의 성장을 위해서 미나리, 창포는 '99. 8월까지 제초작업을 하였으며, 나머지 식물은 '99. 7월까지 제초작업을 한 결과 '99. 8월 이후에는 잡초가 많이 자생하게 되었다. 수생식물과 잡초의 현존량을 합친 경우가 Fig. 5이며, 인공습지의 각 단 중에서 줄이 식재된 습지에서 식물

총 현존량이 1,016g/m²로 가장 높았다. 창포 습지에서는 창포와 잠초의 현존량은 859g/m²이며, 창포의 현존량은 118g/m²로 나타나 잠초가 창포보다 더 많이 자생하였다.

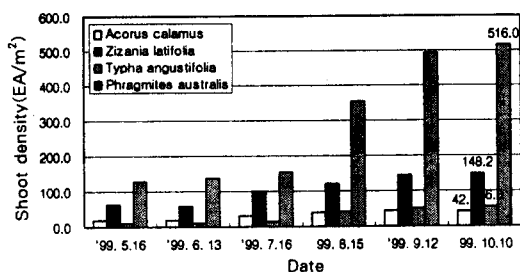


Fig. 3. Shoot densities of planted macrophytes in the vegetation purification system

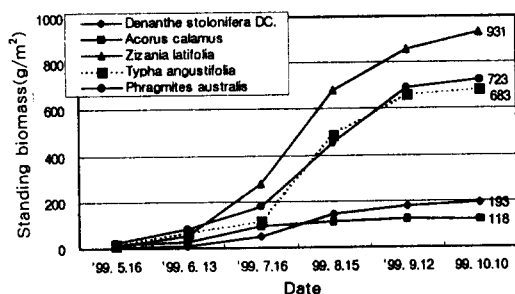


Fig. 4. Standing biomass of planted macrophytes in the vegetation purification system

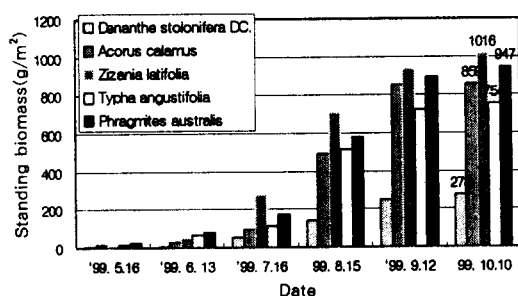


Fig. 5. Standing biomass of all the macrophytes living in the vegetation purification system

2. 수질변화특성

유입수와 유출수의 수질을 각각 양수장 배출조와 제5단의 월류부의 수질로하여 시료를 분석한

결과 수온은 유입수가 9.3~27.2°C이며, 제5단인 갈대습지의 유출수 수온은 7.8~27.0°C의 분포를 보였다. pH는 유입수와 유출수가 각각 6.9~10.2와 6.9~10.1의 분포를 보였으며, EC는 유입수에서 119~303 μ s/cm, 유출수에서 122~278 μ s/cm로 유입수와 유출수의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. DO는 유입수가 5.9~12.8mg/L이며, 유출수가 5.6~8.2mg/L으로 나타나 유출수의 DO가 유입수보다 전반적으로 낮은 분포를 보였다. SS는 유입수가 17.2~148mg/L, 유출수는 4.4~50.8mg/L으로 처리효율은 21.0~80.7%의 분포를 보였다.

COD는 Fig. 6과 같이 유입수가 7.5~16.4mg/L이며, 유출수는 7.8~16.8mg/L로 조사되었다. '99. 9월 이전에는 유입수가 8.6~16.4mg/L이며, 유출수는 7.8~16.8mg/L로 나타나 유입수와 유출수의 차이가 크지 않고 조사 시기에 따라 유출수가 더 높은 경우도 발생하였다. '99. 9월 이후에는 유입수가 7.5~12.1mg/L, 유출수는 6.5~11.4mg/L로 COD가 안정적으로 처리되는 것으로 나타났다.

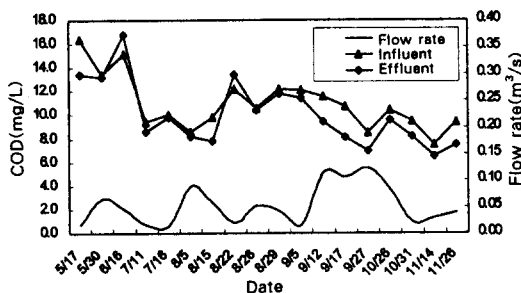


Fig. 6. COD of influent and effluent in the vegetation purification system (1999)

T-N의 경우는 유입수가 0.735~3.098mg/L, 유출수는 0.648~3.001mg/L의 분포를 보였다. 이 기간의 T-N 변화를 그림으로 나타내면 Fig. 7과 같으며, 유량이 많은 때는 유입수와 유출수의 차이는 거의 보이지 않으나 유량을 적은 경우는 유입수와 유출수의 차이가 큰 것으로 나타났다.

