

연속회분식반응조에서 유기물 부하와 질산염농도에 따른 생물학적 질소 및 인 제거 특성

김이태 · 이희자[†] · 김광수 · 배우근^{*}

한국건설기술연구원 건설환경연구부

^{*}한양대학교 건설환경시스템공학과

Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Characteristics on Organic Material and Nitrate Loadings in SBR Process

I-Tae Kim · Hee-Ja Lee[†] · Kwang-Soo Kim · Woo-keun Bae^{*}

Korea Institute of Construction Technology

^{*}Hanyang University Department of Civil & Environmental Systems Engineering

(Received 6 July 2004, Accepted 13 September 2004)

Abstract : Since anaerobic/anoxic/oxic process, which is a typical mainstream biological nitrogen and phosphorus removal process, utilizes influent organic matter as an external carbon source for phosphorus release in anaerobic or anoxic stage, influent COD/T-P ratio gives a strong influence on performance of phosphorus removal process. In this study, a bench scale experiment was carried out for SBR process to investigate nitrogen and phosphorus removal at various influent COD/T-P ratio and nitrate loadings of 23~73 and 1.6~14.3 g NO₃⁻-N/kg MLSS, respectively.

The phosphorus release and excess uptake in anoxic condition were very active at influent COD/T-P ratios of 44 and 73. However, its release and uptake was not obviously observed at COD/T-P ratio of 23. Consequently, phosphorus removal efficiency was decreased. In addition, the phosphorus release and uptake rate in anoxic condition increased as the nitrate loading decreased. Specific denitrification rate had significantly high correlation with organic materials and nitrate loadings of the anoxic phase too. The rate of phosphorus release and uptake in the anoxic condition were 0.08~0.94 kg S-P/kg MLSS · d and 0.012~0.1 kg S-P/kg MLSS · d, respectively.

keywords : SBR(sequencing batch reactor), Phosphorus release and uptake, Denitrification, Anoxic condition, F/M ratio

1. 서 론

하 · 폐수에 포함된 질소 및 인 화합물은 폐쇄성 수역에서 부영양화의 원인물질로 작용하고 있으며, 이러한 영양물질의 배출저감을 위해 고도처리공법에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 질소 및 인 제거 공법의 개발은 많은 발전을 이루었으며, 원수특성에 맞는 다양한 공법의 개발이 완료단계에 있다.

연속회분식반응조(SBR, Sequencing batch reactor)는 운전이 간편하고 건설 및 유지관리비가 저렴하며, 유입수의 부하변동에 큰 영향을 받지 않는 소규모 하수처리에 적합한 공정으로 알려져 있다(Wilderer et al., 2001). 또한 SBR 공정은 간단한 기계조작에 의해 쉽게 운전조건을 바꿀 수 있으며 질소, 인의 동시제거가 가능한 간헐포기시스템으로서, 하나의 반응조에서 하수의 유입, 반응, 침전, 배출과정이 이루어지므로 처리장 부지면적이 적게 소요되며 수량 및 수질의 변화에 탄력적으로 대응할 수 있는 장점을 지니고

있다(Li et al., 2003).

SBR 공정은 생물학적 질소 및 인 제거의 대표적인 공정으로 혐기조건에서 인의 방출이 일어나고, 호기조건에서는 인을 과잉으로 섭취하며, 인의 제거는 잉여슬러지를 폐기시켜 이루어진다. 혐기조건에서 인 방출에 소요되는 탄소원으로 유입수내의 유기물질을 사용하기 때문에 유입수의 COD/T-P비는 인 제거공정의 처리효율에 큰 영향을 미치며, Tetreault 등(1986)의 연구에 의하면, 유출수의 용해성 인농도를 1mg/L 이하로 유지하기 위해서는 유입수의 TBOD/T-P비가 20~25 이상이어야 한다고 하였다.

지금까지의 생물학적 인 제거 개념은 전자수용체(Electron acceptor)가 없는 혐기조건과 전자수용체가 산소인 호기조건을 반복하여 이루어져 왔고, 혐기조건에서 전자수용체로 존재하는 질산염이나 산소는 인 방출을 감소시켜 호기조건에서 인의 흡수를 저하시키는 결정적인 요인으로 알려져 왔으나(박 등, 2002), 질산염이 존재하는 무산소조건에서도 용해성 인의 흡수 및 탈질이 가능한 DPB(Denitrifying phosphorus removing bacteria)의 존재가 여러 연구자들에 의해 확인되었다(Kerm-Jespersen, 1993; Kuba, 1993).

