

가변형 간벽을 이용한 SBR 공정의 실증 Pilot 연구

김만수[†] · 박종운 · 박철휘*

대양바이오테크(주) 부설환경기술연구소 · *서울시립대학교 환경공학부

(2005년 3월 8일 접수, 2005년 4월 25일 채택)

Positive Pilot Research of SBR Process with Flexible Vertical

Man-Soo Kim[†] · Jong-Woon Park · Chul-Whi Park*

Environmental Technology Institute, Dae-Yang Bio Tech Co., LTD · *Department of Environment Engineering, University of Seoul

ABSTRACT : This study is to install the flexible vertical in order to separate not only the time but also the space in the single reactor by opening and closing the flexible vertical, and to intensify the aerobic, anaerobic and anoxic reactions by reducing the time to activate the microorganism for nitrification, denitrification, release of organic phosphate and luxury uptake of ortho-phosphate. Eventually the result of this study obtained each 90.9%, 76.4% for the removal efficiency of total nitrogen and phosphate. Also, content rate of phosphate at excess sludge was higher 25~30% for SBR reactor with the flexible verticals than existing SBR process. It would be concluded that SBR reactor with flexible verticals is promising for nitrogen and phosphate removal conditions than conventional SBR processes.

Key Words : SBR, Flexible Vertical, Nutrient Removal

요약 : 본 연구에서는 가변형 간벽을 설치하고 이 가변형 간벽의 열고 닫음에 따라 하나의 SBR 반응조를 시간적으로 뿐만 아니라 공간적으로도 분리시킴으로써 aerobic, anaerobic 또는 anoxic 상태의 구분을 명확히 하여 탈질 및 탈인 효율을 증대시켰다. 본 연구 결과 COD_{Cr}/N ratio 10(BOD₅/N ratio 5) 정도의 실 플랜트 조건에서 T-N 및 T-P 제거효율은 90.9%와 75%를 나타내었다. 또한 잉여 슬러지내 인 함유량 조사결과 기존 처리장에서 발생된 잉여슬러지의 인 함유비율을 100%라 할 때 pilot plant에서 발생된 잉여슬러지의 인 함유율은 생 슬러지의 경우 133.6%, 건조 슬러지의 경우 124.3%로서 기존 처리장의 슬러지내 인 함유율보다 25~30% 정도 높은 것으로 조사되었다. 따라서 SBR반응조 내에 가변형 간벽을 설치함으로써 명확한 탈질·탈인을 위한 반응조건을 제시해 줄 수 있는 것으로 나타났다.

주제어 : 연속회분식 반응조, 가변형 간벽, 산화환원전위, 영양염류제거

1. 서 론

SBR공법은 단일 반응조에서 유기물 제거는 물론 간헐포기에 의한 질소 및 인제거가 가능하며 운전의 자동화로 인해 운영관리가 쉬운 장점을 가지고 있다. 그러나 종래의 SBR공법의 가장 큰 단점은 단일 반응조에서 anaerobic과 aerobic 조건이 시간적으로 분리되어 반복되기 때문에 aerobic에서 anaerobic 또는 anoxic으로 전환되는 시간이 길어지게 된다. 따라서 완전한 탈질과 탈인을 위한 반응조건이 이루어지기 어렵기 때문에 NO₃-N의 축적과 이로인한 충분한 인의 방출을 유도하지 못하고 후속되는 인의 과잉섭취를 도모하지 못해 질소 및 인제거 효율이 상대적으로 낮은 단점을 가지고 있었다. 본 연구에서는 하나의 SBR 반응조를 두 개 이상의 반응실로 구분할 수 있도록 가변형 간벽을 설치하고 이 가변형 간벽의 열고 닫음에 따라 하나의 SBR 반응조를

시간적으로 뿐만 아니라 공간적으로도 분리시킴으로써 aerobic, anaerobic 또는 anoxic 상태의 구분을 명확히 할 수 있으며, aerobic, anaerobic 또는 anoxic 상태를 반복함으로써 탈질 및 탈인 효율을 증대시킬 수 있는 가변형 간벽이 설치된 연속 회분식 SBR공법(Flex SBRTM) 개발에 있다.

