

다단계 Phytoreactor을 이용한 영양물질 제거에 대한 연구

이상화 · 최승일 · 남연우* · Janjit Iamchaturapatr · 이재성†

한국과학기술연구원 에너지 · 환경연구본부
*신도건공(주) 환경기술연구팀

A Study on Nutrients Removal by Multi-stage of Phytoreactor

Sang-Hwa Lee, Seoug-II Choi, Youn-Woo Nam*, Janjit Iamchaturapatr, and Jae-seong Rhee†

Environment & Technology Group, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 139-791, Korea
*Environmental Technology Research Team, Sindo Environment Engineering & Construction Co., Ltd., Seoul, Korea

Received May 29, 2009, accepted September 23, 2009

In this study, we investigated the performance of phytoremediation system treating wastewater containing high level of nutrients. Use of *Acorus gramineus* showed high removal efficiency for nitrogen (N) and chemical oxygen demand (COD) but low removal efficiency for phosphorus (P). The Overall N, P and COD removals efficiencies were 83.0-90.8%, 12.8-40.6% and 72.6%, respectively. During the 9day operation of the system, The pH of effluent has significantly decreased comparing with raw water. The mean pH of influent and effluent water was 6.0 and 7.0, respectively.

Key words: Phytoreactor, T-N, T-P, COD, pH, *Acorus gramineus*, Nutrients

1. 서 론

삶의 질이 향상됨으로서 그에 따른 개발과 산업 정책으로 인하여 물리·화학·생물학적 처리로 제거되지 않은 영양염류들이 방류되어 수질환경에 악영향을 일으키고 있다. 특히 질소와 인은 방류되면서 호소의 부영양화를 일으키는 주요 제한인자이다. 우리나라에서는 1996년부터 질소와 인에 대한 방류수 수질기준을 정하고 의무화시키고 있다.¹⁾

최근에는 수생식물을 이용한 폐수처리연구가 가속화되고 있다. 수생식물을 이용한 처리는 물리·화학적 처리에 비하여 비용이 저렴하고 생물학적처리보다 가시적인 효과가 있다. 또한 이러한 수처리 시설은 기계적 요소와 인공적 구조물에 대한 의존도가 적으며 다른 공정에 비하여 운전 및 유지관리가 거의 필요 없는 것이 장점이다.²⁾³⁾ 반면에 넓은 면적을 요구하고 계절에 따른 기온의 변화는 효율성에 문제가 있다는 단점은 보

완해야할 과제이다.

수생식물에 의한 질소 제거는 종류, 환경, 농도 등에 따라 차이가 있지만 질산화/탈질, 암모니아의 탈기, 흡수 등의 과정을 통해 무기질소를 변환시켜 대기 중으로 방출하여 제거되어 진다. 인은 습지식물에 의한 흡수, 미생물의 고정화, 수체 내의 침전물형성, 세포의 합성에 의하여 제거되지만 질소와 달리 기체형태로 제거되지 않는다.⁴⁻⁷⁾ 또한 식물의 고사나 활동에 의한 배출은 인제거의 효율을 방해한다. Fig. 1에 수 생태계에서의 수생식물에 의한 전형적인 질소, 인의 제거 및 순환 과정을 나타냈다.

본 연구에서는 정수식물의 일종인 석창포를 다단계로 구성된 식물 반응조(phytoreactor)에 적용하여 다른 조건의 인공폐수에서 질소와 인의 제거효율과 역할, 보완점 등에 대하여 논의하였다.

†To whom correspondence should be addressed.