[†] To whom correspondence should be addressed.

ink42@kict.re.kr

따라서 본 연구에서는 연속회분식반응조의 bench scale 실험을 통하여 유기물 및 질산염 부하에 따른 용해성 인의 흡수와 방출 특성을 측정하고, SBR 공정의 무산소조건에서 인 흡수 및 탈질을 동시에 수행하는 DPB 존재의 가능성을 파악하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 bench scale 규모의 SBR 실험에 사용된 반응조로 반응조의 크기는 내경이 20 cm, 유효높이가 35 cm, 유효용적이 11 L 였으며, 재질은 원통형의 투명한 아크릴로 제작하였다. 혐기와 무산소조건을 위해 교반기를 설치하였으며, 호기조건은 미세 폭기 장치를 하부에 설치하여 용존 산소를 DO 1.5~2.0 mg/L가 되도록 공급하였다. 반응조의 운전시 최고 및 최저수위는 각각 35 cm, 18 cm 였으며, 유입수와 유출수의 이송은 정량펌프를 사용하였다. 유입유량은 6 L/cycle로 균일하게 주입하였으며, 반응조내의 MLSS 농도는 3,500 mg/L, 수리학적 총 체류시간은 11 hr 을 유지하였다.

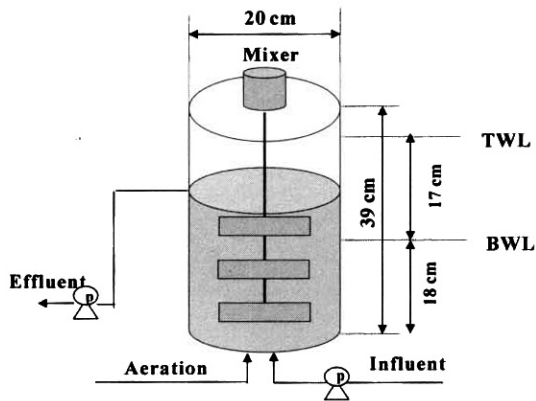


Fig. 1. Schematic diagram of bench scale SBR (TWL; top water level, BWL; base water level).

Table 1. Characteristics of synthetic wastewater

Item \ Phase	I	II	III
COD _{Cr} (mg/L)	675.5	398.5	205.2
SCOD _{Cr} (mg/L)	483.1	236.4	128.3
TKN (mg/L)	64.6	38.3	19.6
T-P (mg/L)	9.2	9.1	8.9
S-P (mg/L)	6.8	6.2	6.1
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	5.6(1.6)*	5.6(1.6)	5.6(1.6)
	31.5(9.0)	21(6.0)	10.5(3.0)
	38.5(11.0)	31.5(9.0)	-
	50.1(14.3)	-	-
COD/TKN ratio	10.5	10.4	10.5
COD/T-P ratio	73.4	43.8	23.0
F/M ratio (kg COD/kg MLSS · d)	0.44	0.25	0.12

*() : NO₃⁻-N loading(g NO₃⁻-N/kg MLSS)
TKN : total kjeldahl nitrogen

운전 주기는 초기유입 30분을 포함한 교반 90분, 폭기 120분, 교반 30분, 침전 60분, 배출 45분, 휴지 15분으로 총 360분을 1cycle로 하였다. 각 단계별 운전기간은 정상상태의 운전기간을 포함하여 약 25일이었으며, 반응조의 pH 는 7.5, 외부온도는 20℃를 유지하였다.

본 실험에서 유입하수는 합성폐수를 사용하였으며, Table 1과 같이 유입수의 유기물농도를 COD 농도로 평균 205.2 mg/L, 398.5 mg/L, 675.5 mg/L의 3단계로 변화시키면서 무산소 조건에서 NO₃⁻-N의 부하에 따른 인 방출 및 흡수, 탈질의 동시 진행 가능여부를 알아보았다. 또한 유기물부하와 질산염의 부하에 따른 S-P(Soluble phosphate) 및 NO₃⁻-N의 거동을 알아보고, 이를 토대로 인산염의 방출과 흡수속도 및 NO₃⁻-N의 탈질속도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 유기물 및 영양물질 제거특성