1.1. Flex-SBRTM 공법의 개요

본 Flex-SBR 공법은 특허 등록번호 제 0454362호, 0386191호, 특허출원 제 04-87891로 구성되어 있으며, Fig. 1은 Flex-SBR공법에 적용된 가변형 간벽과 decanter의 적용사례이다. 본 공법은 단일 반응조를 두 개 이상의 반응실로 구분할 수 있도록 하나 이상의 가변형 간벽을 설치하고 이 가변형 간벽의 열고 닫음에 따라 하나의 SBR 반응조를 시간적으로 뿐만 아니라 공간적으로도 분리시킴으로써 aerobic, anaerobic 또는 anoxic 상태의 구분을 명확히 할 수 있으며, aerobic, anaerobic 또는 anoxic 상태를 반복함으로써 탈질 및 탈인 효율을 증대시킬 수 있는 가변형 간벽이 설치된 연속 회분식 SBR공법이다.

[†] Corresponding author

E-mail: buddha@biotech21.co.kr

Tel: 02-979-1647

Fax: 02-979-4400

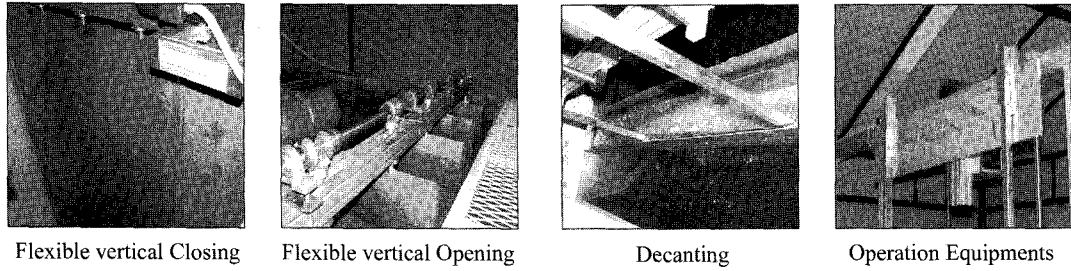


Fig. 1. Flexible vertical and Decanter of FLEX-SBRTM.

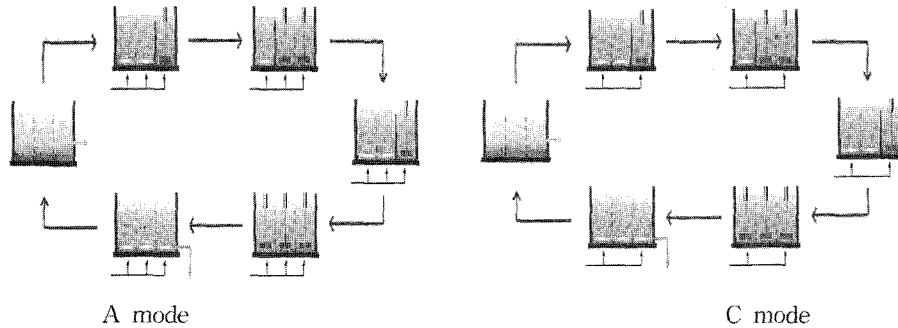


Fig. 2. Schematic diagram for operation mode of SBR with flexible vertical.

1.2. 운전모드의 개요

가변형 간벽이 설치된 SBR의 운전모드는 Fig. 2 및 Table 1과 같다. 총 1cycle의 운전시간은 6시간이며 일 4cycle로 운전된다. 6단계의 운전모드중 No.1 모드는 aerobic구간이 anoxic 구간의 2배로 1 hr동안 운전하며, 이때의 반응기작은 질산화반응이 주 기작이 된다. No.2 모드는 anoxic 구간이 aerobic구간의 2배로 1 hr동안 운전되며, 주 반응기작은 탈질반응이 된다. No.3 모드는 No.1과 같은 운전모드를 반복 수행하며, 이때 anoxic 구간은 anaerobic화되어 인의 방출을 유도하게 된다. No.4 모드는 No.3 모드에서 질산화반응으로 생성된 NO₃-N을 N₂ gas로 탈질시키는 환원반응이 주 기작이 되며, No.5 모드는 N₂ gas를 탈기함과 동시에 상기 반응에서 방출되어진 PO₄³⁻-P를 up-take하고 동시에 과잉의 PO₄³⁻-P를 흡수한 슬러지를 인발하게 된다. No.6은 No.5에서 질산화된 nitrate를 탈질시키며 1hr동안 침전 후 배출하게 된다. Fig. 2의 운전모드 A는 각 지에 동일 비율로 No.5까지 원수가 유입되는 하절기 연속모드이며, 운전모드 C는 1번과 3번 지로만 No.5 anoxic 주기까지 원수가 유입되도록 한 동절기 간헐모드로 programing되어 있다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 운전모드 및 조건

