

반송률 변화에 따른 연속 유입식 SBR 공정의 질소 거동

김수연¹, 최용범¹, 조유나¹, 한동준², 권재혁^{1,*}

¹강원대학교 지구환경시스템공학과

25913 강원도 삼척시 중앙로 346

²강원도립대학교 소방환경방재과

25425 강원도 강릉시 주문진읍 연주로270

(2019년 8월 27일 접수; 2019년 9월 17일 수정본 접수; 2019년 9월 17일 채택)

The Nitrogen Behavior in the Continuous Inflow SBR according to Variations of Internal Recycling Rate

Su-Yeon Kim¹, Yong-Bum Choi¹, You-Na Jo¹, Dong-Joon Han², and Jae-Hyouk Kwon^{1,*}

¹Department of Earth & Environmental Engineering, Kangwon National University

346 Joongang-ro, Samcheok-si, Gangwon-do 25913, Korea

²Department of Fire·Environment Disaster, Gangwon State University

270 Yeonju-ro, Jumunjin-eup, Gangneung-si, Gangwon-do 25425, Korea

(Received for review August 27, 2019; Revision received September 17, 2019; Accepted September 17, 2019)

요 약

연속 유입식 SBR 공정의 BOD 제거효율은 체류 시간 9~15 h에서는 92.1~96.0%에서 체류 시간 6 h에서는 86.9~90.7%로 감소하였으나, 체류 시간 6 h까지 안정적인 제거효율을 보였다. T-N 제거효율, 체류시간 12~15 h에서는 80.1~87.9%, 체류시간 9 h에서는 71.9~87.0%, 체류시간 6 h에서는 60.1~65.7%로 감소되었다. 유기물 및 질소 제거 결과 실험결과 연속 유입식 SBR 반응조의 최적 체류시간은 9 h로 판단된다. 체류시간 9 h에서 반송률(1~5Q) 변화에 따른 유기물 제거효율 검토 결과, TCOD_{cr}의 제거율은 88.4~96.0%, TBOD 제거효율은 92.1~98.1%로 조사되어 내부반송률 변화가 유기물 제거에 미치는 영향은 미미한 것으로 조사되었다. 내부반송률 변화에 따른 T-N은 1~2Q에서 70.3~80.4%, 3Q는 77.2~85.6%, 4~5Q는 61.5~80.8%로 조사되어, 내부반송률 3Q에서 질소 제거효율이 가장 높게 조사되었다. T-P는 1~4Q에서 제거효율은 75.0~84.6%, 5Q에서는 63.3~72.4%로 감소하였는데, 이러한 이유는 반송률 5Q 이상에서는 미생물에 의한 인(P)의 용출 및 섭취가 원활하게 이루어지지 않기 때문으로 판단된다. 따라서 유기물 및 영양염류 제거를 위한 최적 반송률은 3Q로 조사되었다.

주제어 : 탈질화, 내부반송률, 질산화, 질소 거동, SBR 공법

Abstract : The BOD removal efficiency according to HRT of the continuous inflow SBR process was decreased from 92.1~96.0% at HRT 9~15 h to 86.9~90.7% at HRT 6 h, but a stable removal efficiency was shown up to HRT 6 h. The T-N removal rate was decreased to 80.1~87.9% at HRT 12~15 h, to 71.9~87.0% at HRT 9 h, and to 60.1~65.7% at HRT 6 h. As a result of the test of removing organic matter and nitrogen, the optimum HRT of the continuous inflow SBR reactor is determined as 9 h. The TCOD_{cr} removal efficiency was 88.4~96.0% and the TBOD removal efficiency was 92.1~98.1% as a result of examination of organic matter removal efficiency according to a change in the recycling rate (1~5Q) at HRT 9 h, suggesting that the a change in the recycling rate has a minimal effect on the removal of organic matter. The T-N removal efficiency was 70.3~80.4% at 1~2Q, 77.2~85.6% at 3Q and 61.5~80.8% at 4~5Q according to a change in the recycling rate. The TP removal efficiency was reduced to 75.0~84.6% at 1~4Q and to 63.3~72.4% at 5Q. This is presumably because the release and ingestion of phosphorus (P) by microorganisms is not performed smoothly at 5Q or more. Therefore, the optimum recycling rate for removing organic matter and nutrients was found to be 3Q.

Keywords : Denitrification, Internal recycling rate, Nitrification, Nitrogen behavior, SBR Process

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: environ4@kangwon.ac.kr; Tel: +82-33-570-6577; Fax: +82-33-570-6579

doi: 10.7464/kscet.2019.25.3.231 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

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

하수 처리공정의 발전단계는 1세대 오수와 우수 배제, 2세대 유기물 처리, 3세대 영양염류 처리, 4세대 자원 재활용 및 5세대 미량 유해물질 처리로 구분되며, 선진국의 경우 4세대에서 5세대로 진입 중이다. 반면, 우리나라는 기존 하수처리공정의 개선사업에 집중투자하면서 유기물 처리를 주목적으로 하는 활성슬러지 공법에 질소와 인을 처리하기 위한 고도처리 과정을 추가 적용하고 있다[1].