T-P의 경우는 Fig. 8과 같이 유입수가 0.081~0.339mg/L, 유출수는 0.048~0.279mg/L의 분포를 보였다. 조사 기간중 T-P 변화를 그림으로 나타

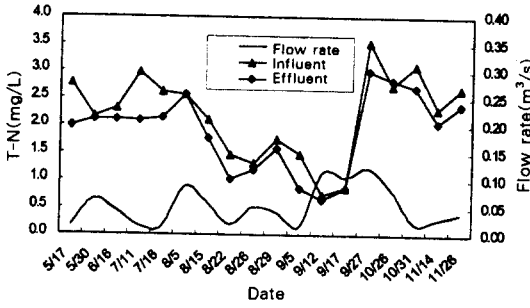


Fig. 7. T-N of influent and effluent in the vegetation purification system (1999)

내면 Fig. 8과 같다. T-P는 유출수가 유입수에서 보다 대부분 낮게 나타나 습지에서 안정적으로 처리되는 것으로 나타났다.

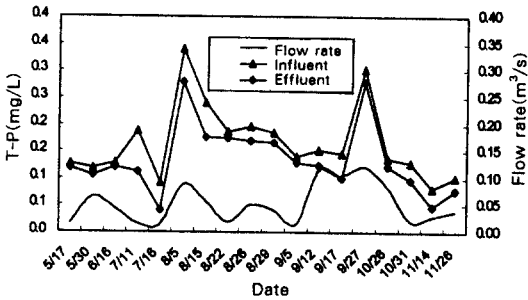


Fig. 8. T-P of influent and effluent in the vegetation purification system (1999)

3. 수질개선효과 분석

가. 습지 전체처리효율 및 제거량

저수지에서 양수된 유입수는 5개의 인공습지를 통과하는 동안 나타난 COD 처리효율은 Fig. 9와 같으며, 전기간의 COD 처리효율은 -1.5~24.3%로 평균 9.0%이다. 기간별로 보면 '99. 8월까지의 불규칙하고 처리효율이 평균 4.0%로 낮았으나, '99. 9월 이후에는 평균 15.2%로 증가하였다. 이러한 현상은 인공습지의 수생식물이 도입된 지 첫 해로서 Fig. 9에서 나타난 바와 같이 초기에는 이식된 수생식물이 새로운 환경에 대한 적응의 어려움으로 생장이 느리고, 8월까지 수생식물의 관리를 위한 제조작업으로 인하여 습지내의 식물 생체량이

부족하여 나타난 현상으로 생각된다. 단위면적당 제거량을 분석해보면 전기간의 평균은 $1.9\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 이며, '99. 8월까지의 $0.5\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$, '99. 9월 이후에는 $3.7\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 으로 나타났다.

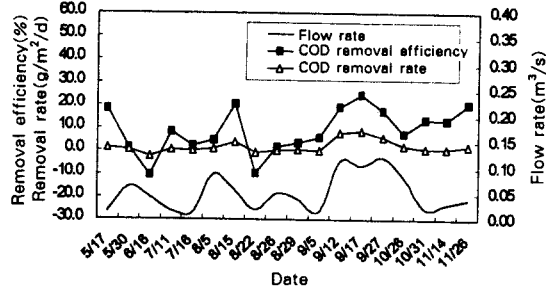


Fig. 9. COD removal efficiencies and rates of vegetation purification system

T-N의 처리효율은 Fig. 10과 같이 -3.4~43.2%로 평균 12.8%이며, '99. 9월 전후의 평균은 각각 15.2%와 12.8%로 분석되었다. 제거량은 $-0.25\sim 2.05\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ (평균 $0.34\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$)의 분포를 보였으며, '99. 9월 전후의 평균은 각각 $0.27\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 와 $0.42\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ 으로 나타나 '99. 9월 이후가 약간 높게 나타났다. T-N은 Fig. 11과 같이 유량을 적게 공급할수록 즉, 체류시간이 길수록 처리효율이 높아지는 경향을 보였다. 이러한 현상은 습지에서 질소의 처리는 습지내의 미생물에 의한 유기태 질소의 분해, 토양중의 질산성 박테리아에 의한 암모니아태 질소의 질산화, 혐기적 조건에서 탈질작용 등 복잡한 기작에 이루어지는데, 이러한 기작은 체류시간과 깊은 관련이 있어 나타난 현상으로 추정된다.

