

미나리밭을 이용한 영양물질제거에 관한 연구

이영신[†] · 김창희
한서대학교 환경공학과

A Studies on Removal of Nutrient Material by Using Dropwort Field

Young Shin Lee[†] · Chang Whe Kim

Dept. of Environmental Engineering, Hanseo University
(Received March 28, 2003; Accepted June 25, 2003)

ABSTRACT

Nitrogen(N) and phosphorus(P) in surface streams mainly lead to eutrophication. It aggravates water quality and consequently increases the purification costs. As a resolution of water contamination caused by household drainage through irrigation route by 70% of the 1,300 community residents in Eum-Am Myun, Seo-San city, was implemented biological self-purification method by growing *Oenanthe Javanica* along the polluted water tunnel. The contaminated water was efficiently purified after passing the dropwort field ; DO conc. of effluent water was increased 8.3~61.9% after through the drop wort field. HRT of experiment system was changed 0.05~1.50/day. 50% of BOD was eliminated at the range above 12 mg/l of Influent BOD conc. Also, 50% of COD was eliminated at the range above 30 mg/l of Influent COD conc. Finnally, the influent T-N loading at range below 1.5 g/m³/d reduced 50% of Influent T-N conc., and so did influent T-P loading at the range below 0.03 g/m³/d was reduced 50% of Influent T-P conc.

Keywords: Purification cost, *Oenanthe Javanica*, Dropwort field

I. 서 론

우리나라 상수원은 대부분이 하천과 강을 막은 인공 호이므로 인근유역으로부터 오염물질의 유입가능성이 높다. 실제, 서산시의 11개 호소와 10개 하천의 오염상태를 조사한 결과, 오염물질의 농도가 각각 II~III 등급과 III~V 등급을 유지하고 있어,¹⁾ 이들 하천과 호수의 수질관리를 위해 하수도 정비 및 하수처리장의 설비가 시급한 상태이며, 수질관리가 이루어 진다해도 인근유역의 토지이용에 의한 오염물질 유입으로 수질은 계속 악화 될 수 있다.

특히, 이들 유입물질의 유입으로 인해 수중 N와 P의 농도는 수역에 부영양화 현상을 가중시켜 수질의 저하는 물론 수처리 비용을 상승시키는 원인이 되고 있다. 한편, 하천과 호수의 수질개선을 위해 각 수원의 N와

P 농도를 저감할 수 있는 자연 친화적인 정화기능의 수처리 기법으로 수생식물을 이용함으로써, 생태계와 잘 조화되고 적은 비용과 빠른 처리 효과를 얻을 수 있는 연구가 진행 중이며, 외국의 경우 수생식물을 이용한 폐수처리 및 자원화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{2,3)} 수생식물의 영양물질 제거 메카니즘은 식물이 이용할 수 있는 질소의 형태는 NH₄⁺, NO₃로써 식물의 뿌리에 부착된 미생물이 유기질소를 분해하여 식물이 이용할 수 있는 형태인 NH₄⁺, NO₃로 전환시켜 줌으로써 최종적으로 식물이 이를 흡수하게 되는 것이다. 식물을 통하여 산소가 대기로부터 뿌리로 확산되면 뿌리 부분에 호기성 지역과 혐기성 지역이 존재하게 되는데, 이들의 공존은 지속적인 질산화를 자극하게 되고 따라서 기체형태로 질소의 제거가 가능하게 된다.

질소제거와 달리 인은 기체 형태로 변형되지 않고 식물과 부착 미생물의 흡수에 의해서만 제거가 가능하다. 식물이 흡수할 수 있는 인은 H₂PO₄⁻, HPO₄⁻², PO₄⁻³의 형태이며, 질소의 경우와 마찬가지로 식물이 흡수할 수 있도록 만들어 준다. 또한 수생식물의 영양염

[†]Corresponding author : Dept. of Environmental Engineering, Hanseo University
Tel: 82-41-660-1434, Fax: 82-41-660-1434
E-mail : leeys@hanseo.ac.kr