2013년까지 진행되었던 4대강 사업은 4대강 수계에 질소와 인의 부하량이 증가하면서 부영양화로 인해 수 생태계가 악화하는 문제를 총인 저감시설 설치를 통하여 해결하고자 하였고, 기존 하수처리시설에 총인 저감 사업이 진행되었다. 그 결과, 총인 저감시설을 통해 인의 부하량은 감소하였지만, 질소 제거를 위한 노력은 미미한 것으로 판단되어 기존 하수처리시설의 질소 제거효율은 높이기 위한 최적 운영 인자의 산출과 공정 개발이 요구되고 있다. 질소와 인을 제거하기 위한 고도처리 공법으로는 anaerobic anoxic aerobic (A²/O) 및 sequencing batch reactor (SBR) 및 간헐식 포기공법 등이 개발되어 중·소규모 하수처리시설에 주로 적용되고 있다. 마을 하수처리장과 같은 소규모 처리시설의 경우, 유입 부하량 변화가 심한 문제가 발생하여 최종적으로 유기물 및 영양염류에 대한 적정 방류 수질 확보에 어려움이 있어, 부하변동에 대한 유연성을 고려해 SBR 공법을 주로 적용하고 있다.

반면, SBR 공법을 제외한 다른 고도처리 공법이 소규모 처리시설에 적용하기 어려운 원인은 연속 흐름 혼합형 반응기 continuous flow stirred tank reactor (CFSTR)를 적용하여 미생물의 부유 성장, 다량의 슬러지 배출 및 운영의 복잡성 등이 존재하기 때문이다[2].

SBR 공법은 운전조작이 간편하고, 운전조건을 유입수 성상에 따라 적절하게 조절 가능하며, 적정 운전조건을 산출하여 유기물 제거뿐 아니라 영양염류까지 제거가 가능하다 [3,4]. 또한, 포기조, 무산소조, 혐기조로 반응조 공간을 구분하여 각각의 반응을 진행하는 활성슬러지 공법의 반응을 시간적 개념으로 바꾼 것으로 처리장의 필요 부지면적을 줄일 수 있다[5].

그러나, SBR 공법은 간헐적 유입과 배출로 인해 하루에 처리 가능한 유량에 한계가 존재하고, 소규모 하·폐수처리시설에서만 적합할 뿐 대규모 하·폐수 발생지역에는 적용이 어렵다. 또한, 단일 반응조에서 유기물 및 영양염류 제거를 위한 반응이 진행되므로 제거효율이 낮고, 유출 시간 대비 유입시간이 길어 유출에 소모되는 에너지와 슬러지 침전으로 산기 장치의 막힘 현상 또는 유지 관리상의 문제들로 인해 실용화가 어렵다. 반면, 연속 유입식 SBR 공법은 단일 회분식 SBR 공법과 마찬가지로 단일 반응기 내에서 유입-반응-침전-유출 과정이 이루어지지만, 유입수의 연속유입이 가능하므로 활성슬러지 공법 대비 부하변동에 대한 능동적인 대처가 쉽다[6]. 따라서, 본 연구에서는 연속 유입식 SBR 반응조에서 hydraulic retention time (HRT) 변화에 따른 유기물 및 질소 제거효율을

분석하고, 내부반송률을 변화시켜 최적 질소 제거효율을 제시하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 실험장치

본 연구에 적용한 반응조는 Figure 1에 제시한 바와 같이, SBR 공법을 변형한 연속 유입식 SBR 공법으로서, 탈질을 위한 무산소조 1조와 질산화 및 유기물 제거를 위한 포기조 2조로 구성되었다. 반응조 유효용적은 무산소조 5 L, 포기조 15 L이고, 각각 60 mm의 여유고를 두고 총 용적은 무산소조 6.2 L, 포기조 17.4 L로 설계하였다. 무산소조의 효과적인 혼합을 위해 0~600 rpm 범위의 교반기를 설치하였고, 무산소조에서 용존성 유기물이 제거된 슬러지 혼합액은 solenoid valve를 이용하여 SBR 1조와 SBR 2조에 교대로 유입하였다. SBR 반응조 하단에 설치한 산기 장치를 통해 공기를 주입하여 호기성 상태를 유지하였으며, 유출은 호기성 반응 이후 침전을 거쳐 상등수의 1/4이 배출되도록 하였다.

2.2. 운전방법 및 시료

반응조내 미생물은 공공하수처리시설의 반응 슬러지를 총 반응조 부피의 25%를 식종하였고, 안정적인 초기 운전을 고려하여 비중이 낮은 슬러지는 부상 후 분리 제거하였다. 본 연구에 적용한 유입수는 Table 1에 제시하였는데, 유기물 및 질소 제거를 위한 적정 수준의 carbon/nitrogen ratio (C/N 비) 유지를 위하여 J 공공폐수처리시설의 유입수와 S 공공하수처리시설의 생활하수를 혼합하여 적정 C/N 비(5~8)를 유지하였다.

반응조 운전조건은 Table 2에 제시하였는데, 연속식 SBR 공정은 무산소조 1조와 병렬로 배치된 2조의 SBR 반응조로 solenoid valve와 programmable logic controller (PLC)를 이용하여 포기 및 비포기 시간을 설정하고, SBR 1조와 SBR 2조에 유입수를 교대 유입하였다. 유입수는 정량 펌프를 사용하여 주입하였으며, SBR 반응조의 포기/비포기 주기는 90분 간격으로 설정하였고, SBR 1 반응조가 포기되는 주기에 SBR

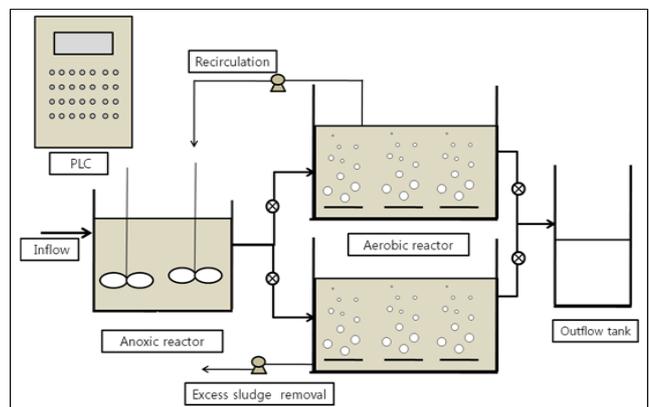


Figure 1. Schematic diagram of the continues inflow SBR process.

