

수생식물을 이용한 농어촌하수 처리에 관한 연구

박진식 · 문추연 · 장성호*
경운대학교 환경공학과 · 밀양대학교 환경공학과*

A study on treatment farm · fishing village wastewater using aquatic plants

Jin-Sick Park · Choo-Yeun Moon · Seong-Ho Jang*
Dept. of Environmental Engineering, Kyungwoon University
*Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University**

Abstract

In this study, water hyacinth plants(*Eichhornia crassipes*), water parsley(*Oenanthe javanica*) and *Lemna paucicostate* were used to treat contaminants such as COD, T-N and T-P in farm · fishing village wastewater. The results were as follows : In the batch system experiment, water hyacinth was showed at the high removal efficiency in the 173~412kgCOD/ha · day concentration that is rather than 260mg/l of the high concentration. The next is *Oenanthe javanica*, *Lemna*. *Oenanthe javanica* was showed the high removal efficiency in the 96~173kgCOD/ha · day concentration that is less than 260mg/l of the low concentration.

I. 서 론

공공수역에 유입되는 수질오염물질의 발생원은 크게 가정하수나 공장폐수 등의 점오염원에서 발생하는 것과 농경지나 도로 등의 비점오염원으로 구분 할 수 있다.

지금까지의 수질오염물질에 대한 관리는 주로 생활하수, 공장폐수 등의 점오염원을 중심으로 하 · 폐수처리시설의 설치 · 운영을 통하여 관리함으로써 수질개선에 많은 기여를 해왔으나 수질관리를 위한 근본적인 대책을 위해서는 수계 전체 오염원 중 약 16%에 달하는 것으로 추정되는 비점오염원에 대한 관리가 시급한 실정이다.¹⁾ 이에 정부에서는 2011년까지 168천억원을 투자하여 비점오염원의 관리를 강화할 계획에 있다.²⁾

비점오염원으로 구분 할 수 있는 농어촌하수는 전국 하수 발생량의 약 10%에 불과하나 상수도 취수구 인근에서 직접 유입되는 경우 상수원 관리에 크게 지장을 초래하는 경우가 있다.

농촌은 인구규모가 적은 농업부락이 산재되어 있는 저밀도의 공간이다. 따라서 광역적으로 오수를 집수하여 대규모 오수 처리시설을 설치한다는 것은 관로시설의 건설비가 증대함과 동시에 특수관리가 복잡하게 되므로 취락배수시설은 1개~수개 부락단위로 정비한다고 한다. 또, 농촌은 생산과 생활의 양면에 걸친 자원의 순환 재이용 시스템이 형성되어온 공간이므로, 오수와 처리수의 순환 재이용을 지향하는 것이 바람직하다고 한다.³⁾

현재 외국에서는 Zero Discharge라는 목적하

에 고도처리를 할 수 있는 기계적 처리 시스템의 모색과 함께 자연정화 방법이 많이 연구되고 있으며, 최근에는 수생식물을 이용한 연구가 적용, 진행되고 있다. 수생식물에 의한 수처리는 물리·화학적 처리에 비해 그 소요 경비가 저렴하고 미생물적 처리에 비해 가시적이란 장점이 있는 반면에, 성장을 마친 수초의 처리 문제나 성장 조건의 계절적 제한에 따른 효율 변동의 단점이 있다.⁴⁾

외국에서는 부레옥잠이나 잠개구리밥을 이용한 오염물질 처리가 많이 연구되어 있으며, 국내에서도 부레옥잠의 자연정화능에 관한 연구는 물론 생활하수, 축산폐수 및 양식폐수의 처리에 실용화한 사례가 다수 있고 날로 확산되는 추세에 있다. 그러나 부레옥잠 이외에도 수질 정화 가능성이 있다고 판명된 식물을 단위공정의 일환으로 이용하는데 매우 유익할 것으로 판단된다. 또한 한가지의 식물이 만능일 수 없으므로 여러 종류의 식물에 대한 연구가 축적된다면, 그때마다의 조건에 알맞게 능동적으로 식물을 선택하여 이용할 수 있을 것이다.

따라서, 본 논문에서는 부레옥잠, 개구리밥 및 미나리 등의 수생식물을 이용하여 농어촌하수의 처리효율을 조사함으로써 농어촌지역 실정에 적합한 소규모 하수처리시설의 설계에 필요한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

II. 실험

1. 실험재료

본 실험에 사용된 부레옥잠은 물옥잠과에 속하는 수생식물로서 J하수처리장의 최종침전지에 있는 부레옥잠을 채취하였으며, 미나리는 녹산에 있는 미나리밭에서, 그리고 잠개구리밥은 K시 근교 논에서 채취하였으며 실험하기 전날에는 순유기간으로 수도수에 48hrs 두었으며, 실험전에는 증류수로 수회 씻어 사용하였다. 실험기간은 최적성장조건을 갖추는 7~10월에 걸쳐 실험하였고 실험에 이용된 원수는 인공하수를 이용하였으며, 그 조성은 Table 1.과 같다.

