

처리장 방류수 정화 인공습지 초기 질소 제거

양홍모

전남대학교 조경학과

I. 서론

자연습지의 정화능력을 인위적으로 활용하기 위해 조성한 습지를 인공습지(constructed wetlands)라고 부른다. 인공습지는 처리효율을 높이기 위해 오염부하율, 수리적부하율, 수문 등 공학적인 기법들이 접목되어 왔으며, 최근에는 습지생태계를 강조하는 생태공학적인 접근방법들이 인공습지 설계에 응용되고 있다. 전통적으로 인공습지는 1차처리 수준으로 처리된 생활하수 혹은 산업폐수를 2차처리 수준으로 정화하기 위해 사용되어 왔다. 최근에는 2차처리장 방류수를 3차처리 수준으로 정화하기 위해 인공습지를 활용하고 있으며, 이런 목적의 습지를 인공습지와 구분하여 마무리습지(polishing wetlands) 혹은 개선습지(enhancement wetlands)라고 부르기도 한다 (EPA, 1999).

수질정화 인공습지를 수리적 특성(hydraulic characteristics)과 사용한 재질(media)에 따라 자유수면습지(surface flow wetlands)와 여과습지(subsurface flow wetlands)로 대별한다(Corbitt and Bowen 1994; 양홍모, 2002b). 자유수면습지는 식물이 식재된 토양 위로 유입수가 흐르면서 정화되며, 여과습지는 유입수가 자갈(혹은 모래)과 정수식물 뿌리사이를 흐르면서 정화된다. 마무리습지는 일반적으로 자유수면습지로 설계하고 있다.

마무리습지처럼 저농도의 유입수를 처리하는 습지는 주로 질소와 인을 제거하기 위해 조성된다. 최근에는 오염하천수, 강우유출수 등 상대적으로 오염농도가 낮은 물을 정화하기 위해서도 인공습지를 활용하는 사례가 증가하고 있으며, 이 경우도 유입수의 질소와 인의 제거가 인공습지 조성의 주목적이 된다.

마무리습지는 오염부하가 적기 때문에 자연학습공간, 시민휴식공간 등 친환경적인 측면을 고려하여 설계하고 있는 추세이며, 야생동물서식처, 습지복원 등 생

태적 기능을 부가적으로 제공해 주는 장점이 있다.

저농도의 유입수를 처리하는 인공습지의 설계에 있어서는 유입수와 처리수의 질소 농도가 중요한 설계인자로 활용되고 있다. 본 연구는 2차처리 방류수를 정화하는 갈대 인공습지 셀의 초기 질소제거율을 연구하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 습지셀 시스템 구조

전라남도 고흥군 도덕면에 위치한 분뇨처리장의 방류수를 처리하기 위해 분뇨처리장에서 약 300m 떨어진 장소에 인공습지 시스템을 조성하였다. 방류수정화 인공습지 전체 시스템은 1개의 저류조와 4개의 자유수면습지 셀로 설계하였다. 분뇨처리장의 방류수가 저류조에 유입된 후, 저류조에서 4개의 습지셀로 각각 분산 유입된다. 본 연구는 4개의 습지셀 중 개수부가 2개 조성되어 있는 갈대 습지셀을 조사분석하였다. 저류지와 실험 습지셀은 2002년 6월에 완공하였다. 저류지는 분뇨처리장의 방류량 $75\text{m}^3/\text{일}$ 을 저류할 수 있는 14m (폭) \times 14m (길이) \times 0.4m (수심)로 설계하였으며, 여유고를 0.4m 로 설계하여 장래 방류수가 $100\text{m}^3/\text{일}$ 이 되어도 저류할 수 있도록 하였다. 저류지의 바닥고를 습지 셀의 바닥고 보다 0.5m 높게 설계하여 저류지로부터 각 습지 셀로 방류수가 자연유하로 유입되게 설계하였다. 저류지의 바닥과 사면은 3mm 방수매트를 깔아서 저류지에 식물이 성장하지 못하도록 하여 방류수에 이물질이 가급적 섞이지 않은 상태에서 방류수가 각 셀로 유입되도록 하였다.

