부들 성장기 인공습지 셀의 질소정화

양홍모
전남대학교 조경학과

I. 서론

자연습지(natural wetlands)가 강우유출수 및 하천수에 함유되어 있는 영양염류를 정화하여 하천과 호소의 부영양화를 억제하는 기능이 있다는 사실은 오래 전부터 알려져 왔으며, 습지를 보전하는 이유 중 하나로 여겨져 왔다. 이런 자연습지의 수질정화 기능을 활용하기 위해 인위적으로 조성한 습지를 인공습지(constructed wetlands)라고 부른다. 선진국에서는 인공습지를 하천 및 호소 주변에 조성하여 하천과 호소의 수질을 개선하고 있으며, 최근 국내에서도 하천과 호소의 수질을 개선하기 위해 인공습지를 활용하는 방안에 대한 관심이 높아지고 있다.

수질정화를 위해 인위적으로 조성한 습지를 공습지와 개선습지(enhancement wetlands)로 대별한다. 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 등을 연못시스템이나 기계식 처리장에서 1차처리 수준으로 정화한 후 이들 처리시설의 방류수를 처리하는 습지를 일반적으로 인공습지라고 부른다. 이 경우 유입수의 BOD의 농도가 높아 질소, 인 제거 보다는 BOD 제거를 목적으로 설계하며, BOD 부하량과 처리수의 BOD 농도가 습지 설계의 주요 인자가 된다. 하천수, 강우유출수, 2차처리장 방류수를 정화하는 습지를 개선습지라고 부른다. 개선습지의 유입수 오염물질 농도는 상대적으로 저농도이며, BOD 제거보다는 질소와 인의 제거가 개선습지 조성의 일차적 목적이 된다. 따라서 질소 부하량과 처리수의 질소 농도가 중요한 설계인자가 된다. 개선습지는 수질정화이외에 야생동물서식처, 자연학습공간, 시민휴식공간의 제공, 습지 복원, 지역경관 개선 등 다양한 친환경적 기능을 제공할 수 있는 장점이 있어, 최근 선진국에서는 이들 기능을 고려하여 개선습지를 설계하는 추세이다.

습지에서 질소는 암모니아화-질산화-탈질화 과정을 통해 제거되거나 습지식물에 의한 흡수로 제거된다. 습지에서 제거되는 질소의 총량에서 탈질화에 의해서 제거되는 양이 약 60-70%에 이르며, 습지식물의 흡수를 통해 제거되는 양은 약 25% 정도이다(Bartlett et al., 1979; Stengel *et al.* 1987; Cooke, 1994). 탈질화로 질산태 질소가 질소가스로 전환되면 질소가스가 대기로 이동하여 습지에서 질소가 제거된다. 반면 식물에 의해 흡수된 질소는 겨울철 식물이 죽어 유기 쇄설물이 되면 습지의 물로 다시 용출될 가능성이 있다.

하구에 조성된 담수호인 시화호의 수질악화로 인한 담수화 포기는 막대한 경제적 환경적 손실을 가져왔으며, 간척사업으로 이미 조성된 담수호와 새만금지구 간척사업으로 조성될 담수호의 수질에 대한 우려가 높아지면서, 담수호로 유입되는 하천수를 인공습지를 활용하여 정화하는 방안에 대해 관심이 높아지고 있다.

본 연구는 담수호의 수질개선을 위해 담수호로 유입되는 하천수를 정화하는 연못-습지 시스템 모델 개발을 위해 조성한 연못-습지 시스템을 구성하고 있는 습지셀의 초기 부들성장기 질소제거율을 조사분석하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 습지셀 구조

수질정화 연못-습지 시스템을 2000년 4월부터 7월초에 전라남도 고흥군 고흥담수호 유입부의 신양천변에 조성하였다. 연못-습지 시스템은 연못 2개와 습지셀 6개로 구성되어 있으며(양홍모, 2001), 습지셀 6개는 갈대 습지셀 3개와 본 연구대상인 부들 습지셀 3개로 구성되어 있다. 연못-습지 시스템은 고흥담수호로 유입되는 신양천 하천수를 펌핑으로 1차연못에 유입시킨후, 1차연못의 처리수가 자연유하로 2차연못으로 유입되며,

