

부처꽃, 물상추, 미나리, 달뿌리풀의 수질정화효과에 관한 연구

조해용^{1*}

A study on the effect of the water purification by *Lythrum anceps*, *Pistia straiotes*, *Oenanthe javanica*, and *Phragmites japonica*

Hae-Yong Cho^{1*}

요약 COD 제거효율은 각 조의 부처꽃을 제외한 대조군의 경우 물상추 56%, 달뿌리풀 48%, 미나리 41%의 효율을 보이고, 발포유리가 첨가된 조의 경우는 물상추 69%, 달뿌리풀 68% 미나리 62%의 제거효율을 보임으로써 발포유리를 첨가한 조의 COD 제거효율이 대조군 보다 높았다. T-N의 제거효율은 발포유리를 첨가한 조의 경우 부처꽃 91%, 달뿌리풀 93%와 발포유리를 첨가한 혼합조가 94%의 높은 T-N 제거효율 보임으로써 모든 질소성분이 제거된 것으로 사료된다. T-P의 제거효율은 대조군의 부처꽃 35%, 달뿌리풀 8%이며, 발포유리를 첨가한 조의 부처꽃 78%, 달뿌리풀 43%로 발포유리를 첨가한 조의 T-P 제거효율이 대조군 보다 높았다.

Abstract The COD removal capacity of aquatic plants, when foamed glasses were not used, showed 56% for *Pistia straiotes*, 48% for *Phragmites japonica*, and 41% for *Oenanthe javanica*, but no significant COD removal was observed for *Lythrum anceps*. When the foamed glasses were used as support materials, the COD removal efficiency increased for all aquatic plants used in this study showing 69% for *Pistia straiotes*, 68% for *Phragmites japonica*, 62% for *Oenanthe javanica*, respectively. The T-N removal efficiency of aquatic plants when foamed glasses were used as support materials showed 91% for *Lythrum anceps* and 93% for *Phragmites japonica*. Similar removal efficiency was observed as 94% for all aquatic plants planted as a group used in this study. The T-P removal efficiency of aquatic plants when foamed glasses were not used showed 35% for *Lythrum anceps*, 8% for *Phragmites japonica*, however, that, when foamed glasses were used, ranged 78% for *Lythrum anceps*, 43% for *Phragmites japonica*, showing that the foamed glasses increase the T-P removal efficiency of aquatic plants used in this study.

Keyword : Aquatic Plants, Water Purification, Plant distribution

1. 서론

수질오염은 산업의 발달과 인구의 도시집중 현상으로 인해 물의 수요량이 많아짐과 동시에 환경오염이 더욱 심화됨으로써 깨끗한 자연환경이 파괴되고, 우리들이 살고 있는 생태계에까지 심각한 영향을 미치게 되어 사회적으로나 국가적으로 큰 문제가 야기되고 있다. 현재 정부는 수질오염으로 인하여 수자원확보가 심각한 문제로 대두됨에 따라 수질개선사업에 많은 투자를 하고 있어 대부분의 중도시 이상지역을 중심으로 하수처리시설이 완비되었거나 건설 중에 있다. 그러나 농어촌과 같은 소도시지

역에서 발생하는 수질오염원 문제는 거의 방치되어 있는 실정이다. 앞으로 농어촌지역은 상수도과 수세식화장실 보급이 확대되어 하수 발생량이 증가하고, 축산농가가 늘어나면서 고농도의 폐수가 방류되어 하천오염의 주원인이 될 것이다. 따라서 농어촌지역의 오·폐수처리가 하천의 수질오염을 해결하는데 있어 중요한 과제로 대두될 전망이다.

