

# 하천수정화 근자연형 인공습지의 처리효율

양홍모

전남대학교 조경학과

## I. 서론

인공습지(constructed wetlands)는 수질을 정화하기 위해 인위적으로 조성한 습지로 자연습지에서 식생, 토양, 미생물에 의해 수질이 정화되는 생태적 기작을 활용한다. 인공습지를 수질정화인공습지(constructed treatment wetlands), 습지정화시스템(wetland treatment system)이라 부르기도 한다. 인공습지를 1차 처리수준으로 정화된 처리수를 2차처리수준으로 정화하는 인공습지와 2차처리수준으로 정화된 처리수를 3차처리수준으로 정화하는 개선습지(enhancement wetlands)로 구별하는 경우도 있다(EPA, 1999a). 개선습지는 BOD, SS 처리보다는 TN, TP 처리를 위해 조성하며, 개선습지를 마무리습지(polishing wetlands)라고도 부른다.

인공습지는 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 등 점오염원, 강우유출수 등 비점오염원, 오염 하천수 및 호소수, 2차처리수준 하수처리장의 방류수 등을 처리하기 위해 활용되고 있다. 2차처리수준 활성슬러지법 등 기계적 처리기법에서 처리가 어려운 질소와 인을 인공습지는 동시에 처리할 수 있는 장점이 있다. 인공습지는 전기 에너지 및 화학약품을 사용하지 않으며, 관리 및 운영이 간편하나, 다소 많은 조성부지가 필요하다. 인공습지는 수질정화이외에 야생동물 서식처 제공, 시민 휴식 공간 활용, 비오톱 조성 및 자연학습공간 제공, 훼손된 습지 복원, 지역경관 개선 등 다양한 친환경적 기능을(Kadlec and Knight, 1996; Moshiri, 1993) 수행할 수 있다. 개선습지의 경우 이들 친환경적 기능을 고려하여 설계하는 경우가 대부분이다.

인공습지를 자유수면습지(surface flow wetlands)와 여과습지(subsurface flow wetlands)로 대별한다(Corbitt and Bowen 1994; 양홍모, 2001b). 자유수면습지 시스템은 유입수가 저류하는 장소(basin)와 유입수의 침출을 막는 제방으로 이루어지며, 정수식물이 자라

는 수심 0.2~0.6m의 식재구간(closed water)과 수심이 다소 깊어 정수식물이 자라지 않는 수심 1~1.2m의 개수부(open water)로 설계한다. 여과습지 시스템은 지면이 물에 잠기지 않으며 땅속에 0.6~1 m 깊이의 불투수 트렌치(trench)를 설치하여 자갈이나 굵은 모래를 넣어 자갈과 모래 사이로 유입수가 흐르면서 정화되거나, 표토에 심은 습지식물이 자갈이나 모래에 사이에 쌓이는 유기물을 흡수하여 제거하는 시스템이다. 자유수면습지가 여과습지보다 습지의 친환경적 기능을 발휘하도록 설계하기가 용이하다.

최근 국내에서도 호수의 수질개선을 위해 호수로 유입되는 하천의 주변에 습지를 조성하거나, 자연형 하천 정비나 오염하천 정비사업을 추진할 때 습지를 조성하여 하천으로 유입되는 오염물과 오염하천수 자체를 정화하는 동시에 훼손된 습지를 복원하는 방안과 기술에 관심이 높아지고 있다.

본 연구는 호수로 유입되는 하천수를 정화하기 위해 설계시공한 근자연형 자유수면습지의 처리수준을 연구하는데 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 근자연형 인공습지 구조

하천수정화 근자연형 인공습지를 고흥지구 담수호 유입부의 신양천변 개답지역 상류부에 위치한 포락지 1.2ha에 2001년 5월 설계시공하였다. 고흥담수호로 유입되는 신양천 하천수를 펌핑하여 인공습지로 자연유하되도록 설계하였다. 인공습지는 폭 25-35 m, 길이 85m 규모이며 내경사를 1:4-1:15로 다양하게 설계하여 자연습지의 모습과 유사하게 조성하였다. 시스템 유입부에 개수부를 설치하여 유입수에 함유되어 있는 토사가 침전되도록 하였으며, 중앙에 개수부를 설치하여