Tel: +82-(0)2-958-5954, Fax: +82-(0)2-958-6831, E-mail: jsrhee2@hotmail.com

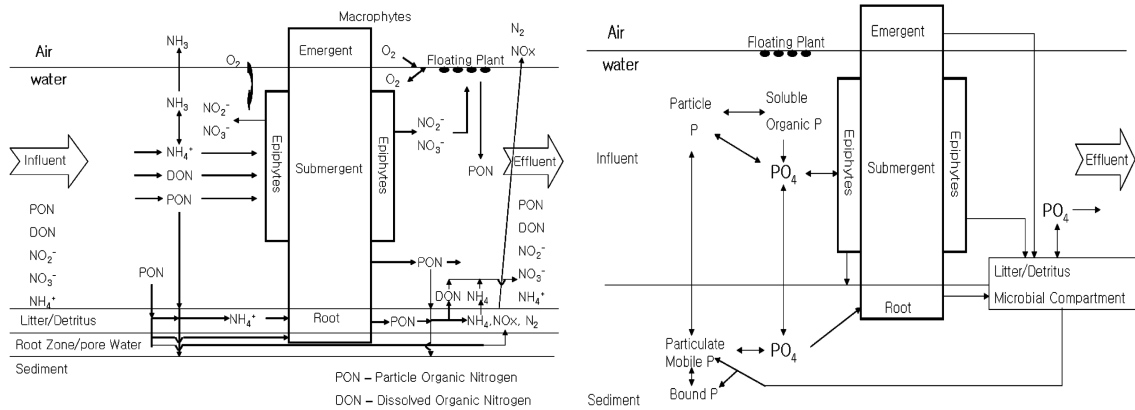


Fig. 1. Typical N, P transformation within an aquatic plant

2. 실험방법

2.1 유입수 성상 및 식물 종

본 연구에서의 유입수는 인공폐수로서 자체 제조하여 사용하였으며 대상 식물의 경우 구하기가 간편하고 생육이 용이하여 실내실험에 적합한 석창포(*Acorus gramineus*)를 선정하여 이물질 제거하고 세척한 뒤 약 250g씩 분배하여 식재 한 후에 폐수를 채워 넣어 실험하였다. 인공폐수의 특성은 Table 1에 제시된 바와 같다.

2.2 식물 반응조(phytoreactor) 제작

본 연구에서 고안된 식물 반응조는 3단의 관형 흐름 반응조(3-stage, Plug and flow reactor(PFR))로서 각 반응조 당 52 cm × 10 cm × 15 cm(길이 × 넓이 × 높이)의 실험실 규모로 제작되었다. 유입구는 반응조 상단에 두어 중력에 따라 자유 낙하하도록 하였으며, 반응조 내부에 사용된 media는 체 거름을 하여 2-2.5 mm 자

갈(건조 밀도 1370 kg/m³, 공극 0.25)을 사용하여, 각 단계마다 약 1300 g(부피 949 ml, 높이 2.5 cm)을 채워 넣었으며, 유입원수는 Peristaltic 펌프(Peristaltic pump, minipul3, Gilson)을 이용하여 연속적으로 공급

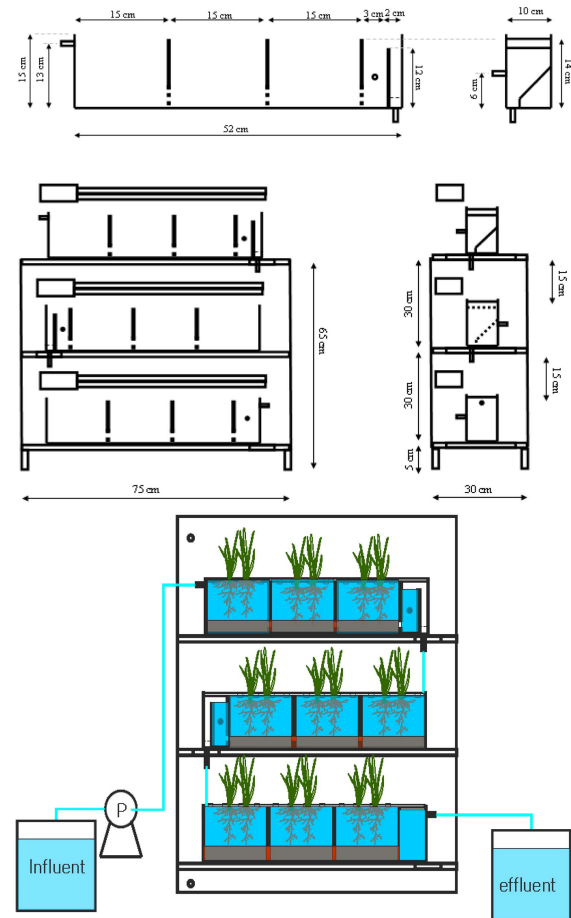


Fig. 2. Schematic diagram of 3-stage phytoreactor

Table 1. Characteristics of synthetic wastewater

Parameter	Units	Values
pH	-	7.2-7.5
DO	mg/L	6.0-6.5
Temperature	°C	25-28
NH ₄ -N	mg/L	10
NO ₂ -N	mg/L	-
NO ₃ -N	mg/L	15
PO ₄ -P	mg/L	5
COD	mg/L	200
TN	mg/L	25
TP	mg/L	5

하였으며 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time, HRT)은 0.5~1/d 로서 조절하여 약 한 달여 가량을 운영하였다. Fig. 2에 실험 준비과정과 실험을 위해 제작된 반응조를 도식화하여 나타내었다.