실험 습지셀은 폭 14m , 길이 87m 로 면적이 약 $1,200\text{m}^2$ 이다. 습지셀 바닥으로부터 독 상단의 높이는 1m 이며, 습지의 수심은 최대 0.6m 까지 조정이 가능하

도록 설계하였다. 습지 셀에는 주변에서 자생하는 갈대를 채취하여 근부로부터 약 40cm 부위를 절단한 후 2~3분씩 20~30cm간격으로 식재하였다. 습지바닥에서 수심 1m, 표면적 120m²의 개수부 2개를 셀의 3등분 지점에 조성하였다. 개수부는 갈대가 성장할 수 없으며, 개수부 면적은 셀 면적의 약 20%가 된다. 개수부는 유입수의 단기이동을 방지하고, 수면과 공기의 접촉에 의한 질산화작용을 촉진하여 TN제거효율을 높이는 역할을 한다. 습지셀 유입부는 밸브를 설치하여 유입량을 조절할 수 있으며, 셀의 유입부는 확산유입이 되도록 직경 20cm 관의 관을 셀 쪽에 수평으로 설치하고 지름 5cm 구멍 수 개를 뚫었다. 유출부는 유량통제 밸브와 수위조절 파이프를 설치하여 수위와 유량을 조절할 수 있도록 설계하였다.

2. 조사 및 분석 방법

2002년 7월부터 2002년 9월까지 실험습지 셀의 초기 TN처리수준을 분석하였다. 셀 유입수(저류조 유출수)와 습지셀 유출수를 7~10일에 한번씩 샘플링하여 수질 오염공정시험방법(환경부, 2000)을 기준으로 하여 TN을 분석하였다. 수온과 pH는 현장에서 Scott pH-Meter(CG 347)로 측정하였다. 식물생장 조사는 1m x 1m 격자 틀을 이용하여 본수와 초장을 측정하였다. 조사지점은 습지셀의 유입부, 중앙부, 유출부에서 각각 4군데 씩 조사하였다. 본 수는 격자틀 내의 전수를 3반복 조사하였으며, 평균초장은 격자틀 내에 10개체의 식물체를 3반복으로 30개체를 측정하여 평균한 값이다.

III. 결과 및 고찰

조사기간 습지셀의 평균 유입유량은 약 25m³/day이었으며, 수심을 0.2m로 운영하여 평균 체류시간은 약 52일 이었다. 식재후 7월에 갈대의 평균초장은 52.1cm이었으며, 9월에는 평균초장이 90.5cm로 성장하였다. 7월의 분지수는 37개였으며 9월에는 62개로 증가하였다. 갈대의 초기성장이 비교적 양호하였다.

습지셀의 유입수와 처리수의 평균수온은 각각 26.9℃, 28.6℃이었다. 유출수의 수온이 높은 이유는 습지셀이 시공 후 초기단계로 정수식물에 의해 그들이 충분히

제공되지 못한 상태여서 햇빛이 쬐여 수온이 상승한데 원인이 있다고 생각된다. 유입수와 처리수의 평균 pH농도는 각각 5.6, 8.5였다. 셀 처리수의 pH가 높게 나타났다. 셀 유입수 pH가 낮은 원인은 분뇨처리장 방류수의 pH가 낮은 데 원인이 있으며, 습지셀 처리수의 pH가 높은 이유는 정수식물에 의해 그들이 충분히 제공되지 못한 식재구간 일부와 개수부에서 녹조가 발생하는데 원인이 있는 것으로 생각된다. 햇빛이 쬐이고 영양염류가 수중에 있어 녹조가 발생하면 pH가 높아진다(Yang, 1992).

수질 분석결과 유입수와 유출수의 평균 TN농도는 각각 26.12 mg/l, 8.03mg/l로 습지셀의 TN 제거율은 69%를 나타냈다. 시공후 초기 습지셀의 TN처리율은 양호한 수준이다. 캐나다의 Cobalt 인공습지와 Listowel 인공습지의 TN 처리율은 약 53% 정도이며(Kadlec and Knight, 1996), 운영기간이 20년이 넘는 미국 Arcata 마무리습지의 TN처리율은 약 90%에 달한다. 인공습지에서 질소제거 효율은 수온이 20~25℃에서 높으며, 15℃ 이하와 30℃ 이상에서는 질산화 및 탈질화 박테리아의 활동이 둔화되어 질소 제거율이 낮아지는 경향이 있다(Brodrick, Cullen and Maher 1988).

인공습지의 질소제거 기작에 있어 정수식물은 상당한 역할을 한다. 인공습지에서 질소는 암모니아화-질산화-탈질화에 의해 제거되거나 습지식물의 흡수로 제거된다. 인공습지에서 제거되는 질소의 총량에서 탈질화에 의해서 제거되는 양이 약 60~70%에 이르며, 습지식물에 의해 제거되는 양은 약 25% 정도이다(Bartlett et al., 1979; Stengel et al., 1987; Cooke, 1994). 식물에 의해 흡수된 질소는 식물이 죽어 유기 쇄설물이 되면 용출될 가능성이 있으나, 탈질화로 질산태 질소가 질소가스로 전환되면 질소가스가 대기로 이동하여 습지에서 질소가 제거된다. 정수식물은 통기조직이 있어 공기중의 산소를 뿌리로 전달할 수 있다. 산소가 뿌리로 이동하면 뿌리주변에 옅은 호기상태의 근권이 형성되며, 근권에서 암모니아화와 질산화가 일어난다. 근권을 둘러싸고 있는 혐기성 토양층에서는 질산태질소가 질소와 아산화질소로 전환되어 습지식물의 통기조직을 통하여 대기중으로 이동한다(Fulkler and Richardson, 1989).

