

상향류식 혐기성조, 무산소조 및 수차호기조를 이용한 하수처리시 수리학적 체류시간의 변화와 미디어 충전이 질소 및 인 제거에 미치는 영향

신명철* · 이영신

한서대학교 환경공학과

(2009. 1. 2. 접수/2009. 1. 17. 수정/2009. 2. 2. 채택)

The Effects of Changing of Hydraulic Retention Time and Charging Media on the Removal of Nitrogen and Phosphorus in the Up-flow Anaerobic/Anoxic Reactor and Water-mill for Sewage Treatment

Myoung Chul Shin* · Young Shin Lee

Department of Environmental Engineering Hanseo University

(Received January 2, 2009/Revised January 17, 2009/Accepted February 2, 2009)

ABSTRACT

The aims of this study is to examine the effects of the changes in HRT(Hydraulic Retention Time) and media charge in a water-mill, among other operation factors, on the nitrogen and phosphorus removal in order to use up-flow anaerobic reactors, anoxic reactors and water-mill aerobic reactors for sewage treatment. The extension of HRT improved the nitrogen removal efficiency, however the removal pattern was constant regardless of HRT. The removal of phosphorus was constant (80%-90%) regardless of the change in HRT. The removal rate with change in influx load varied such that at the OLR (Organic Load Rate) of 1-3 kg/d, the T-N removal efficiency was 80.7%-88.9% and the T-P removal efficiency was 82.9%-89.3% while at the NLR (Nitrogen Loading Rate) of 0.108-0.156 kg/d the removal efficiencies were 80.7-88.9% (T-N) and 82.9-89.3% (T-P). The analyses of the nitrogen and phosphorous removal characteristics with the C/N and C/P ratio showed that the mean T-N removal rate was 88% at the C/N ratio of 1.2-2.6, and that the mean T-P removal rate was 86% at the C/P ratio of 7.2-14.1. Also, the analysis of nitrogen and phosphorous removal characteristics were analyzed in relation to media charge. The comparison between with and without media charge in the water-mill showed that while the nitrogen removal efficiencies were 86-94% and 85-89% respectively, the difference of phosphorous removal efficiencies were between the two conditions was not significant, thus it suggested that the media charge has less effect on the removal efficiency of phosphorous compared to that of nitrogen.

Keywords : wastewater, water-mill, up-flow anaerobic/anoxic reactor, media

I. 서 론

국내 하수종말처리장에서 하수처리에 사용되어지는 공법으로는 처리수량과 성상에 따라 여러 가지 하수처

리공법이 적용되고 있으며, 그 중 대부분의 공공하수처리장에서는 활성슬러지법을 이용하여 처리되고 있다. 활성슬러지법은 처리수의 수질이 양호하고 부산물로 인한 오염의 우려가 낮다는 장점이 있으나, 유지관리에 어려움이 따르고 많은 운전비용 소요되며, 슬러지가 다량 발생한다는 단점이 있다.¹⁾ 그러나, 현재 국내 공공하수처리장에서는 활성슬러지법보다 효율적이고 안정적인 공법은 널리 상용화 되지 않은 상태이며, 기존 활

*Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Hanseo University
Tel: 82-41-688-5006, Fax: 82-41-688-5006
E-mail: cherub5472@naver.com

성슬러지법 공정에 추가적인 공정을 덧붙여 활용 및 연구되어지고 있다. 최근 하·폐수처리 분야에서는 질소, 인계열의 제거에 중점을 두고 있으며, 그에 따른 하·폐수 고도처리분야가 각광을 받고 있다. 이러한 고도처리기술의 대표적인 공정으로 A/O, phostrip 및 UCT 공정 등을 중심으로 실제 하수처리장에 적용되었으나 유입수의 유기물농도가 상대적으로 낮은 우리나라 하수에 대해서는 처리효율이 높지 않아 혐기성조, 무산소조, 호기조등의 공정을 조합한 기술들이 개발되어 보급되고 있다. 하지만, 탈질 및 인제거를 위한 내부반송 펌프의 추가설치 및 유지관리상의 복잡성 등이 단점으로 지적되고 있다. 기존 공정의 내부반송 펌프의 추가설치 및 유지관리상의 복잡성을 보완한 공정으로 상향류식 혐기성조, 무산소조 및 수차호기조를 이용한 공정이 개발되었다.²⁾