Table 1. Component of synthetic sewage

Component of sewage in 100l	
KNO ₃	35g
NaNO ₃	103mg
KH ₂ PO ₄	40mg
Na ₂ HPO ₄ · H ₂ O	210mg
Na ₂ HPO ₄	7.7mg
MgSO ₄ · 7H ₂ O	525mg
CaCl ₂ · 6H ₂ O	3.5mg
HOOC(CHOH) ₂ COOH	1,083mg
FeCl ₃ · 6H ₂ O	1,925mg
Polypepton	10.5g

2. 실험장치 및 운전

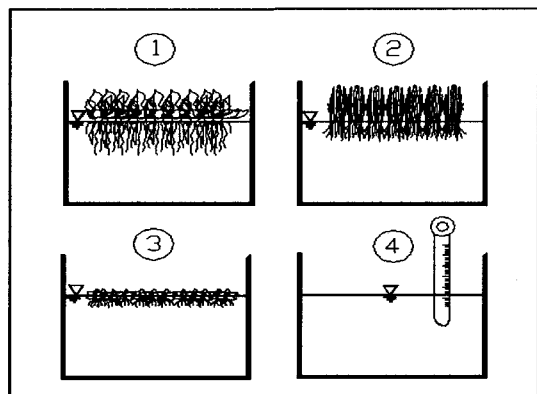
1차적인 실험으로 4월달부터 재배한 부레옥잠과 미나리, 잠개구리밥을 사용하여 부레옥잠은 총 길이(줄기에서 뿌리까지)가 25~30cm의 중간크기를, 그리고 미나리의 총 길이는 25~30cm의 크기로 줄기와 잎을 제거하여 사용했고, 잠개구리밥은 그대로 사용하였다. 생육밀도는 재배후 최대성장을 얻기 위한 최적밀도가 약 8~13kgFW/m²이며 이때의 최적 성장량은 0.7kgFW/m²/day로 모든 조를 7.5kg/m²으로 조절했다. 실험조는 20(W)×30(L)×25(H) 크기로 8개를 준비하여 각각 4l 수량에 부레옥잠, 미나리, 잠개구리밥을 넣었으며, 1주일을 한 주기로 잡아 1일, 2일, 4일, 7일로 시료를 채취하여 분석하였다. 유입수의 COD농도부하를 96~412kg·COD/ha·day로 실제 농어촌배수보다 높게하였다. 이는 농어촌하수의 지역적 특성으로 인해 가축폐수가 종종 유입되기도 하기 때문에 저농도에서부터 고농도에 이르기까지 유입수의 농도를 변화하면서 실험했다.

온도는 25~32℃, 습도는 65~94%이며, 조도는 조도계(Model DM-28, TAKEMURA ELECTRIC WORK LTD., Japan)로 측정하여 16시간 광주기를 주어 3000lux로 유지 시켰다. 광조건은 삼파장 램프(220V/60Hz)를 실험조 수면으로부터 15cm 높이에 설치하였다. 실험농도와 조건을 Table 2.에 그리고 실험장치의 개략도는 Fig. 1.에 나타내었다. 그리고 본 연구에서 채택한 분석방법은 Standard

Methods⁶⁾에 준하여 분석하였으며, 식물체 분석은 토양 화학 분석법⁷⁾에 의거하여 분석하였다.

Table 2. Characteristics of Influent

Items	Phase	Phase	Phase	Phase	Phase	Phase
	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
Wet Weight (kg/m ³)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
COD _{cr} OLR (kg/ha · day)	412	216	227	173	128	96
Temp.(°C)	29.5	30.5	29	31	32	29
pH	9.94	9.90	4.56	4.16	10.30	10.29
DO(mg/l)	4.20	4.30	4.40	4.66	4.44	4.16
COD _{cr} (mg/l)	618	324	340	260	192	144
T-N(mg/l)	117.98	65.66	35.74	25.88	21.30	19.38
NH ₄ ⁺ -N(mg/l)	16.97	11.57	9.71	6.72	13.4	5.9
T-P(mg/l)	28.80	14.21	8.09	6.65	5.50	5.26
PO ₄ ³⁻ -P(mg/l)	19.11	7.39	4.25	2.35	2.26	2.77



- ① Eichhornia crassipes ② Oenanthe javanica
- ③ Lemna paucicostate ④ Control

Fig. 1. Schematic of experimental equipment

III. 결과 및 고찰

부레옥잠, 미나리, 쯤개구리밥 이용하여 농어촌 취락배수처리시 유기물농도와 영양염류의 농도를 달리하면서 실험한 결과를 다음 각 항목별로 살펴

보았다.