본 pilot plant의 운전모드는 Table 1과 같이 일 4 cycle로 구성되어 있으며, 원수의 주입모드는 첫째로 각 지(1~3번)에 1:1:1의 비율로 마지막 전체 호기인 5번 주기까지 주입시키는 A모드와(Fig. 2) 둘째, 호기조로 대별되는 1번지와 무산소조로 대별되는 3번지에만 원수를 주입시켜 질산화와 탈질/탈인반응 조건시 유기탄소원의 이용을 극대화시키고자 한 C모드(Fig. 2)로 구성되었다. 따라서 상기 연구에서 도출된 최적모드를 이용하여 동절기 2개월을 포함한 약 5개월 간의 실증운전 연구를 수행하여 본 플랜트의 유기물 및 질소·인의 처리효율을 검증하고자 하였다. Table 2는 SBR반응조의 운전조건을 나타낸 것으로 HRT와 MLSS는 약 24 hr과 3,700 mg/L로 운전하였으며, 반응조내 온도 변화는 12월 평균 17℃에서 1월 평균 8℃로 평균 약 9℃가 저하되었다.

Table 1. Time schedule of 50 m³/d pilot plant

No.	Cycle Components	Operation Zone	Operation Time
1		2 : 1	60 min
2		1 : 2	60 min
3		2 : 1	60 min
4		3	60 min
5		3	30 min
6		3	90 min

Aerobic
 Anoxic/Anaerobic
 Settle & Decant

Table 2. Operation conditions of pilot plant

Items	Range	Conditions
HRT(hr)	22~27	24
SRT(day)	22~40	36
F/M Ratio as CODCr/MLSS	0.133~2.0	0.13
MLSS(mg/L)	2,850~4,360	3,700
Temperature(℃)	October	16~18
	November	13~17
	December	8~13
	January	7~10

Table 3. Characteristics of domestic wastewater

ITEM	Max. Conc., mg/L	Min. Conc., mg/L	Avg. Conc., mg/L
BOD ₅	511.2	168.6	281.3
COD _{Cr}	764.4	210.8	579.3
SS	352.5	132.5	210.0
T-N	96.557	35.657	54.769
T-P	8.824	2.032	5.344
BOD ₅ /T-N	5.2	4.7	5.1
BOD ₅ /T-P	57.9	82.9	52.6

2.2. 유입수의 성상

본 연구의 유입수의 성상은 Table 3과 같다. 표에서 보는 바와 같이 유입원수의 BOD₅농도는 168.6~511.2 mg/L의 범위로 평균 281.3 mg/L이었으며, T-N농도는 35.657~96.557 mg/L로 평균 54.769 mg/L를 나타내었다. BOD₅/T-N ratio는 평균 5.1, BOD₅/T-P비는 52.6으로서 분류식 하수관거로 정비된 소규모 하수처리장의 일반적인 유입성상을 나타내고 있다.

2.3. 실험분석 및 방법

본 연구에서 행한 수질측정법 및 항목은 상기 연구에서와 같이 Sampling은 반응조 상부 및 방류구에서 채취하였으며, 진공여과 장치를 이용하여 Whatman사의 pore size 1.2 μm glass microfiber GF/C filter와 MFS사의 pore size 0.45 μm mixed cellulose membrane filter로 여과하여 측정하였다. 측정항목은 TSS(2540-solid-D), BOD₅(5210-BOD-B), TCOD_{Cr}(5220-COD-C&D, 5910-UV-absorbing organic constituents-B-HACH), NH₄⁺-N(4500-NH₃-B&C-HACH), NO₂⁻-N(4500-NO₂-B), NO₃⁻-N(4500-NO₃-B&C), T-P(환경부 고시 제 95-91호 수질오염공정시험법), T-N(환경부 고시 제 95-91호 수질오염공정시험법), Ortho-P(4500-P-B & E) 등이었다. 측정항목들은 모두 환경부 고시 제95-91호 수질오염공정시험법, Standard Method(1995), HACH DR/4000 Spectrophotometer를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 운전모드 A에서의 내부거동 변화

