

다공성 담체를 이용한 생물학적 영양물질 제거

조창식*, 이상혁**

호서대학교 벤처전문대학원*, 호서대학교 벤처전문대학원**

Biological Nutrient Removal using Porous Media

Chang-sik Cho*, Sang-Houck Lee**

Hoseo Graduate School Of Venture*, Hoseo Graduate School Of Venture**

요약 하·폐수내 질소제거효율을 향상하기 위한 다공성담체를 이용한 A²O 변형공법을 개발하고, 유량조절을 통한 최적 질소제거를 확인하기 위한 실험을 수행한 결과, 담체를 충전 시킨 탈질 반응조내에서의 탈질 효율은 94-97% 이상으로 나타났으며, 체류시간이 짧을 경우 탈질효율이 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 또한, 반응조의 효율성 및 경제성을 고려하였을 때 체류시간은 6시간 정도가 가장 좋은 것으로 나타났으며, 탈질 반응조에 부착시킨 결과 탈질률은 95% 이상으로 나타났으며, 탈질에 필요한 탄소원의 공급은 유입수와 동시에 주입하고, 질산성 질소가 탈질 반응조에서 탈질이 되고, 그에 따른 유기물과 암모니아의 농도는 탈질반응조내에서 2:1로 희석이 될 때, 반응조내의 질산성 질소의 농도는 1/3로 줄어드는 것으로 나타났다.

그리고, 유입수와 질산성 질소의 1:1 유입될 때, 탈질 반응조내에서의 1:1로 희석이 될 경우, 반응조내의 질산성 질소 농도가 1/2로 줄어들었고, 1:2의 유입수와 질산성 질소의 대비일 경우에는 62% 정도의 제거효율을 나타내고 있다. 이 것으로 볼 때, 질소 제거효율은 질산성질소의 유입을 유입수에 대비하여 높여줄 경우 질소제거율이 높아지는 것으로 나타나고 있다.

주제어 : 생물학적 영양물질 제거, 다공성담체, 처리성평가, 변형A²O공법, 질소제거

Abstract This study aims to examine the modified A²O process is useful to reduce the environmental pollution caused by nutrient in wastewater. Specific results are as follows: The removal rate was evaluated at each time period, ie., 18h, 8h, 6h, and 3h after the reaction started. The anoxic rate was more than 94-97% from 18h to 6h but was less than 50% before 6h. Thus, the test of nitrification was done using 6h as the optimal anoxic retention time and the aerobic retention time set at 24h. When the flow change was 1:1, the average ammonia concentration inputted was 30mg/l. Returned top nitric acid solution and the concentration of ammonia solution falling into the anoxic reactor was about 50% of the initial concentration, and the flow change was 1:2, the concentration of ammonia falling into the anoxic reactor was about 62% of that of influxed ammonia. And the results of this study showed that the nitrogen removal rate can be improved by inputting untreated nitric acid and changing the flow of top nitrate solution using the modified A²O method.

Key Words : Biological Nutrient Removal, Porous Media, treatability test, modified A²O process, nitrogen removal

Received 29 April 2013, Revised 15 May 2013

Accepted 20 May 2013

Corresponding Author: Sang-Houck Lee(Hoseo Graduate School Of Venture*, Hoseo Graduate School Of Venture)

Email: isen@hoseo.edu

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

지난 2000년대까지는 주로 BOD와 SS로 대변되는 유기물질과 부유성 물질에 대한 처리가 이루어져왔다 [1][6]. 그러나, 대부분의 도시하수처리장과 공장폐수처리장의 오·폐수들을 처리했음에도 불구하고, 폐쇄성 수역을 중심으로 하여 부영양화현상(Eutrophication) 등이 발생함으로써 우리나라에서도 2000년대 이후에는 질소와 인 등 영양물질을 고도처리하기 위한 노력이 경주되고 있다[2][8].

이에 따라 공공하수처리장 뿐만 아니라, 공장폐수 등에 대한 영양물질의 규제기준이 강화됨에 따라 하·폐수내 영양물질을 고도처리하기 위한 다양한 처리공법들이 개발되고 있으며, 연구 또한 활발하게 이루어지고 있다[3][9][11][12].

