

고수부지 갈대 여과습지의 초기 질소제거
Preliminary Nitrogen Removal Rate of a Reed-Planted and Subsurface-Flow
Wetland System Constructed on Floodplain

양홍모^{1*}

¹전남대학교 조경학과

I. 서론

수질정화 인공습지는 수리학적, 구조적 특징에 따라 자유수면습지(surface flow wetlands)와 여과습지(subsurface flow wetlands)로 대별한다(Corbitt and Bowen 1994; 양, 1999; 양, 2002a; 양, 2002b). 여과습지는 0.6 - 1m 깊이의 트랜치(trench)형 구조물을 땅속에 설치한 후 자갈이나 굵은 모래를 채우고 표면에 정수식물을 심는다. 유입수가 시스템 표면에서 아래로 수직으로 흐르는(vertical flow) 유형과 수평으로 흐르는(horizontal flow) 유형이 활용되고 있으며, 수평흐름 방식이 일반적으로 많이 사용되고 있다(Luederitz, et al., 2001). 정수식물로 갈대를 일반적으로 많이 사용하고 있어 여과습지를 갈대상(reed bed)이라고 부르기도 한다. 여과습지에서 유입수는 매질과 식물뿌리 사이를 느린 유속으로 움직이면서 정화되며, 여과습지의 식물은 성장에 필요한 양분을 대부분 유입수에서 흡수한다. 여과습지 시스템은 시스템의 표면으로 유입수가 흐르지 않아 냄새, 해충발생, 사람에게 오염물 접촉의 기회가 적은 장점이 있다.

여과습지는 일반적으로 점오염원인 생활하수(Reed, et al., 1988), 산업폐수(Vrhovsek, et al., 1996) 등을 2차처리수준으로 처리하기 위해 주로 사용되어 왔다. 최근에 오염하천수 및 강우유출수(Green and Martin, 1996; Higgins, et al., 1993)를 정화하기 위해 여과습지를 활용하고 있으며, 이 경우 질소와 인의 정화가 여과습지 조성의 주요 목적이 되는 경우가 많다.

최근 자연형하천정비나 오염하천정비사업을 추진할 때 습지를 조성하여 오염하천수를 정화하면서 하천습지를 복원하는 기법에 관심이 높아가고 있다. 오염하천수를 정화하는 인공습지는 하천의 제방 밖에 조성하는 경우와 하천의 고수부지에 조성하는 방법이 있다. 오염하천의 주변 토지는 대부분 주거지가 형성되어 있거나 기존 토지이용으로 수질정화 인공습지를 조성할 부지확보가 어려운 실정이다. 따라서 하천 고수부지에 수질정화 인공습지를 조성하여 오염하천수를 정화하는 방안에 관한 연구가 필요하다. 본 연구는 오염하천수를 정화하기 위해 고수부지에 조성한 여과습지의 초기 질소 제거를 연구하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 시스템 구조

광주광역시를 흐르는 광주천 하류의 고수부지에 2001년 6월 여과습지 시스템을 시공하였다. 시스템은 광주천 수중보에서 하천수를 자연유하로 시스템에 유입시키기 용이한 위치에 조성하였다. 고수부지에 약 65cm 깊이 땅속에 콘크리트 박스를 설치하고 쇠석, 콩자갈을 넣은 후 굵은 모래

로 덮었다. 시스템은 길이 29m, 폭 9m, 깊이 0.65m이며, 시스템 공극률을 고려한 체적은 약 68m³가 된다. 자생 갈대(*Pragmatis aulentalis*)를 채취하여 근부에서 약 40cm 높이로 줄기를 절단한 후 약 30cm 간격으로 시스템 표면에 식재하였다.