1. pH 및 DO

폭기를 실시하지 않았기에 Phase 1-1, Phase 1-2, Phase 1-3, Phase 1-4, Phase 1-5, Phase 1-6 모두 초기 DO농도는 4.0~4.5mg/l였으나, 재배 2일부터는 DO농도가 급격히 감소하여 1.0mg/l를 보였으며, 재배기간이 길어질수록 DO는 거의 0.35~1.0mg/l로 아주 낮게 나타났다. 이는 모두 생육밀도의 최고인 7.6kg/m²에서 실험하여 대기와 수표면간의 접촉이 어려워졌기 때문이다. 하지만 수생식물을 넣지 않은 대조구는 재배기간동안 DO농도는 3.0~2.0mg/l로 초기농도와 약간의 차이만 있을 뿐이었다.

초기 pH가 9.94~10.30인 Phase 1-1, 1-2, 1-3, 1-4는 재배 4일 후에 부레옥잠은 약 pH 8.24~8.80, 미나리는 pH 8.12~8.64, 쯤개구리밥은 pH 8.98~9.11, 대조구는 pH 8.07~9.20의 범위를 보였으며 미나리가 중화능이 가장 뛰어남을 알 수 있었다. 7일 후 부레옥잠은 pH 7.87~8.56, 미나리는 pH 7.62~8.32, 쯤개구리밥은 pH 8.53~8.67, 대조구는 pH 8.85~8.99의 수준을 보였다. 여기서도 전체적으로 미나리와 부레옥잠이 중화능이 뛰어났으며, 특히 미나리가 가장 중화능이 좋았다.

초기 pH가 4.1~4.56인 Phase 1-5, 1-6은 재배 2일 후 부레옥잠은 pH 6.69~6.81, 미나리는 pH 6.70~6.78로 재배 초기부터 상당한 중화능을 보였으며 쯤개구리밥은 pH 6.23~6.33을 보였고, 대조구는 pH 4.18~4.60으로 거의 변함이 없었다. 7일 후 부레옥잠은 중성에 가까운 pH 6.6~7.08, 미나리는 pH 7.42~7.61로 역시 부레옥잠과 미나리의 중화능이 뛰어났으며, 미나리가 부레옥잠보다 다소 중화능이 높았다. 쯤개구리밥은 pH 6.23~6.30, 대조구는 pH 5.02~5.37을 보였다.

이처럼 초기 pH가 산성과, 알칼리성인 폐수에서 부레옥잠과 미나리는 공통적으로 초기부터 상당한 중화능을 보임을 알 수 있다. 반면, 쯤개구리밥은 대조구에 비해서는 중화능이 높으나, 부레옥잠과 미나리와는 달리 재배기간이 길어짐에 따라 서서히 낮은 중화능을 보였다.

이같이 수생식물의 pH 중화능이 높은 것은 뿌리부분에 존재하는 탈수소효소에 의해 수소를 제거하고 전자수용체로 작용해서 기질을 중화시키는 기능을 갖고 있기 때문에 가능하다고 한다.³⁾

2. 유기물질 제거

운전경과 일수에 따른 부레옥잠, 미나리, 쯤개구리밥의 COD의 제거효율을 Fig. 2에 나타내었다. 그림과 같이 Phase 1-4에서 부레옥잠은 COD 260mg/l에서는 재배 이틀 후에 약 50%의 제거율을 나타내었으며 재배 7일 후에는 87.69%의 높은 효율을 나타내었다. 또한 Phase 1-1, 1-2, 1-3에서 보는 바와 같이 COD 260mg/l의 고농도에서 약 70%이상의 제거효율을 보였다.

반면에 미나리는 Phase 1-5에서 보는 바와 같이 COD 농도 192mg/l의 저농도에서는 재배 4일 후 거의 75%의 높은 효율을 보였으며, 7일 후에는 78%로 가장 높은 효율을 보였다. 즉, 미나리는

COD 260mg/l이하의 농도에서는 부레옥잠과 달리 약 70%의 제거효율을 보였다.