Fig. 3은 A운전 모드에서 각 지별 ORP값의 거동을 나타낸 그림이다. 각 지에 1:1:1의 비율로 원수가 공급되었기 때문에 anoxic조건에서 상대적으로 유기탄소원이 많이 공급되는 No.4주기가 anaerobic조건으로 전환되는 것으로 나타났다. 또한 aerobic 조건인 지의 경우 +150 mV 정도까지 높은 산화전위를 보였으며, anoxic 조건의 지의 경우 No.3 주기까지는 -127 mV로 감소하였으며, No.4의 주기에서 -152 mV까지 환원전위를 나타내며 혐기상태로 전환되었다. 또한 재포기 조건인 No.6에서는 +117 mV까지 ORP가 상승하며 질산화가 수행되었으며, No.6의 침전·방류 구간에서도 ORP값이 -36 mV까지 감소하며 anoxic 조건이 형성되

었다. 상기 연구결과를 Watanabe et al.¹⁾(1985)가 제시한 ORP 경험식에 본 연구 인자를 적용하였을 경우 필요한 ORP값은

$$ORP = -95 + 256 \cdot \log(NOX-N/COD_{Mn})$$

$$ORP = -95 + 256 \cdot \log(54.769/102.9)$$

$$ORP = -165 \text{ mV이다.}$$

따라서 상기 이론적인 ORP값과 실측된 ORP값의 결과를 비교해 볼 때 anaerobic구간으로 전환된 No.4주기에서는 거의 완전한 탈질이 수행되었을 것으로 사료된다. Fig. 4는 NO₃⁻-N의 농도와 ORP값의 변화를 나타낸 그림이다. 결과에 보듯 상기 ORP 측정값으로부터 예측하였듯이 anoxic지의 경우 ORP값이 -127 mV일 때 NO₃⁻-N의 농도는 0.27 mg/L로 나타났으며, anaerobic 구간에서는 ORP값이 -152 mV일 때 NO₃⁻-N의 농도가 0.07 mg/L로 완벽한 탈질효율을 보였다. 이와같이 탈질효율과 ORP거동과는 밀접한 상관성이 있는 것으로 본 연구결과 조사되었다.^{2,3)}

3.2. 운전모드 C에서의 내부거동 변화

운전모드 C는 No.1~No.5 주기까지 원수가 공급되지만 1번 지와 3번 지에만 1:1의 비율로 공급되어진다. 따라서 No.1 주기의 1번 지에서는 질산화 반응이 주로 일어나게 되며, 3번 지에서는 충분한 유기탄소원 공급에 의해 anaerobic 조건이 형성되고 인 방출의 극대화를 모색한 운전모드로 No. 1의 기적이 No.3에서 다시한번 반복되어지기 때문에 탈질

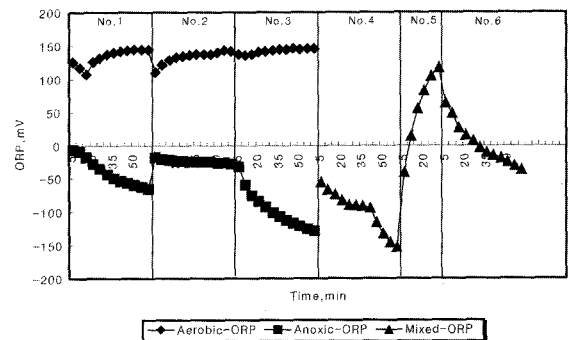


Fig. 3. The variation of ORP according to each steps at operation mode A.

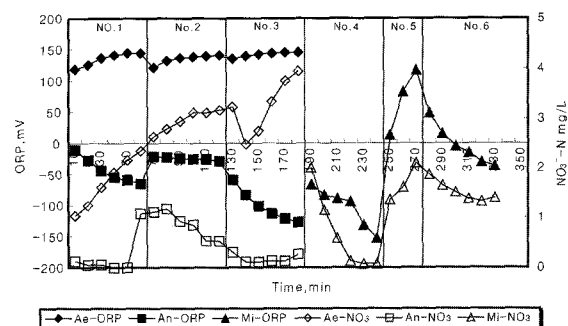


Fig. 4. The variation of NO₃⁻-N conc. & ORP according to each steps at operation mode A.

