

동시 질산화-탈질(SND) 반응을 적용한 MBR 반응조에서 질소 및 인 제거 특성 Nitrogen and Phosphorus Removal in Membrane Bio-Reactor (MBR) Using Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND)

전동걸 · 임현숙 · 안찬현 · 이봉규* · 전항배[†] · 박찬일

Dong-Jie Tian · Hyun-Suk Lim · Chan-Hyun An · Bong-Gyu Lee* · Hang-Bae Jun[†] · Chan-Il Park

충북대학교 환경공학과 · *충북보건환경연구원

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

*Institute of Health and Environment

(2013년 9월 13일 접수, 2013년 10월 14일 채택)

Abstract : Simultaneous nitrification and denitrification (SND) occurs concurrently in the same reactor under micro dissolved oxygen (DO) conditions. Anaerobic zone was applied for phosphorus release prior to an aerated membrane bio-reactor (MBR), and anoxic zone was installed by placing a baffle in the MBR for enhancing denitrification even in high DO concentration in the MBR. Phosphorus removal was tested by alum coagulation in the anaerobic reactor preceding to MBR. DO concentration were 2.0, 1.5, 1.0, 0.75 mg/L in the MBR at different operating stages for finding optimum DO concentration in MBR for nitrogen removal by SND. pH was maintained at 7.0~8.0 without addition of alkaline solution even with alum addition due to high alkalinity in the raw sewage. Both TCODcr and NH_4^+ -N removal efficiency were over 90% at all DO concentration. TN removal efficiencies were 50, 51, 54, 66% at DO concentration of 2.0, 1.5, 1.0, 0.75 mg/L, respectively. At DO concentration of 0.75 mg/L with addition of alum, TN removal efficiency decreased to 54%. TP removal efficiency increased from 29% to 95% by adding alum to anaerobic reactor. The period of chemical backwashing of the membrane module increased from 15~20 days to 40~50 days after addition of alum.

Key Words : Membrane Bio-reactor (MBR), Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND), Dissolved Oxygen (DO), Biological Nitrogen Removal (BNR)

요약 : 동시 질산화 탈질은 미세 용존 산소하에 한 반응조내에서 일어난다. 따라서, 본 연구에서는 인 방출을 위해 공기가 공급되는 MBR 전단에 혐기성 존을 만들어주었으며, 높은 DO 농도에서 탈질효율을 향상시켜 주기 위해서는 MBR 내에 배플을 설치하여 무산소 존이 이루어지게 하였다. 그리고 인 제거를 위한 테스트는 MBR 전단의 혐기성 반응조에 알럼 응집제를 투입하여 수행하였다. 질소 제거를 위한 SND의 최적 DO 농도 도출은 MBR 내 DO 농도를 2.0, 1.5, 1.0, 0.75 mg/L의 다양한 조건에서의 운전을 통해 수행하였다. 심지어 높은 알칼리성 하수라 알럼 응집제를 투입하였을 때 알칼리 용액 첨가 없이도 pH는 7.0~8.0로 유지되었다. TCODcr와 NH_4^+ -N의 제거 효율은 모든 DO 농도에서 90% 이상이였다. DO 농도 2.0, 1.5, 1.0, 0.75 mg/L에서의 TN 제거효율은 각각 50, 51, 54, 66%이였다. DO 농도 0.75 mg/L 조건에서 알럼을 첨가한 결과 TN 제거효율은 54%로 감소하였다. 혐기성 반응조에 알럼을 투입한 결과 TP 제거효율은 29%에서 95%로 향상되었다. 그리고 알럼 투입 후 분리막 모듈의 화학적 세정 주기는 15~20일부터 40~50일로 늘어났다.

주제어 : 막 결합형 생물반응조, 동시질산화탈질, 용존산소, 생물학적 질소제거

1. 서론

수중의 질소와 인은 수계의 부영양화를 야기하는 원인물질로서 수자원의 보호 및 확보에 큰 어려움을 주고 있다. 이러한 질소 및 인을 동시에 제거하기 위해 하·폐수처리 분야에서 많은 기술들이 개발되어 왔으며, 국내 대부분의 하수처리장에서는 활성슬러지 공법이나 그 변법들로 이루어져 있다. 수중의 질소를 제거하기 위해서 일반적으로 질산화반응과 탈질반응을 이용하는 방법이 가장 폭넓게 이용되고 있으며, 그 외 특정 미생물의 물질대사에 기인하는 SHARON-ANAMMOX공정이나 동시 질산화-탈질(SND) 반응 등이 대표적으로 이루어지고 있다.^{1,2)}