근래에 들어 유기물부하변동에 적응력이 높고 반응조 용량을 최소화할 수 있으며, 짧은 체류시간으로 하수를 처리할 수 있는 상향류식 혐기성조를 이용한 연구 및 보급이 확산되고 있다.³⁾ 또한, 수차로 구성된 호기성조를 이용하여 물을 낙하시켜 처리하는 기술을 이용하여 정수장 및 수원에 미처리된 물이 다단의 수차를 거쳐 공기와 접촉면적을 확대하고 접촉시간을 연장시켜 처리하는 방법이 연구진행중에 있다. 특히 오⁴⁾은 상향류식 혐기성조와 수차를 이용하여 오염하천수를 정화하는 방식을 도입하여 현장 적용시 수질개선에 대한 연구를 수행하였다.

따라서, 본 연구는 하수처리에 있어 상향류식 혐기성조, 무산소조 및 수차호기조를 이용하고자 할 때 운전인자 중 HRT(수리학적체류시간) 변화와 수차내 미디어 충전이 질소 및 인 제거에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

II. 연구방법

1. 실험장치

본 연구를 위해 상향류식 혐기성조, 무산소조 및 수차호기조를 투명 아크릴체질로 제작하였다. 혐기성조 및 무산소조는 각각 유효용적 1.6129 l, 직경 12.7 cm로 유입구, 웨어를 갖춘 상향류 반응조로 제작하였다. 수

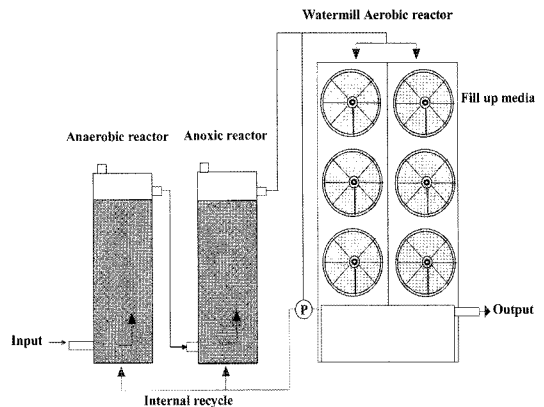


Fig. 1. Schematic diagram of lab-scale.

Table 2. Specification of media used in the reactor

Material	Shape	Size (mm)	Pore volume (cm ³)	Porosity (%)
Kaolin+Fertile soil	pellet	φ10 × 30	1.62	68.79

차호기조는 유효용적 10 l로 높이 52.5 cm 길이 55 cm, 폭 25 cm의 크기의 사각아크릴조에 수차 6개를 2열 직렬로 배치하였다. 전체적인 실험반응조의 구성은 Table 1 및 Fig. 1과 같다.

또한, 하수중의 인제거를 위해 수차호기조내에 미디어를 주입하였다. 미디어는 Table 2와 같이 평균 직경 10 mm, 길이 30 mm의 봉형대(pellet)로서, 고품토와 부식토를 혼합하여 제작하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 대상하수는 S시 공공하수처리장으로 유입되는 도시하수를 이용하였으며, 유입하수의 성상은 pH 7.08 ± 0.9, COD_mn 42.5 ± 18.2 mg/l, BOD 19.35 ± 10.2 mg/l, T-N 28.9 ± 3.4 mg/l, T-P 4.7 ± 1.3 mg/l 인 하수를 이용하였다. 반응조내 유입유량을 0.006 m³/s로 하여 상향류식 혐기성조와 수차호기조의 HRT를 4시간, 9시간, 15시간으로 변화하여 질소 및 인 거동을 비교하여 최적 HRT를 선정하였다. 유입수부하(유기물부하(OLR, Organic Loading rate), 질소부하(NLR, Nitrogen Loading rate)와 유입수 중의 C/N 및 C/P 비에 따른 질소, 인 제거특성을 비교하였다. 또한, 수차내 충전된 미디어의 물리화학적 성질을 파악하기 위해 X선 형광분석과 SEM분석을 한 후, 수차호기조내 미디어의 충전유무에 따른 질소 및 인제거에 미치는 영향을 파악하였다. 본 연구의 수질분석은 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다.