Fig. 2에는 SBR공정의 단계별 유기물, 질소 및 인의 제거효율을 비교하여 나타내었다. F/M비가 0.44 kg BOD/kg MLSS · d, COD/T-P비가 평균 73.4으로 유기물 부하가 높은 I 단계 실험에서는 COD_{Cr} 및 SCOD_{Cr}의 제거효율은 평균 91.4%, 90.7%로 매우 높았으며, T-N 및 T-P의 제거효율은 각각 82.3%, 83.5%였다. I 단계에서는 유기물 농도가 질소 및 인의 농도에 비해 상대적으로 높았기 때문에 전체적으로 질소, 인의 제거효율이 높은 것으로 판단된다. F/M비가 0.25 kg COD/kg MLSS · d, COD/T-P비가 평균 43.8 인 II 단계 실험에서는 COD_{Cr} 및 SCOD_{Cr}의 제거효율은 각각 평균 91.8% 및 90.0%로 I 단계와 같이 유기물 제거효율은 우수하였으며, T-N 및 T-P의 제거효율은 I 단계보다 약간 낮은 77.8%, 80.9%였다. 유기물과 질소 부하를 크게 낮춘 III단계 실험에서는 COD_{Cr} 및 SCOD_{Cr}의 제거효율은 각각 91.4% 및 87.9%로 I, II 단계와 큰 차이가 없었지만 T-P의 제거효율은 45.8%로 I, II 단계의 실험보다 현저히 낮았다. 이러한 이유는 혐기조건에서의 인 방출에 요구되는 유기물의 농도가 낮았고 이로 인해 호기조건에서의 인의 흡수 또한 감소하여 전체적으로 인산염의 제거효율이 낮아진 것으로 판단된다.

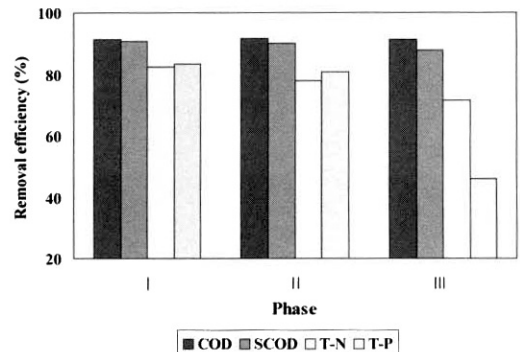


Fig. 2. Removal efficiency of COD and nutrient with various phase.

3.2. 무산소조건에서 질산염부하에 따른 S-P의 거동

Fig. 3은 I 단계와 II 단계 실험에서 NO₃⁻-N 부하를 1.6~14.3 g NO₃⁻-N/kg MLSS로 증가시켰을 때 단위공정별 S-P의 거동을 나타낸 그림이다. COD/T-P비가 73으로 높은 I 단계에서 유입수에 NO₃⁻-N을 1.6 g NO₃⁻-N/kg MLSS의 낮은 농도로 주입하였을 때 S-P의 방출농도는 약 28 mg/L였으며, 유입수에 NO₃⁻-N 부하를 증가시킨 결과 S-P의 방출농도는 점차적으로 감소하여 14.3 g NO₃⁻-N/kg MLSS의 고부하에서는 S-P의 방출은 미미하였다. 또한 NO₃⁻-N 부하가 낮은 조건에서 인 방출이 증가할 수록 무산소 및 호기 조건에서 S-P의 흡수도 잘 일어났다. NO₃⁻-N 부하를 14.3 g NO₃⁻-N/kg MLSS까지 증가시킨 조건에서는 무산소 조건에서 S-P의 방출 및 흡수는 급격히 감소되었으며 이로 인하여 호기조건에서의 S-P의 흡수도 감소되었다.

COD/T-P비가 44인 II 단계 실험에서는 I 단계와 유사한 인산염의 방출 및 흡수경향을 나타내었으나, 유기물의 농도가 I 단계보다 낮았기 때문에 유입수에 NO₃⁻-N을 1.6 g NO₃⁻-N/kg MLSS와 6.0 g NO₃⁻-N/kg MLSS의 낮은 농도로 주입한 경우 S-P의 방출농도는 각각 26 mg/L, 17 mg/L로 I 단계보다 약간 낮은 값을 보였다. NO₃⁻-N 부하를 9.0 g NO₃⁻-N/kg MLSS의 부하까지 증가시킨 결과 인산염의 방출 및 흡수는 거의 일어나지 않았고, 호기조건에서의 S-P의 흡수도 일어나지 않았다.