Table 1. Characteristics of influen (except pH)

| Items | Range (mg L ⁻¹) | Average (mg L ⁻¹) |
|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| pH | 6.8 ~ 7.3 | 7.1 |
| TCOD _{cr} | 150.1 ~ 224.4 | 374.5 |
| SCOD _{cr} | 121.6 ~ 168.4 | 290.0 |
| TBOD | 108.9 ~ 189.4 | 149.2 |
| SBOD | 65.4 ~ 115.2 | 90.3 |
| TSS | 53.0 ~ 193.5 | 123.3 |
| T-N | 20.1 ~ 41.6 | 30.9 |
| NH ₄ ⁺ -N | 10.517 ~ 23.557 | 17.037 |
| T-P | 1.0 ~ 3.2 | 2.1 |
| Alkalinity (as CaCO ₃) | 90 ~ 180 | 135 |

Table 2. Operational conditions

| Items | Range |
|------------------------------------|---------------|
| Reactor Volume (L) | 15 |
| Influent flow (L d ⁻¹) | 22.5 |
| Hydraulic Retention Time (h) | 6 ~ 15 |
| MLSS (mg L ⁻¹) | 2,343 ~ 3,485 |
| DO (mg L ⁻¹) | 0.2 ~ 7.6 |
| Operating time (day) | 70 |

2 반응조는 침전과 배출을 하도록 하였다.

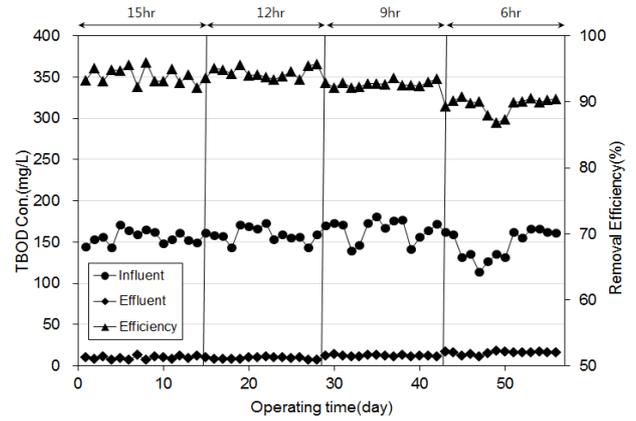
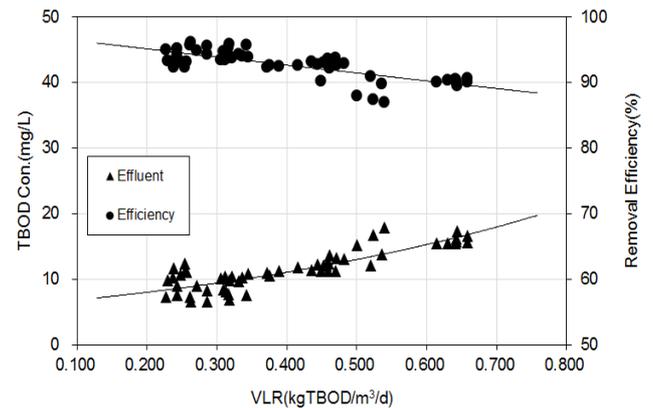
3. 결과 및 고찰

3.1. 최적 운전조건 선정

반송률 변화에 따른 연속 유입식 SBR 공정내 질소 거동 연구에 앞서, 본 절에서는 연속 유입식 SBR 공정의 최적 운전조건을 선정하기 위하여, HRT (6 ~ 15 h)에 따른 유기물 및 질소 제거 현황을 조사하였다.

Figure 2는 약 50일간의 HRT 변화에 따른 유입·유출 BOD 농도 변화를 제시하였는데, 운전기간 동안 유입 BOD는 112.9 ~ 180.6 mg L⁻¹였으며, 유출농도는 6.5 ~ 17.8 mg L⁻¹로, 제거효율은 86.9 ~ 96.0%로 조사되었다. HRT에 따른 제거효율은 9 ~ 15 h에서 92.1 ~ 96.0%로, HRT 6 h에서는 86.9 ~ 90.7%로 감소하는 것으로 조사되었다. HRT 6 h에서는 유기물 제거효율이 다소 감소하였으나, 전체적인 제거효율은 안정적인 것으로 조사되었다.