Table 1. Specifications of reactor units used for experiment

Reactor	Size (cm)	Volume (l)
Anaerobic/anoxic	φ12.7 × H 40	1.6129
Watermill aerobic	H 52.5 × L 55 × W 25	10

III. 결과 및 고찰

1. 수리학적체류시간변화에 따른 질소, 인 거동특성

1) 질소거동특성

Fig. 2는 수리학적 체류시간(HRT) 변화에 따른 질소 거동을 각 반응조별로 나타내었으며, Fig. 3은 HRT변화에 대한 전체 공정의 질소제거효율을 비교하였다.

각 반응조별 질소거동은 HRT 변화와 상관없이 일정하게 제거되는 특성을 보였으나, HRT가 증가될수록 최종 유출수의 질소제거효율은 높게 나타났다. 이는 질소제거 미생물에 의한 충분한 접촉시간이 필요하다는 것을 나타내어 전체 하수처리공정의 적절한 HRT는 15일 이상이 되도록 설계되어야 할 것으로 사료된다.

2) 인 거동특성

Fig. 4는 HRT 변화에 따른 인 거동을 각 반응조별로 나타내었으며, Fig. 5는 HRT변화에 대한 전체 공정의 인 제거효율을 비교하였다. 각 반응조별 인 거동은

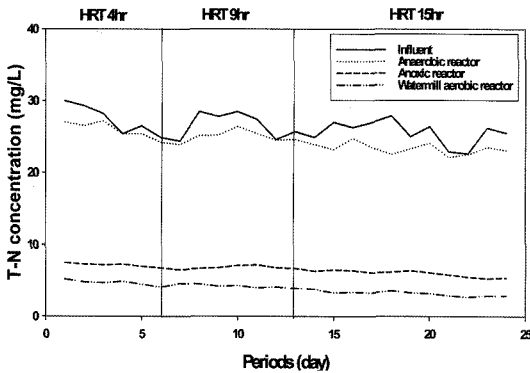


Fig. 2. Behavior of nitrogen by changing of HRT.

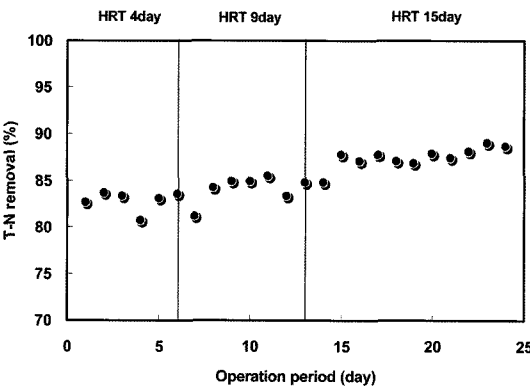


Fig. 3. Removal of nitrogen by changing of HRT.

HRT 변화와 상관없이 80-90% 이상 일정하게 제거되는 특성을 보였다.

2. 유입수부하에 따른 질소, 인 제거특성

유입수부하에 따른 질소 및 인 제거특성을 비교하기 위해 유입수의 유기물부하와 질소부하변화에 따른 각 반응조별 특성을 분석하였다.

Fig. 6과 같이 유입수부하가 1-3 kg/일로 유입하는 조건일 때 각 반응조별 T-N 제거효율은 혐기성조에서는 0~19.4%, 무산소조 71.3~77.9%, 수차호기조에서는 29.2~50.9%로 나타났으며, 전체공정의 질소제거효율은 80.7~88.9%로 나타났다.

또한, Fig. 7과 같이 각 반응조별 T-P 제거효율은 혐기성조에서는 0~15.2%, 무산소조 12.6~20.0%, 수차호기조에서는 77.3~87.2%로 나타났으며, 전체공정의 질소제거효율은 82.9~89.3%로 나타났다.

Fig. 8-9와 같이 유입질소부하는 0.108-0.156 kg/일로 유입하는 조건일 때, T-N는 80.7~88.9%, T-P는 82.9~89.3%의 제거효율을 나타내었다.