수질오염물질을 제거하는 방법에는 물리적, 화학적, 생물학적 방법 등이 다양하게 시도되고 있으며, 오염물질 제거효율을 높이기 위하여 이들 방법들을 적절하게 선택 또는 조합하여 이용하고 있다. 그러나 이러한 방법들은 각 단계별로 별도의 공정을 설치하여야 하고, 시설유지에 적지 않은 처리비용이 소요되는데 반하여 수생식물을 이용한 처리방법은 유기물과 증감속을 동시에 제거할 수 있

¹선문대학교 환경공학과

*교신저자 : 조해용(chohy@summoon.ac.kr)

고, 또한 수확된 수초는 토양첨가제, 제지원료, 가축사료 및 퇴비 등에 이용할 수 있는 장점을 지니고 있다[1]. 최근 선진국에서는 zero discharge라는 목적 하에 고도처리가 가능한 기계적 처리시스템을 모색하여 왔으나 막대한 비용을 들여야 하는 경제적 난점을 지니고 있어 기계적 하수처리시스템의 대체 방안으로 자연정화방법인 수생식물을 이용한 하수처리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2].

수질환경의 개선에 대한 수생식물의 능동적 측면은 일찍부터 자연정화의 하나로서 인식되어져 왔으나, 이러한 기능을 인위적으로 극대화하려는 시도는 1960년대 미국의 NASA의 부엽식물 처리시스템(floating plant treatment system)과 독일의 Max Plank 연구소의 정수식물 lagoon처리시스템(emergent plant lagoon treatment system)에 의해 유기물, 영양물질 및 유해물질의 처리를 위한 연구가 시작되면서부터 이다. 그 후 1976년 미국 Pennsylvania 대학에서 열린 "biological control of water pollution"에 관한 연구와 Max Plank 연구소의 큰고랭이에 관한 연구가 발표되면서 처리기술에 대한 과학적인 개념과 기초가 정립되었다[3]. 국내에서 대형 수생식물을 이용한 수질정화 연구는 1980년대 이후 시작되었는데, 호수에 자생하는 식물대의 정화능평가, 오염된 호소나 하수에 인위적인 식물식재를 통한 정화능 실험으로 크게 구분된다[4]. 현재 국내에서 수처리에 가장 많이 이용되고 있는 수생식물은 부레옥잠으로 양식장 배수의 정화, 군부대 생활하수의 처리 등에 활용되고 있다. 미나리, 창포 생이가래 등을 이용한 수처리의 연구는 생장요인 및 유기물, 영양염류, 중금속 제거에 관한 연구가 주로 진행되고 있다.

본 연구에서는 수생식물처리법에 적용 가능한 식물 중 부처꽃, 물상추, 달뿌리풀, 미나리를 연구대상 식물로 선정하여 수경시스템(aquatic system)의 개념으로 이들 종이 정체수계에서의 영양염류 제거능력 비교측정분석 및 수계에 미치는 영향에 대해 연구해 보고자 하였다. 또한 자연형 하천이나 인공식물섬 적용 시 식생기반재로 폐유리를 재활용하여 발포유리를 첨가함으로써 수질개선에 기여하는 정도를 밝히고, 향후 수생식물을 이용한 수질정화 시스템 개발의 기초 자료를 제공함을 그 목적으로 하였다.

2. 재료 및 실험방법

2. 1 실험재료

실험대상으로 선정된 식물들은 2005년 8월 1일 충청남도 천안시 산내식물원에서 구입하였다. 공시식물들은

세척하여 이물질을 제거 후 활착이 일어나는 정도를 보기 위해 뿌리, 줄기, 잎 부분을 균일하게 정리하였다. 실험대상 식물은 침수식물(Submerged Plant)인 부처꽃 (*Lythrum anceps*), 부수식물(Free-floating Aquatic Plant)인 물상추(*Pistia stratiotes*) 그리고 정수식물(Emergent Plant)인 달뿌리풀(*Phragmites japonica*)과 미나리(*Oenanthe javanica*)를 선정하여 개체별뿐만 아니라 자생지 생태적인 측면에서도 정화효능을 비교할 수 있도록 하였다.