그 중, 동시 질산화-탈질 반응은 반응조 내의 낮은 DO농

도에서 호기 영역과 무산소 영역이 공존하는 이중 플록이 형성되어 질산화와 탈질이 동시에 진행되는 것으로 보고되고 있으며,³⁾ Munch 등⁴⁾은 호기반응조 내에서 동시에 질산화와 탈질이 일어나는 것을 관찰하였다. Pochana 등⁵⁾은 SND의 원인을 물리적인 원인과 생물화학적 원인으로 구분하였는데, SND의 물리적인 원인은 반응조 내의 DO 농도 구배에 의하여 상대적으로 용존산소량이 많은 구간에서 질산화가 일어나게 되고, 용존산소량이 적은 구간에서 탈질이 일어난다는 것이며, 생물화학적 원인으로는 미생물이 군집을 형성한 플록은 상대적으로 산소의 접촉이 많은 표면에 호기성 질산화 미생물이 우점하게 되고, 플록의 내부로 갈수록 용존산소가 적어져서 탈질 미생물이 우점하게 되어 질산화와 탈질이 동시에 일어난다고 보고하고 있다.

[†] Corresponding author E-mail: jhbcbe@chungbuk.ac.kr Tel: 043-261-2470 Fax: 043-271-7976

동시 질산화-탈질 반응의 주요 인자로는 수리학적 체류시간(HRT)과 DO농도 플럭스의 크기 등으로 알려져 있으며, Jeff 등⁶⁾은 그 중 DO농도를 가장 중요한 인자로 보고하고 있다. 효율적인 질산화 반응을 유도하기 위해서는 반응조의 SRT를 길게 유지하여 성장속도가 느린 질산화 미생물의 농도를 높게 유지해주어야 하며, 이를 보완하기 위하여 침전지를 대신하는 침지형 분리막을 포함한 MBR 반응조를 도입하였다. MBR의 장점은 수리학적 체류시간을 기존 공정에 비하여 약 1/2 정도 낮게 운전이 가능하며, 긴 SRT로 운전이 가능하여 미생물을 고농도로 유지가 가능할 뿐 아니라 침전지를 분리막이 대신하여 반응조가 Compact한 장점이 있다.⁷⁾ 하지만, 긴 SRT에서 미생물의 농도를 고농도로 운영하는 MBR의 특성상 반응조 내에 인이 축적되어 인 제거에는 큰 문제점이 있다.⁸⁾

본 연구에서는 MBR반응조 내에 혐기조건을 구성하고 호기조 내에 격벽을 설치하여, 동시 질산화-탈질의 주요 인자인 DO농도에 따른 동시 질산화-탈질과 유기물 제거의 영향을 평가하였고, 혐기조 내에 Alum을 첨가하여 인 제거와 막 차압 변화를 관찰하였다. 또한, 일반적인 도시하수 유입 유량의 변동 폭을 고려하여 실제 하수와 같이 유량변동을 조절하여 운영하였다.

2. 실험재료 및 방법

본 연구에서 사용된 반응조의 총 용량은 10 L로 혐기성 반응조와 격벽이 있고 분리막을 설치한 호기성 반응조로 구성되어 있다. 반응조내 DO농도차를 나타낼 수 있도록 하여 SND의 효율을 향상시킬 수 있도록 제작하였다(Fig. 1). 각 반응조의 유효용적은 혐기성 반응조 1.8 L, 무산소조 1.8 L, 호기조 6.4 L이며, 호기조 내부에 침지형 막(membrane)을 설치하고 막 오염(fouling) 방지를 위해 막모듈 바닥에 폭기장치를 설치하고 8분 운전 2분 휴지기를 두어 운전하였다. 무산소조와 호기조는 자연 순환될 수 있도록 하였

고, 무산소조와 혐기조 사이에는 정량펌프를 이용하여 슬러지를 반송시켜 주었다. 혐기성 반응조 바닥으로 원수가 유입되고 10 rpm으로 교반시켜 단락류를 방지시켜 주었다. 그 외 용존산소 농도는 호기조 내에 장착한 DO meter와 폭기를 위한 산기장치의 자동제어를 통해 수행되며, 호기조와 무산소조 사이의 내부순환은 무산소조 내에 장착된 스크류 타입의 임펠레 회전을 통해 무산소조 내에 상향류의 유체흐름을 생성시켜 물질순환이 이루어지도록 하였다. 따라서, 본 시스템의 DO 농도는 호기조 내에서만 통제하였다.