및 탈질효율 증진에 효과가 있을 것으로 사료되었다. Fig. 5는 C운전모드에서 각 지별 ORP값의 거동을 나타낸 그림이다. 그림에 보듯이 No.4모드까지 ORP의 거동은 산화전위의 경우 +118 mV, 환원전위의 경우 -72.6 mV를 나타냈으며, Anoxic조건 모드인 No.5의 재포기 공정에서는 +21.5 mV로 작지만 산화전위가 증가하였으며, 이후 침전단계의 무산소 조건에서는 -60.9 mV까지 빠르게 감소하여 탈질반응이 충분히 수행되었을 것으로 추정되었다. 위 연구결과 본 연구의 수행시기가 1월중으로 반응조내 온도 및 SV가 7°C ~ 8°C, 93~95%인 점을 감안할 때 No.6의 ORP감소속도가 상대적으로 빠른 경향을 보이고 있다. 그 이유는 슬러지의 침강속도가 느려 MLSS와 상등수의 접촉시간이 길어졌기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 동절기 침강속도 저하로 인한 MLSS의 유실을 고려하여 높은 F/M ratio로 운전할 때에도 침전단계인 anoxic 조건에서의 접촉시간 증대로 인하여 탈질효율에는 큰 차이가 없을 것으로 사료된다. 또한 하절기 침강속도를 고려한다면 오히려 본 공법의 경우 침전/방류단계인 No.6모드까지 원수를 연속적으로 주입시켜 슬러지 침강속도를 완하시켜 줌으로서 접촉시간을 증대시키고 탈질반응시 유기탄소원 공급효과를 이용한다면 탈질효율을 이전보다 더 향상시킬 수 있을 것이며, 연속적인 원수주입모드로 전환이 가능할 것으로 사료된다. Fig. 6은 각 주기에 따른 NO₃-N농도와 ORP의 변화를 나타낸 것이다. 그림에 보듯이 1번 지의 경우 NO₃-N의 농도는 No.3 주기까지 3.742 mg/L까지 축적되었으나, 3번 지의 경우 0.279 mg/L까지 거의 완전한 탈질효율을 보였다. 또한 No.4의 전체 anoxic 주기에서는 초기 2.353 mg/L에서 0.361 mg/L로 빠르게 감소하였으며, 최종 방류수의 NO₃-N의 농도는 0.786 mg/L로 탈질 효율에 있어서는 본 운전모드가 가장 적합한 것으로 나타났다. 하지만, Watanabe et al.(1985)가 제시한 경험식에 의해 계산된 이론적인 적정 ORP값에서 예상했던 탈질효율보다 실측 ORP값이 낮은 상태에서도 탈질효율이 높았던 이유는 경험식의 정립과정에 있어 온도에 따른 반응속도와 침강속도의 저하에 따라 상대적으로 길어진 반응시간 등 기타 변수에 대한 고려가 배제된 채 단순히 유입되는 NOX와 유기물의 비율만을 고려했기 때문인 것으로 사료된다.

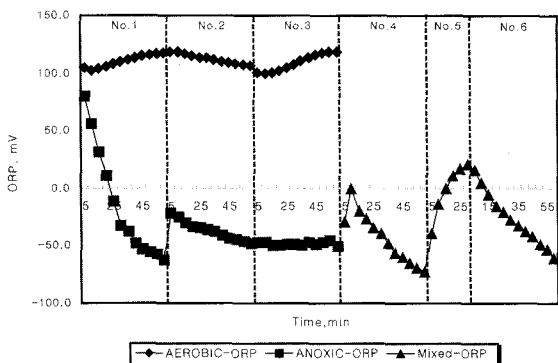


Fig. 5. The variation of ORP according to each steps at operation mode B.

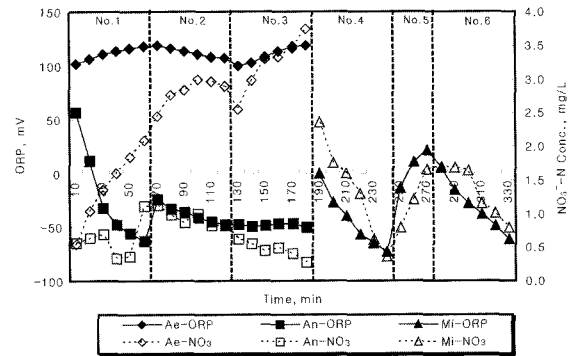


Fig. 6. The variation of NO₃-N conc. & ORP according to each steps at operation mode B.