Figure 3은 유기물 부하 변화에 따른 유입·유출 BOD 농도 변화를 제시한 것으로 유기물 부하는 0.228 ~ 0.658 kgBODm⁻³ d⁻¹로 조사되었으며, 0.051 kgBODm⁻³ d⁻¹ 이하에서는 90.0 ~ 96.0%의 제거효율을 보였으며, 0.051 kgBODm⁻³ d⁻¹ 이상에서는 86.9 ~ 89.7%로 다소 감소하는 것으로 조사되었다. 간헐 포기 공정의 HRT (6 ~ 12 h) 변화에 따른 BOD 제거효율이 88.0 ~ 97.5%의 제거효율을 나타냈다고 보고되었는데[7], 본 연구에서도 유기물은 HRT 6 h까지는 큰 영향을 받지 않고 안정적인 제거효율을 보였다. 본 연구의 연속 유입식 반응조

**Figure 2.** Variation of TBOD concentration according to various HRT.**Figure 3.** Variation of TBOD concentration according to various VLR (BOD).

는 포기조 2조를 교차 운영하기 때문에 연속적인 유입수 주입에 따른 유출 수질의 영향은 적기 때문에 일반 변형 SBR 공정보다 안정적인 유출 수질을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

Figure 4는 HRT 변화에 따른 유입·유출 T-N 농도 변화를 제시한 것이다. 운전 기간 유입 T-N 농도는 23.9 ~ 38.3 mg L⁻¹, 유출농도는 4.2 ~ 11.3 mg L⁻¹였으며, 제거효율은 60.1 ~ 87.9%로 조사되었다. HRT에 따른 제거효율을 살펴보면, HRT 12 ~ 15 h에서는 80.1 ~ 87.9%, HRT 9 h에서는 71.9 ~ 87.0%, HRT 6 h에서는 60.1 ~ 65.7%로 감소하여 HRT 변화에 따른 경향이 유기물 제거효율과 다르게 T-N 제거효율의 변화가 큰 것으로 조사되었다.

이러한 원인을 유기물 제거 결과와 함께 비교하면, HRT 6 h에서도 유기물은 86.9% 이상 제한이 되어 질산화 과정에는 영향이 없을 것으로 판단되나, 유기물 제거 후 질산화 및 탈질에 필요한 HRT가 감소하기 때문에 전체적인 T-N 제거효율도 감소하는 것으로 판단된다. 따라서 HRT에 따른 유기물 및 질소 제거 경향에 대한 실험결과 연속 유입식 SBR 반응조의 최적 HRT는 9 h로 선정하였다.

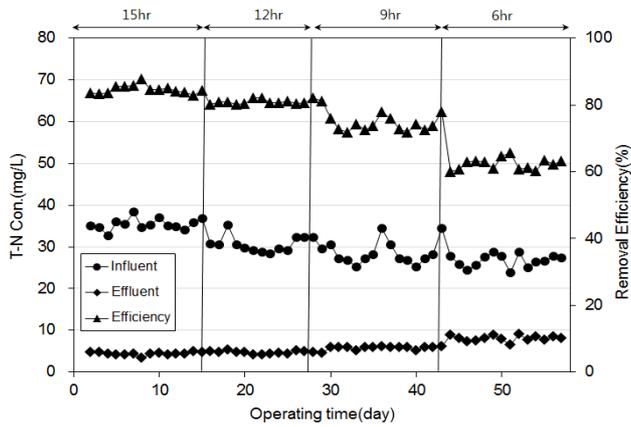


Figure 4. Variation of T-N concentration according to various HRT.

3.2. 반송률 변화에 따른 제거효율

반송률 변화에 따른 실험조건은 3.1절의 결과에 따라 HRT를 9 h로 고정 후 내부반송률을 2주 간격으로 1~5Q (100~500%)로 변화시킴으로 총 70일 동안 수행되었는데, Figure 5~8은 반송률 변화에 따른 연속 유입식 SBR 공정의 유기물 및 영양염류 변화에 대하여 제시하였다.

반송률 변화에 따른 TCODcr의 운전결과, 유입 TCODcr은 150.1~224.4 mg L⁻¹, 유출농도는 8.0~19.9 mg L⁻¹로 조사되었으며, 제거율은 88.4~96.0%로 반송률 변화와 상관없이 높은 제거효율을 나타냈다. TBOD 유입농도는 108.9~189.4 mg L⁻¹, 유출농도는 3.1~12.6 mg L⁻¹로, 제거율은 92.1~98.1%로 조사되었는데, TCODcr의 결과와 유사하게 조사되었다.

내부반송률 변화에 대한 연구결과, 생물막을 결합한 무산소-호기 공정의 침출수 처리에서 내부반송률 변화가 유기물 제거에 미치는 영향은 미미하다고 보고하고 있다[8]. 또한 내부반송률 변화에 따른 실험 결과, 0.25Q에서 COD의 제거율은 96~98%, 1Q는 93~97%, 2Q에서는 95~97%로 내부반송률 변화에 따른 유기물 제거 영향은 미미하다고 보고하고 있는데[9], 본 연구에서도 내부반송률 변화에 따른 유기물 제거 영향은 미미한 것으로 조사되었다. 반송률 변화에 따른 T-N 농도는 Figure 7에 제시하였는데, 운전 기간 유입농도는 20.1~41.6 mg L⁻¹, 유출농도는 3.8~9.2 mg L⁻¹로, 제거율은 61.5~85.6%로 조사되었다. 1Q에서 질소 제거율은 74.0~78.0% (평균 71.9%), 2Q는 70.3~80.45 (평균 76.2%), 3Q에서는 77.2~85.6% (평균 82.8%), 4Q는 66.4~80.8% (70.7%), 5Q는 61.5~65.3% (64.0)로 조사되었다. 유입 T-P 농도는 1.9~3.8 mg L⁻¹, 유출농도는 0.4~1.3 mg L⁻¹였으며, 제거효율은 63.3~84.6%로 조사되었다. 1~4Q에서의 제거효율은 75.0~84.6%, 5Q는 63.3~72.4%로, 4Q 이하에서는 제거율이 감소하였다. 이러한 이유는 반응조 내부에서 혐기 및 호기 조건에서 인(P)의 용출(release) 및 섭취(luxury uptake)가 이루어져야 하나, 반송률 증가에 따라 인 용출 및 섭취과정이 원활하게 이루어지지 않기 때문으로 판단된다. 반송률 변화에 따른 유기물 및 영양염류의 제거효율을 검토한 결과 반송률 3Q에서 효