또한, 압력게이지를 통해 막의 차압을 확인하여 압력이 30 cmHg 이상 도달 시 2% H₂SO₄ 용액에 분리막을 2시간 동안 넣고, 이후 증류수로 다시 역세척한 후 사용하였다. 연구에 사용한 막의 사양은 Table 1과 같다. 반응조 내 슬러지는 인근 도시하수종말처리장 반송슬러지를 이용하였으며, 용존산소(DO)농도는 2.0 (Run 1), 1.5 (Run 2), 1.0 (Run 3), 0.75 (Run 4) mg/L로 조절하여 운전하였다. Run 5에서는 호기조의 DO농도를 0.75 mg/L로 하고, 혐기성 반응조에 응집제(Al₂SO₄·18H₂O, Jar test를 통한 설정 범위: 30-150 mg/L)를 주입하여 T-P 제거효율과 막간 차압을 관찰하였다.

MLSS (mixed liquor suspended solid) 농도는 4,000~5,000 mg/L로 유지하였으나, 혐기성 반응조 MLSS가 무산소조나 호기조보다 다소 낮았고, Run 5에서 응집제를 주입한 후

Table 1. Characteristics of the membrane module

Material	PVDF (Polyvinylidene fluoride)
Inner/Outer diameter	1 mm/2 mm
Pore size	0.1 μ m
Operation pH	2 - 12
Tensile strength	200 N
Surface area	0.027 m ²
Flux	0.4 - 0.5 m ³ /m ² ·day
Operation pressure	0 - 40 cmHg

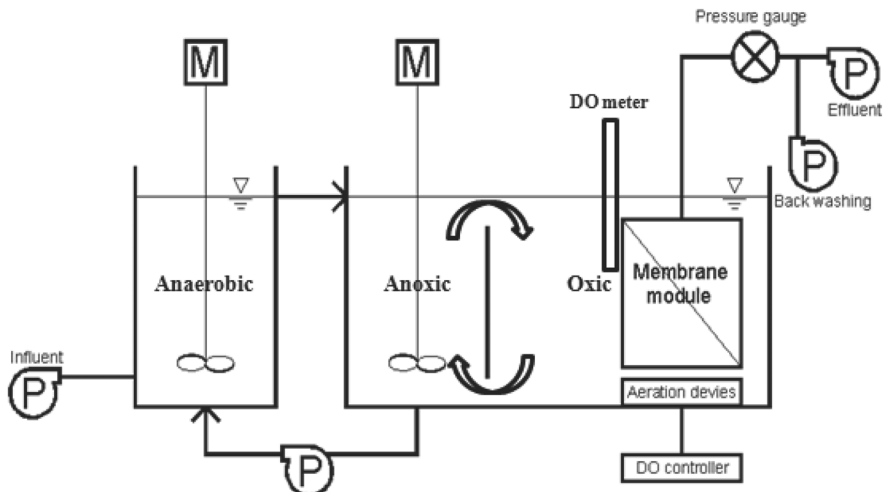


Fig. 1. Schematic diagram of membrane bio-reactor (MBR) process.

Table 2. Operation conditions of membrane bio-reactor

Item	Membrane bio-reactor				
	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5
Q, L/day			30		
Volume, L			10		
HRT, hr			8		
SRT, day			30		
Temperature, °C			20±1		
DO, mg/L	2.0	1.5	1.0	0.75	0.75
Coagulant, mg/L	-	-	-	-	50

Table 3. Characteristics of the influent raw sewage

Parameter	Average, mg/L
TCOD _{Cr}	202.2
SCOD _{Cr}	96.2
T-N	38
NH ₄ ⁺ -N	23
C/N ratio	5.4
T-P	3.6
pH	7.5
Alkalinity	168.5

혐기성 반응조의 MLSS는 7,000~8,000 mg/L로 증가하였다. 전체 수리학적 체류시간(HRT)은 8 hr로 혐기성 반응조 1.5 hr, 무산소조 및 호기조 6.5 hr이었다. 무산소조에서 혐기조로의 반송은 0.5Q로 설정하였다. 고형물 체류시간(SRT)은 30일이었으며, 기타 운전 조건은 Table 2와 같다.

실험에 사용한 원수는 인근 도시하수종말처리장에서 1차 침전지로 유입하는 하수를 채취한 것으로 유기물질 평균 농도는 약 202.2 mg/L, 총질소와 암모니아성 질소는 각각 38, 23 mg/L이었다. 유입수의 C/N (TCOD/TN)비는 약 5.3이었고, 기타 성상은 Table 3과 같다.