2차연못의 처리수가 각 습지 셀로 분산 유입된다. 습지 셀은 자유수면 습지로 조성하였다. 2차연못의 처리수가 유입관을 통해 각 습지 셀로 유입되며, 유출부는 수문(weir)를 설치하여 수심 60cm까지 조절할 수 있다. 각 습지 셀의 바닥면적은 약 150㎡이다.

2. 습지셀 운영, 수질조사 및 분석 방법

2000년 6월 말에 간척 개답지 주변에 자생하는 부들을 채취하여 식재하였다. 식재한 부들은 2000년 겨울에 줄기가 죽고 새줄기가 나와 성장하였으며, 2001년 겨울철에 줄기가 죽고 2002년 4월부터 새 줄기가 나오기 시작하였다. 본 연구는 부들의 생육이 활발한 2002년 6월부터 9월까지의 습지의 질소 처리수준을 분석하였다. 실험기간 습지 셀의 유입량은 약 20㎥/day이었으며, 체류시간은 약 1.5일이었다. 습지셀의 유입수와 유출수를 7 ~ 10일에 한번씩 샘플링하여 수질 오염공정시험방법(환경부, 2000)을 기준으로 TN, NO_3-N을 분석하였다. 수온과 pH는 현장에서 Scott pH-Meter(CG 347)로 측정하였다. TN, NO_3-N, 수온 등은 부들습지 셀 3개의 평균값으로 나타냈다.

III. 결과 및 고찰

조사기간 부들 습지셀 3개의 유입수와 유출수의 평균 TN농도는 각각 각각 3.97㎎/ℓ, 2.24㎎/ℓ 였으며, 유입수와 유출수의 평균 NO_3-N 농도는 각각 2.28㎎/ℓ, 1.47㎎/ℓ 였다. TN 처리율과 NO_3-N 처리율은 각각 43.7%, 35.8%로 조사되었다.

습지의 질소제거에서 중요한 암모니아화-질산화-탈질화 과정은 미생물에 의해 이루어진다. 부들의 뿌리와 근경은 미생물이 자랄 수 있는 환경을 제공한다. 부들의 통기조직은 대기중의 산소를 뿌리로 전달하고 토양에서 발생하는 질소와 아산화질소를 대기중으로 이동시키는 역할을 한다. 산소가 뿌리로 이동하면 뿌리주변에 엷은 호기상태의 근권이 형성되며, 호기성 근권에서 암모니아화와 질산화가 일어난다. 근권을 둘러싸고 있는 혐기성 토양층에서는 질산태질소가 질소와 아산화질소로 전환되며, 통기조직을 통하여 이들이 대기중으로 이동한다(Fulkler and Richardson, 1989).

유기태 질소(organic N)는 암모니아화와 질산화과정을 거치 질산태 질소(NO_3-N)로 전환되며, 질산태질소는 토양으로 확산되어 혐기층의 탈질화 작용으로 제거된다. 질산태질소의 농도가 높으면 질소제거율이 높아지며, 유기태 질소의 농도가 높을 경우 처리수의 질소농도가 오히려 높아지는 경우도 있다(Phipps and Crumpton, 1994).

탈질화는 에너지를 제공하고 전자공여체(electron donor) 역할을 하는 유기물이 필요하다 (Broadbent and Clark, 1965). 부들 줄기가 죽어 습지바닥에 쌓여 잔재물이 되면 유기 쇄설물이 되어 탈질화에 필요한 탄소공급원이 된다. 새로 조성한 인공습지는 잔재물-토양(litter-soil)층이 발달하지 못하여 NO_3-N의 제거율이 낮은 경향을 보인다. Zhu and Sikora(1994)의 연구에 의하면 NO_3-N의 제거율이 14 - 30%인 인공습지에 유기물을 추가로 공급하면 제거율이 55 - 70%로 증가하였다.