2.3 분석항목 및 측정방법

Phytoreactor의 변화를 알아 보기위하여 유입수 및 유출수의 COD, 총질소, 총인, pH 분석을 수행하였으며 3일에 한번씩 샘플을 채취했다. COD분석은 일정량의 중크롬산칼륨과 황산을 가하여 2시간 가열시킨 후 산화된 중크롬산칼륨의 량을 600 nm의 분광광도계를 이용하여 사용하였다. 총질소는 C-mac사의 키트를 사용 후 410 nm에서 흡광도를 측정하였으며 총인 역시 C-mac사의 키트를 사용 후 880 nm에서 흡광도를 측정하였다. 반응조의 운전 상태를 점검하기 위해 매 실험 시 pH를 측정하였다. pH meter는 이온전극법(Istek Model 750P)을 사용하였으며 standard calibration 후 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 두 가지 인공폐수에 대한 COD, 총질소, 총인, pH의 변화에 대하여 조사하였고 실험 시작 9일 후에 유입유량을 8.4 mL/min(HRT=0.5/일)에서 4.2 mL/min(HRT= 1/일)으로 조절하였고 15일후에 인공폐수의 성상을 변화시켜 보았다.

3.1 COD 제거

COD 제거에 대한 결과는 Fig. 3에 표시하였다. 초기에는 인위적인 COD농도를 첨가 하지 않고 유입수 주

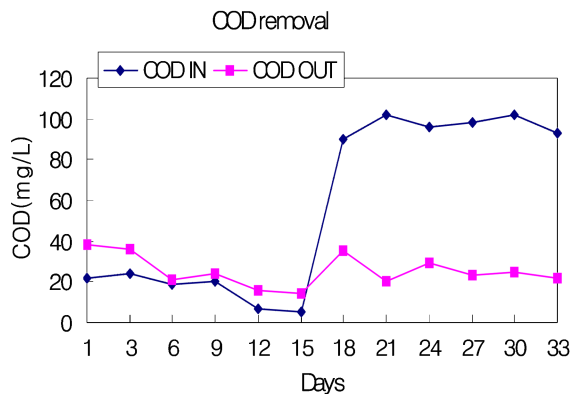


Fig. 3. Variation of COD in Phytoreactor.

입을 8.4 mL/min과 4.2 mL/min으로 하였고 15일 뒤 COD농도를 증가 시켜 실험하였다. 100 ppm의 COD 공급 후에 72.6%라는 제거효율이 나타났다. 실험결과 적은 농도의 COD에서는 반응조 안의 미생물들의 활동으로 유출수의 농도가 더 높게 나왔고 사료된다. 실험 중에 미생물량이 모든 system내에 많이 존재하여 줄이기가 매우 힘들었다. 높은 농도의 COD에서는 처리효율이 높음을 알 수 있었다.

3.2 총질소 제거

Fig. 4는 T-N의 제거를 나타낸 결과이다. 식물을 반응조에 설치하여 새로운 환경에 적응 할 시간이 필요하며 즉시 제거효과를 기대할 수 없었다. 하지만 약 1 주일이 지나면서 제거효과가 나타난다는 것을 알 수 있었다. 유입량은 반으로 줄여 공급했을 때 질소의 제거효율이 증가하였고 15일 후 COD를 인위적으로 주입했고 유입수 성상을 변화시켰을 때 제거효율이 83.0%에

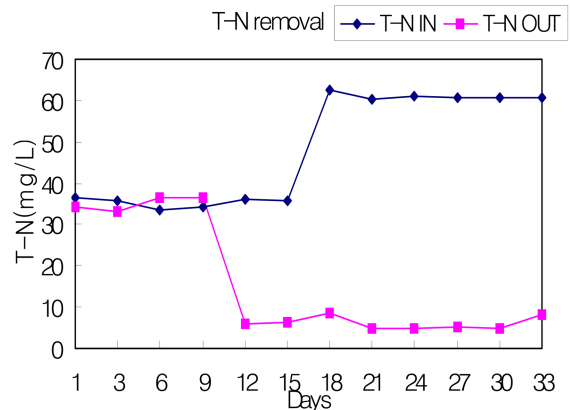


Fig. 4. Variation of T-N in Phytoreactor.

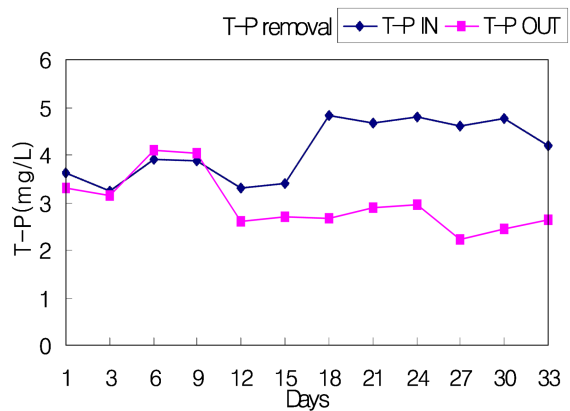


Fig. 5. Variation of T-P in Phytoreactor.