유입원수 및 각 단계의 반응조에서 채취한 시료의 COD(cr)는 Standard methods의 closed reflux법으로 측정하였고, 암모니아성 질소는 Nessler법(NH₄⁺-N Distillation method, HACH, USA)을 이용하여 측정하였으며, 아질산성 질소(NO₂⁻-N) 및 질산성 질소(NO₃⁻-N)는 conductivity detector가 설치된 ion chromatography (Metrohm modular, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 기타 분석항목은 Standard methods에 준하여 측정하였고, ion meter를 이용하여 pH를 측정하였으며, DO는 YSI 5000 모델의 DO meter를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분리막의 차압 변화

Fig. 2는 운전기간동안 분리막의 차압 변화를 나타낸 것이다. 막의 화학적 세정 후 초기 막의 차압은 약 10 cmHg 정도로 나타났으며, 막의 차압이 30 cmHg까지 증가하면 화

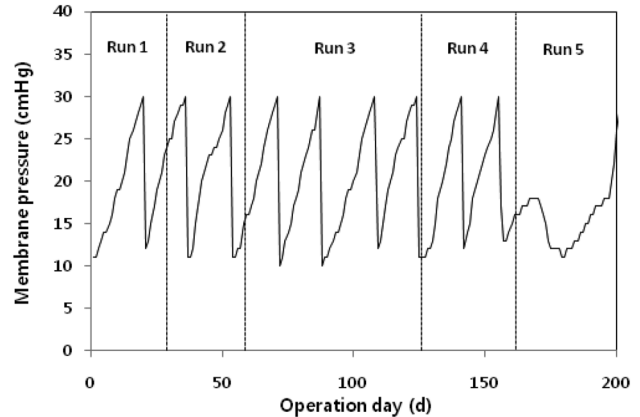


Fig. 2. Variation of membrane pressure at different operating conditions.

Table 4. MLSS and backwashing cycle at different operating conditions

	Anaerobic (mg/L)	Anoxic (mg/L)	Aerobic (mg/L)	Backwashing Cycle time (d)
Run 1	2825	4807	4898	18
Run 2	3854	4532	5180	18
Run 3	4074	4731	4993	19
Run 4	4244	4904	5252	17
Run 5	8480	5191	5382	47

학세정을 시행하였다. 화학세정 주기는 15~20일 정도이었으며, 세정후 막의 차압은 큰 변화 없이 초기의 값인 10 cmHg로 회복하였다. 혐기성 반응조에 인을 제거하기 위하여 응집제를 주입할 경우(Run5) 막간 차압 증가속도가 느려졌으며, 세정주기가 40~50일 정도로 길어졌다. 이성민⁹⁾은 하수 방류수를 여과막으로 처리할 경우 응집제를 주입하면 여과막의 투과성능이 향상된다고 보고하였다.

분리막을 적용한 MBR공정의 혐기성 반응조에 응집제를 주입할 경우 Table 4와 같이 혐기조의 MLSS가 2배정도 급격하게 증가하였고, 호기조의 MLSS도 약간 증가하였다. 잉여슬러지를 혐기조에서 폐기하였기 때문에 응집제 주입으로 인한 호기조의 MLSS는 혐기조와 달리 급격하게 변하지는 않았다. 결과적으로 인을 제거하기 위하여 MBR공정에 응집제를 주입할 경우 MLSS는 증가하나 분리막의 운전시간 및 세정 주기를 대폭적으로 향상시키는 것으로 나타났다.

3.2. 질소 제거

유입원수의 평균 암모니아성 질소 농도는 23 mg/L (12~30 mg/L)이었으며, TN 농도는 약 38 mg/L (30~45 mg/L)이었다. 유입 원수의 유기물 농도를 고려하였을 때, 평균 TCOD/NH₄⁺-N비는 약 8.8정도이고, TCOD/TN (C/N) 비는 약 5.3이었다. 일반적으로 탈질이 효과적으로 일어나기 위한 최적의 C/N비는 10 정도로 알려져 있어, 본 원수의 C/N비는 탈질을 위한 조건보다는 낮아 충분한 탈질효율을 기대하기 어려울 것으로 예상된다.³⁾