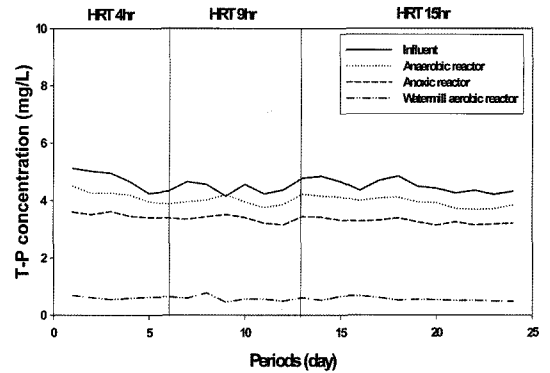


Fig. 4. Behavior of phosphorus by changing of HRT.

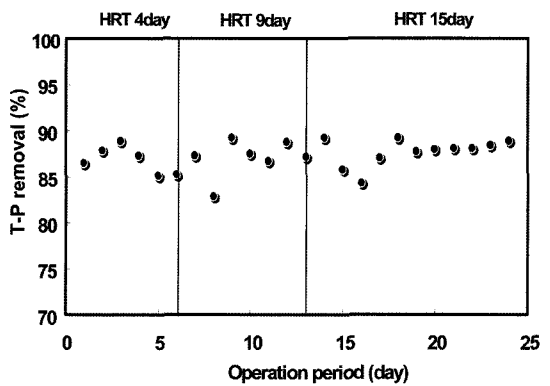


Fig. 5. Removal of phosphorus by changing of HRT.

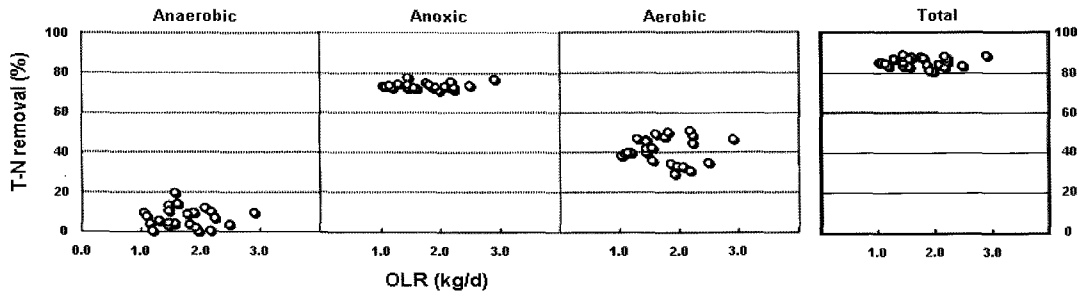


Fig. 6. Removal of nitrogen by influent load (Organic Loading Rate).

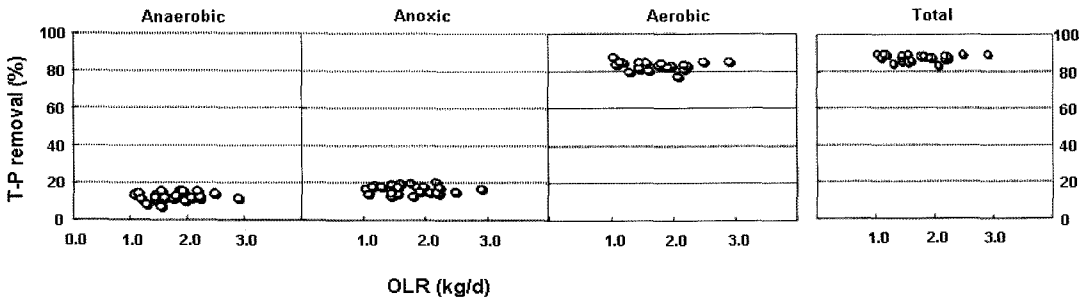


Fig. 7. Removal of phosphorus by influent load (Organic Loading Rate).