그러나, 이러한 하수고도처리 공정에서는 활성 슬러지 공법의 일환으로 혐·호기성 처리공정을 적용함으로써 질소·인을 동시에 제거 할 수 있는 개발, 실용화되어 많이 이용되어지고 있으나, 반응조내의 MLSS(Mixed Liquid Suspend Solid) 농도유지의 어려움, 미생물의 침강성을 높이기 위해 과포기 등으로 인한 운전관리의 어려움과 처리효율 및 경제적인 문제점이 대두되고 있다 [4]. 이와 같은 많은 문제점의 개선방안으로 높은 처리효율 및 경제성이 높은 다공성 담체(Porous Media)를 이용한 고도처리방법을 시도하였다. 담체를 이용한 하수처리는 기존의 넓은 소요부지, 과포기로 인한 경제적 손실, 비효율적인 처리에 비해 높은 농도의 MLSS의 유지와 슬러지 팽화현상 등을 방지할 수 있는 고효율의 처리능력을 지니고 있다. 또한, 최종 침전지가 필요 없으며, 담체에 부착하여 성장한 미생물들은 역세를 통하여 배출되고, 유입 원수와 혼합하여 처리할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이와 같이 담체를 이용한 생물학적 처리공법으로서 효과적인 질소화합물의 제거효율의 증대를 가져올 수 있다.

따라서 본 실험에서는 생물막의 특징을 이용하여 A²/O공법의 변형공법의 도입과 폐유리의 재활용으로 만든 다공성 담체를 이용하여, 다공성매체를 활용한 하수내 영양물질을 생물학적으로 처리하는 방법을 수행함으로써 하·폐수의 고도처리를 통한 수질환경보존에 이바지하고자 한다.

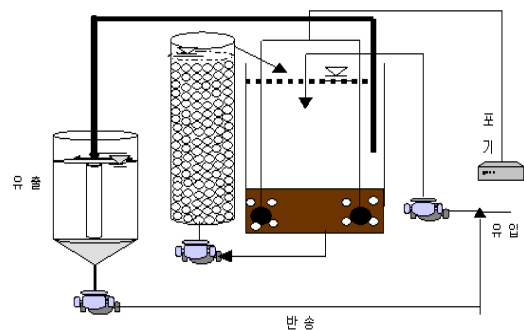
2. 본론

2.1 실험장치 및 운전조건

하·폐수내 영양물질을 효과적으로 처리하기 위해 폐유리로 만든 다공성담체를 이용한 변형 A²/O공법의 실험장치는 가로240.5mm × 세로165mm × 높이300mm 총 부피 12.13 ℓ 로, 탈질조는 원기둥으로써 지름 60mm × 높이520mm로써 총 부피 1.47 ℓ 로 아크릴로 설계 제작하였고, 각각의 반응조의 유효용적은 질산화조 10.2 ℓ 와 탈질화조에는 1.2 ℓ 의 유리섬유로 된 Media를 충전하여 운전하였다. 폭기조의 유입폐수는 3.87ml/min로 24시간으로 설정하였고, 최종유출량은 유입량과 동일하게 설정하였다. 또한 탈질조의 유입유량은 3.3ml/min으로 설정하여 실험하였다.

하·폐수내 질소제거효율을 향상하기 위한 다공성담체를 이용한 A²/O 변형공법을 개발하고, 유량조절을 통한 최적 질소제거를 확인하기 위한 기초실험 등을 수행하였다[5].

본 실험은 2000년대 초반에 이루어진 기초실험결과를 바탕으로 2012년 6개월간 운전한 자료들을 종합하여 정리하였다.



[Fig. 1] The structure of reactor

2.2 실험방법

변형A²/O 공법에서의 사용된 유입수는 경기도 0 하수처리장에서 일차침전지를 거쳐 폭기조로 유입되는 하수를 이용하였으며, 구체적인 수질특성은 다음 <Table 1>과 같다.

2.3 수질분석방법

반응조의 처리성평가(Treatability test)를 위하여 유

입수와 유출수의 수질성분분석을 수행하였다.