2. 2 식생기반재 제조

식생 기반재로 사용될 발포유리는 폐유리와 제올라이트, CaCO_3 , glass- Na_2SiO_3 , NaOH를 발포제로 사용하여 전기로에서 750℃로 150분간 발포하였다[5]. 본 실험에서는 인공식물섬의 식생 기반재를 일반적으로 많이 사용하고 있는 기반재가 아닌 폐유리를 재활용한 발포유리를 식물과 함께 식재함으로써 발포유리가 유기물부하(COD)와 T-N, T-P를 제거하는데 얼마나 영향을 미치는지 측정하고자 하였다.

2. 3 수질분석방법

수생식물에 의한 수질의 정화정도를 알아보기 위하여 입수 전 수질을 분석하고 실험개시 후 10일 간격으로 4회 연속 수질의 변화를 측정하였다. 측정항목은 COD (Chemical Oxygen Demand), 총질소함량(Total-Nitrogen, T-N), 그리고 총인함량(Total-Phosphorus, T-P)을 측정하였다. 수질분석은 Standard Method 및 수질오염공정시험법[6]에 의거하여 측정하였다.

2. 4 실험장치

실험조는 30(W)×30(L)×45(H)cm 크기의 아크릴수조에 인공폐수 20ℓ 와 미량원소 20ℓ 를 채웠다. 유입·유출이 없는 batch형으로 각각 식물 종을 식재한 4개의 반응조와 4개의 대조군, 모든 종을 일정 비율로 혼합하여 식재한 혼합반응조로서 총 9개의 반응조가 이용되었다. 배양구는 인공식물섬 조성 방식 및 수경재배 시스템을 참고하고, 프로탈폼으로 22(W)×11(L)×8(H)cm 크기의 부체를 만들어 식물 종을 식재하여 발포유리와 함께 설치하였다.

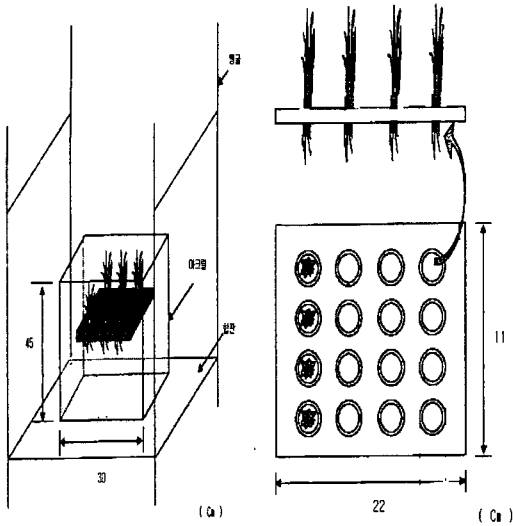


그림 1. 수생식물의 수경재배 시스템

3. 결과 및 고찰

3. 1 COD 제거효율

수생식물의 산소방출에 따른 유기물의 산화 분해 효과를 알아볼 수 있는 COD 분석결과 물상추대조군과 발포유리를 첨가한 달뿌리풀을 제외한 모든 실험대상 식물에서 고르게 저감효과가 나타났다. 대조군의 부처꽃, 물상추, 달뿌리풀과 발포유리가 첨가된 물상추가 초기의 저감효과를 보였다. 그림 2에서 같이 배양 10일 후 발포유리를 첨가한 물상추가 48%, 대조군의 경우 물상추가 44%, 달뿌리풀은 18%의 저감률을 보였으며 부처꽃이 64%로 가장 높았다. 이는 초기의 높은 pH 농도의 영향을 받았거나 COD 분석과정에서 산화력이 낮은 과망간산칼륨과 수산화나트륨 용액을 시료로 사용하였기 때문으로 사료된다. 부처꽃대조군과 발포유리를 첨가한 부처꽃을 제외한 COD의 제거효율은 대조군의 경우 물상추, 달뿌리풀, 미나리가 각각 56%, 48%, 41%의 제거효율을 보이고, 발포유리가 첨가된 물상추, 달뿌리풀, 미나리는 각각 69%, 68%, 62%의 제거효율을 보임으로써 발포유리를 첨가한 조의 제거효율이 더 높았다. 발포유리가 첨가된 혼합조 역시 63%로 대조군보다 높은 제거효율을 보였다. 이는 발포유리가 COD를 제거함에 있어 영향을 미치는 것으로 사료된다.