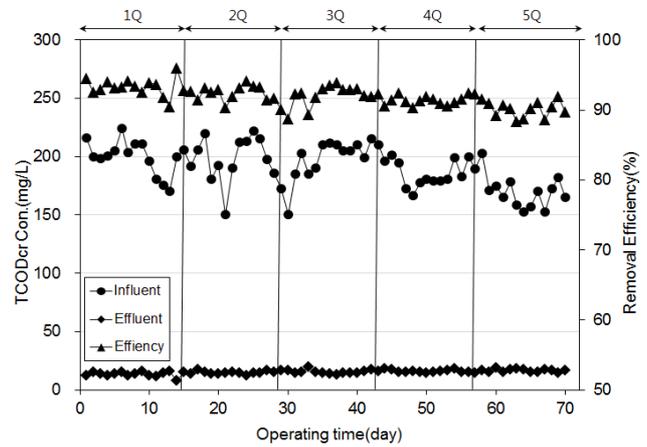


Figure 5. Variation of TCODcr concentration according to recycling rate.

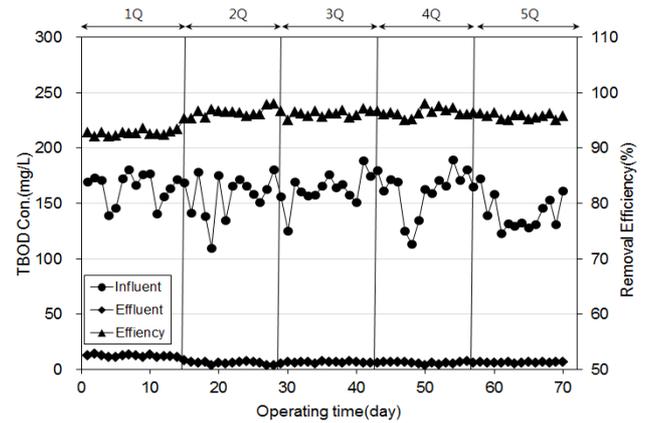


Figure 6. Variation of TBOD concentration according to recycling rate.

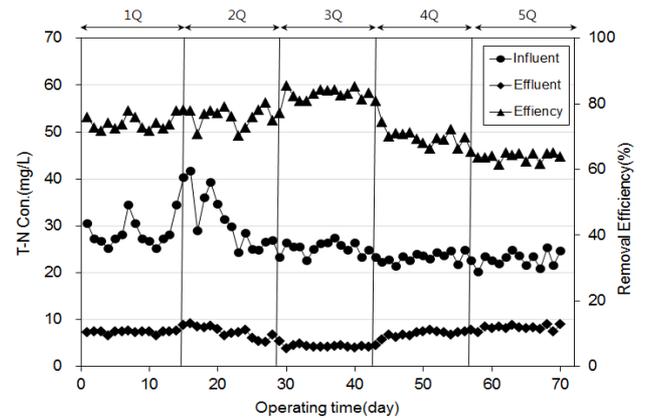


Figure 7. Variation of T-N concentration according to recycling rate.

율이 가장 좋은 것으로 조사되었다.

3.3. 반송률 변화에 따른 질소 거동

Figure 9는 운전 기간 반응조내 암모니아성 질소와 알칼리도(alkalinity) 거동에 대하여 제시하였다. 유입 암모니아성 질

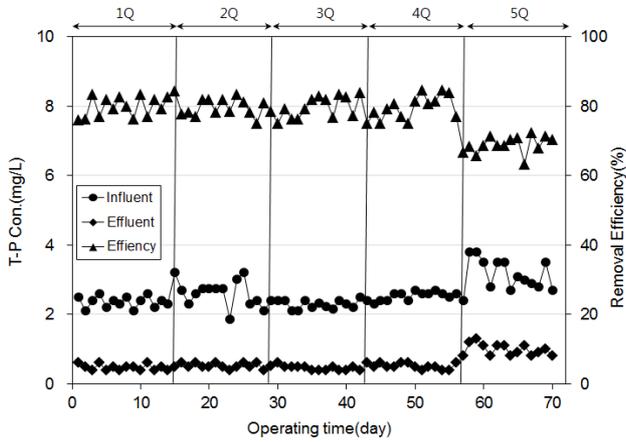


Figure 8. Variation of T-P concentration according to recycling rate.

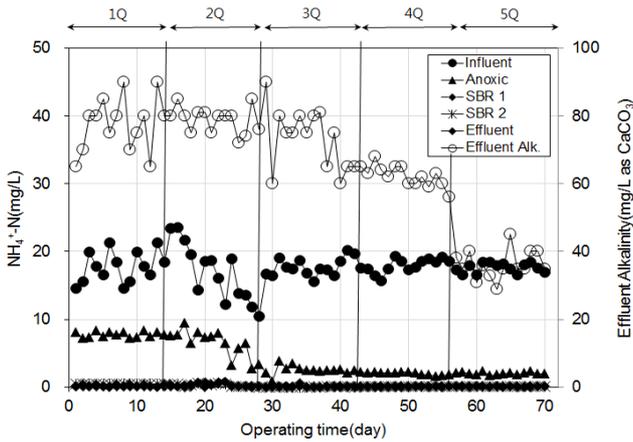


Figure 9. Variation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration according to recycling rate.