류 제거량은 수생식물 중의 영양염류 함량에 크게 좌우되는데 수생식물 중 질소의 함량은 종에 따라 0.5-5.0%, 인의 함량은 0.1-1.25%까지 다양하다. 한편 수생식물의 성장은 물의 영양염류 구성에 의해 영향을 받게 되는데 식물이 인을 최대한으로 흡수하려면 일정량의 질소가 함께 공존해야 한다. 만약 질소가 부족하게 되면 식물은 조직 내 영양염류 함량의 균형을 맞추는 수가 없게 되므로 이용가능한 인이라 할지라도 흡수를 할 수가 없게 된다. 현재 수생식물을 이용한 폐수처리는 실험실 규모로 연구되어 영양물질제거는 물론, 중금속 중 Cu와 Cd 제거에도 탁월한 능력이 있는 것으로 보고되었다.⁴⁾ 이들 연구에 이용된 수생식물은 갈대, 부레옥잠, 미나리, 개구리밥, 물옥잠등이 있으며 통칭 자연정화법으로 알려져 있다.^{5,9)} 그 중 미나리는 성장률이 빠르고, 오염물질에 대한 적응력이 탁월하기 때문에^{10,11)} 생활하수의 오염물질 제거를 위한 수생식물로 본 연구에서 선정하게 되었다.

본 연구는 향후 계획된 하수처리장이 완공되기에 앞서, 유역의 생활하수가 상수원에 유입되어 오염을 가중시키고 있으므로, 상수원으로 유입되는 지천에 수생식물로서 미나리를 이용하여 생활하수의 오염을 저감시키고자 한다. 그러므로 수리학적체류시간(HRT)에 따른 미나리의 유기물질 제거, 오염부하율에 따른 영양물질 제거 능력을 조사하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상 지역의 선정

본 연구 대상지역을 선정하게 된 배경은 향후 계획된 하수처리장을 설치하기전에 이 지역의 생활하수가 도당천을 관통하여 서산시 상수원인 성암저수지에 유입되므로, 유입전 농도에 인구 1300명의 70%에 해당하는 생활 하수를 처리하기 위해 조성된 미나리짱을 이용하여 생활하수 오염을 저감시키고자, 조성된 미나리짱을 대상으로 오염물 저감효과를 연구하고자 이 지역을 선정하게 되었다.

2. 실험방법

1) 식물의 조성

본 연구에서 수처리 과정 중에 성장한 미나리와 시중에 판매중인 미나리의 성분조사를 위해 용출실험을 하였다. 분석 방법으로 식품공전에 의한 건식회화법과 습식분해법을 이용하였다.

2) 미나리에 의한 하수처리 효과

미나리에 의한 하수처리 효과를 연구하기 위해 1997

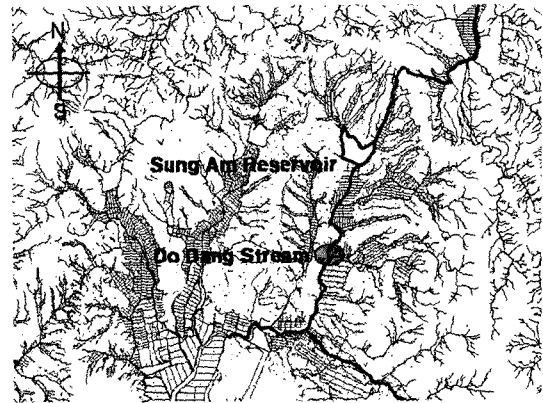


Fig. 1. Location of Sampling Site.

년 5월~2001년 12월까지 매년, 미나리 생육조건 기간 동안 실험을 하였다. 실험대상 폐수는 음암면 1300명의 생활하수가 유입되는 도당천의 유입수를 대상으로 하였으며, 미나리짱 부지면적은 가로 100 m, 세로 30 m, 깊이 0.1 m의 총면적 900평(2975 m²)이다. 수처리방법은 하천수로를 막아, 확보된수량을 수증펌프를 이용하여 미나리 짱내로 유입시켰다. 수처리량은 180~430 m³/day(HRT:0.70 day~1.64 day)이다.

미나리 증식 방법은 1차는 노지에서 생육중인 미나리를 수거, 식재하였고, 2차는 1차 연구된 미나리짱에서 뿌리를 수거, 모심듯이 식재하였다. 재배과정에서 1 m



Fig. 2. Dropwort field (968-12 Dodang-ri, Eumam-myun, Seosan-si) - 2975 m².

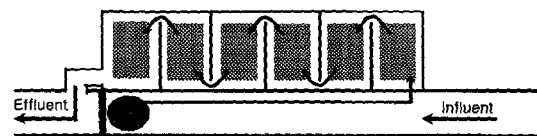


Fig. 3. Wastewater treatment profile of dropwort field.