DO농도가 0.75~2.0 mg/L 범위(Run 1~4)에서는 질산화 효율이 DO 농도와 관계없이 90% 이상으로 나타났다(Run 1: 0~0.5 mg/L; Run 2: 0~1.8 mg/L; Run 3: 0~1.62 mg/L; Run 4: 0~2.71 mg/L 유출수 내 잔류 NH_4^+ -N농도). 일반적인 활성슬러지 공정에서 안정적인 질산화를 위해서는 DO농도가 2.0 mg/L 이상으로 알려져 있지만,³⁾ 본 연구에서는 DO농도 0.75 mg/L에서도 90% 이상의 질산화 효율을 나타내었다. 이는 MBR의 특성상 SRT를 길게 유지할 수 있어 성장속도가 낮은 질산화 미생물을 효과적으로 배양할 수 있고, 고농도의 MLSS를 유지할 수 있었기 때문인 것으로 생각된다. 격벽을 설치하지 않은 MBR-SND에 대한 연구⁷⁾에서는 DO 농도가 1.3~1.5 mg/L에서 TN제거효율이 65.3%로 가장 높았다고 하였으나, 본 연구에서는 동일한 HRT 조건에서 DO 농도가 0.75 mg/L에서 TN제거효율이 66%로 가장 높게 나타났다(Fig. 4, Table 5). 이 결과로부터 MBR-SND 반응조 내 격벽의 설치는 반응조 내부에서 일정 방향의 유체 흐름을 유도하고 낮은 DO 농도에서 무산소 영역과 호기성 영역이 보다 뚜렷이 세분화시켜 DO 농도 0.75 mg/L에서 가장 높은 질소 제거효율을 나타냄을 확인할 수 있었다.

Alum을 50 mg/L 주입한 Run 5에서는 질산화 효율이 급

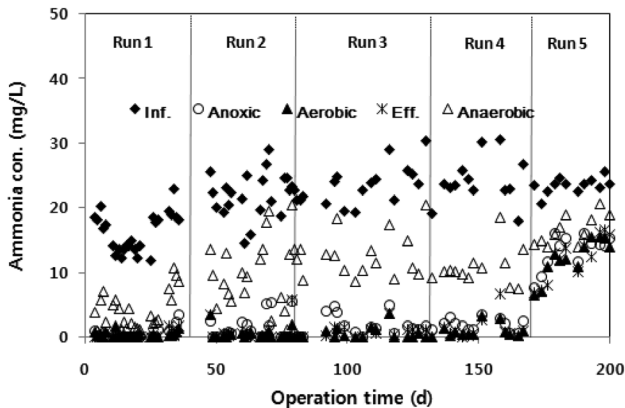


Fig. 3. Variation of NH_4^+ -N concentration at different operating conditions.

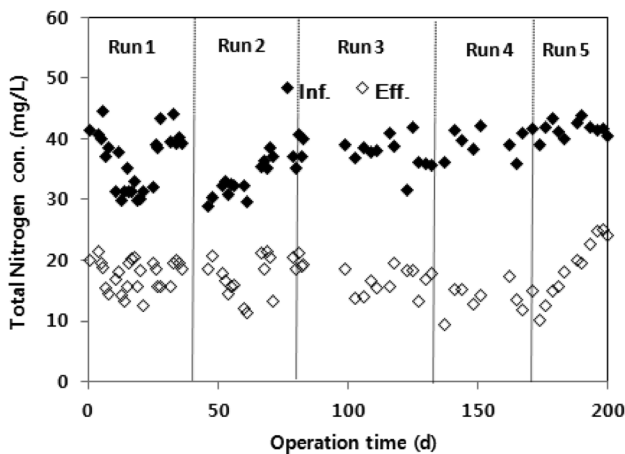


Fig. 4. Variation of TN concentration at different operating conditions.

Table 5. Variation of influent and effluent total nitrogen concentration and removal efficiencies at each run of operations

	Inf.	Eff.	Removal (%)
Run 1	36.53	17.59	52%
Run 2	33.00	16.50	50%
Run 3	37.74	17.40	54%
Run 4	39.14	13.27	66%
Run 5	41.70	19.06	54%

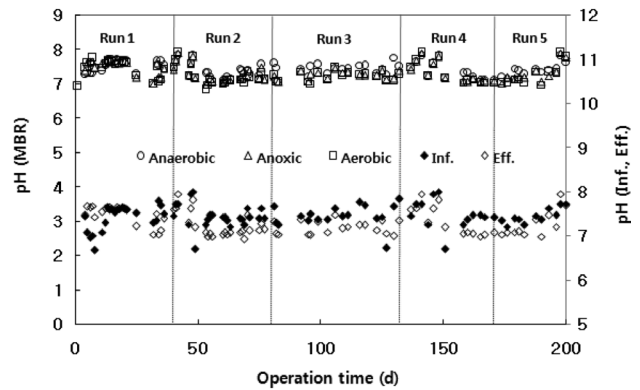


Fig. 5. pH variation in each reactor at different operating conditions.