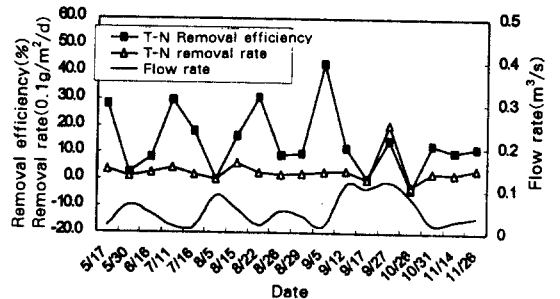


Fig. 10. T-N removal efficiencies and rates of vegetation purification system

T-P의 처리효율은 Fig. 11과 같이 7.0~54.9%로 평균 20.1%이며, '99. 9월 전후의 평균 처리효율은 각각 19.6%와 20.8%로 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 습지 단위면적당 제거량은 0.01~0.17g/m²/d(평균 0.05g/m²/d)로 나타났으며, '99. 9월 전후의 평균 제거율도 각각 0.05g/m²/d와 0.6g/m²/d로 비슷한 분포를 보였다. T-P의 처리효율은 유입유량에 영향을 받고 있으나 T-N보다는 뚜렷하지 않는 것으로 나타났다.

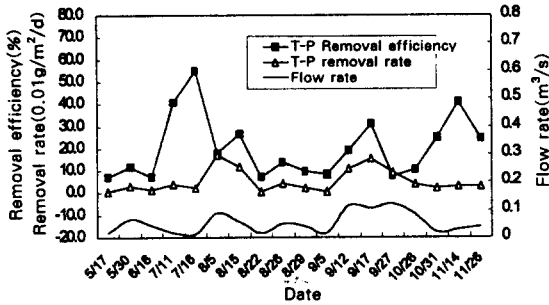


Fig. 11. T-P removal efficiencies and rates of vegetation purification system

나. 습지의 증가에 따른 처리효율 및 단위면적당 제거량

식생정화시스템에서 습지의 효과적인 배열분포를 파악하기 위해 직렬형태로 배열되어 있는 각 습지의 처리효율 및 단위면적당 제거량을 분석하였다. 유입수의 수질과 각 습지의 유출수를 비교한 결과 COD의 처리효율은 Fig. 12와 같이 5단에서 15.2%로 제일 높아 습지가 증가할수록 처리효율은 높은 것으로 나타났으나, 단위면적당 COD 제거량은 제 1단에서 8.8g/m²/d로 가장 높게 나타났다.

T-N의 경우도 Fig. 13과 같이 5단에서 처리효율이 14.1%로 가장 높으며, 단위면적당 제거량은 1단에서 0.61g/m²/d로 가장 높은 것으로 분석되었다. 그러나, Fig. 4와 같이 창포는 생체량이 미나리와 같이 다른 수생식물에 비해 적게 발달되어 있고, 육안으로 관찰한 결과에서도 미나리, 줄, 갈대는 수면이하의 지상부에 많은 잔뿌리가 노출되어 있는 반면 창포는 지상부에 잔뿌리가 발달되지

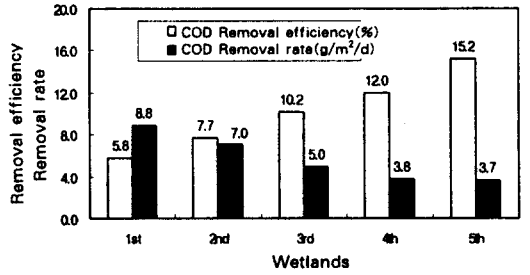


Fig. 12. COD removal efficiencies and rates from reservoir water to each effluent of wetlands in the vegetation purification system

않아 질소의 분해와 흡수능력이 다른 수생식물에 비해 불리하여 Fig. 13과 창포가 식재된 제2단에서 제거효율이 낮은 것으로 추정된다.