COD/T-P비가 23으로 가장 낮은 III 단계에서는 NO₃⁻-N 부하를 3.0 g NO₃⁻-N/kg MLSS까지 증가시킨 결과 무산소 조건에서 S-P의 방출 및 흡수는 거의 일어나지 않았다.

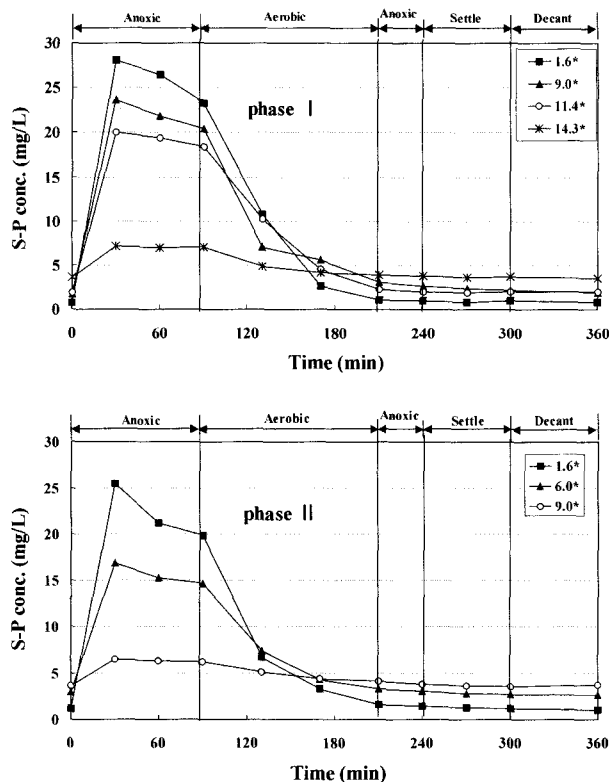


Fig. 3. Variation of phosphate concentration on nitrate loading in SBR(*unit : kg NO₃⁻-N/kg MLSS).

이것은 유기물의 농도가 I,II 단계에 비하여 상대적으로 낮았기 때문으로 인의 제거효율도 크게 감소하였다.

상기의 본 연구결과에 따르면 무산소조건에서 NO₃⁻-N 농도가 낮을수록 인방출율과 인흡수율이 높았으며, 인의 방출 및 흡수가 원활히 이루어지기 위해서는 유입수의 COD/T-P 비가 충분히 높아야 하는 것으로 판단된다.

한편, 유입 유기물농도가 높고, 질산성 질소가 높은 phase I의 경우 초기에 질산성질소 농도가 32~38mg/L로 높음에도 불구하고, 인이 용출되어 반응조내의 S-P농도는 20~23mg/L까지 증가하였으며, 다시 질산성질소 농도가 감소하면서 동시에 반응조내의 인농도도 감소하는 경향을 나타내어, 무산소조건에서 인의 방출 및 흡수 그리고 탈질의 세가지 현상이 동시에 연속으로 진행됨을 관찰할 수 있었다. 따라서 무산소 조건에서도 용해성 인의 흡수 및 탈질이 가능하다는 DPB(Denitrifying phosphorus removal bacteria)의 존재를 간접적으로 파악할 수 있었다(Zeng et al., 1999). 결과적으로 무산소 조건에서도 인의 방출 및 흡수가 가능하며 이 때 유기물 농도와 NO₃⁻-N 농도가 인의 방출 및 흡수에 가장 중요한 인자인 것으로 판단된다.

3.3. NO₃⁻-N의 거동

Fig. 4는 I 단계 실험에서 NO₃⁻-N 부하가 저부하인 1.6 g NO₃⁻-N/kg MLSS와 고부하인 14.3 g NO₃⁻-N/kg MLSS인 두조건에서의 질소와 인의 거동을 나타낸 그림이다.