쯤개구리밥은 모든 조에서 거의 비슷하게 재배 7일 후에는 황열현상이 일어났으며, 제거율도 평균 30%로 낮게 조사되었다. 이는 생체량이 작고 근대발달이 적어 제거능이 상대적으로 떨어진다고 한다.⁸⁾

그리고 유기물부하가 다소 높은 조에서는 재배 하루 후 유기물농도가 초기농도보다 높아졌는데 이는 식물체의 고사된 가지나 잎이 수중에 다시 침전되어 유기물을 환원 함에 따라 오히려 증가되는 현상을 보여주었으나 재배 2일 후부터는 점차 제거능이 증가되는 현상을 보였다.

3. 질소 제거

T-N의 경우 부레옥잠은 전 영역에 걸쳐 37.84~82.04%의 제거효율을 보였는데 특히, 100mg/l 이상의 농도에서는 40%미만의 낮은 효율을 보였으며, 20~60mg/l사이에서는 평균 41%의 제거효율

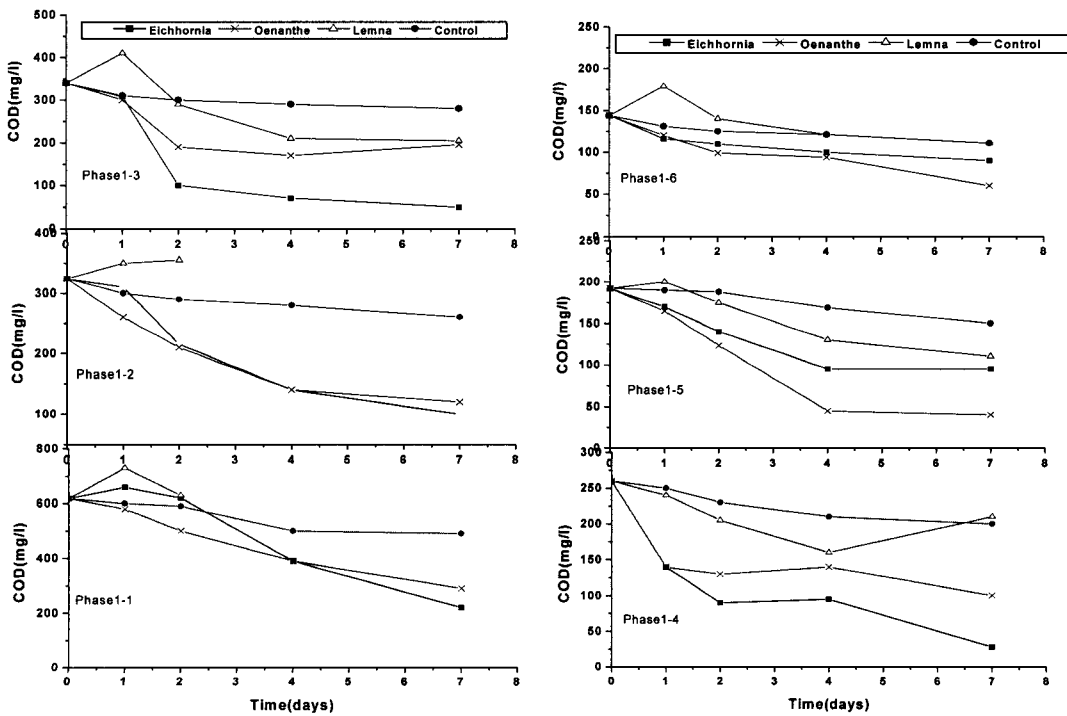


Fig. 2. The comparison of COD concentration during operation period in each phase

을 보였다. 이 두 영역에 걸친 농도의 변화를 보면 부레옥잠은 재배 하루 후에는 오히려 유입수보다 높은 농도를 보이다가 재배 4일 후에는 가장 높은 제거효율을 보였으며 다시 재배기간이 길어질수록 제거효율이 낮아지는 경향을 보였다. 그리고 30mg/l이하의 농도에서는 평균 70%이상의 높은 효율을 보였으며 이때는 재배경과에 따라 그 제거경향이 S자형의 곡선형태를 보임을 알 수 있다. 즉 이는 영양염이 식물체의 영양분으로 생장에 이용되므로 그 제거경향은 곧 식물체의 성장을 의미한다고 할 수 있다고 한다.⁹⁾

미나리는 전 영역에 걸쳐 제거효율이 27.81~82.35%로 부레옥잠과 비슷한 경향을 보였지만, 100mg/l이상의 고농도에서는 평균 25%로 부레옥잠보다 다소 낮은 제거경향을 그리고 20mg/l 이하에서는 다소 높은 제거경향을 보였다. 미나리 역시 20mg/l이하에서는 그 제거경향이 S자형의 곡선형태를 보였으며 이 또한 식물체의 성장

을 의미한다.