발포유리가 첨가된 물상추가 처리종료 시 초기농도의 69%로 가장 높은 제거효율을 보인 반면 미나리의 대조군이 33%로 가장 낮은 제거효율을 보였다. 유기물질의 제

거율이 낮은 이유는 수체 내에 생물학적으로 분해 불가능한 물질들이 축적되어 있음을 간접적으로 판단할 수 있다.

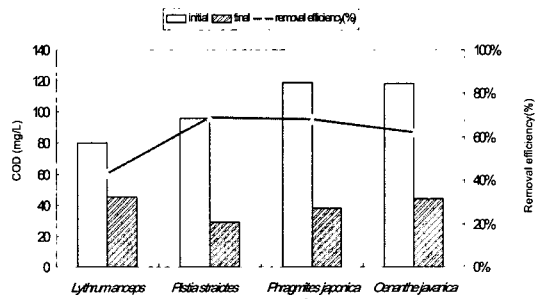
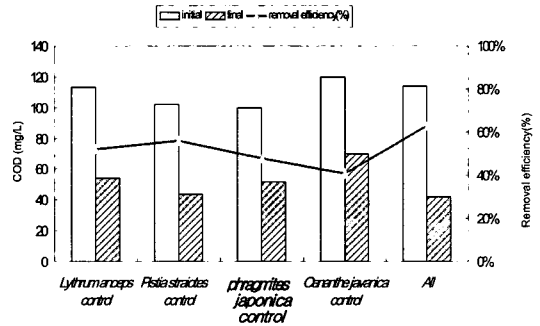


그림 2. 수생식물의 종별 COD 제거효율

3. 2 T-N 제거효율

식물체 내의 유기물 흡수를 알아보기 위하여 수질 내 T-N 함량의 변화를 측정하고 수생식물에 의한 유기물의 흡수 경향을 볼 수 있다. 그림 3에 나타난 각 실험조의 T-N 제거효율은 대조군의 부처꽃과 달뿌리풀이 각각 89%, 76%, 발포유리가 첨가된 조의 부처꽃과 달뿌리풀은 각각 91%, 93%로 발포유리가 첨가된 조의 T-N 제거효율이 높았다. 이와 반대로 물상추조와 미나리조는 대조군이 각각 88%, 86%, 발포유리를 첨가한 조가 각각 83%, 73%로 발포유리를 첨가한 조가 T-N 제거효율이 낮았다. 또한, 발포유리를 첨가한 혼합조가 94%의 높은 제거효율을 보임으로써 거의 모든 질소 성분을 제거했다고 볼 수 있다. 따라서 T-N 제거효율에 있어서는 각각의 식물체를 식재하는 것보다 여러 가지의 식물체를 일정 비율로 식재한 혼합조가 T-N 제거에 있어서 더욱 효율적이며, 발포유리 역시 혼합조에 첨가하였을 때 T-N 제거에 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다.