주요 수질분석 항목은 BOD 등 7개 항목에 대해서는 우리나라의 수질오염공정시험법에 의거하여 분석하였으며[7], COD_{Cr}은 미국의 Standard Method에 의거하여 분석하였다[10].

(Table 1) The characteristics of domestic sewage (unit: mg/l)

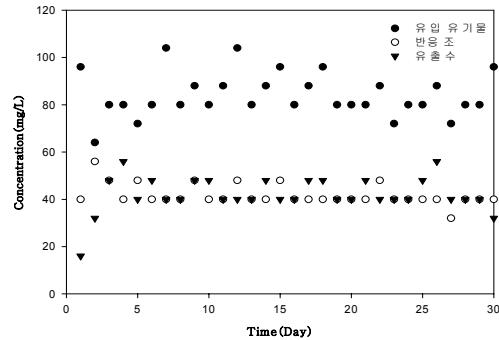
Item	Range	Average
COD _{Cr}	85-210	141
BOD	46-89	63
SS	19-35	24
NH ₄ ⁺	18-36	28
NO ₂	0-0.06	0.03
NO ₃	0.2-0.8	0.48
T-N	23-45	33.1
T-P	2.0-3.6	2.72

3. 결과 및 고찰

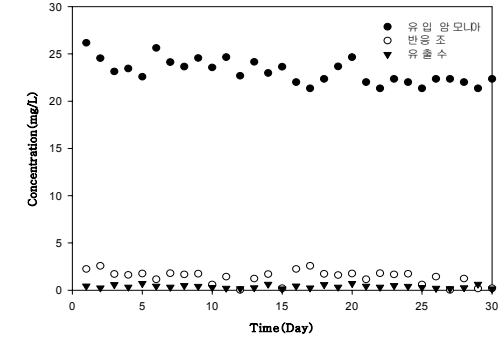
3.1. 질소제거율 향상을 위한 공정 개발

기초실험을 통하여 한 반응조내에 포기반응조 및 탈질 반응조를 제작하여 효율을 높이고자 하였다. [Fig. 2]와 [Fig. 3]에 나타난 결과에서 보듯이 포기반응조 내에서의 유기물 및 암모니아의 산화는 대부분이 이루어지는 것으로 나타나고 있다. 그러나, 질산성 질소의 탈질반응은 [Fig. 4]에 나타난 바와 같이 그 효율이 현저히 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 탈질효율이 낮아지는 이유는 담체가 충전된 탈질반응조 내에서 혐기성이 이루어지지 않고 포기 반응조내의 산소가 탈질 반응조내로 침투하여 탈질반응에 방해를 주는 것으로 나타나고 있다. 따라서 이에 대한 개선방안으로 포기반응조와 탈질 반응조를 각각 분리하여 부착한 다음 탈질 반응조내의 혐기화 상태로 만들어서 탈질효율을 높이는 것이 중요하다고 판단된다. 또한, 탈질 반응조 내로 유입되는 질산성질소의 탈질 효율을 높이기 위해 유입수와 질산성질소의 동시 유입을 하여 탈질 반응에 필요한 탄소원을 공급하는 것이 중요한 것으로 판단된다. 그리하여 유입수와 침전조의 질산상등액을 동시에 탈질조로 주입하도록 하였으며, 또한, 탈질조를 완전 혐기화상태로 유지하기 위해 반응조를 개선하였다.

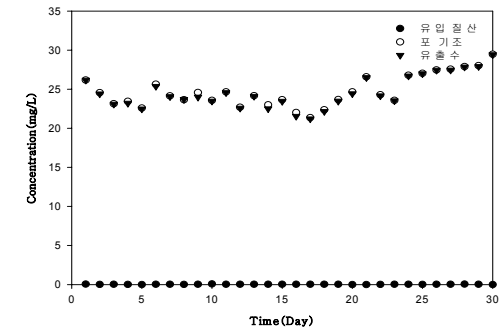
[Fig. 5]와 [Fig. 6]에 나타난 바와 같이, 암모니아와 유기물의 제거효율은 개선 전과 비슷한 경향을 나타내고 있다. 개선된 탈질 반응조의 질산성 질소의 제거효율은 [Fig. 7]에 나타난 결과에서 보듯 변형전의 탈질조의 질산성 질소의 제거효율보다 좋아지는 것으로 나타나고 있다. 이것은 탄소원의 보충과 탈질조의 완전 혐기화로 인해 나타나는 것으로 판단된다.