격히 감소함과 동시에 전반 TN 제거효율도 함께 감소하였다. 응집제 주입 없을 때 TN 제거효율이 66%에서 54%로 낮아졌고, Alum 주입으로 인한 pH 변화는 거의 없었다(Fig. 5). 이로부터 Alum 주입은 SRT가 긴 MBR 내 성장속도가 느리고 외부 환경조건에 민감한 질산화 미생물에 있어서 제한작용을 일으켜 제거효율이 급격히 떨어진 것으로 추정된다. 김¹⁰⁾은 MBR반응조 내 Alum 주입시 TN 제거에 영향을 미친다고 보고하였다. 즉, Alum 주입이 없는 조건에서 T-N 제거효율 64.8%에서 Alum을 20 mg/L 주입하고 나서 58.8%로 낮아졌고, 이는 성장속도가 느리고 외부 환경조건에 민감한 질산화 미생물이 응집제 주입에 따라 저해를 받았기 때문이라 하였다. 응집제 주입에 따라 반응조 내의 pH와 알칼리도가 낮아짐에 따라 질산화에 영향을 미친다고 고려해볼 수 있으나, 본 연구에서의 운전기간 동안 반응조 내의 pH는 항상 7.0~8.0 범위를 유지된 것으로 보아 pH와 알칼리도의 영향은 없는 것으로 판단된다.

3.3. 유기물 제거

Fig. 6은 DO농도 레벨에 따른 TCOD 제거 거동을 나타낸 것이다. 0.75 mg/L의 낮은 DO 농도에서도 TCOD 제거 효율은 크게 변하지 않았으나, alum을 주입한 Run 5의 경우 유출수의 농도가 52 mg/L까지 상승하고 있다. Table 6은 실험기간 중 DO농도에 따라 제거된 TCOD의 평균 농도를 정리한 것이다. DO가 2.0~1.5 mg/L로 운전된 Run 1, 2에서는 유출수의 TCOD가 10 mg/L 이하로 나타나, 95% 이상의 높은 제거효율을 보였다. DO농도가 1.0~0.75 mg/L로 운전된

Table 6. Influent and effluent TCODcr and their removal efficiencies at different operating conditions

	Influent	Effluent	Removal eff. (%)
Run 1	176.3	4.5	97
Run 2	211.3	9.9	95
Run 3	234.3	13.9	94
Run 4	220.7	8.9	96
Run 5	172.2	52.3	70

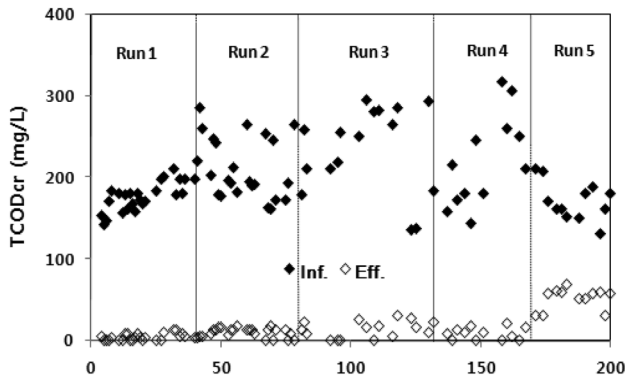


Fig. 6. TCOD removal at each Run with different DO levels.

Run 3, 4에서는 Run 1, 2에 비하여 유출수의 TCOD 농도가 20 mg/L 이하로 다소 높게 측정이 되었지만, 제거효율은 90% 이상이었다. 박노백¹¹⁾은 MBR에서 DO농도가 0.7 mg/L 이상에서는 유기물 제거에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고하고 있으며, Qingjuan 등¹²⁾은 MBR내 DO농도가 0.5~0.8 mg/L에서도 유기물 제거효율이 92% 이상 유지되었다고 하였다.

DO농도 0.75 mg/L에서 응집제를 주입하여 운영한 Run 5에서는 유출수의 TCOD 농도가 약 50 mg/L 정도로 제거효율이 더 감소하였다. 이는 Alum의 주입으로 인해 생성된 수화물이나 침전물 등이 미생물의 대사활동을 저해 및 물질전달을 방해하기 때문이라 생각된다. 어성욱¹³⁾은 활성슬러지 공정에 응집제를 첨가하였을 경우 SS 및 TCOD 제거에 효과적인 것으로 보고한 바 있으나, 이는 침전지에서 응집제를 주입하여 pin floc과 sludge bulking문제를 해결하였기 때문이라고 설명하고 있다. MBR에서는 SRT가 길어 미생물의 활성도가 다른 활성슬러지 공정에 비해 낮은 편으로 질산화뿐만 아니라 탈질반응에도 영향을 미쳐 유기물 제거가 급격히 떨어진 것으로 판단된다.