유입수의 단기이동을 방지하고 대기와 수면과의 접촉을 촉진하여 질산화의 효율이 높아지도록 설계하였다. 유입부는 직경 30cm 파이프를 개수부 지면으로부터 직각으로 0.9m 높이로 설치하여 유입수가 인공습지의 수면으로 떨어지면서 유입되도록 설계하여 폭기효과가 있도록 하였으며, 유출부는 weir를 설치하여 수심을 0.3-0.6m로 조절이 가능하도록 설계하였다. 근자연형 인공습지는 시스템 주변에서 자생하고 있는 부들(*Typha angustifolia*)을 채취하여 뿌리에서 약 35cm 높이를 절단하여 30cm 간격으로 식재하였다.

## 2. 시스템 운영, 수질분석 및 식생조사 방법

2002년 3월부터 2002년 9월까지 시스템 유입수량은 약 100 $\text{m}^3$ 로 체류시간이 약 3.5일 정도가 되었다. 시스템 유입수와 유출수를 7~10일에 한번씩 샘플링하여 BOD, SS, TN, TP 등을 분석하였다. 분석항목은 수질 오염공정시험방법을 기준으로 SS는 유리섬유지법, BOD5는 윙클러-아지드화나트륨변법, TN은 흡광도법, TP는 흡광도법(아스코르빈산 환원법)을 사용하여 분석하였다. 식물성장 조사는 1 $\text{m}^2$ 의 격자틀 내에서 10개체의 표본을 3반복으로 30개체를 측정하여 평균초장으로 나타냈고 발생본수는 격자틀 내에 발생한 본수를 모두 조사하여 평균하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 식물성장 및 시스템 적응

근자연형 인공습지는 2001년 5월 시공하여 습지시스템 주변에서 자생하고 있는 부들을 채취하여 식재하였다. 2001년 겨울철에 지상부의 줄기가 모두 죽었으며, 2002년 봄 4월 초순부터 다시 새줄기가 나오기 시작하였다. 2001년 5월 이식 당시 1 $\text{m}^2$ 당 평균 분지수 20개 평균 초장 35cm가 2002년 4월 말에는 1 $\text{m}^2$ 당 평균 분지 56개로 증가하였으며, 평균 초장은 94cm로 성장하였다. 2002년 8월 말에는 1 $\text{m}^2$ 당 분지수 약 65개, 초장 145cm로 성장하였다. 부들의 성장이 비교적 양호한 편이었다. 겨울철에 지상부의 줄기가 모두 죽었으며 죽은 잎의 일부는 수면 아래로 가라앉았다. 겨울철에 습

지 표면의 일부가 얇게 결빙하는 경우가 발생하였다.

### 2. 처리수준

조사기간의 유입수 평균 BOD는 5.83 $\text{mg}/\ell$ 이었으며, 처리수의 평균 BOD는 2.37 $\text{mg}/\ell$ 로 평균 59%의 처리효율을 보였다. 월평균 BOD 처리율은 49%-63%를 나타냈다. 봄철 4월과 5월의 평균처리율이 다소 낮게 나타났다. 이는 겨울철에 죽은 정수식물이 분해되어 일부가 유입수에 함유되는데 원인이 있는 것으로 사료된다. 유입수 평균 SS는 20.77 $\text{mg}/\ell$ 이었으며, 처리수의 평균 SS는 8.80 $\text{mg}/\ell$ 로 평균 50%의 처리효율을 보였다. 월평균 SS 처리율은 48%-64%를 나타냈다.

유입수 평균 TN은 5.56 $\text{mg}/\ell$ 이었으며, 처리수의 평균 TN은 2.15 $\text{mg}/\ell$ 로 평균 61%의 처리효율을 보였다. 북미의 인공습지 평균 TN처리율 53% (Kadlec and Knight, 1996)보다 다소 높은 경향을 보였다. 월평균 BOD 처리율은 49%-71%를 나타냈다. 봄철 4월에 처리수의 TN농도가 다소 증가하는 경향을 보였다. 겨울철에 죽은 부들의 잔재물이 분해되면서 질소의 일부가 유입수에 함유된 것으로 사료된다. 습지에서 TN제거는 식물에 의한 흡수보다 미생물에 의한 암모니아화, 질산화, 탈질화가 중요한 역할을 한다.