좀개구리밥은 부레옥잠과 미나리에 비해 훨씬 낮은 제거경향을 보였는데, 60mg/l이상에서는 거의 하루 제거능이 10~20%의 범위로 어느 정도 제거되지만 재배 하루 후부터는 오히려 유입수 농도보다 영양염의 농도가 높아짐을 알 수 있는데 이는 부레옥잠보다 3배 이상 성장률이 빠른 좀개구리밥이 초기 과영양에 의해 빨리 성장하나 생체량이 작고 근대발달이 적어 제거능이 상대적으로 떨어지며, 식물의 고사도 매우 빨리 일어남을 알 수 있다.¹⁰⁾

NH₄⁺-N의 경우 부레옥잠은 전 영역에 걸쳐 42.30~87.14%로 T-N과 유사한 경향을 보이며 미나리는 23.04~80% 그리고 좀개구리밥은 T-N과 유사하게 고농도에서는 제거 이틀 후에는 평균 10%내외의 제거효율을 보였으며 저농도에서는 평균 23%내외를 보였다. 부레옥잠이 미나리에 비해 고농도에서 NH₄⁺-N의 제거경향이 다소

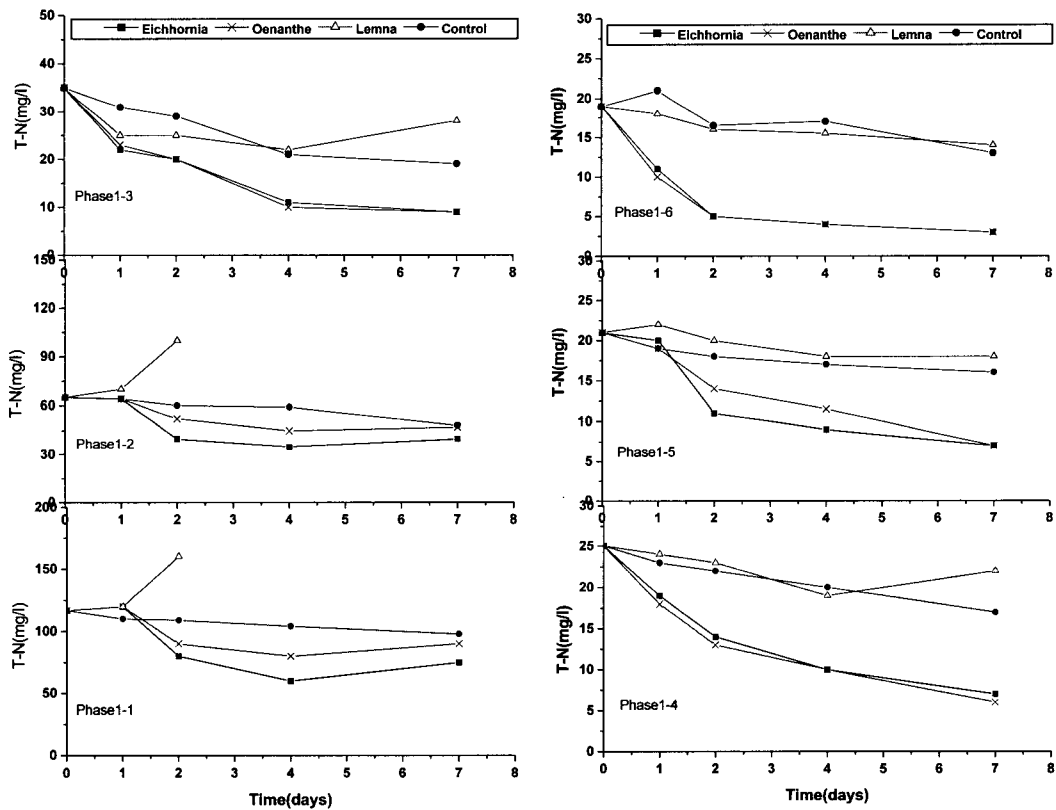


Fig. 3. The comparison of T-N concentration during operation period in phase

높은데 이는 부레옥잠이 미나리보다 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 흡수에 대한 선택성이 큼을 시사한다. 그리고 특이할만한 사항은 재배 1~2일에서는 경미한 감소를 보이다가 재배 4일 부터는 뚜렷한 감소를 보였다. 이는 국립환경연구원의 김, 류의 연구결과와 유사함을 보였다.⁸⁾