Table 1. Heavy metal and Microorganism contents Sampling O.J and General O.J

	Pb(mg/kg)	Cd(mg/kg)	Hg(mg/kg)	Cu(mg/kg)	E-Coli 0-157	Samonella	Shigella
Sampling O.J	0.140	0.004	None	0.492	Negative	Negative	Negative
General O.J	0.772	0.016	0.001	0.520	Negative	Negative	Negative

주)O.J : *Oenanthe Javanica*.

이상 성장되면 뿌리를 제외한 잎과 줄기를 절삭하고, 이후 줄기와 잎이 성장되어 미나리뿌리가 수월하게 조성되었다. 미나리에 의한 하수처리효과를 조사하기 위해 유입원수와 미나리뿌리내의 유출수 등의 BOD, COD, SS, T-N, T-P 등을 분석하여 각각의 처리효율을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식물의 조성

생활하수 처리과정중에 성장한 미나리와 시중에 판매 중인 미나리의 성분을 비교하기 위해 각각의 미나리를 수지용출실험을 한 결과 Table 1에서 보는 바와 같다. 본 실험에서 중금속의 경우 재배용 미나리가 시판용 미나리에 비해 납의 농도가 현저히 낮았으며 그 외에 카드뮴, 수은, 구리등의 농도가 비교적 낮았다. 세균 또한 검출되지 않았다.

2. 유기물 제거 특성

실험대상의 하천변에 조성된 미나리밭에 미나리를 식재한 후, 생활하수가 포함된 유입수를 180~430 m³/day의 범위로 유입하여 수로를 따라 흐르면서 유출되었다. 이때의 유입수 DO 농도는 4.0~7.2 mg/l이고, 유출수의 DO 농도는 8.9~61.9%가 증가되어 유출되었다. DO 증가와 관련하여 어떠한 폭기시설이 없이도, 수생식물의 생육과 관련하여 식물의 잎으로부터 대기중의 산소가 뿌리로 확산되어 수중의 DO 농도를 증가시키는 것으로 보인다.

유입수의 BOD 농도와 HRT에 따른 실험결과를 Fig.

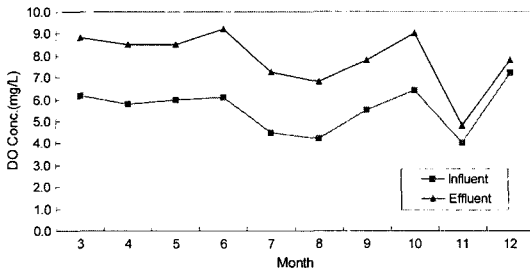


Fig. 4. DO concentration profile between influent and effluent when passing the dropwort field.

5. Effluent BOD concentration에 제시하였다. 수생식물을 이용한 처리실험 기간동안의 유입수의 BOD 농도는 6.8~54 mg/l로 변화하였다. 미나리가 성장하였을 때 HRT가 0.50~1.50 day의 범위로 나왔으나, 범위에 관계 없이 처리효율에 큰 영향이 없는 것으로 나타나고 있다. 다만 유입수의 농도가 12 mg/l 이상일 때 50% 이상의 제거율을 나타내고 있다.

유입수의 COD 농도와 부하에 따른 실험결과를 Fig.

6. Effluent COD concentration에 제시하였다. 유입수의

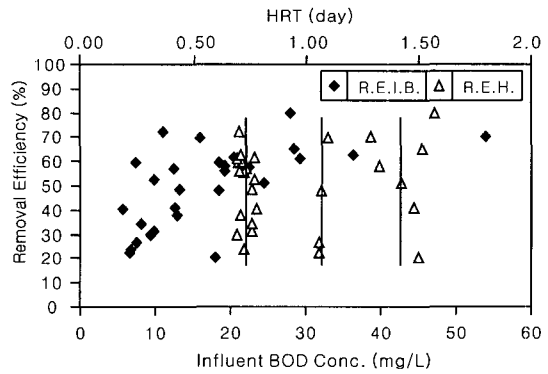


Fig. 5. Effluent BOD concentration passing the dropwort field. 주) R.E.I.B. : Removal Efficiency at Influent BOD Conc. R.E.H. : Removal Efficiency at HRT.

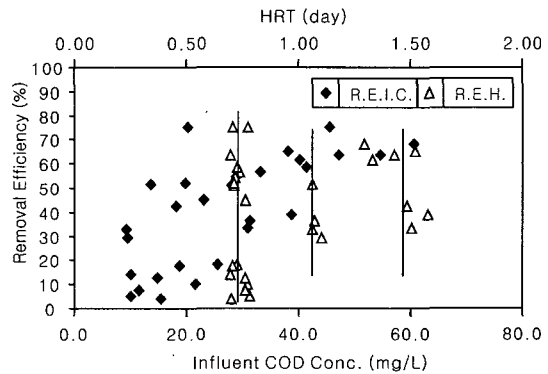


Fig. 6. Effluent COD concentration passing the dropwort field. 주) R.E.I.C. : Removal Efficiency at Influent COD Conc. R.E.H. : Removal Efficiency at HRT.