본 연구습지는 부들 식재 후 초기단계로 근권의 발달이 완전하지 못하고 탈질화에 필요한 유기물 쇄설물의 공급이 상대적으로 적어 질산태질소의 제거효율이 다소 낮은 것으로 사료된다. 부들이 3 - 5회 성장기를 거치면 NO_3-N 제거율이 높아질 것으로 사료된다.

탈질화는 체류시간이 길수록 높아지는 경향이 있다. 인공습지의 적정 체류시간으로 5 - 14일을 제시하고 있다(Watson and Hobson, 1988:. Mitsch and Gosselink, 2000). 본 인공습지의 체류시간 1.5일은 낮은 범위에 속한다.

본 연구기간의 습지 평균 수온은 24.9℃였다. TN처리율 변화 경향과 습지 수온의 변화 양상이 비슷한 모습을 보였다. 습지 수온이 TN 제거율에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 질소제거 효율은 20 - 25℃에서 높으며, 15℃이하와 30℃이상에서는 질산화 및 탈질화 박테리아의 활동이 둔화되어 질소 제거율이 떨어지게 되며, 5℃이하에서도 탈질화가 일어난다는 연구가 있다(Brodrick *et al.*, 1988). 연구기간의 습지수온은 질소제거에 양호한 조건이었다.

IV. 결론

담수호로 유입되는 하천수를 정화하는 연못-습지 시스템을 구성하는 부들습지 셀에서 부들의 초기 생육이 활발한 시기의 TN, NO_3-N제거율을 분석하였다. TN

처리율과 NO_3-N 처리율은 각각 43.7%, 35.8%로 조사되었다. 저농도의 하천수가 유입되는 미국 오하이오주의 인공습지의 TN 처리율은 약 45 % - 50% 정도이다. 습지운영 초기상태인 본 연구 습지셀의 질소 제거율은 양호한 편이다.

본 연구습지의 부들이 3 - 5년 후 습지를 완전히 덮고 뿌리가 발달하여 뿌리주변에 근권이 발달하고, 부들의 잔재물이 습지바닥에 쌓여 탈질화에 필요한 탄소공급원의 역할을 하면 TN 및 NO_3-N제거 효율이 다소 높아질 것으로 사료된다.

분석결과 간척지 담수호 주변에 담수호의 물이나 담수호 유입하천수를 정화하는 인공습지를 조성하여 유입하천수나 담수호의 물에 함유되어 있는 질소의 제거가 가능하다고 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(2001) 담수호 수자원보전을 위한 수질정화 연못-습지 시스템의 초기처리수준. 한국환경복원녹화기술학회지. 4(4): 64-71.
3. 양홍모(2002) 하천수정화 연못-습지 시스템의 갈대 습지셀의 초기 질산성질소 제거. 한국환경농학회지. 21(4): 274-278.
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. Broadbent, F.E. and Clark, F.E.(1965) Denitrification. Agronomy 10, 344.
7. Brodrick, S.J., Cullen, P. and Maher, W.(1988) Denitrification in a natural wetland receiving secondary treated effluent. Water Res. 22, 431-439.
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. 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.
10. Mitsch, W.J., Gosselink, J.G.(2000) Wetlands, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold (now J. Wiley & Sons), New York.
11. Phipps, R.G. and Crumpton, W.G. (1994) Factors affecting nitrogen loss in experimental wetlands with different hydrologic loads. Ecol. Eng. 3, 399-408.
12. Stengel, E., Carduck, W. and Jebsen, 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.
13. Watson, J.T. and Hobson, J.A.(1988) Hydraulic design considerations and control structures for constructed wetlands for wastewater treatment. In: Hammer, D.A. Editor, 1988. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural Lewis, Chelsea, MI, 379-392.
14. Zhu, T. and F.J. Sikora.(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.