소는 10.517 ~ 23.557 mg L^{-1} 였으며, 무산소조에서는 0.809 ~ 9.522 mg L^{-1} 로, SBR 1, 2 반응조 내에서는 0.001 ~ 0.722 mg L^{-1} , 유출농도는 0.006 ~ 0.688 mg L^{-1} 로 반송률과 관계없이 대부분의 암모니아성 질소는 질산화된 것으로 조사되었다. Figure 10과 Figure 11은 운전 기간 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)와 아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$) 거동에 대하여 제시하였다. 유입수의 질산성 질소는 거의 없는 것으로 조사되었으며, 반응조내 질산성 질소는 최적 반송률로 산정된 3Q에서 최소를 보였으며, 질소 제거효율이 감소하는 4 ~ 5Q에서 다시 증가하는 경향을 보였다. 아질산성 질소는 생성 후 바로 질산성 질소로 변환되어 운전 기간 반응조내 농도는 낮았으며, 반송률 4 ~ 5Q에서 무산소 조건에서 증가하였다. 이는 반송률 증가로 질산성 질소로 전환되지 못한 아질산성 질소가 검출되었기 때문이다. 운전 기간 평균 제거율은 반송률 증가에 따라 비례하였는데, 3Q에서 82.8%로 가장 높았으며 그 이후 점차 감소하였다. 이러한 원인은 반송률이 질소 제거에 영향을 미치기 때문으로, 본 연구결과 연속 유입식 SBR 공정의 최적 반송률은 3Q인 것으로 조사되었으며, 다른 연구결과에서도 반송률 증가에 따라 T-N 제거효율은 증가한다고 보고하고 있다[8-9]. 그러나

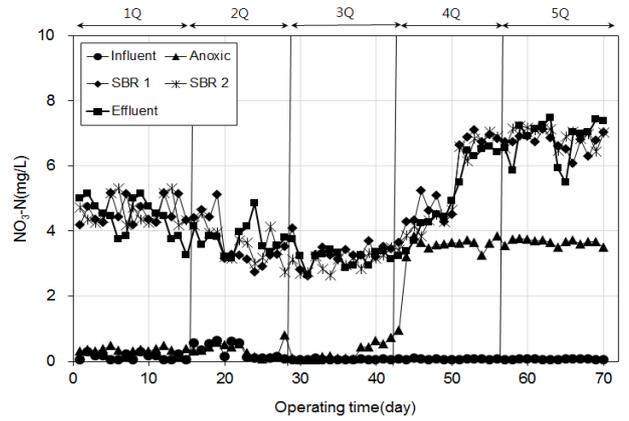


Figure 10. Variation of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration according to recycling rate.

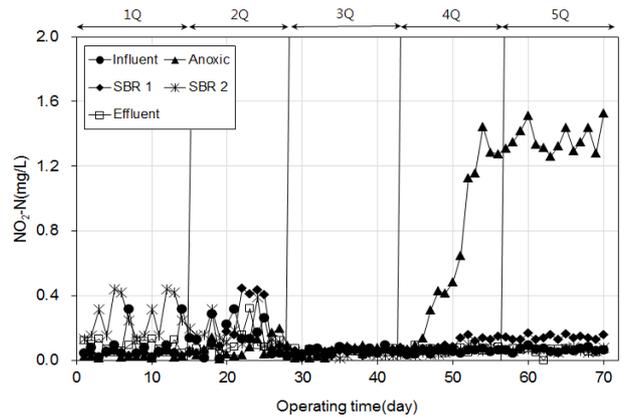


Figure 11. Variation of $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration according to recycling rate.

또 다른 연구에서는 반송률이 증가할수록 탈질 효율은 감소된다고 보고하고 있는데, 이는 반송률 증가가 탈질조내 질산성 질소 부하는 높아지지만 무산소조에 유입되는 유기물량은 일정하여 탈질시 필요한 유기물이 부족하고, 내부 반송되는 수질에 존재하는 dissolved oxygen (DO)로 인해 탈질 효율이 억제된다고 보고하고 있다[10]. Figure 12는 반송률 변화에 따른 질소 제거효율을 제시하였는데 3Q까지는 질소 제거효율이 증가하고 4Q 이상에서는 감소하는 경향을 나타내 다른 연구자들의 결과와 유사하게 조사되었다.

3.4. 반응조 운전인자

반송률 변화에 따른 실험 기간 연속 유입식 SBR 공정의 미생물 농도는 2,000 ~ 3,300 mg L^{-1} 를 유지하였으며, SRT는 20 ~ 25 day로 운전하였다. DO 농도는 질산화 공정은 2 ~ 3 mg L^{-1} , 탈질공정은 0.2 mg L^{-1} 이하가 적절하다고 보고되고 있는데[11], 본 연구에서는 무산소조는 평균 0.2 mg L^{-1} , SBR 공정은 3.0 ~ 5.5 mg L^{-1} 로 유지하였다.