그리고 미나리와 쯤개구리밥의 제거효율이 낮은 것은 미나리의 경우는 내한성 식물이기 25℃이상의 온도에서는 고사하는 경향이 있으며, 쯤개구리밥의 경우에는 앞서서도 말했듯이 높은 영양염에 비해 생체량이 작아 고사로 인해 식물사체의 분해 및 혐기조건에서 하상으로부터의 용출에 따른 것으로 판단된다고 한다.⁵⁾

유출수의 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 는 부레옥잠조의 경우 유입수에 비해 낮았으나, 미나리조에서는 유입수에 비해 높았는데 이는 재배 후기 미나리의 사체에 의한 유기성질소의 공급과 분해로 인한 것이라고 한다.⁵⁾ 부레옥잠의 경우는 재배 이틀 후의 부레옥잠조에서는 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 의 농도가 다소 높았으나 재배 기간이 길어질수록 낮아지는 경향을 보였다. 쯤개구리밥의 경우에는 재배 하루후의 아질산성농도는 다소 낮았으나 재배기간이 길어질수록 미나리와 유사하게 높아짐을 보였다. 앞서서와 마찬가지로 유입수에 비해 높은 농도를 보였다.

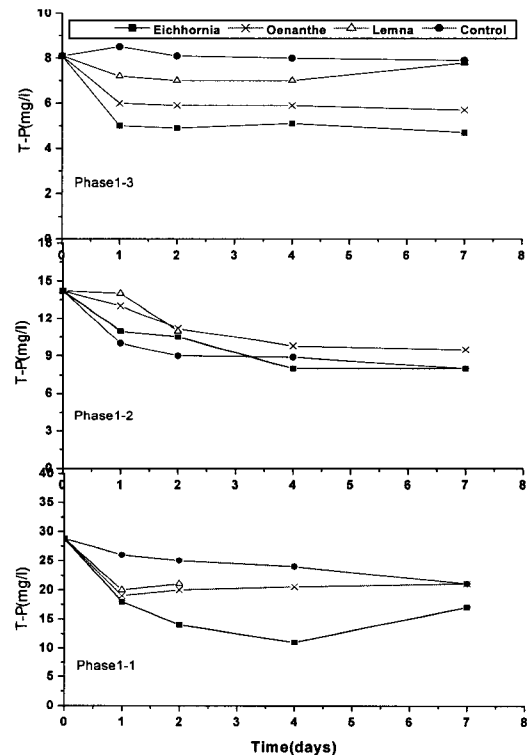
$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 경우는 부레옥잠보다 미나리조의 유출농도가 다소 낮았으며, 쯤개구리밥의 경우도 역시 다른 조보다는 현저히 높았지만, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 에 비해서는 다소 낮은 경향을 보였다.

4. 인 제거

부레옥잠의 평균 T-P의 제거효율은 42.82~70.91% 이었으며, 20mg/l이상에서는 42%내외로 낮았으며, 10~20mg/l사이에서는 약 50%내외였으며, 10mg/l미만에서는 60%이상의 효율을 보였다. 또한 20mg/l이상의 고농도에서는 재배 하루 후의 제거효율이 가장 뛰어났으며, 재배기간이 길어질수록 서서히 제거효율이 떨어졌으며, 10mg/l이하의 농도에서는 반대로, 재배 4일 후의 제거효율이 가장 높았다. 미나리의 평균 T-P의 제거효율은 20.69~69.45% 였으며, 20mg/l이상에서는 25%내외의 제거효율을, 10~20mg/l사이에서는 약 38% 그

리고 10mg/l이하의 농도에서는 50%이상의 효율을 보였다.

미나리는 부레옥잠보다 평균 10%정도의 낮은 제거효율을 보였으며, 부레옥잠과 같이 20mg/l이상의 고농도에서는 부레옥잠보다 약간 높은 제거효율을 보였으며, 재배기간이 길어질수록 식물의 고사가 일어나 재배 4일 후에는 고사현상이 나타나기 시작했다. 그리고 10mg/l이하의 농도에서는 부레옥잠과 비슷하게 재배 4일 후의 제거효율이 가장 높았다. 쯤개구리밥은 평균 20%내외의 낮은 효율을 보였으며, 20mg/l이상의 고농도에서는 재배 초기에는 약간 T-P농도가 낮아졌으나, 재배 기간이 길어질수록 식물의 황엽현상과 함께 고사가 일어났으며, 재배 4일 부터는 식물의 전체가 고사하여 측정을 할 수 없었다. 10~20mg/l의 농도에서는 재배 하루만의 제거효율이 가장 뛰어났으며, 재배 기간이 지날수록 점점 낮아지는 경향을 보였다. 그리고 5mg/l이하의 농도에서는 재배 이틀 후에 가장 높은 제거효율을 보였으며, 또한 재배 기간이 길어질수록 점점 낮아는 경향을 보였다.