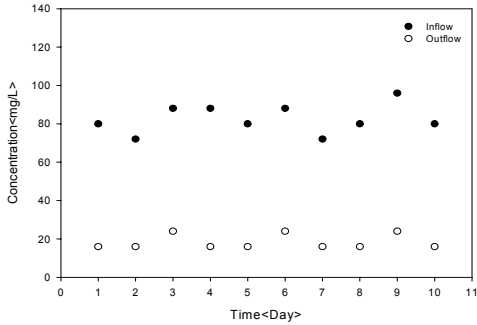
[Fig. 2] The removal efficiency of organics by time



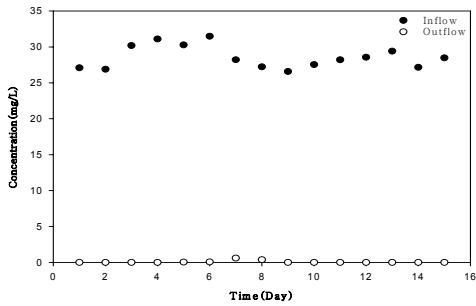
[Fig. 3] The removal efficiency of ammonium nitrogen by time



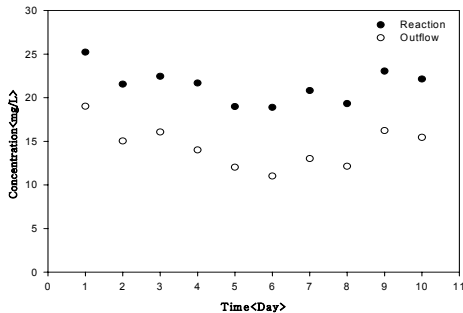
[Fig. 4] The removal efficiency of nitrate nitrogen by time



[Fig. 5] The removal efficiency of organics using modified reactor



[Fig. 6] The removal efficiency of ammonium nitrogen using modified reactor



[Fig. 7] The removal efficiency of nitrate using modified reactor

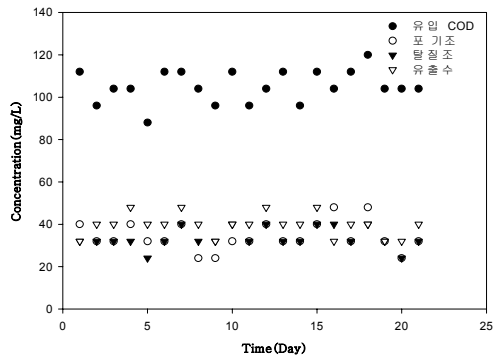
3.2. 유량조절에 의한 변형 고도처리 공법의 질소 제거

3.2.1. 2(유입수) : 1(반송되는 질산 상등액) 유량 대비에 따른 질소 제거 효율

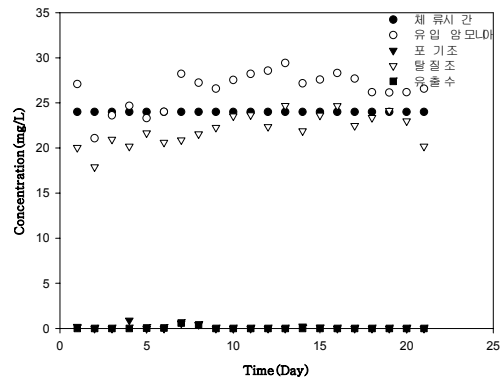
단독 유입에 따른 문제점과 한 반응조 내에서의 발생하는 문제점을 보완하기 위해 유입수와 반송되는 질산 상등액을 유량대비를 조절하여 유입하였으며, 반응조를 각

각 포기반응조와 탈질반응조로 제작하여 A²/O 변형공법으로 개선하였다. 이에 따라 탈질 효율에 가장 영향을 미치는 탄소원의 유입변화를 통해 탈질 반응을 살펴보았다.