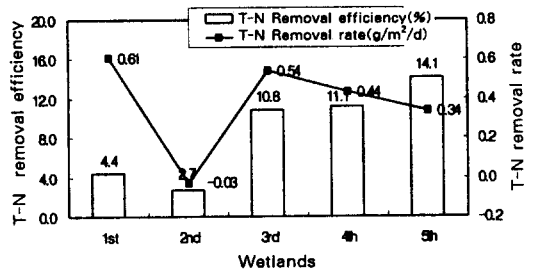


Fig. 13. T-N removal efficiencies and rates from reservoir water to each effluent of wetlands in the vegetation purification system

T-P의 경우는 습지의 개수 증가에 따라 처리효율은 계속 증가하여 5단에서 20.1%로 가장 높게 나타났으며, 단위면적당 제거량은 각 습지에서 0.05~0.06g/m²/d로 비슷한 분포를 보였다.

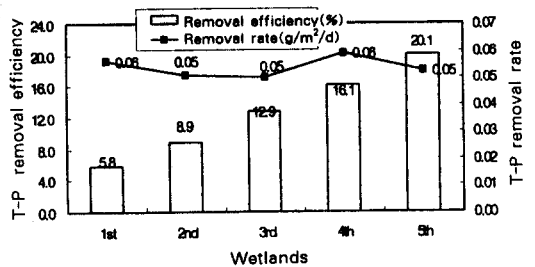


Fig. 14. T-P removal efficiencies and rates from reservoir water to each effluent of wetlands

저수지 수질개선을 위한 식생정화시스템

Table 1 The removal rates of surface water wetlands in North America¹⁰⁾

System name	Record years	Area ha	Flow m ³ /d	BOD ₅ (mg/L)			T-N(mg/L)			T-P(mg/L)		
				IN	OUT	Removal	IN	OUT	Removal	IN	OUT	Removal
Lakeland	2.0	498	26978	3	3	0.00	9	2	0.04	9	4	0.029
Boggy Gut	2.6	20.0	2508	6	3	0.04	11	4	0.10	4	3	0.011
Clemont Plot L	1.0	0.2	4				8	2	0.01			
Clemont Plot M	1.0	0.2	11				8	2	0.03			
Clemont Plot H	1.0	0.2	27				8	2	0.07			
Portsburg Creek	2.0	100	14040				6	2	0.05			
Eastern Service Area	0.8	88.7	3407	2	1	0.00	3	2	0.01	1	0	0.002
Cypress Domes	2.8	1.1	38				10	1	0.03	9	0	0.029
Reedy Creek WTS1	11.2	35.2	12058	5	2	0.12	9	2	0.23	1	2	-0.013
Reedy Creek OFWTS	11.2	5.9	2423	6	2	0.17	10	1	0.35	2	1	0.042
Lake Coral	1.0	21.0	1363	12	3	0.06	20	2	0.12	6	5	0.006
Central Alough	4.0	32.0	5372	16	7	0.16	16	4	0.21	4	1	0.044
Ironbridge	1.0	486	34524	5	2	0.02	4	1	0.02	1	0	0.003
Hurtsboro	0.8	0.8	41	37	15	0.12	34	22	0.07			
Whooping Crane	1.0	36.5	1862	5	3	0.01						
Fort Deposit	0.7	6.0	628	30	5	0.26						
West Jackson Co.	0.5	8.9	1953	22	11	0.24	9	2	0.14	5	4	0.034
Boot	3.7	46.5	891	2	5	0.00	8	4	0.01	4	1	0.007
Bear Bay	3.3	68.9	733	13	2	0.01	19	2	0.02	4	0	0.004
Jackson Bottoms	0.2	6.3	1719	5	3	0.05				7	4	0.082
Leaf River Pond1	1.2	0.1	225	16	14	0.31	19	13	1.11	9	8	0.130
Leaf River Pond2	1.2	0.1	254	16	16	0.02	19	12	1.35	9	8	0.147
Leaf River Pond3	1.2	0.1	220	16	14	0.32	19	12	1.24	9	6	0.509
Wildwood	1.8	204	946							0	0	0.000
Bellaire	11.0	18.0	572				8	1	0.02	2	0	0.006
Cannon Beech	0.8	7.0	872	22	10	0.15						
Cobalt	1.0	0.1	49	21	5	0.79				2	1	0.045
Houghton Lake	15.0	100	3374				3	0	0.01			
Kinross	15.0	110	1350	28	10	0.02						
Prebroke KY	0.8	1.5	188	67	9	0.74				6	3	0.036
Shelbyville	0.5	0.2	250	74	32	6.53						
Apalachicola	6.0	63.7	3936	15	1	0.09	14	0	0.09	3	0	0.017
Benton-cattail	1.7	1.5	374	26	10	0.40				5	4	0.008
Average	2.9	42.8	2638	43	11	0.73	14	5	0.26	4	2	0.043