COD 농도는 9.2~60.6 mg/l로 변화하였다. 미나리가 성장하였을 때 HRT가 0.50~1.50 day의 범위로 나왔으나, 범위에 관계없이 처리효율에 큰 영향이 없는 것으로 나타나고 있으며 유입수의 농도가 30 mg/l 이상일 때 50% 이상의 제거율을 나타내고 있다.

유입수의 SS 농도와 부하에 따른 실험결과를 Fig. 7. Effluent SS concentration에 제시하였다. 유입수의 SS 농도는 8.0~99.0 mg/l로 변화하였다. 유입수의 SS 농도 변동과 관련하여, 유출수의 SS는 20 mg/l 이하로 나타나고 있으며, 유입수의 농도가 20 mg/l 이상일 때 50% 이상의 제거효율을 나타내고 있다. 이것은 펌핑과 관련하여 높아진 SS가 식물의 줄기와 부딪치는 한편, 일정한 유속으로 유출되면서 침강의 기회로 인한 저감 효과로 생각되어 진다.

3. 영양물질 제거 특성

미나리짱 내의 유입수는 생활하수가 포함된 하천수로 유기물 농도에 비해 영양물질의 농도가 다소 높게 유입되고 있다. 유입수의 T-N 농도와 부하에 따른 실험

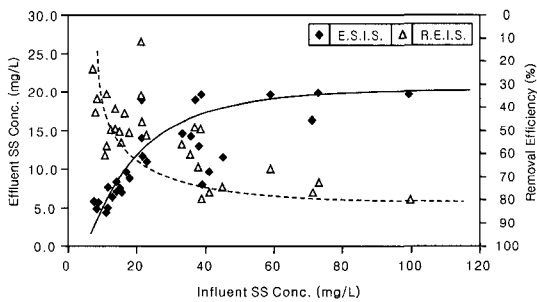


Fig. 7. Effluent SS concentration passing the dropwort field. 주) E.S.I.S. : Effluent SS Conc. at Influent SS Conc. R.E.I.S. : Removal Efficiency at Influent SS Conc.

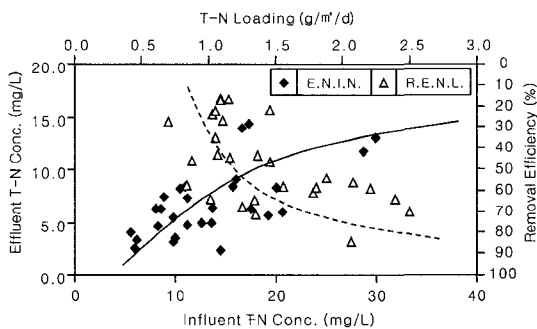


Fig. 8. Effluent T-N concentration passing the dropwort field. 주) E.N.I.N. : Effluent T-N Conc. at Influent T-N Conc. R.E.N.L. : Removal Efficiency at T-N Loading.

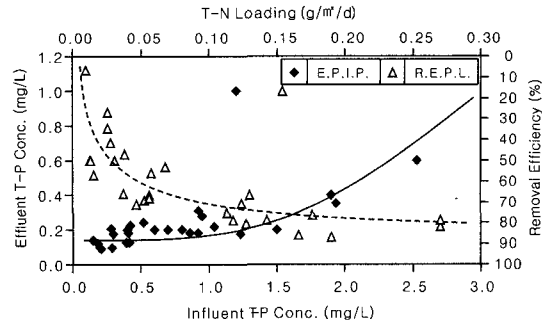


Fig. 9. Effluent T-P concentration passing the dropwort field. 주) E.P.I.P. : Effluent T-P Conc. at Influent T-P Conc. R.E.P.L. : Removal Efficiency at T-P Loading.

결과 Fig. 8. Effluent T-N concentration에 제시하였다. 유입수의 T-N 농도는 6~30 mg/l로 변화하였으며, 각각의 부하율은 0.7~2.5 g/m²/d로 나타났다. T-N의 제거특성에 있어서, 유입수의 T-N 부하율이 1.5 g/m²/d 이상일 때, 제거율은 50% 이상의 효율을 나타내고 있다.