질산염의 부하가 낮은 조건에서는 무산소 조건에서 S-P의 방출 및 흡수가 진행되는 동시에 탈질이 일어남을 알

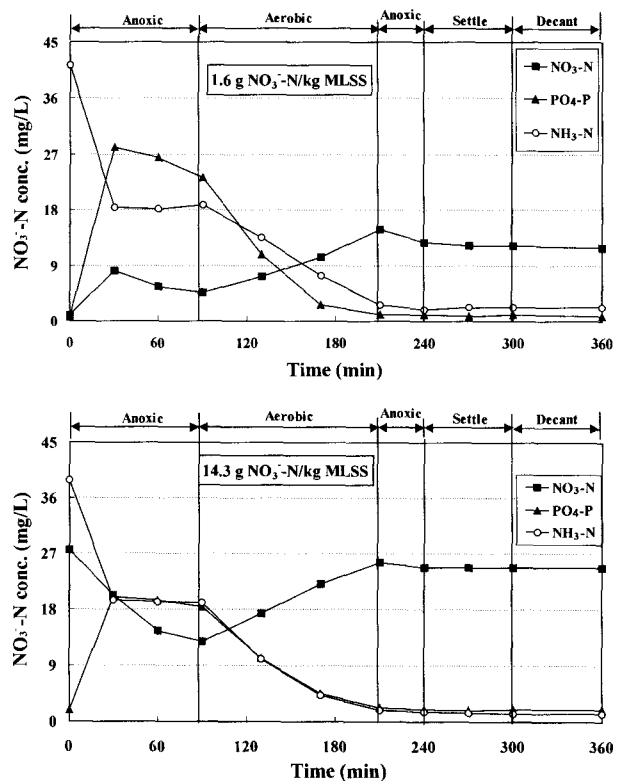


Fig. 4. Variation of nitrogen and phosphorus concentration on nitrate loading in phase I.

수 있었으며, NO_3^- -N 부하를 증가시킨 경우에는 탈질은 활발하게 진행되었지만 S-P의 방출과 흡수는 질산염의 부하가 낮은 경우보다 상당히 감소한 것을 알 수 있다. 호기조건에서는 유입 NH_3 -N의 질산화로 인하여 NO_3^- -N 농도가 다시 증가하였으며 호기조건 후 내생탈질을 유도하기 위하여 실시한 교반 30분에서 탈질은 거의 일어나지 않았다. 이러한 이유는 폭기 후의 용존 산소가 교반 30분 동안 반응존에 존재하면서 무산소 조건을 형성하지 못하였기 때문으로 판단되며, ORP를 측정해 본 결과 약 100 mV~150 mV를 나타내어 호기 조건임을 확인할 수 있었다.

3.4. S-P의 방출 및 흡수속도와 NO_3^- -N의 탈질속도

Fig. 5는 I, II 단계에서 NO_3^- -N 부하에 따른 S-P의 방출 및 흡수농도를 나타낸 것으로 NO_3^- -N 부하를 증가시킬수록 무산소조건에서 S-P의 방출 및 흡수 농도는 감소함을 알 수 있었으며, 이에 따른 호기조건에서의 S-P의 흡수 또한 감소하였다. I 단계에서 NO_3^- -N 부하를 14.3 g NO_3^- -N/kg MLSS까지 증가시킨 결과 S-P의 방출 및 흡수가 거의 일어나지 않았으며, II 단계에서는 9.0 g NO_3^- -N/kg MLSS, III 단계는 3.0 g NO_3^- -N/kg MLSS의 부하에서 S-P의 흡수가 거의 일어나지 않았다. S-P의 방출 및 흡수 농도를 도시해본 결과, 방출농도보다 무산소 조건에서의 흡수 농도와 호기조건에서의 흡수농도의 합이 더 높아 S-P이 무산소 조건을 거쳐 호기조건에서 과잉 흡수되어 제거됨을 알 수 있었다.