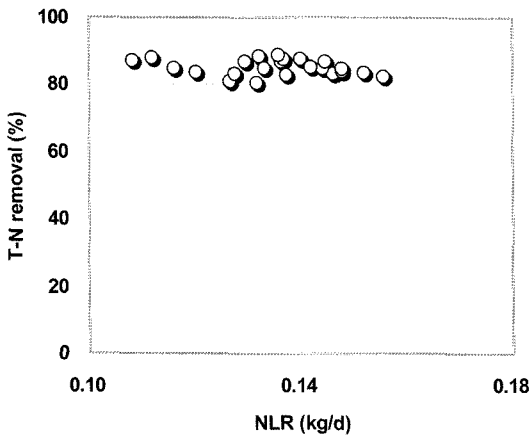


Fig. 8. Removal of nitrogen by Nitrogen Loading Rate.

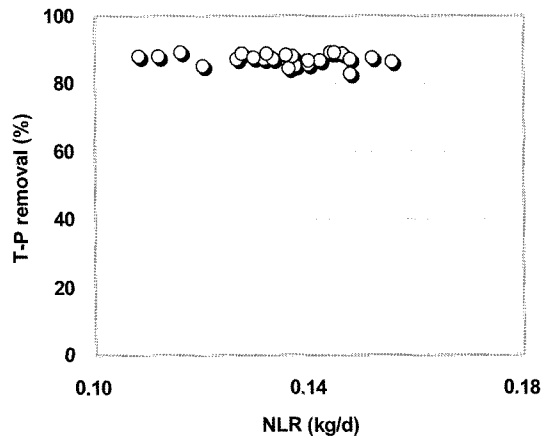


Fig. 9. Removal of phosphorus by Nitrogen Loading Rate

3. C/N 및 C/P 비에 따른 질소, 인 제거특성

탈질미생물은 질산화 미생물과는 달리 중속영양미생물이기 때문에 탈질과정에서 탄소원을 필요로 하므로, 유입수 중의 제거대상 질소성분에 대한 탄소원의 비는 생물학적 질소제거에 있어서 중요한 영향인자가 된다.⁴⁾

Fig. 10과 같이 C/N와 T-N 제거효율의 상관관계를 나타내었을 때, C/N비는 1.2~2.6의 범위에 있었으며, 이 때 평균 88%의 T-N 제거효율을 보이는 것을 알 수 있다. 일반적으로 C/N비가 높으면 T-N 제거효율도

증가하는 것으로 알려져 있으나 본 연구의 유입대상하수의 유기물농도가 낮아 무산소조 및 수차호기조에서의 T-N 제거효율을 높이기 위한 충분한 유기물 공급이 필요하며, 외부탄소원 투입도 고려해야 할 것으로 판단된다.

생물학적 인 제거는 PAOs(Phosphate accumulation organisms)가 혐기성 조건에서 VFA(Volatile Fatty Acid)를 섭취하면서 인산염을 방출하고, 호기성 조건에서 인산염을 과잉섭취하는 과정에서 일어난다.⁵⁾

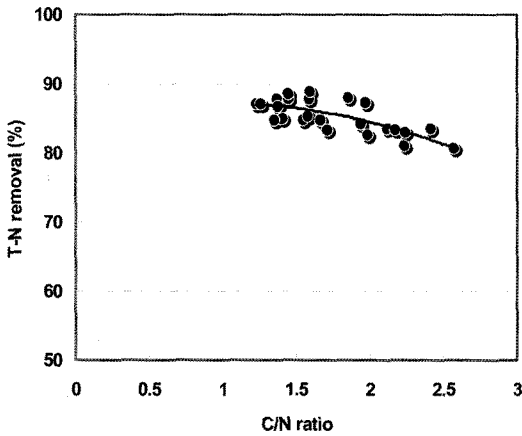


Fig. 10. Removal of nitrogen by C/N (Carbon/Nitrogen) ratio.