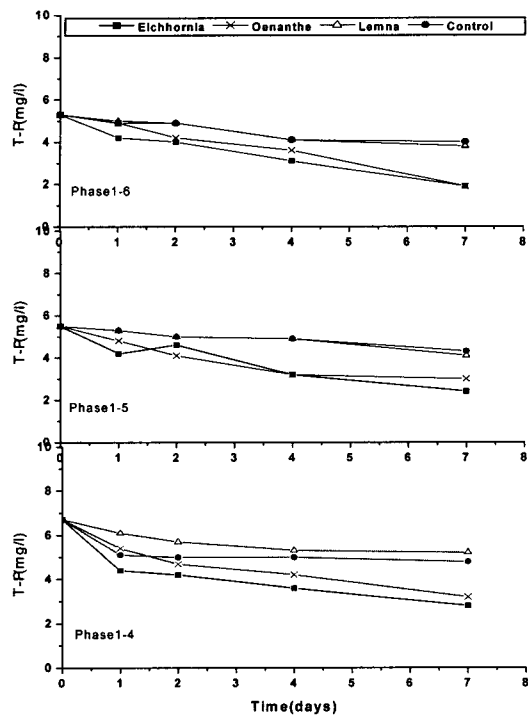


Fig. 4. Comparison of T-P concentration during operation period in each phase

PO_4^{3-} -P의 재배효율은 부레옥잠의 경우 44.54~80.23%의 제거효율을 미나리는 40~72.32%의 제거효율을 쯤개구리밥은 평균 15%의 낮은 제거효율을 보였으며, PO_4^{3-} -P의 경우도 T-P의 경우와 비슷한 경향을 보였으나, 재배 하루만의 T-P와 PO_4^{3-} -P의 제거율이 다소 큰 차이를 보이는 것은 직접적인 증거는 없으나 침전이나 흡착에 의한 제거효과가 큼을 시사한다고 한다.⁸⁾ 즉, 하루만의 PO_4^{3-} -P의 제거효율은 초기농도의 50%정도 제거하는 경향을 보였으며, 재배기간이 지날수록 그 제거효율간의 간격이 서서히 줄어드는 경향을 보였으며, 재배 7일 후에는 제거효율이 오히려 떨어졌는데, 이는 재배 7일 후에는 거의 모든조에서 약간의 고사현상을 동반했기 때문이라 사료된다. 따라서 유출수 인의 적정 수질 유지를 위해서는 지속적인 식물체의 수확이 필요하다고 생각된다.

5. 식물체 성장률

수생식물의 성장률과 화학적조성은 수생식물을

이용한 영양물질 제거의 기본적인 평가요소이다.¹¹⁾ Kawai¹²⁾는 서로 다른 유기물 농도조건인 부레옥잠의 경우 연못에서 1년 동안 재배된 후 평균 화학적 조성이 단백질 29.0%, 셀룰로오스 29.0%, 리그닌 25.0%, 원소무게함량은 탄소 37.0%, 질소 3.1%, 인은 0.54%로서 C : N : P의 정량적인 비가 68.5:5.7:1.0이었음을 보고한 바 있다.

각각의 유기물질 부하에 따라 반응조 별로 수확된 부레옥잠, 미나리, 쯤개구리밥의 최종 생체량, 비성장 속도 및 영양염류 흡수율을 table 8에 나타내었으며, 식물체의 생체량은 습중량으로 나타내었다. 운전 을 위하여 초기에 이식한 부레옥잠, 미나리, 쯤개구리밥의 N, P함량을 Table 3에 나타내었다. 식물체의 N흡수율과 P흡수율은 식물체 내로의 N, P량에 식물체 성장량의 건중량(dry weight)를 곱하여 구하였으며, 식물체 내로의 N흡수율은 부레옥잠이 가장 높게 나타났으며, P흡수율은 미나리가 가장 높게 나타났다. 또한 질소의 흡수율에 비해 인의 흡수율이 아주 낮게 나타난 것을 알 수 있는데, 이는 식물체의 질소/인 함량비가 수중의 총질소/총인의 함량비와 비례한다⁵⁾는 내용을 뒷받침해 주고 있다. 또한 전체적으로 비성장속도는 초기와 별다른 영향 없이 부레옥잠은 평균 0.0641 day^{-1} 를, 미나리는 0.0209 day^{-1} 를 쯤개구리밥은 0.0610 day^{-1} 의 성장률을 보였다. 하지만 실제적으로 쯤개구리밥은 고사한 것은 제외했기에 오히려 더 높음을 알 수 있다.