유입수 평균 TP는 0.22 $\text{mg}/\ell$ 이었으며, 처리수의 평균 TP는 0.08 $\text{mg}/\ell$ 로 평균 62%의 처리효율을 보였다. 북미의 인공습지 평균 TP처리율 57% (Kadlec and Knight, 1996)보다 다소 높은 수준을 보였다. 조사기간 월평균 처리율은 57%-64% 범위를 보였다. 봄철 4월과 5월의 처리수의 TP농도가 다소 증가하는 경향을 보였다. 겨울철에 죽은 부들의 잔재물이 분해되면서 인의 일부가 유입수에 함유된 것으로 사료된다. 습지에서 인은 이온과 결합한 인산염의 상태로 침전되며, 습지식물에 의해 일부는 흡수된다. 습지내의 인은 유기물의 침전과 죽은 습지식물의 잔재물이 침전되어 형성된 습지바닥의 침전-잔재물 층(sediment-litter layer)에 흡착되어 95% 이상이 존재한다.

## IV. 결론

담수호로 유입되는 하천수를 정화하는 근자연형 자유수면 인공습지의 식물성장과 처리수준을 분석하였다.

식재한 부들이 2-3회 성장기를 거치면 처리효율이 증가할 것으로 예상된다. 겨울을 1회 거친 습지의 부들성장이 양호한 수준이었다. 조사기간 BOD, SS, TN, TP의 평균처리율은 각각 59%, 50%, 61%, 62%를 보였다. SS의 처리효율이 다소 낮게 나타났다. 이는 습지의 제방과 사면에 식물활착이 덜된 상태에서 강우로 제방과 사면의 진흙이 습지로 유입되는데 원인이 있는 것으로 사료된다. 처리수에 함유되어 있는 TP농도는 담수호 수질기준 0.1mg/ℓ를 충족시키는 수준이다.

본 연구에서 설계시공한 인공습지는 내부경사를 다양하게 설계하여 자연습지와 유사하게 조성하였으며, 수질정화뿐만 아니라 다양한 친환경적 기능을 수행할 수 있도록 설계하였다. 근자연형 수질정화 인공습지를 생태공원으로 설계하여 호수의 수질개선은 물론 시민들에게 휴식 및 자연학습 공간을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 양홍모(1999) 슈자원보전을 위한 점원 및 비점원 오염물의 자연생태적 친환경적 처리 인공습지 및 연못-습지 시스템. 한국수자원학회지 32(5): 111-123.
2. 양홍모(2001a) 고수부지를 이용한 여과습지의 수질정화 초기 처리. 환경복원복화기술학회지, 4(4): 56-63.
3. 양홍모(2001b) 담수호 슈자원보전을 위한 수질정화 연못-습지 시스템의 초기처리수준. 환경복원복화기술학회지 4(4): 64-71.
4. Brix, H.(1993) Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance. In: Moshiri, G.A. (Ed.), Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Lewis Publishers, Boca Ra-ton, FL, pp. 9-22.
5. Corbitt, R.A. and Bowen P.T.(1994) Constructed wetlands for wastewater treatment, in Applied Wetlands science and technology. Kent, D.M. (ed.), Publishers Lewis, pp. 221-241.
6. Kadlec, R.H. and Knight, R.L.(1996) Treatment Wetlands, CRC Press, Inc. Boca Raton, pp. 31-46.
7. Mitsch, W.J., Wu, X., Nairn, R.W., Weihe, P.E., Wang, N., Deal, R., Boucher, C.E.(1998) Creating and Restring Wetlands, BioScience, 48: 1019-1030.
8. Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., Crites, R.W.(1988) Natural Systems for Waste Management and Treatment, McGraw-Hill, New York.
9. EPA(1999a) Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.
10. EPA(1999b) Free Water Surface Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment, Office of Water.