Fig. 6은 I, II 단계에서 NO_3^- -N 부하에 따른 S-P의 방

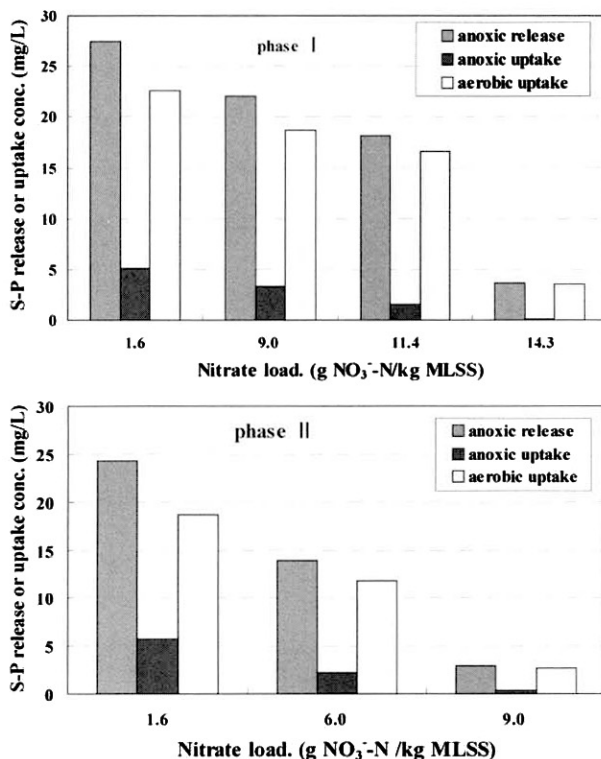


Fig. 5. Effect of nitrate loadings on P release and uptake in anoxic zone of SBR.

출 및 흡수속도와 탈질속도를 함께 나타낸 것으로 NO_3^- -N 부하가 증가할수록 S-P의 방출 및 흡수속도는 감소하였고 탈질속도는 완만히 증가하는 경향을 보였다.

I 단계에서 11.4 g NO_3^- -N/kg MLSS 부하까지는 무산소 조건에서 S-P의 방출 및 흡수가 원활하게 일어났으나 14.3 g NO_3^- -N/kg MLSS 부하까지 증가시킨 결과 무산소 조건에서 S-P의 방출 및 흡수 속도는 급격하게 감소하였으며, 탈질속도는 다소 증가하는 경향을 보였다. NO_3^- -N 부하가 낮은 1.6 g NO_3^- -N/kg MLSS에서의 S-P의 방출속도는 0.94 kg PO_4^{3-} -P/kg MLSS · d였으며, 이후 14.3 g NO_3^- -N/kg MLSS의 부하에서는 0.12 kg PO_4^{3-} -P/kg MLSS · d로 감소하였다.

II 단계에서는 NO_3^- -N 부하를 9.0 g NO_3^- -N/kg MLSS까지 증가시킨 결과 무산소 조건에서 S-P의 방출 및 흡수속도는 급격하게 저하되었으며, 탈질속도는 질산염의 부하에 비례하여 증가하는 경향을 보였다. NO_3^- -N 부하가 낮은 1.6 g NO_3^- -N/kg MLSS의 부하에서 S-P의 방출속도는 0.83 kg S-P/kg MLSS · d였으며, 이후 9.0 g NO_3^- -N/kg MLSS의 부하에서는 0.1 kg S-P/kg MLSS · d로 감소하였다.

Fig. 7은 F/M비의 변화에 따른 탈질속도와 S-P의 방출 및 흡수속도를 나타낸 것으로서 F/M비가 가장 낮은 0.12 kg COD/kg MLSS · d인 경우 S-P의 방출 및 흡수는 거의 일어나지 않았으며 F/M비가 증가할수록 S-P의 방출 및 흡수속도는 증가하는 경향을 보였고, 탈질속도 또한 증가하였다. 이는 높은 F/M비에서 혐기 및 무산소 조건에서의 S-P

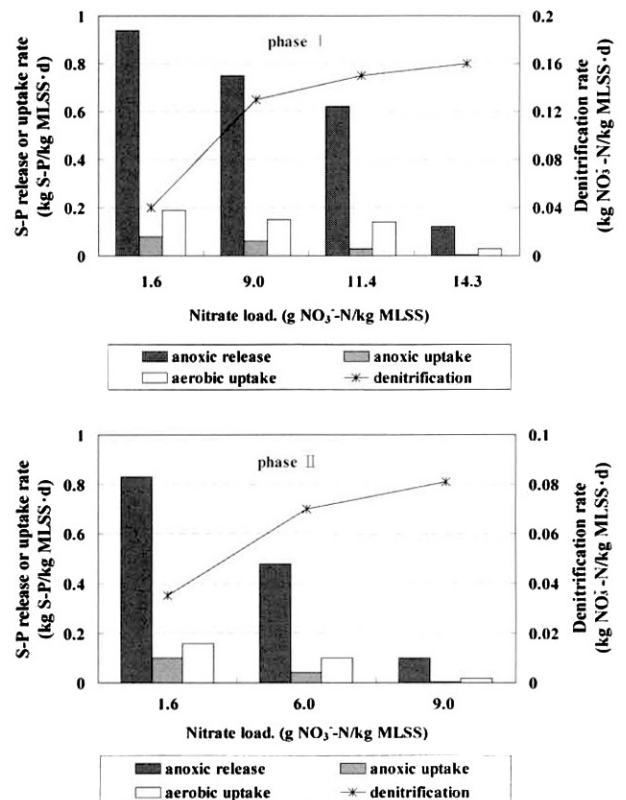


Fig. 6. Effect of nitrate loadings on phosphorus behavior and denitrification rate in anoxic zone of SBR.