유입부와 유출부는 가로 1.4m, 세로 1.9m, 높이 1.3m의 박스를 여러개 설치하고 철판으로 덮었다. 유입부 분배박스에는 밸브 2개를 설치하여 유입수가 분배박스로 확산 유입되며, 분배박스 전면에는 천공을 통하여 시스템으로 확산유입이 되도록 설계하였다. 분배박스에는 호박들을 밸브 높이까지 놓았다. 시스템 처리수는 유출박스 전면의 천공을 통하여 확산유출로 유출박스에 도달한 후 유출박스 바닥에 설치된 유공관을 통하여 수위조절 파이프를 거쳐 배출되도록 조성하였다. 시스템 사면은 1:2로 설계하였으며 사면 중앙에 소단을 설치하고 줄떼와 야자섬유망을 시공하여 사면을 보호하였다.

2. 조사 및 분석 방법

2001년 7월부터 9월까지 약 3개월 동안 시스템 유입수와 유출수를 7 - 10일에 한번씩 조사하였다. 수질조사 항목은 수온, pH, TN 등을 분석하였다. 수온과 pH는 현장에서 Scott pH-Meter(CG 347)로 측정하였으며, TN 분석은 수질 오염공정시험방법(환경부, 2000)을 기준으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

조사기간 여과습지의 평균 유입유량은 40m³/day였으며 평균 체류시간은 약 1.5일이었다. 유입수의 평균수온은 23.9℃였고, 유출수의 평균수온은 22.2℃를 나타냈다. 유입수가 땅속에 설치된 시스템의 매질을 사이를 흐르면서 처리수의 수온이 약간 낮아진 것으로 생각된다. 시스템내의 수온은 질소제거에 영향을 미치는 박테리아의 활동에 비교적 적합한 조건이었다. 질소제거 효율은 20 - 25℃에서 높으며, 15℃ 이하와 30℃ 이상에서는 질산화 및 탈질화 박테리아의 활동이 둔화되어 질소 제거율이 낮아진다(Brodrick, Cullen and Maher 1988). 유입수의 평균 pH 농도는 7.02였고, 유출수의 평균 pH 농도는 6.89를 나타냈다. 유입수와 유출수의 평균 TN 농도는 각각 11.37 mg/l, 3.49mg/l로 여과습지 TN 제거율은 52%로 조사되었다. 시스템이 초기 단계인 점을 고려하면 여과습지의 TN 제거율은 양호한 편으로 사료된다.

습지에서 질소는 약 25% 정도가 식물에 의해 흡수되며, 탈질화에 의해서 제거되는 양이 약 60 ~ 70%에 달하여 탈질화가 질소제거에 중요한 역할을 한다(Spiels and Mitsch 2000). 유입수의 유기태 질소는 매질과 뿌리 사이 공극에 침전되거나 이들 표면에 형성된 미생물막에 흡착되어 분해되거나, 공극사의 물에 존재하는 미생물에 의해 분해된다. 유기질소는 암모니아화를 거쳐 암모니아(NH₄⁺-N 혹은 NH₃-N)로 전환된다. 습지에서 암모니아는 거의 대부분 이온화된 암모늄태 질소(NH₄⁺-N)로 존재한다. 생성된 NH₄⁺-N의 일부는 습지식물에 의해 흡수되며, 대부분 호기성 박테리아에 의한 질산화과정(nitrification)으로 아질산태질소(NO₂⁻-N)와 질산태질소(NO₃⁻-N)로 전환된다. 여과습지의 정수식물 뿌리층 아래는 혐기성 생물반응조 역할을 한다. 혐기상태에서 질

산태질소는 탈질화과정(denitrification)을 통하여 아산화질소(N_2O)와 질소(N_2) 가스로 전환되어 습지에서 대기로 이동한다(EPA, 2000). 탈질화는 탄소공급원인 유기물을 필요로 하며, 정수식물이 죽어 형성되는 유기쇄설물과, 식물뿌리에서 침출되는 유기물이 주된 탄소공급원이 된다. 갈대 등 여과습지의 정수식물의 근권(rhizosphere)은 질소제거에 기여한다. 정수식물은 대기중의 산소(O_2)를 뿌리로 전달하는 통기조직이 있어, 산소가 뿌리로 전달되면 뿌리주변에 호기상태의 근권이 형성되며, 근권에서는 암모니아화와 질산화가 일어난다. 근권을 둘러싸고 있는 혐기상태의 매질에서는 탈질화로 질소와 아산화질소가 발생하며, 습지식물의 통기조직을 통하여 대기중으로 이동한다.