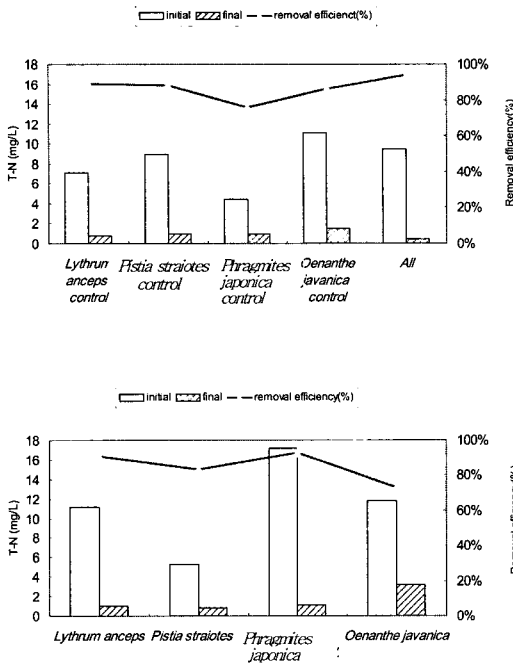


그림 3. 수생식물의 종별 T-N 제거효율

3. 3 T-P 제거효율

총 인의 함량은 활착기간이 끝나고 본격적인 성장을 하면서 효율이 뚜렷해졌고 재배기간이 지날수록 수치가 낮아지는 경향을 보인다. 그림 4에서 같이 발포유리가 첨가된 혼합조가 94%의 T-N 제거율을 보인 반면 T-P 제거율은 64% 제거하였다. 인삼염의 제거효율이 질소의 제거효율보다 낮은 이유는 영양분으로 질소의 요구도가 더 높고[7], 일반적으로 식물은 인보다 질소를 약 5배~10배 빠른 속도로 흡수하기 때문이다[8]. 인은 주로 1가 인산 이온(H_2PO_4)의 형태로 흡수되며 2가 이온(HPO_4)의 흡수보다는 느리게 일어난다. 이 현상은 배지의 pH에 의하여 조절되는데 pH 7 이하에서는 H_2PO_4 가 pH 7 이상에서는 HPO_4^{2-} 가 많게 된다. 본 실험에서는 pH가 높은 양상을 보였기 때문에 다른 수질에서보다 식물에 의한 인의 제거 속도가 느렸던 것으로 사료된다.

그림 4에 나타난 T-P 제거효율은 T-N 제거효율의 경우와 마찬가지로 대조군의 부처꽃과 달뿌리풀이 각각 35%와 8%이며, 발포유리를 첨가한 부처꽃과 달뿌리풀은 각각 78%, 43%로 발포유리를 첨가한 조가 T-P 제거효율이 높았다. 이는 발포유리가 부처꽃조와 달뿌리풀조에서는 T-P를 제거함에 있어 영향을 미치는 것으로 사료된다. 반면 미나리조 역시 대조군이 77%, 발포유리를 첨가한 조가 28%로 발포유리를 첨가한 조가 T-P 제거효율

이 낮았다. 또한, 물상추조는 대조군과 발포유리를 첨가한 조 모두 95%로 같은 T-P 제거효율을 보였다.

이와 같이 수질의 차이를 보이는 오염원의 종류에 따른 적정 수중선발이 이루어진다면 보다 효과적인 수질정화시스템을 조성할 수 있다고 판단된다.