Figure 13은 알카리도 변화를 제시하였는데, 유출 알카리도가 반송률 1 ~ 4Q에서는 56.0 ~ 90.0 mg L^{-1} 에서 5Q에서는 29.0 ~ 14.0 mg L^{-1} 로 감소하였다. 이는 탈질 효율 감소로 질

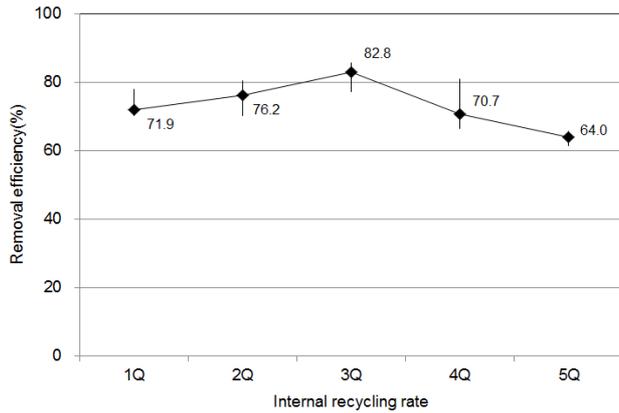


Figure 12. T-N removal efficiency according to recycling rate.

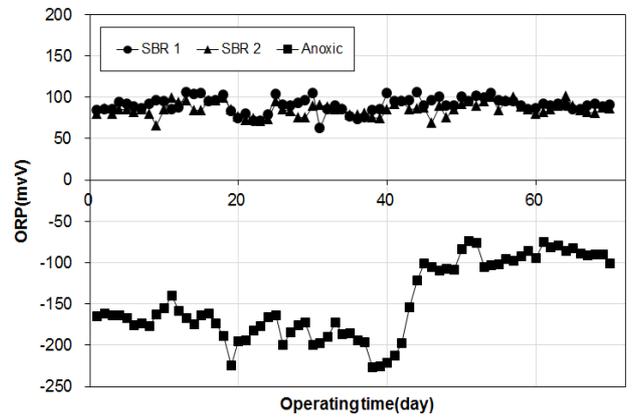


Figure 14. Variation of ORP concentration according to operating time.

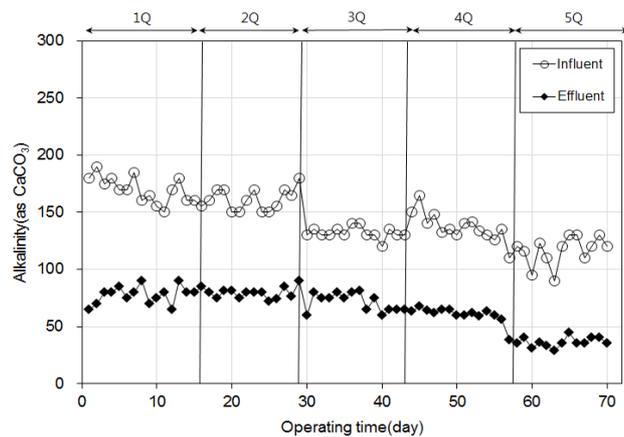


Figure 13. Variation of alkalinity concentration according to recycling rate.

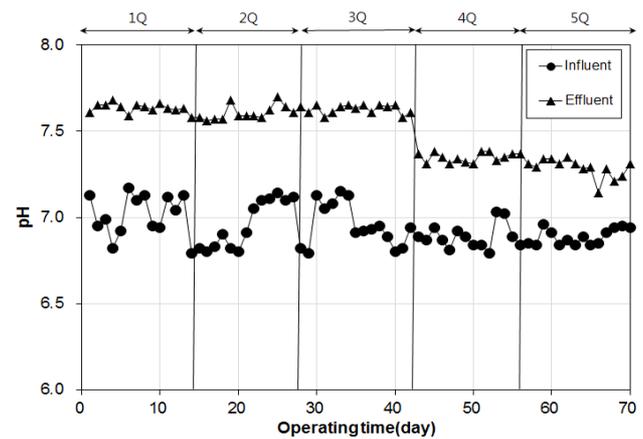


Figure 15. Variation of pH concentration according to operating time.

산화 과정에서 소모된 양이 무산소조에서 생성되지 않았기 때문에 판단된다. 산화환원전위를 나타내는 oxidation reduction potential (OPR)은 무산소조에서는 -200 ~ -300 mV가 적절하다고 보고되고 있는데[12], Figure 14에 제시한 바와 같이 반응물 1~3Q에서는 -227.0 ~ -140.0 mV에서 4~5Q는 -154.0 ~ -74.0 mV로 측정되어 탈질 효율이 감소한 것이 간접적으로 측정되었다. 운전 기간 유입 pH는 Figure 15에 제시한 바와 같이 6.79 ~ 7.17이었으며, 유출 pH 농도는 7.14 ~ 7.70으로 조사되었다. pH는 유입보다 유출 pH가 높게 조사되었는데, 이는 질산화 과정에서는 pH가 감소하나 탈질 과정에서 pH가 다시 증가하기 때문으로 판단된다. 반응물에 따른 경향을 살펴보면 1~3Q에서의 유출 pH는 7.56 ~ 7.70이었으나, 4~5Q에서의 유출 pH는 7.14 ~ 7.38로 감소하는 것으로 조사되었다. 이는 반응물 4~5Q에서는 질산화에 따라 pH는 감소하나 무산소조에서 탈질 효율이 감소하기 때문에 pH의 보충이 되지 않았기 때문으로 판단된다.