실험 여과습지는 운영 초기단계로 식재한 갈대의 뿌리가 매질 상층부에만 형성된 상태였다. 식물에 의한 질소의 흡수는 낮은 수준으로 생각된다. 매질사이의 공극에 입자성 유기질소의 침전, 매질의 표면에 형성된 미생물막에 의한 유기질소의 흡착과 분해, 시스템 하부층의 혐기성 상태에서 일어나는 탈질화로 유입수의 질소가 제거된 것으로 사료된다.

IV. 결 론

조사기간 여과습지 처리수의 평균 수온은 $22.2^{\circ}C$ 이었고, 여과습지 유출수의 평균 pH 농도는 6.89였다. 여과습지 유입수와 유출수의 평균 TN 농도는 각각 $11.39mg/l$, $3.49mg/l$ 로 조사되었으며, TN 제거율은 52%를 나타냈다.

여과습지 시스템이 초기단계인 점을 고려하면 TN 제거 수준은 비교적 양호한 편이다. 여과습지의 수온이 암모니아화, 질산화, 탈질화에 비교적 적합한 수온을 유지하고, 매질사이의 공극에 입자성유기물이 침전되고, 매질표면에 형성된 미생물막에 의한 유기질소가 흡착되어 분해되고, 유입수가 원활히 시스템을 흐른 것이 질소제거의 주요 원인으로 사료된다. 2~3년 후 갈대가 정상적으로 성장하여 뿌리와 근권이 발달하면 질소의 제거율이 높아질 것으로 생각된다. 실험결과 고수부지를 활용한 수질정화 여과습지는 오염하천수의 질소를 줄일 수 있는 좋은 방안이 되어 하천의 수질개선에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

인용문헌

1. 양홍모 (1999) 수자원보전을 위한 점원 및 비점원 오염물의 자연생태적 친환경적 처리 인공습지 및 연못-습지 시스템. 한국수자원학회지 32(5), 111-113.
2. 양홍모 (2002a) 하천수정화 연못-습지 시스템 부들 습지셀의 초기 질산성질소 제거, 한국환경복원녹화학회지 5(6), 24-29.
3. 양홍모 (2002b) 하천수정화 근자연형 인공습지의 초기 질소제거, 한국환경농학회지, 21(4), 269-273.
4. 환경부. (2000) 수질오염공정시험방법.
5. Brodrick, S.J., Cullen, P.and Maher, W. (1988) Denitrification in a natural wetland receiving secondary treated effluent. *Water Res.* 22, 431-439

6. 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.
7. EPA. (2000) Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.
8. Higgins, M.J., Rock, C.A., Bouchard, R., Wengrezynek, B., (1993) Controlling agricultural runoff by use of constructed wetlands. In: Moshiri, G.A. (Ed.), Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 359-367.
9. Green, M.B. and Martin, J.R. (1996) Constructed reed beds clean up storm overflows on small wastewater treatment works, *Wat. Environ. Res.* 68, 1054-1060
10. Luederitz, V., Eckert, E., Martina, L.W., Lange, A., and Gersberg, R.M., (2001) Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands *Ecological Engineering*, 18:157-171
11. Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., Crites, R.W., (1988) *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill, New York.
12. Spiels, D.J. and W.J. Mitsch. (2000) The effects of seasons and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands : a comparison of low-and high-nutrient riverine systems, *Eco. Eng.* 14:77-91
13. Vrhovsek, D., Kukanja, V., bulc, T., (1996) Constructed wet-land (CW) for industrial waste water treatment. *Wat. Res.* 30:2287-2292.