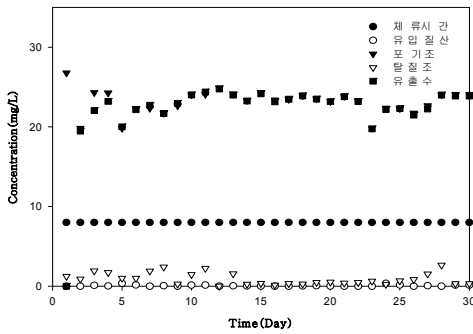
[Fig. 8]과 [Fig. 9]에 나타난 바와 같이 유기물과 암모니아의 산화는 대부분이 이루어지는 것으로 나타나고 있다. 이에 따라 질산성 질소의 탈질효율은 [Fig. 10]에 보듯이 30% 정도의 효율을 보여주고 있다. 이와 같이 탈질 효율이 좋아진 것은 탈질반응조로 각각 부착시켜 탈질 반응조내를 완벽하게 혐기상태로 유지시켜준 점과 유입수와 질산성질소의 2 : 1 유량대비를 통해 유입수내에서의 암모니아는 포기반응조에서 완전하게 산화가 이루어져 질산성질소로 산화된 다음 탈질 반응조 내에서 완전하게 탈질이 이루어져 질산성질소와 유입수의 암모니아가 동시에 유입될 때 암모니아의 농도가 희석이 되어 암모니아의 농도가 1/3로 낮아지는 것으로 나타나고 있다.



[Fig. 8] The removal efficiency of organics by 2:1 flow



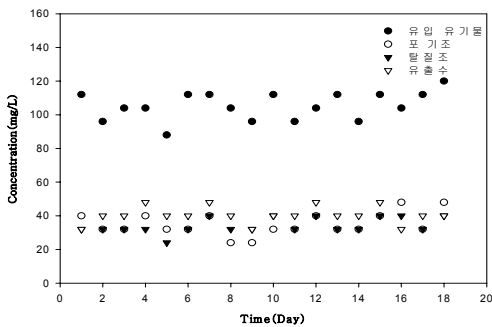
[Fig. 9] The removal efficiency of ammonium nitrogen by 2:1 flow



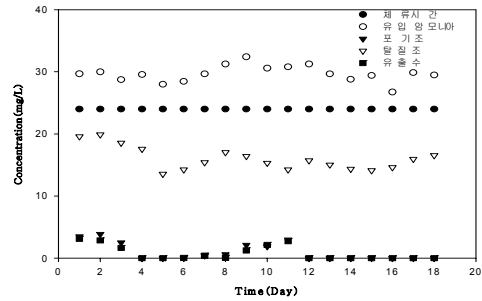
[Fig. 10] The removal efficiency of nitrate by 2:1 flow

3.2.2. 1(유입수) : 1(반송되는 질산 상등액) 유량 대비에 따른 질소 제거 효율

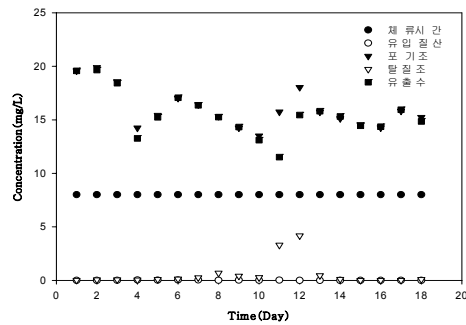
2(유입수) : 1(반송되는 질산 상등액) 유량대비가 질소 제거 효율에 영향을 준다고 하여 유량대비의 변화를 주어 질소제거에 대한 효율을 높이고자 1(유입수) : 1(반송되는 질산 상등액) 유량대비로 하여 질소제거효율을 살펴보았다. 2(유입수) : 1(반송되는 질산 상등액) 유량대비 시 탈질에 필요한 탄소원의 농도가 40mg/ℓ로 나왔기 때문에 외부적인 탄소원의 주입은 하지 않고 그대로 유입하였다. [Fig. 10]과 [Fig. 11]에서 나타났듯이 유기물 및 암모니아의 산화는 거의 다 이루어지는 것을 나타냈으며, [Fig. 12]에서 보듯이 질산성 질소의 제거율은 약 50% 정도 낮아지는 것으로 나타나고 있다. 유입수와 반송되는 질산 상등액의 같은 유량으로 동시에 유입하였을 때 포기반응조 내에서 완전하게 질산성질소로 산화되고, 질산성 질소는 탈질반응조내에서 탈질이 완전하게 이루어지는 것으로 판단된다.