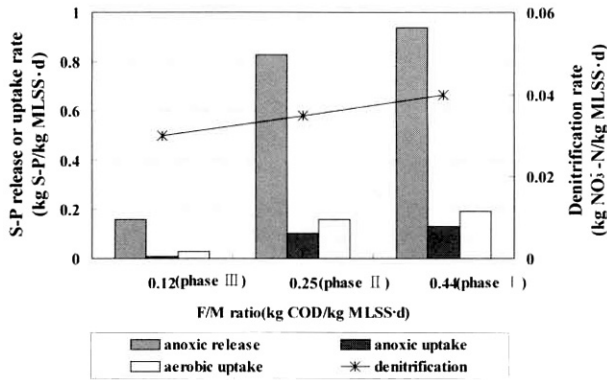


Fig. 7. Effect of F/M ratio on phosphorus behavior and denitrification rate in anoxic zone of SBR.

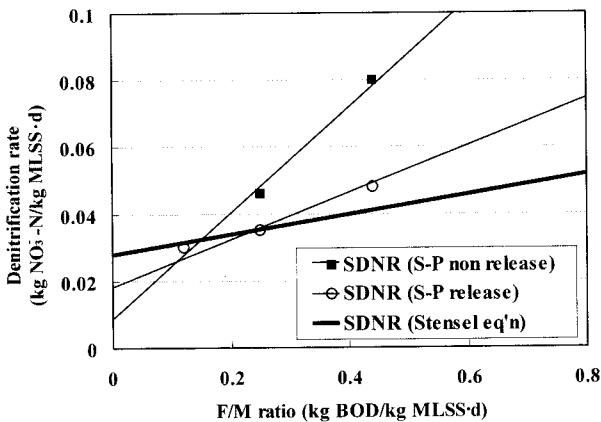


Fig. 8. Effect of F/M ratio on specific denitrification rate.

의 방출에 필요한 유기물이 충분하였기 때문이며, 또한 탈질에 필요한 유기물도 많았기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 NO₃-N 부하가 증가되는 무산소 조건에서 S-P 이 방출되는 경우와 방출되지 않는 경우의 비탈질속도 (SDNR, specific denitrification rate)를 비교한 것이다.

$$SDNR = 0.03(F/M) + 0.029 \quad (1)$$

위의 식에서;

SDNR = 탈질조에서의 탈질속도 (g NO₃-N/g VSS·d)

F/M = 탈질조에서의 유기물 부하 (g BOD/g VSS·d)

식 (1)은 Brudick 등(1982)이 실험을 통하여 탈질조에서의 F/M비에 따른 비탈질속도를 구하여 나타낸 식으로 전형적인 비탈질속도의 값은 0.04~0.15 g NO₃-N/g VSS·d 이다. Fig. 8에 실험식 (1)과 본 실험의 결과를 함께 도시 하였는데, F/M비가 낮은 경우는 실험식의 비탈질속도가 더 높았으며 F/M비가 증가할수록 본 실험에서의 비탈질속도가 더 높았다. 또한 S-P이 방출되지 않는 경우와 방출되는 경우의 비탈질속도를 비교한 결과 S-P이 방출되지 않는 경우의 비탈질속도가 S-P이 방출되는 경우의 비탈질속도 보다 높았다. 이렇게 S-P이 방출되는 경우의 비탈질속도가 더 낮은 이유는 무산소 조건에서 탈질을 일으키는 일반적인 탈질미생물이 인흡수와 탈질을 동시에 수행하는 DPB

미생물보다 증식속도 및 탈질속도가 높기 때문으로 판단 된다.