Unit of removal : g/m²/d

다. 다른 지역의 습지와와의 비교

1) 미국의 자유수면형 인공습지

미국 북부에 있는 습지에 대한 데이터베이스¹⁰⁾를 근거로 본 연구의 식생정화시스템과 처리특성을 비교하고자 한다. 습지 데이터베이스 중 수질 처리기능에 관한 자료에는 69개의 자유수면형 습지가 있으며, 유량의 자료가 있는 습지를 추출한 것이 Table 1이다. Table 1에 나타난 자료의 경우 수리학적 부하량은 2.9cm/d, 유입수의 평균농도는 BOD 43mg/L, T-N 14mg/L, T-P 4mg/L로 본 연구의 경우에 비해 수리학적 부하량은 낮고, 수질의 농도는 매우 높은 것으로 분석된다. Table 1에 있는 습지의 유입수와 유출수 수질자료로 처리효율을 분석한 결과 평균 BOD 58%, T-N 69%, T-P 52%로 나타났으며, 단위면적당 제거량은 BOD 0.73g/m²/d, T-N 0.26g/m²/d, T-P 0.043g/m²/d로 분석되었다. 본 연구의 결과에서는 처리효율은 COD 15.2%, T-N 14.1%, T-P 20.1% 제거량은 COD 1.9g/m²/d, T-N 0.34g/m²/d, T-P 0.05g/m²/d로 나타난 바 있어 북미 습지의 경우는 처리효율은 높지만 단위면적당 제거량은 낮은 것으로 나타났다. 따라서 북미의 습지처럼 수리학적 부하량을 낮게 운영하면 처리효율은 높고 제거량은 적게 되지만 본 연구의 결과와 같이 수리학적 부하량을 168cm/d로 높게 할 경우에는 처리효율은 낮더라도 제거량에서는 높게 나타나 저수지 수질개선 측면에서는 유리한 것으로 분석되었다.

2) 일본의 가스미가우라호 Bio-Park 인공습지

일본의 가스미가우라호 Bio-Park 인공습지는 토양을 이용하지 않고 콘크리트면 위에 수경재배의 형태로 관리되며, 식물의 뿌리가 filter작용을 하고 일정 주기로 자란 식물을 제거하는 구조이다.¹¹⁾ 1,600m²(가로 78m, 세로 약 21m)와 1,700m²(가로 78m, 세로 약 22m)의 습지가 병렬로 배치되어 있다. 수리학적 부하량은 348cm/d이며, HRT는 0.5시간 정도로 운영한 결과 '94~'97년 평균 COD 제거량은 4.3g/m²/d가 되는 것으로 보고되었다.¹⁴⁾ 본 연구의 결과는 식생의 발달이 충분한 '99. 9월 이후가 3.7g/m²/d으로 가스미가우라호 Bio-Park과

비슷한 분포이나, 전기간의 경우는 1.9g/m²/d으로 가스미가우라호 Bio-Park이 높은 편이다. 가스미가우라호 Bio-Park의 '97년 T-N과 T-P의 평균 제거량은 각각 0.94g/m²/d, 0.16g/m²/d으로¹¹⁾ 본 연구의 경우 0.34g/m²/d, 0.05g/m²/d보다 높은 편이다. 가스미가우라호의 경우 습지의 형상은 길이에 비해 폭이 넓지만 본 연구의 식물정화시스템 습지는 폭에 비해 길이가 더 길어 본 연구의 결과처럼 습지의 앞부분에서 단위면적당 제거량이 높은 효과를 얻기가 부족하고, 또한 가스미가우라호 Bio-Park은 수경재배의 형태로 자유수면형 습지에 비해 식물의 뿌리부분에서 여과기능이 추가되므로 가스미가우라호 Bio-Park이 본 연구의 결과에 비해 유기물과 영양염류의 제거량과 처리효율면에서 유리한 것으로 생각된다.

IV. 요약 및 결론

저수지의 수질개선을 위하여 자유수면형 인공습지 형태의 식생정화시스템을 조성하여 저수지 수질처리특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 식생정화시스템에 유입되는 COD는 7.5~16.4mg/L, 유출수는 7.8~16.8mg/L로 조사되었으며, 습지의 식생조건이 양호한 '99. 9월 이후에는 유입수가 7.5~12.1mg/L, 유출수는 6.5~11.4mg/L로 COD가 안정적으로 처리되는 것으로 분석되었다. COD 처리효율은 -1.5~24.3%로 평균 9.0%이며, 단위면적당 COD 제거량은 -1.9~23.6g/m²/d으로 평균은 1.9g/m²/d로 나타났다.