Table 3. Summary data for specific growth rate and plant biomass

Item	Eichhornia Crassipes	Oenanthe Javanica	Lemna paucicostata
OLR (kg COD _{cr} /ha.day)	208.67	208.67	208.67
Operation time(day)	7	7	7
Specific growth rate, k(day ⁻¹)	0.0641	0.0209	0.0610
Weight plants(kg/m ²)	8.12	7.60	7.53
T-N of the plants(%)	3.75	1.41	5.31
T-P of the plants(%)	0.62	0.16	0.67
Plants N Uptake rate(gN/m ² ·day)	1.163	0.815	0.961
Plants P Uptake rate(gP/m ² ·day)	0.038	0.183	0.005

IV. 결 론

본 연구에서는 농어촌취락배수의 효율적 처리를 위해 수생식물인 부레옥잠과, 좁개구리밥 및 미나리를 이용한 실험을 적용하여 유기물부하(COD)와 T-N, T-P등을 농도와 실험조건을 달리하여 그 제거효율을 측정 한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 산성 및 알칼리성 폐수에서 가장 중화능이 뛰어난 식물은 미나리이며 그 다음이 부레옥잠으로 나타났으며, 좁개구리밥은 pH 3.0이하의 강산성, 그리고 pH 10.0이상의 강알칼리성에서는 거의 1주일 이내에 80%이상이 고사하였다.
2. COD 260mg/l 이상의 고농도에서의 부레옥잠은 약 50~87.69%의 제거율을 보여 가장 높게 나타났으며, 반면에 260mg/l이하의 저농도에서는 70~78%의 부레옥잠보다 높은 제거율을 보였다.
3. 영양염류의 제거효율은 영양염류의 부하가 증가함에 따라 감소하여 부레옥잠의 경우 질소는 약 12~78.65kgTN/ha·day의 부하에서 38~82%의 T-N 제거효율, 미나리는 28~82%의 T-N의 제거효율을 보여 부레옥잠보다 다소 넓은 농도범위를 보였다. 또한, 인은 3.51~19.2kgT-P/ha·day의 부하에서 부레옥잠의 경우 43~71%의 제거 효율을, 미나리는 21~70%의 제거효율을 보였다.
4. 주 1회씩 실험주기가 끝난 후의 부레옥잠, 미나리, 좁개구리밥의 성장률은 유기물질 및 영양염류의 부하가 증가함에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보였다.
2. 국무총리실 수질개선기획단, "2002년도 물관리 종합대책", 2002.
3. 안 윤주, 공 동수, "생이가래를 이용한 영양물질의 제거방안 연구", 대한환경공학회지, 제17권 6호, pp. 593~603, 1995.
4. Boyd, C. E., and Scarsbrock, "Influence of nutrient additions and initial density of plants on production of water hyacinth *Eichhornia crassipes*". *Auat. Bot.* 1:253~261, 1975.
5. 권 성환, "미나리(*Oenanthe javanica* (Blume) DC)를 이용한 수질정화에 관한 연구", 연세대학교 환경과학과, 1996.
6. APHW, AWWA, WPCF, "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER", 17th edition, Port City press, 1989.
7. 농촌진흥청, "토양화학분석법", 1988.
8. Reedy, K. R. and D. L. Sutton, "Water Hyacinths for Water Quality Improvement and Biomass Production, *Journal of Environmental Quality*, vol. 14, pp. 459-462, 1984.
9. 권 성환, 나 규환, 류 재근, 김 종택, "미나리를 이용한 수질정화에 관한 연구", 한국환경위생학회지, 제 22권 제 3호, pp. 56~63, 1996.
10. 공 동수, 천 세억, 정 원화, 김 종택, "호수내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구 (II)", 국립환경연구원, 1996.
11. Dymond, G.G., "The water hyacinth cinderella of the plant world", *Soil fertility and sewage*, Donner Pub. New York, 1948.
12. Kawai, H., M.Y. Uehara, J.A. Gomes, M.C. Jahnel, R. Rossetto, P. Atems, M.D. Riberio, P.R. Tinel, and V.M. Grieco, "Pilot-scale experiments in water hyacinth lagoons for wastewater treatment, *Wat. Sci. Tech.*, Vol 19, No 1, pp. 29~73

참 고 문 헌

1. 환경부, "비점오염원 관리요령", 2000. 12