유입수의 T-P 농도와 부하에 따른 실험결과 Fig. 9. Effluent T-P concentration에 제시하였다. 유입수의 T-P 농도는 0.2~2.5 mg/l로 변화하였으며, 각각의 부하율은 0.02~0.41 g/m²/d을 나타내었다. 모든 범위에서 유출수의 농도가 0.6 mg/l 이하로 유출되고 있으며 T-P 부하율이 0.03 g/m²/d 이상일 때 50% 이상의 제거효율을 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 연구는 도당천으로 흘러드는 생활하수의 오염물질을 저감할 목적으로 조성된 미나리짱 대상으로, 유기물 및 영양물질의 제거 특성을 조사하였으며, 다음과 같은 결론을 나타내었다.

1. Table. 1과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 재배용 미나리는 시판용 미나리와 성분비교 분석에서 안전함을 보였다.
2. 하수처리량은 180~430 m³/day(HRT : 0.70~1.64 day)이며, 미나리짱 내의 유입수의 DO는 초기에 비해 8.3~61.9% 증가되어 유출되었다.
3. 미나리의 유기물 제거 특성으로 BOD의 경우 유입수의 농도가 12 mg/l 이상일 때 50% 이상의 제거효율을 나타내었으며, COD의 경우 30 mg/l 이상일 때 50% 이상의 제거효율을 나타내고 있다. SS의 경우 유출수의 SS는 유입수의 농도에 관계없이 20 mg/l 이하를 나타내었으며, 유입수의 농도가 높을수록 제거 효율도 높게 나타났다.

4. 미나리의 영양물질 제거특성으로 T-N의 부하율이 1.5 g/m²/d 이상일 때 제거율이 50% 이상을 나타내었다. T-P의 경우 0.03 g/m²/d 이상일 때 제거효율도 50% 이상을 나타내었다.

이상의 결과를 살펴볼 때, 생활하수가 미나리밭을 통과하였을때 유기물 및 영양물질 제거효율이 각각 50% 이상으로 나타나고 있어, 계획된 하수처리장의 완공에 앞서 생활하수의 일부를 미나리밭을 통과하여 하수처리효과를 얻을 수 있다. 미나리를 이용한 하수처리에서는 동계의 하수처리와 생육정지에 따른 미나리의 처리문제가 부각되고 있으며 미나리의 처리는 가축의 사료나 퇴비화로 제한되고 있으며 이를 연구과제로써 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 서산시 : 서산시 환경 기본계획, 12-14, 162-169, 2002.
2. Richardson, O. L. and Daigger, G. T. : Aquaculture : The hercules experience. *J. of Envir. Eng. ASCE*, **110**(5), 949-960, 1984.
3. Reddy, K. R. and Debusk, W. F. : Growth characteristics of aquatic macrophytes cultured in nutrient-enriched water : II. Azolla, Duckweed, and Salvinia. *Economic Botany*, **39**(2), 200-208, 1985.
4. 김복영, 소규호 : 부레옥잠(수초)을 이용한 개관수중 유해중금속 제거연구. *한국환경농학회*, **11**(2), 133-139, 1992.
5. 이상규, 김복영, 소규호, 권장식, 윤은호 : 부레옥잠에 의한 생활오수의 정화효과. *한국환경농학회*, **10**(1), 51-58, 1991.
6. 나규환, 권성환, 이장훈 : 수생식물을 이용한 수질 정화에 관한 연구. *한국환경위생학회*, **22**(3), 56-63, 1996.
7. 안윤주 : 공동수 생이가래를 이용한 수질오염물질 제거방안 연구. *대한환경공학회 추계학술연구논문 초록집*. 487-492, 1994.
8. Edward, P. and Hanssen, C. : Cultivation of duckweeds in septage-loaded earthen ponds. *Bioresour. Technol.*, **40**, 109-117, 1992.
9. 喜納政修 外 2人 : ホテイアオイ 收穫量 おとひ窒素除去と收穫拭培管理に關する 研究. *水環境學會誌*. **16**(9), 638-644, 1993.
10. 권성환, 나규환, 류재근, 김종택 : 미나리를 이용한 수질정화에 관한 연구. *한국환경위생학회*, **22**(3), 56-63, 1996.
11. 김경민, 최한영, 신정식, 나규환, 이장훈 : 미나리를 이용한 계면 활성성분 및 합성세제 제거에 관한 연구. *한국환경위생학회*, **23**(4), 115-120, 1997.