4. 결론

Bench scale 규모의 연속회분식반응조(SBR)를 이용하여 유기물 및 질산염의 부하에 따른 용해성 인의 흡수와 방출 속도를 측정하고, 무산소조건에서 인흡수 및 탈질을 동시에 수행하는 DPB 존재의 가능성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유기물부하에 따른 질소 및 인의 제거효율은 F/M비와 C/P비가 높을수록 증가하였는데 F/M비가 0.44 kg COD/kg MLSS·d, C/P비가 73.4인 조건에서는 T-N, T-P는 각각 82.3%, 88.2%로 높은 제거효율을 보였으나, F/M비가 0.12 kg COD/kg MLSS·d, C/P비가 0.12인 유기물 부하가 낮은 조건에서는 T-N, T-P 제거효율은 각각 71.4%, 42.4%로서 특히 인 제거효율이 낮았다.
2. SBR 공정에서 유기물 및 질산염부하에 따른 무산소조건에서의 인 방출 및 흡수를 측정한 결과 유기물 부하가 높을수록, 질산염의 부하가 낮을수록 인의 방출 및 흡수가 잘 되었다. 또한 질산염이 존재하는 무산소 조건에서 탈질과 함께 인의 방출 및 흡수가 동시에 진행되어 DPB의 존재를 간접적으로 확인하였다.
3. 무산소조건에서 질산염의 부하에 따른 탈질속도와 S-P의 방출 및 흡수속도를 측정한 결과 탈질속도는 질산염의 부하가 높을수록 비례하여 증가하였으며, 인의 방출 및 흡수는 반대의 경향을 보였다.
4. 무산소조에서 S-P의 방출 및 흡수가 진행되는 동안 탈질과정도 함께 진행되었으며, 각각의 F/M비에서 탈질속도는 F/M비 0.44 kg COD/kg MLSS·d에서는 최대 0.16 kg NO₃-N/kg MLSS·d의 탈질속도를 나타내었고, F/M비 0.25 kg COD/kg MLSS·d에서는 0.08 kg NO₃-N/kg MLSS·d, F/M비 0.12 kg COD/kg MLSS·d에서는 0.05 kg NO₃-N/kg MLSS·d의 탈질속도를 나타내었다.
5. S-P이 방출되지 않는 경우와 방출되는 경우의 비탈질속도를 비교한 결과 S-P이 방출되지 않는 경우의 비탈질속도가 S-P이 방출되는 경우의 비탈질속도보다 높았다. 이렇게 S-P이 방출되는 경우의 비탈질속도가 더 낮은 이유는 무산소 조건에서 탈질을 일으키는 일반적인 탈질미생물이 인흡수와 탈질을 동시에 수행하는 DPB 미생물보다 증식속도 및 탈질속도가 높기 때문으로 판단 된다.

참고문헌

박종복, 최의소, 박명균, Pilot 규모의 5-stage 영양소 제거공정에서 Denitrifying Phosphorus Accumulating Organisms (dPAOs) 미생물의 특징, *대한환경공학회지*, 24(12), pp. 2111-2117 (2002).

- Brudick, C. R., Refling, D. R., and Stensel, H. D., Advanced Biological Treatment to Achieve Nutrient Removal, *JWPCF*, **54**, pp. 1078-1086 (1982).
- Kern-Jespersen, J. P. and Henze, M., Biological Phosphorus Uptake under Anoxic and Aerobic Conditions, *Water Res.*, **27**, pp. 617-624 (1993).
- Kuba, T., Smolder, G. J. F., van Loosdrecht, M. C. M., and Heijnen, J. J., Biological Phosphorus Removal from Wastewater by Anaerobic Anoxic Sequencing Reactor, *Water Sci. Technol.*, **27**(5-6), pp. 241-252 (1993).
- Li, J., Xing, X. H., and Wang, B. Z., Characteristics of Phosphorus Removal from Wastewater by Biofilm Sequencing Batch Reactor(SBR), *Biochemical Engineering Journal*, pp. 279-285 (2003).
- Tetreault, M. J., Benedict, A. H., Kaemper, C., and Barth, E. F., Biological Phosphorus Removal : a Technology Evaluation, *JWPCF*, **58**(8), pp. 823-837 (1986).
- Wilderer, P. A., Irvine, R. L., and Foronzy, M. C., Sequencing Batch Reactor Technology, IWA (2001).
- Zeng, R. J., Saunders, A. M., Yuan, Z., and Blackall, L. L., Identification and Comparison of Aerobic and Denitrifying Polyphosphate Accumulating Organisms, *Biotech. and Bioeng.*, **83**(2), pp. 140-148 (2003).