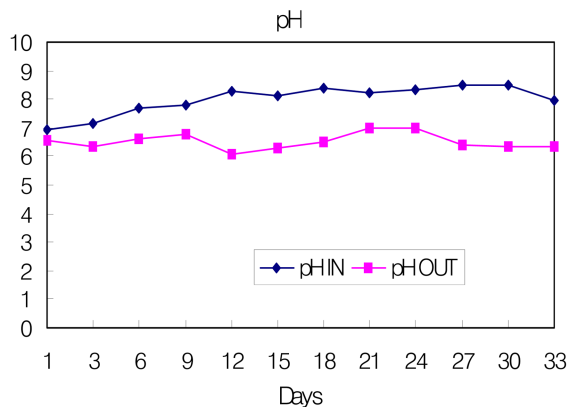


Fig. 6. Variation of pH in Phytoreactor.

서 90.8%로 증가하였다. 이는 수리학적체류시간과 탄소원 공급이 수생식물을 이용한 오염물질제거의 효율에 영향을 끼친다고 해석할 수 있다.

T-P의 제거결과는 Fig. 5에 나타내었다. 인의 경우 초기의 제거효율은 높지 않았다. 그 이유는 겨울철 습도가 낮아 잎이 고사하여 수중으로 인의 방출이 일어났기 때문으로 보인다. 수리학적체류시간(HRT) 때 제거효율은 12.8%의 효율을 보였지만 탄소원 공급 후에 처리효율은 40.6%로 증가하였다. 인의 제거 역시 탄소원과 수리학적체류시간 그리고 주위 환경에 영향을 받는 것으로 사료된다.

3.4 pH의 변화

Fig. 6에서 나와 있듯이 pH는 유입을 통해 유출되면서 감소되는 것을 보인다. 그 이유는 호기성미생물의 생물화합물이 분해되는 과정에서 수중에 CO_2 와 H_2CO_3 을 형성하고 뿌리의 호흡으로 CO_2 와 유기산의 발생되어 용출된 양이온이 H^+ 이온으로 작용하여 pH를 감소시키는 것으로 사료된다.⁹⁻¹¹⁾

4. 결 론

수생식물의 영양염류 처리능을 알아보기 위하여 *A.gramineus*(석창포)를 사용 phytoreactor를 제작하여 유입수와 유출수의 COD, T-N, T-P, pH에 대한 실험을 실행하였다. 실험한 결과 수리학적체류시간은 0.5/d보다 1/d때 효율이 증가한 것으로 나타났다. 그리고 탄소원을 공급해 주었을 때 총질소의 경우 83.0%에서

90.8%로 총인은 12.8%에서 40.6%로 제거효율이 증가한 것으로 나타났다. T-P제거효율의 방해인자는 식물이 고사하여 수중에 재용출된 것을 판단되며 COD는 72.6% 제거효율을 얻을 수 있었다. 실험기간 동안 pH는 유입수에서 유출수로 나올 때 조금 감소되는 결과를 얻었고 주로 미생물의 유기산 생성 것으로 판단된다. 주위 환경의 영향을 많이 받는 수생식물은 주위의 습도, 폐수의 농도, 종별 등을 고려하여 향후 더 세밀하고 적절한 실험이 요구된다.

사 사

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업(2M23640) 및 교과부 기관고유과제(2E21180) 지원하에 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이상호, 산업과학연구부, No.10 91-103 (2000).
2. 김영철, 김완중, 정하영, 대한환경공학회, Vol. 23. No. 2. 293-303 (2001).
3. 허인량, 정의호, 최지용, 신용건, 오근찬, 대한환경공학회, Vol. 21. No. 5.(1999).
4. 김정미, 수생식물의 현존량 조절에 의한 생활하수의 질소, 인 제거. 서울대학교(1998).
5. 김명화, 수중 습지식물에 의한 질소와 인의 제거능에 관한 연구, 목포대학교 대학원 석사학위논문(1996).
6. 시단, Domestic wastewater treatment by iris pseudoacorus, 전남대학교대학원(2003).
7. Ingersoll, T., & Baker, L. Nitrate removal in wetland microcosms, *Water Research*, 32, pp. 677-684(1998).
8. Kadlec, R.H. & Knight, R.L. "Treatment Wstlands", Lewis Pulishers, New York. pp. 893(1996).
9. Coleman, J., Hench, K., Garbutt, K., Sextone, A., Bissonnette, G. and Skousen, J., "Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetland," *Water, Air, and Soil Pollution*, 128, pp. 283-295 (2001).
10. Bezbarush, A.N. and Zhang T.C. *Biotechnology and Bioengineering*, Vol 89, 308-318(2004b).
11. Janjit lamchaturapatr, Su Won Yi and Jae Seong Rhee,, *ECOLOGICAL ENGINEERING*, Vol. 29. Issue. 3. 287-293(2007).
12. EPA(2000), Manual : Constructed wetland treatment of municipal wastewater, EPA/625/R-99/010.