3.4. 인 제거

운전기간 동안 유입수 내의 총인의 농도는 3~4 mg/L 범위 이었고, 평균 약 3.5 mg/L이었다. 총인의 제거효율은 Run5를 제외한 모든 운전조건에서 30% 정도의 미미한 제거 수준을 나타냈으며, 이는 SRT가 길고 고농도의 MLSS를 유지하여 운영하는 MBR 반응조에서는 인 제거가 효과적이지 못하다는 것을 잘 설명해 주고 있다.

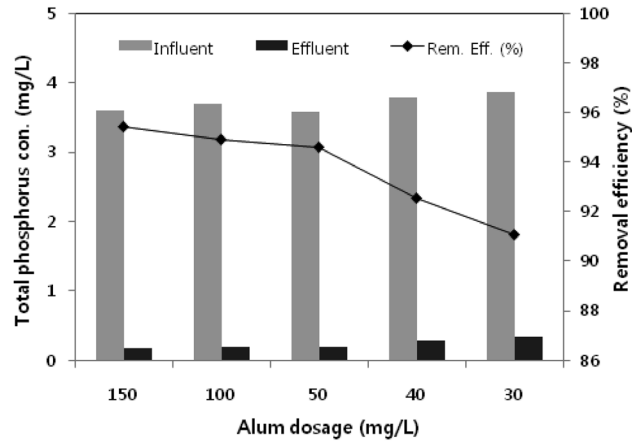


Fig. 7. Phosphorus removal by alum coagulation from anaerobic reactor at different alum dosages.

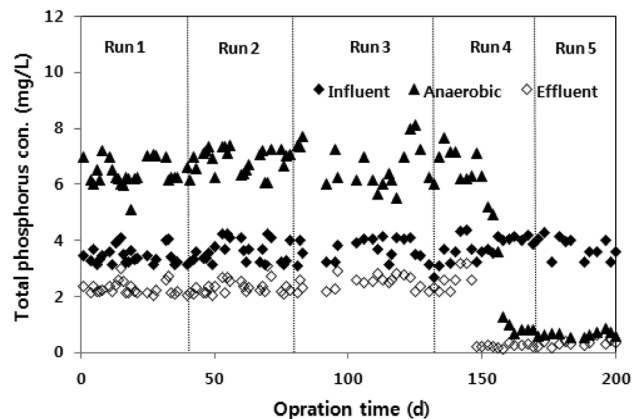


Fig. 8. TP removal patterns at different DO levels with or without alum application.

반응조 내의 응집제를 투입하기 전 혐기조 내 응집제의 주입량을 30~150 mg/L까지 변화시켜 인 제거에 효과적인 주입량을 결정하였다(Fig. 7). 응집제 주입량이 50 mg/L까지는 인 제거 효율이 95% 이상 유지가 가능하였지만, 50 mg/L 이하의 주입량부터는 인 제거효율이 감소하는 것을 확인할 수가 있었다. 따라서 혐기조 내에 alum 주입량을 50 mg/L로 주입하여 연속운전(Run 5) 하면서 인 제거 효율을 평가하였다. 응집제를 주입하기 전 반응조 내의 총인의 제거효율은 약 30% 정도이었으나, 응집제를 주입하고 나서 총인의 제거효율은 90%까지 증가하였다(Fig. 8). 박¹⁴⁾은 혐기조 내에 Alum을 주입하여 총인의 제거효율을 40%에서 90%까지 높일 수 있다고 보고하고 있으며, 응집제 주입량이 증가할수록 총인의 제거효율 역시 증가한다는 연구 결과를 보고하였다. 이는 인 제거에 한계가 있는 MBR공정 내에 화학적인 제거가 효과적으로 사용될 수 있지만, 전술한 바와 같이 유기물 제거와 질소 제거에는 부정적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 응집제 주입 후 미생물에 대한 제한 인자로서의 작용과 응집제 주입 효과에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단된다. 혐기조 내 응집제 주입에 있어서 pH와 알칼리도 저감에 대한 영향은 나타나지 않았으며, 응