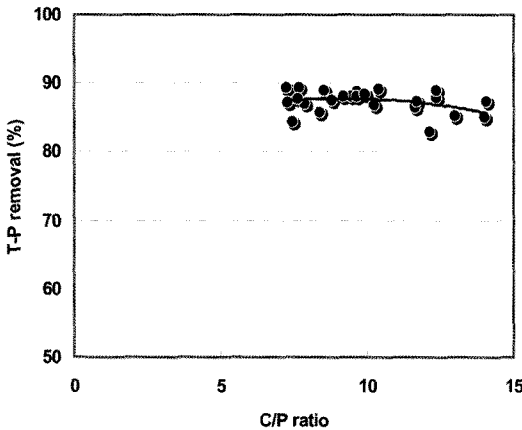


Fig. 11. Removal of phosphorus by C/P(Carbon/Phosphorus) ratio.

인 제거효율이 증가하려면, 혐기성 조건에서 인 방출에 큰 영향을 미치는 유입수내 VFA 농도가 높아야 하므로, 유입수 TCODcr/T-P 비는 매우 중요하다.^{4,6,7)}

Fig. 11에 나타난 것과 같이 본 연구에서는 C/P비 7.2~14.1를 나타내고 있어 유입수중의 유기물이 상대적으로 부족하였으며, 이에 따라 탈질작용에 의한 혐기성 조, 무산소조의 질산성질소 농도 증가로 인방출이 저해되어 제거효율이 다소 떨어졌으나 평균 86%의 T-P 제거효율을 보였다.

4. 미디어 충전에 따른 질소, 인 제거특성

1) 미디어 특성

수차내 충전된 미디어의 X선 형광분석(X-ray radiation fluorescence)분석결과는 Table 3과 같이 SiO₂

Table 3. Characteristics chemical of medium (result of X-ray radiation fluorescence) Unit : wt%

Component	Media	Component	Media
SiO ₂	57.44	MgO	3.04
Al ₂ O ₃	18.60	K ₂ O	1.97
Fe ₂ O ₃ *	0.72	Na ₂ O	0.86
TiO ₂	0.73	P ₂ O ₅	0.03
MnO	0.15	Loss of ignition	0.66
CaO	15.13	Total	99.32

*Fe₂O₃ : total Fe

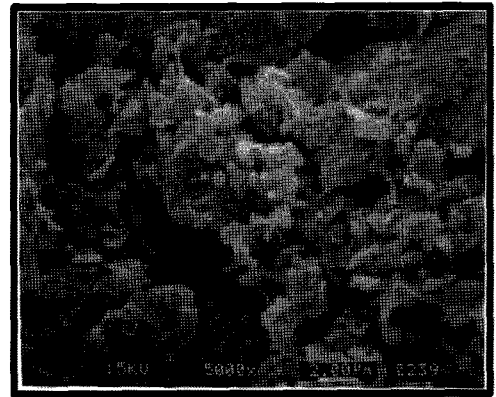


Fig. 12. SEM analysis of Media

57.44%, Al₂O₃ 18.60%, CaO 15.13% 등으로 구성되어 있는 것으로 조사되었으며, Fig. 12와 같이 SEM을 이용한 미디어의 5000배 확대사진을 보면, 미디어의 공극률이 커서 미생물 및 오염물질의 제거에 용이 할 것으로 나타났다.

2) 질소, 인 제거특성

수차내 미디어의 충전에 따른 질소, 인 제거특성을 알기위해 수차내 미디어를 충전시키지 않은 조건과 미디어를 충전시킨 조건을 비교하였다. 수차호기조의 DO 농도는 2.0-2.5 mg/l를 유지하였으며, 전체 공정의 HRT는 15시간을 유지하였다.

Fig. 13에는 미디어 충전유무에 따른 질소, 인 제거특성을 나타내었다. 질소는 미디어를 충전시키지 않은 조건에서는 85-89%의 제거효율을 보였으나 미디어를 충전시킨 조건에서는 86-94%의 제거효율을 나타내었다. 이러한, 미디어 충전으로 인한 효율의 증가는 수차호기조내에 충전된 여재에 생물막이 잘 생성되어 생체전환율이 높고, 막의 혐기, 준호기성 층에서 진행되는 탈질반응, 여재를 구성하는 양이온과 무기물화된 NO₃ 등 질소산화물과의 난용해성 고형물 형성등 여러 반응들