[Fig. 11] The removal efficiency of organics by 1:1 flow



[Fig. 12] The removal efficiency of ammonium nitrogen by 1:1 flow

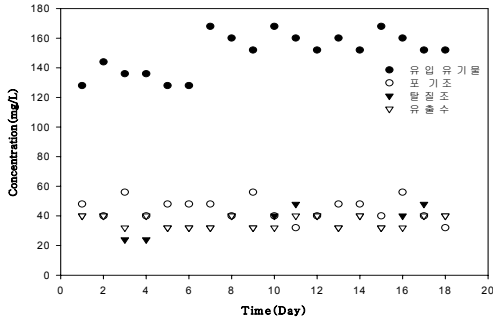


[Fig. 13] The removal efficiency of nitrate by 1:1 flow

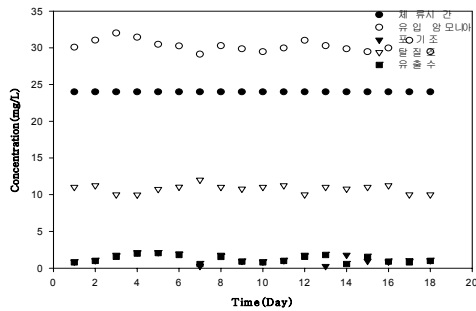
3.2.3. 1(유입수) : 2(반송되는 질산 상등액) 유량 대비에 따른 질소 제거 효율

유입수 및 반송되는 질산 상등액의 유량대비를 통해 질소제거 효율이 점점 나아지는 것으로 나타나고 있다. 질소제거 향상의 가장 큰 이유는 반송되는 질산 상등액의 유량비에 크게 반영되는 것으로 나타나고 있다. 그러므로 질소제거를 효율적으로 증대시키기 위해서 유입수의 대비에 질산 상등액의 비를 높여 실험하였다. 이에 따른 결과를 살펴보면, 1(유입수) : 1(반송되는 질산 상등액) 유량대비시 탈질에 필요한 탄소원의 농도가 32mg/ℓ의 이상으로 나오기 때문에 외부적인 탄소원의 주입은 따로 주입하지 않고 유입수를 그대로 유입하였다. [Fig. 13]과 [Fig. 14]에 나타난 바와 같이 유기물 및 암모니아의 산화는 거의 다 이루어지는 것으로 나타났으며, [Fig. 15]에서 보듯이 질산성 질소의 제거율은 약 62% 정도 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이는 유입수와 반송되는 질산 상등액의 유량대비를 통하여 탈질 반응조에 유입하였을 때 포기반응조 내에서 완전하게 질산성질소로 산화

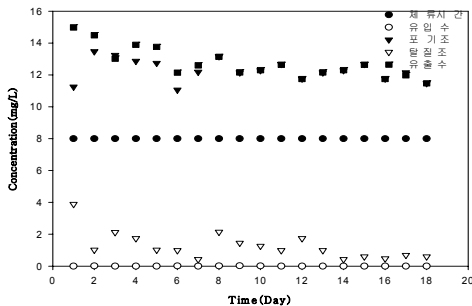
되고, 또한 질산성 질소는 탈질반응조내에서 탈질이 완벽하게 이루어지는 것으로 판단된다.