집제 주입 후에도 반응조 내의 pH는 7~8 사이로 유지가 가능하였다(Fig. 8). 이는 원수 내의 알칼리도가 약 170 mg/L 정도로서 응집에 필요한 알칼리도가 충분하고, 주입량 또한 50 mg/L로 pH저감에 큰 영향이 없었다고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 MBR (Membrane Bio-Reactor) 반응조내 용존산소(DO) 농도에 따라 미생물 floc 내외에 호기성 영역과 무산소 영역을 형성시켜 질산화 반응과 탈질 반응이 동시에 한 반응조에서 발현될 수 있는 동시 질산화·탈질(SND, Simultaneous Nitrification and Denitrification) 반응을 유도하였다. 또한, 혐기성 반응조를 설치하여 인의 방출을 유도한 후 알루미늄계 응집제를 주입함으로써 인을 효과적으로 제거하는 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) MBR 반응조 내 동시 질산화·탈질(SND) 반응을 적용하여 연속 운전 실험 결과 특별한 pH조절 없이 각 반응조의 pH가 7.0~8.0로 유지되었다.
- 2) 연속 실험에서 반응조 내 용존산소 농도를 2.0, 1.5, 1.0, 0.75 mg/L로 변화하여 운전한 결과 TCOD 및 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 제거효율은 용존산소 농도에 관계없이 90% 이상이었던.
- 3) MBR 반응조 내 운전 조건별(Run 1~4) 총질소(T-N) 제거효율은 각각 52, 50, 54, 66%로 DO농도가 낮아수록 증가하였으며, DO가 0.75 mg/L이고, 응집제를 첨가한 Run5의 경우는 54%로 감소하였다.
- 4) T-P 제거를 위한 회분식 실험 결과 응집제 주입량이 50 mg/L이상에서 인 제거 효율이 95% 이상 유지되었다.
- 5) 혐기성 반응조에 Alum을 50 mg/L로 주입하여 연속 운전한 결과 T-N제거효율은 66%에서 54%로 감소하였고, T-P 제거효율은 30%에서 90%로 증가하였다. 응집제 주입 전 막 세정 주기는 15~20일이었고, 주입 후 40~50일로 길어졌다.

사 사

본 연구결과는 건설교통기술평가원 지역혁신기술지원사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

KSEE

참고문헌

1. Park J. I. and Lee, T. J., "A study of the simultaneous nitrification and de nitrification in a single bioreactor," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **29**(2), 220~228(2007).
2. Lee, S. H., Park, N. B., Park, S. M. and Jun, H. B., "Effect on nitrogen removal in the intermittent aeration system with the anaerobic archaea added," *J. Kor. Soc. Environ. Eng.*, **27**(1), 1186~1192(2005).
3. Metcalf, Eddy, "Wastewater engineering: treatment and reuse," McFrow-Hill, New York(2004).
4. Munch, E.V. and Lant, J. Keller, "Simultaneous nitrification and denitrification in bench scale sequencing batch reactors," *Water Res.*, **30**(2), 277~285(1996).
5. Pochana, K. and Keller, J., "Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND)," *Water Sci. Technol.*, **39**(6), 61~68(1999).
6. Jeff, A. R., Paul, M. S. and Prakash, N. M., "Application of the membrane biological reactor system for combined sanitary and industrial wastewater treatment," *Inter Biode. Biodegr.*, **46**, 37~42(2000).
7. Choi, W. Y., "Nitrogen removal using simultaneous nitrification and denitrification in a membrane bio-reactor," Department of environmental and urban engineering graduate school, Chungbuk National University, Master's thesis(2010).
8. Cheong, J. H., Heo, Y. R., Im, J. D., Lee, E. S. and Park, M. G., "Nitrogen and phosphorus removal in long term pilot plant operation using submerged hollow fiber membrane and ferric chloride," *Kor. Soc. Environ. Eng.*, **27**(11), 1168~1173(2005).
9. Lee, S. M., Jeong, J. H., Kim, D. Y., Yu, J. E., Ha, S. A., Jeong, I. C. and Kim, J. H. "Reuse of treated wastewater for coagulation-membrane separation process and put conditions on the impact of the type of coagulant," *Proc. Kor. Environ. Sci. Soc. Conference*, **18**(1), 391~394(2009).
10. Kim, G. Y., Kim, G. H., Kim, Y. H. and Kim, H. S., "Effect of coagulant in coagulant added MBR system," *Proc. Membr. Soc. Kor. Conference*, pp. 193~195(2006).
11. Park, N. B., Choi, W. Y., Yoon, A. H. and Jun, H. B., "Effects of DO concentration on simultaneous nitrification and denitrification (SND) in a membrane bioreactor (MBR)," *Kor. J. Environ. Agric.*, **28**(4), 371~377(2009).
12. Qingjuan, M., Fenglin, Y., Lifan, L. and Fangang, M., "Effect of COD/N ratio and DO concentration on simultaneous nitrification and denitrification in an airlift circulation membrane bioreactor," *J. Environ. Sci.*, **20**, 933~939(2008).
13. Eo, S. U., "Aeration activated sludge nitrification by injection directly into the impact of coagulant," Korea institute for industrial economics & Trade, pp. 275~294(1999).
14. Park, J. R., Lim, H. M. and Kim, E. H., "Nitrogen and phosphorus removal characteristics from domestic sewage using two stage membrane bioreactor," *J. Kor. Soc. Water Environ.*, **18**(2), 131~140(2002).