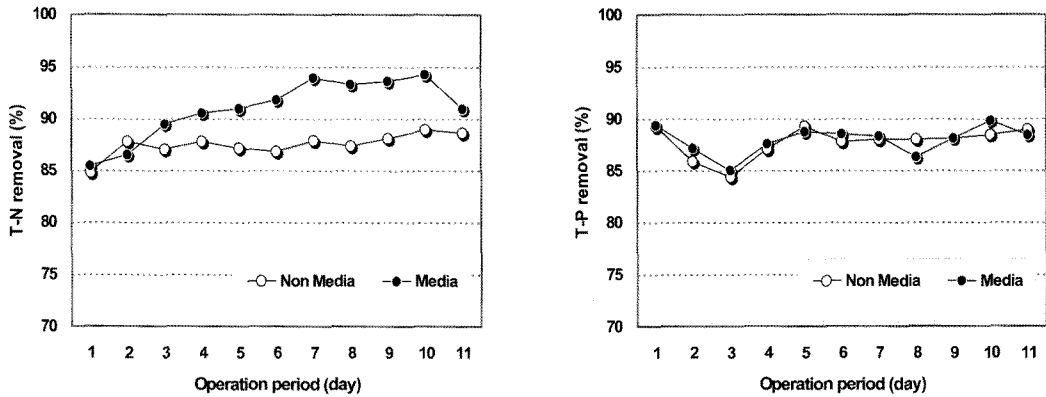


Fig. 13. Removal of nitrogen and phosphorus by changing media

의 종합적 결과로 해석된다.

한편, 인의 경우 미디어 충전에 따른 제거효율 변동 폭이 적게 나타나 미디어 충전에 따른 인 제거효과가 다소 높지 않는 것으로 나타났지만, 일반적인 생물학적 처리공정의 인 제거 처리효율이 30% 내외를 보이는 것에 비하면 전체 공정의 인 제거효율은 다소 높은 것으로 나타났다.

IV. 결 론

상향류식 혐기성조, 무산소조와 수차호기조를 이용하여 하수처리시 질소, 인제거특성을 HRT(수리학적 체류 시간) 변화와 미디어 충전에 따라 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. HRT변화에 따른 질소 및 인의 거동특성을 분석한 결과, 각 반응조별 질소거동은 HRT 변화와 상관없이 일정하게 제거되는 특성을 보였으나, HRT가 증가될수록 최종 유출수의 질소제거효율은 높게 나타났다. 이는 질소제거 미생물에 의한 충분한 접촉시간이 필요하다는 것을 나타내어 전체 하수처리공정의 적절한 HRT는 15일 이상이 되도록 설계되어야 할 것으로 사료된다. 또한, 각 반응조별 인 거동은 HRT 변화와 상관없이 80-90% 이상 일정하게 제거되는 특성을 보였다.

2. 유입수부하에 따른 질소, 인 제거특성을 분석한 결과, 유기물부하(OLR)가 1-3 kg/일로 유입하는 조건일 때 각 반응조별 T-N 제거효율은 혐기성조에서는 0~19.4%, 무산소조 71.3~77.9%, 수차호기조에서는 29.2~50.9%로 나타났으며, 전체공정의 질소제거효율은 80.7~88.9%로 나타났다. 또한, 각 반응조별 T-P 제거효율은 혐기성조에서는 0~15.2%, 무산소조 12.6~20.0%, 수차호기조에서는 77.3~87.2%로 나타났으며, 전체공정

의 질소제거효율은 82.9~89.3%로 나타났다. 한편, 질소부하(NLR)는 0.108~0.156 kg/일로 유입하는 조건일 때, T-N는 80.7~88.9%, T-P는 82.9~89.3%의 제거효율을 나타내었다.

3. C/N 및 C/P비에 따른 질소, 인제거특성을 분석한 결과, C/N비는 1.2~2.6의 범위에 있었으며, 이 때 평균 88%의 T-N 제거효율을 보이는 것을 알 수 있다. 일반적으로 C/N비가 높으면 T-N 제거효율도 증가하는 것으로 알려져 있으나 본 연구의 유입대상하수의 유기물 농도가 낮아 무산소조 및 수차호기조에서의 T-N 제거효율을 높이기 위한 충분한 유기물 공급이 필요하며, 외부탄소원 투입도 고려해야 할 것으로 판단된다. 또한, C/P비 7.2~14.1를 나타내고 있어 유입수중의 유기물이 상대적으로 부족하였으며, 이에 따라 탈질작용에 의한 혐기성조, 무산소조의 질산성질소 농도 증가로 인 방출이 저해되어 제거효율이 다소 떨어졌으나 평균 86%의 T-P 제거효율을 보였다.