4. 결론

HRT에 따른 BOD 제거효율은 9 ~ 15 h에서는 92.1 ~ 96.0%에서 HRT 6 h에서는 86.9 ~ 90.7%로 감소하였으나, HRT 6

h까지 안정적인 제거효율을 보였다. T-N 제거효율은, HRT 12 ~ 15 h에서는 80.1 ~ 87.9%, HRT 9 h에서는 71.9 ~ 87.0%, HRT 6 h에서는 60.1 ~ 65.7%로 감소하였으며, 유기물 및 질소 제거 결과 실험결과 연속 유입식 SBR 공정의 최적 HRT는 9 h로 판단된다. 반응물(1~5Q) 변화에 따른 유기물 제거 효율 검토 결과, TCODcr의 제거율은 88.4 ~ 96.0%, TBOD의 제거효율은 92.1 ~ 98.1%로 조사되어 내부반송물 변화가 유기물 제거에 미치는 영향은 미미한 것으로 조사되었다. 반응물 변화에 따른 T-N은 1~2Q에서 70.3 ~ 80.4%, 3Q에서 77.2 ~ 85.6%, 4~5Q는 61.5 ~ 80.8%로 조사되어, 반응물 3Q에서 질소 제거효율이 가장 높게 조사되었다. T-P는 1~4Q에서 제거효율은 75.0 ~ 84.6%, 5Q에서는 63.3 ~ 72.4%로 감소하였는데, 이러한 이유는 5Q 이상에서는 미생물에 의한 인(P)의 용출 및 섭취가 원활하게 이루어지지 않기 때문으로 판단된다. 따라서 유기물 및 영양염류 제거를 위한 최적 반응물은 3Q로 조사되었다.

반송물에 따른 질소 거동은, 암모니아성 질소는 반응물과 관계없이 대부분 질산화되었다. 질산성 질소는 최적 반응물인 3Q에서 최소를 보였으며, 아질산성 질소는 4~5Q에서 무산소조에서 증가되는 것으로 조사되었는데, 이는 높은 반응

물로 인하여 질산성 질소로 전환되지 못한 아질산성 질소가 검출되었기 때문에 판단된다. 유출 알카리도 농도는 1~4Q는 56.0~90.0 mg L⁻¹, 5Q에서는 29.0~14.0 mg L⁻¹로 감소하였는데, 탈질 효율 감소로 질산화 과정에서 소모된 양이 무산소조에서 생성되지 않았기 때문에 판단된다. 무산소조 OPR는 1~3Q에서 -227.0~-140.0 mV로 측정되었는데, 4~5Q는 -154.0~-74.0 mV로 측정되어 탈질 효율이 감소한 것이 간접적으로 측정되었으며, 반송률에 따른 유출 pH는 1~3Q에서 7.56~7.70이었으나, 4~5Q에서는 7.14~7.38로 감소되는 경향을 나타냈다.

감사

본 연구는 2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비(관리번호-620170057)로 연구하였으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Ministry of Environment (Korea), "White Paper of Environment," 2014.
2. Roh, S.-H., Kim, H.-Y., Moon, W., Yun, Y.-J., and Kim, S.-I., "A Study on the Operating Cycle of Sequencing Batch Reactor for Nitrogen and Phosphorus Removal," *Appl. Chem.*, **6**(1), 272-275 (2002).
3. Irvine, R. L., and Busch, A. W., "Sequencing Batch Biological Reactors: An Overview," *J. Water Pollut. Control Fed.*, **51**(2), 235-243 (1979).
4. Kim, D.-W., Park, Y.-W., and Park, G.-T., "A Study on the ORP Modeling in SBR Process for Nitrogen Removal: Polynomial Neural Network Is Employed," *Trans. Kor. Institute Electri. Eng.*, **53**(4), 221-225 (2004).
5. Kim, H.-T., Park, C.-K., and Shin, S.-W., "Optimization of Reactor by Using ORP in SBR" *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **18**(6), 613-620 (2002).
6. Kim, S.-S., "A Study on Model Development and Application to control SBR Wastewater Treatment," Ph.D. Dissertation, Seoul National University 1, Seoul (2006).
7. Choi, Y.-B., Lee, J.-G., Han, D.-J., and Kwon, J.-H., "Effect of Advanced Wastewater Treatment by Variations Operating Conditions of 4-stage intermittently aerated Activated Sludge Process," *J. Korea Academia-Ind. Cooperation Soc.*, **14**(2), 970-976 (2013).
8. Lim, B.-S., Oa, S.-W., and Jo, N.-U., "Comparison on Nutrient Removal of the MLE and A²/O Process Combined with Intermittent Aeration," *Kor. Soc. Water Wastewater*, **15**(4), 325-333 (2001).
9. Yang, B.-S., Park, N.-B., and Lee, J.-K., "A Study on Upgrading of Existing Wastewater Treatment Plants for Nitrogen and Phosphorus Removal," *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **6**(1) 1050-1060 (1990).
10. Lee, K.-Y., Bum, B.-S., and Cho, K.-M., "Removal of Nitrogen from Leachate by Biofilm Anoxic/Oxic Process," *Kor. Soc. Environ. Eng.*, **21**(10), 1879-1889 (1999).
11. Sharma, B., and R, Ahlert, "Nitrification and nitrogen removal" *Water Res.*, **11**(10), 897-925 (1977).
12. Park, J.-Y., "Improvement of ORP based Denitrification Diagnosis rule by considering temperature and MLVSS Variation," Master's thesis, Pusan National University, Pusan (2004).