탈질화과정은 탄소공급원을 필요로 하며, 습지에서는 식물체의 유기쇄설물이 탄소공급원 역할을 한다. 새

로 조성한 인공습지는 잔재물 - 토양(litter - soil)층이 충분히 형성되지 못하여 TN제거율이 낮은 경향을 보인다. Zhu and Sikora(1994)의 연구에 의하면 NO₃-N의 제거율이 14~30%인 인공습지에 유기물을 추가로 공급하면 제거율이 55~70%로 증가하였다. 본 실험 습지셀은 갈대 식재 후 초기단계로 근권의 발달이 느리고 탈질화에 필요한 유기물 공급이 적어 질산태질소의 제거효율이 낮아 TN제거율이 다소 낮은 것으로 사료된다. 갈대가 2~3회 성장기를 거치면 TN 제거율이 높아질 것으로 사료된다.

IV. 결론

조사기간 식재한 갈대는 식재후 7월에 평균초장 52.1cm가 9월에는 90.5cm로 성장하여, 갈대의 성장이 양호한 편이었다. 습지셀 처리수의 평균수온은 28.6℃로 질소제거에 영향을 미치는 미생물들의 활동에 적합한 수온이었다. 조사기간 처리수의 평균 pH농도는 8.5를 나타냈다. 실험 습지셀의 초기 평균TN 제거율은 약 69%로 양호한 편이었다. 유입수의 흐름이 정상적으로 이루어지고, 개수부에 의한 유입수의 단기이동방지와, 유입부와 유출부의 확산유입과 확산유출 구조가 정상적으로 운영된 것도 TN제거율을 높이는 데 기여한 것으로 사료된다.

2~3년 후 갈대가 충분히 성장하여 뿌리와 근권이 발달하고, 습지바닥에 유기쇄설물층이 발달하면 TN제거율은 높아질 것으로 예측된다. 실험결과 인공습지는 2차처리장 방류수에 함유되어 있는 TN를 효율적으로 처리할 수 있는 방안이 될 것으로 사료된다.

인용문헌

1. 양홍모 (1999) 수자원보전을 위한 점원 및 비점원 오염물의 자

- 연생태적 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. Bartlett, M. S., Brown, L. C., Hanes, N. B. and Nickerson, N. H. (1979) Denitrification in freshwater wetland soil. J. Environ. Qual. 8, 460-464.
 6. Brodrick, S. J., Cullen, P. and Maher, W. (1988) Denitrification in a natural wetland receiving secondary treated effluent. Water Res. 22, 431-439.
 7. 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.
 8. Cooke, J. G. (1994) Nutrient transformations in a natural wetland receiving sewage effluent and the implications for waste treatment. Water Sci. Technol. 29, 209-217.
 9. EPA. (1999) Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.
 10. Faulker, S. P. and C. J. Richardson. (1989) Physical and Chemical Characteristics of Freshwater Wetland Soils in Hammer, D. A. (ed.), Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Michigan, 41-72.
 11. Reilly, J. F., Horne, A. J. and Miller, C. D. (2000) Nitrate removal from a drinking water supply with large free-surface constructed wetlands prior to groundwater recharge. Ecol. Eng. 14, 33-47.
 12. Kadlec, R. H. and Knight, R. L. (1996) Treatment Wetlands, CRC Press, Inc, Boca Raton.
 13. Stengel, E., Carduck, W. and Jebson, C. (1987) Evidence for denitrification in artificial wetlands. In: Reddy, K.R. and Smith, W. H. Editors, 1987. Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery Magnolia Publishing, Orlando, FL, 543-550.
 14. Yang, H. M. (1992) Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem, PhD Dissertation, University of California Berkeley. I. Corbitt, R.A. and Bowen 20.
 15. Zhu, T. and Sikora, F. J. (1994) Ammonium and nitrate removal in vegetated and unvegetated gravel bed microcosm wetlands. In: Proc. 4th Int. Conf. on Wetland Systems for Water Pollution Control, Guangzhou, China, 355-366.