4. 미디어 충전에 따른 질소, 인 제거특성을 위해 미디어의 특성을 조사한 결과, 주성분이 SiO₂와 Al₂O₃, CaO로 나타났으며, SEM을 통해 미디어의 공극률이 커서 미생물 및 오염물질의 제거에 용이 할 것으로 나타났다. 또한, 수차내 미디어의 충전에 따른 질소, 인 제거특성을 알기 위해 수차내 미디어를 충전시키지 않은 조건과 미디어를 충전시킨 조건을 비교한 결과, 질소는 미디어를 충전시키지 않은 조건에서는 85-89%의 제거효율을 보였으나 미디어를 충전시킨 조건에서는 86-94%의 제거효율을 나타내었다.

한편, 인의 경우 미디어 충전에 따른 제거효율 변동 폭이 적게 나타나 미디어 충전에 따른 인 제거효과가 다소 높지 않는 것으로 나타났다.

Lab scale 연구 결과로 본 상향류식 혐기성조와 무산

소조, 수차호기조를 이용한 방식은 제거효율면으로는 기대이상의 결과를 보여주었다. 하지만 유입수의 낮은 C/N비 및 동질의 시료 유입의 부재 등의 문제를 발견 하였으며, 이후 수차를 이용한 하수처리방식을 연구할 때 보완해야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 08년도 한서대학교 교비 학술연구지원사업에 의해 연구된 결과로 이에 감사의 뜻을 포함합니다.

참고문헌

1. Oh, D.-M. : A study for water purification quality of stream purification process using GIS, MS Thesis, hanseo university, 2003.
2. Choi, J.-T. and Nam, S.-Y. : Sewage treatment using a modified DNR process. *Journal of Korean Society of Environmental Health*, **34**(6), 446-451, 2008.
3. Song, K.-B., Bae, J. H. and Cho, K. M. : Operational characteristics of UASB and ABR-I. Organic removal efficiency. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, **18**(2), 159-170, 1996
4. U.S. EPA : Manual-nitrogen control, EPA/625/R-93/010, Cincinnati, OH, 1993.
5. Kim, B.-G., Seo, I.-S., Hong, S.-T., Kim, D.-G. and Chun, S.-O. : Effect of C/P ratio, SRT, Temperature and nitrate concentration on phosphorus removal in KSDeNTM process. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, **17**(1), 79-89, 2003.
6. Grady, C. P. L., Jr., Daigger, G. T. and Lim, H. C : Biological wastewater treatment, Marcel Dekker, Inc. 1999.
7. WEF and ASCE : Design of municipal wastewater treatment plants, WEF MOP, No. 8, 1998.
8. Madan, L. Arora, Edwin, F. Barth and Margaret B. Lymphres : Technology Evaluation of Sequencing Batch Reactors, Jour. Water Pollution Control, Fed. 1985.
9. Katsumi Moriyama, Kazuzki Sato and Y. Harada : Renovation of an Extended Aeration Plant for Simultaneous Biological Removal of Nitrogen and Phosphorous Using Oxidic-Anaerobic-oxidic Process, Wat. Sci. Tech 1990.
10. Lee, Y.-S., Jeong, S.-C. and Hong, S.-C. : The study on development of porous media for water treatment. *Journal of Korean Society of Environmental Health*, **23**(4), 16-20, 1997.
11. Lampe, D. G. and Zhang, T. C. : Sulfur limestone autotrophic denitrification processes for treatment of nitrate-contaminated water : batch experiment. *Water Research*, **33**(3), 599-608, 1999.
12. Nam, H. U., Lee, J. H., Kim, Y. O. and Park, T. J. : Comparison of COD, nitrogen and International Conference, Vancouver, Canada, Conference Preprint Book2, 1998.