[Fig. 14] The removal efficiency of organics by 1:2 flow



[Fig. 15] The removal efficiency of ammonium nitrogen by 1:1 flow



[Fig. 16] The removal efficiency of nitrate by 1:2 flow

4. 결론

하·폐수내 질소제거효율을 향상하기 위한 다공성담체를 이용한 A²/O 변형공법을 개발하고, 유량조절을 통한 최적 질소제거를 확인하기 위한 실험을 수행한 결과 얻

은 결론은 다음과 같다.

첫째, 담체를 충전 시킨 탈질 반응조내에서의 탈질 효율은 94-97% 이상으로 나타났으며, 체류시간이 짧을 경우 탈질효율이 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 또한, 반응조의 효율성 및 경제성을 고려하였을 때 체류시간은 6시간 정도가 가장 좋은 것으로 나타났다.

둘째, 탈질 반응조에 부착시킨 결과 탈질률은 94-97% 이상으로 나타났으며, 탈질에 필요한 탄소원의 공급은 유입수와 동시에 주입하고, 질산성 질소가 탈질 반응조에서 탈질이 되고, 그에 따른 유기물과 암모니아의 농도는 탈질반응조내에서 2 : 1로 희석이 될 때, 반응조내의 질산성 질소의 농도는 1/3로 줄어드는 것으로 나타났다.

셋째, 유입수와 질산성 질소의 1 : 1 유입될 때, 탈질 반응조내에서의 1 : 1로 희석이 될 경우, 반응조내의 질산성 질소 농도가 1/2로 줄어들었고, 1 : 2의 유입수와 질산성 질소의 대비일 경우에는 62% 정도의 제거효율을 나타내고 있다.

이것으로 볼 때, 질소 제거효율은 질산성질소의 유입을 유입수에 대비하여 높여줄 경우 질소제거율이 높아지는 것으로 나타나고 있으므로 하·폐수내 영양물질의 고도처리시 기본설계를 위한 기초자료로서 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

REFERENCE

- [1] Kim Dongmin et al(1984), Wastewater Engineering, Donghwa Pub., pp. 228.
- [2] Shin Hangsik et al(2005). "Simultaneous Removal of Nitrogen and Phosphorus in SBR (Sequencing Batch Reactor)" Dept. of Civil Eng., KAIST.
- [3] Seo Honggyu(2003) "Development of Advanced Wastewater Treatment Reactor using Porosity Media" Kookmin Univ. Graduate School.
- [4] Lee Taegyeong et al(2002)."Simultaneous Nitrification and Denitrification in the Fixed Biofilm Process using Ceramic Media". KSEE 24(6). pp. 1105~1115.
- [5] Cho Changsik(2004), Study with Biological Nutrient Removal Process using Porosit Media , Seoul Politec Univ.
- [6] Choi Euiso(2001), Water Supply and Sewage Engineering, Cheongmungak, pp. 2.

- [7] Ministry of Environment(2008), Korean Water Standard Method
- [8] Ministry of Environment(2012), 2012 White Paper of Environment, pp. 550-551.
- [9] Hwang Hwasik(1994) "Experimental study on the Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Process" Yonsei Univ.
- [10] APWA, AWWA, WPCF(1999), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th ed.
- [11] Nagaoka, H(1999). "Nitrogen removal by submerged membrane separation activated sludge process." Water Sci. Technol., 39(8), pp. 107-114 .
- [12] P.Menoud(1998), "Simultaneous Nitrification and Denitrification using SiporaxTM Packing." AWT98, Recycling and Reuse Milano 14-16 September.

조 창 식 (Cho, Chang sik)



- 2003년 2월 : 서울과학기술대학교 환경공과(공학사)
- 2006년 2월 : 서울과학기술대학교 산업대학원 환경공학과(공학석사)
- 2011년 2월 : 호서대학교 벤처전문대학원(박사과정 수료)
- 관심분야 : 폐수고도처리분야

· E-Mail : changsik9080@hanmail.net

이 상 혁 (Lee, Sang Houck)



- 2008년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 벤처전문대학원(교수)
- 1992년 2월 ~ 현재 : 사)한국생활환경협회 회장
- 관심분야 : 생활환경개선 분야
- E-Mail : isen@hoseo.edu