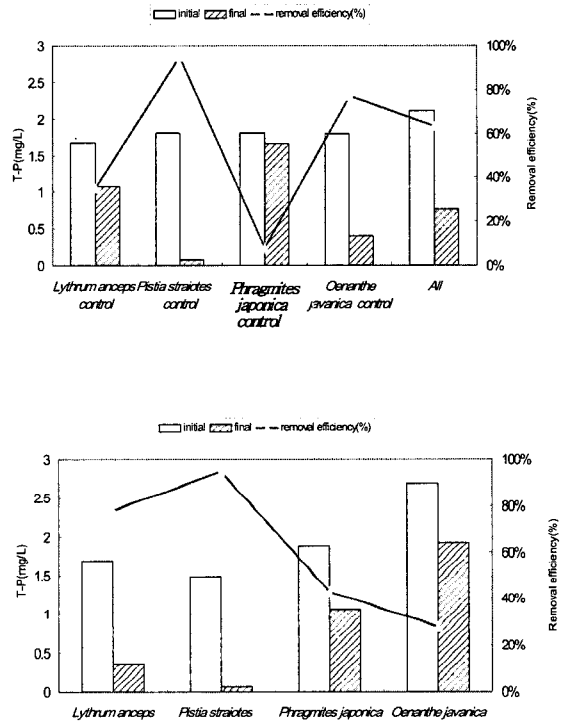


그림 4. 수생식물의 종별 T-P 제거효율

4. 결론

본 연구는 정화조 처리수와 유사한 인공폐수를 제조하여 수생식물과 폐유리를 재활용한 인공식물섬의 기반재인 발포유리를 이용한 회분식 배양조에서 COD, T-N 및 T-P의 농도와 제거효율을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유입유출이 없는 상태에서 시간적 변화로 수생식물 식재에 의한 수질 개선 효과를 정량적으로 분석하는 것은 한계가 있으나 식재하기 전보다 COD는 평균 55%의 제거효율을 보이며, T-N은 평균 85% 그리고 T-P는 평균 58%의 제거효율을 보였다.
2. 각 조의 부처꽃을 제외한 COD 제거효율은 대조군의

경우 물상추 56%, 달뿌리풀 48%, 미나리 41%의 제거 효율을 보이고, 발포유리가 첨가된 조의 경우는 물상추 69%, 달뿌리풀 68% 미나리 62%의 제거 효율을 보임으로써 발포유리를 첨가한 조의 COD 제거효율이 대조군보다 높았다. 또한 발포유리를 첨가한 혼합조 역시 63%로 대조군 보다 높은 제거효율을 보였다.

3. T-N의 제거효율은 대조군의 경우 부처꽃 89%, 달뿌리풀 76%이며, 발포유리를 첨가한 조의 경우 부처꽃 91%, 달뿌리풀 93%로 발포유리를 첨가한 조의 T-N 제거효율이 대조군 보다 높았다. 또한 발포유리를 첨가한 혼합조 역시 대조군 보다 높은 94%의 T-N 제거효율로 모든 질소성분을 제거된 것으로 사료된다.
4. T-P의 제거효율은 T-N 제거효율의 경우와 같이 대조군의 부처꽃 35%, 달뿌리풀 8%이며, 발포유리를 첨가한 조의 부처꽃 78%, 달뿌리풀 43%로 발포유리를 첨가한 조의 T-P 제거효율이 대조군 보다 높았다. 이와 반대로 미나리조는 대조군이 77%, 발포유리를 첨가한 조가 28%로 발포유리를 첨가한 조의 T-P 제거효율이 대조군보다 낮은 결과를 보였다.

참고문헌

- [1] Friedrich W., Wasserreinigung mit Pflanzen, Ulmer, pp. 23-31, 1995.
- [2] Kickuth, R., Hoehere Wasserpflanzen und Gewaesse -reinigung, Schriftreihe der Vereinigung Deutscher Gewaesserschutz, Berlin, pp. 56-68, 1990.
- [3] 공동수, 대형수생식물을 이용한 수질개선기법의 현황과 전망, 학연산연구교류회, 198회, pp. 1-15, 1997.
- [4] 공동수, 정원화, 천세억, 김종택, 호소내 오염하천 유입부의 식물에 의한 정화처리 연구II, 국립환경연구원보, Vol. 18, pp. 290-292, 1996.
- [5] 조해용, 폐유리를 이용한 다공질의 인공토양 개발, 중소기업청, 연구보고서, pp. 132-142, 2000.
- [6] 환경부, 수질오염공정시험법, pp. 161-204, 동화기술, 2001.
- [7] 전만식, 김범철, “부레옥잠의 수중 영양염 제거 잠재력에 관한 고찰”, 한국환경생물학회지 제17권, pp. 117-124, 1998.
- [8] Boyd, C.E., Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted water., Economic Botany, No. 23, pp.95-103, 1969.

조 해 용(Hae-Yong Cho)

[정회원]



- 1982년 2월 : 성균관대학교 조경학과(학사)
- 1990년 4월 : 베를린공과대학교 자연환경계획학과 (석사)
- 1994년 7월 : 베를린공과대학교 자연환경계획공학과(박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 환경공학과 부교수

<관심분야>

자연환경복원, 환경생태, 환경영향평가