2. T-N은 유입수가 0.735~3.098mg/L, 유출수는 0.648~3.001mg/L의 분포를 보였으며, 처리효율은 -3.4~43.2%로 평균 12.8%, 제거량은 -0.25~2.05g/m²/d(평균 0.34g/m²/d)의 분포를 보였다. T-N은 체류시간이 길수록 처리효율이 높아지는 경향을 보여 습지에서 T-N처리효율을 높이려면 충분한 체류시간이 필요한 것으로 생각된다.

3. T-P는 유입수가 0.081~0.339mg/L, 유출수는 0.048~0.279mg/L의 분포를 보였으며, 처리효율은

7.0~54.9%(평균 20.1%)로 나타나 식생정화시스템에서 T-P는 안정적으로 처리되는 것으로 나타났다. 단위면적당 제거량은 0.01~0.17g/m²/d로 평균 0.05g/m²/d으로 분석되었다.

4. 식생정화시스템의 수질처리특성을 분석한 결과 제1단에서 유기물과 영양염류가 가장 많이 제거되는 것으로 나타나 식생정화시스템의 처리능력을 높이기 위해서는 폭이 좁고 길이가 긴 형태보다 길이가 짧은 습지형태가 유리한 것으로 생각된다.

5. 저농도의 수질과 높은 수리학적 부하량으로 운영되는 본 연구의 식생정화시스템은 고농도의 수질과 낮은 수리학적 부하량으로 운영되는 자유수면형 습지에 비해 처리효율은 낮지만 제거량은 많은 것으로 분석되어 제거량이 처리효율보다 중요한 저수지 수질개선에서는 높은 수리학적 부하량으로 습지를 운영하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 그러나, 처리효율이 낮아 저수지 수질개선에 이용되려면 넓은 면적이 소요되므로 친수공간으로서의 기능도 함께 고려되어야 할 것으로 생각된다.

이 논문은 농림부·농업기반공사의 농업용수 수질개선 시험사업으로 연구되었음

참 고 문 헌

1. 농림부·농어촌진흥공사, 1997, 농업용수 수질조사 시험사업보고서, pp. 263~271.
2. 박병훈, 장정렬, 권순국, 1998, 농업용 저수지의 수질개선방안에 관한 연구, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 500~507.
3. 박병훈, 권순국, 장정렬, 1999, 인공식물섬을 이용한 저수지 수질개선, 한국농공학회 학술발표회 발표논문집, pp. 645~650.
4. 양홍모, 1999, 수자원보전을 위한 점원 및 비점원 오염물의 자연생태적 친환경적 처리 인공습지 및 연못-습지 시스템, 한국수자원학회지 32(5), pp. 111~123.
5. 이광식, 장정렬, 김영경, 박병훈, 저수지 수질개선을 위한 인공식물섬 조성에 관한 연구, 한국환경농학회지 18(1), pp. 77~82.
6. 조강현, 1997, 수질환경보존을 위한 수변부 생태계의 생태공학적 이용, 서울여자대학교 생태연구소 설립기념 심포지엄, pp. 68~81.
7. 한국수자원공사, 1997, 시화지구 개발 반월천, 동화천습지조성 조경공사 기본 및 실시설계보고서, pp. 7~13.
8. 환경부, 2000, 수질오염공정시험방법, 고시 제 99-208호.
9. EPA, 1988, Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment, EPA/625/1-88/022, Cincinnati Ohio, p. 241.
10. Moshiri, Gerald A., 1993, Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Lewis Publishers, pp. 46~48.
11. 中里廣幸, 1998, 바이오パーク方式による作物生産を通じた浄化, 用水と廢水 40(10), pp. 867~873.
12. 沖野外輝夫, 1997, 取訪湖づの植生による水質浄化實驗, ヘドロ, 68, pp. 42~50.
13. 中井智司, 細見正明, 村上昭彦, 1998, 大形水生植物のアレロパシー, 用水と廢水 40(2), pp. 113~118.
14. (株)トッピーエロジ-ン, 1999, BIOPARK, 홍보자료.
15. 尾崎保夫, 1998, 生態工學を導入した農村地域の水質改善, 用水と廢水 40(10), pp. 912~918.