3.3. 항목별 일일 운전 결과

Table 4는 50 m³/day용량의 pilot plant를 상기 거동 실험에서 도출된 적정 원수주입 모드로 10월부터 1월까지 동절기를 포함한 4개월간의 운전 data이다. 10월부터 11월은 운전모드 A로 test한 결과로서 이때 반응조내 온도는 평균 16°C로서 질산화 및 탈질반응에 적정온도로 유지되었다. 반면에 12월부터 1월은 운전모드 C로 운전한 결과로서 이때는 동절기에 해당하는 data로 반응조내 평균 온도는 9°C로 이론적으로 질산화 반응이 급격히 감소할 수 있는 조건에서의 결과이다.⁴⁾ Fig. 7은 pilot plant의 COD_{Cr}의 처리효율을 나타낸 그림으로 운전모드 A와 C의 분석결과 각각 93.8%와 93.3%로 유기물 제거 측면에 있어 두 가지 운전모드는 유사한 처리 효율을 나타내었다. 또한 Fig. 8은 SS제거 효율을 나타낸 그림으로 각각 98.5%와 98.7%로 큰 차이가 나타나지 않았다. 따라서 위 유기물제거 효율측면에 있어 본 공법은 원수주입모드와 동절기 온도저하에 관계없이 안정적인 처리효율을 보이는 것으로 나타났다.

Fig. 9와 10은 운전모드 A와 C의 T-N 제거효율을 온도 변화와 비교하여 나타낸 그림이다. 운전모드 A는 반응조 평균온도가 16°C일 때 T-N제거효율은 88.7%이었으며, 이때의 유입수 및 방류수의 T-N농도는 41.084 mg/L와 4.161 mg/L로 나타났다. 또한 운전모드 C의 경우 반응조내 평균

Table 4. Experiment results to estimate treatment efficiency of pilot plant

Item		BOD ₅	COD _{Cr}	COD _{Mn}	SS	T-N	T-P	Remark
A Mode	Influent Conc. (mg/L)	254.1	494.3	93.4	229.7	41.084	4.016	Avg. Temp. : 16°C
	Effluent Conc. (mg/L)	5.1	30.5	6.6	3.4	4.161	1.095	
	Rem. Efficiency (%)	97.9	93.8	92.9	98.5	88.7	72.7	
C Mode	Influent Conc. (mg/L)	281.2	587.5	102.3	206.9	52.835	5.362	Avg. Temp. : 9°C
	Effluent Conc. (mg/L)	5.1	39.1	6.8	2.5	4.772	1.308	
	Rem. Efficiency (%)	98.1	93.3	93.3	98.7	90.9	76.4	

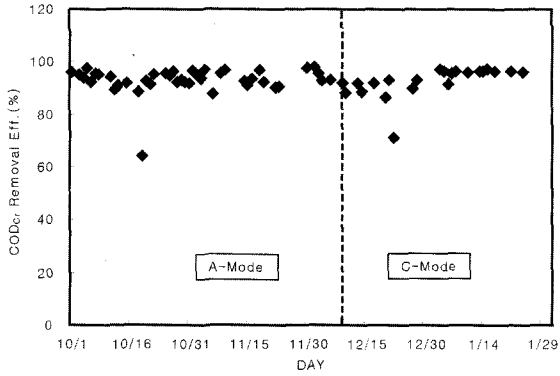


Fig. 7. COD_{Cr} treatment efficiency of pilot plant.

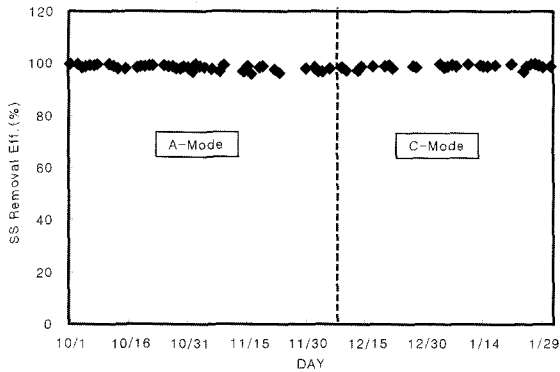


Fig. 8. SS treatment efficiency of pilot plant.

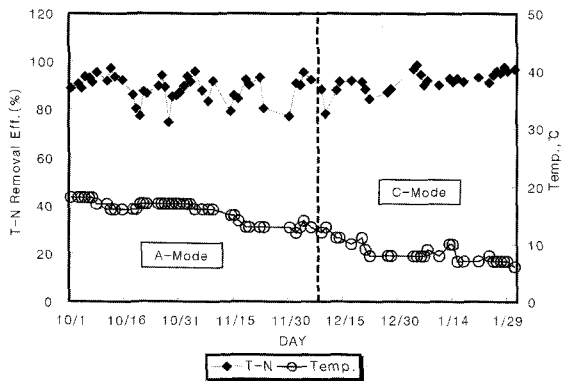


Fig. 9. T-N treatment efficiency & temperature variation.

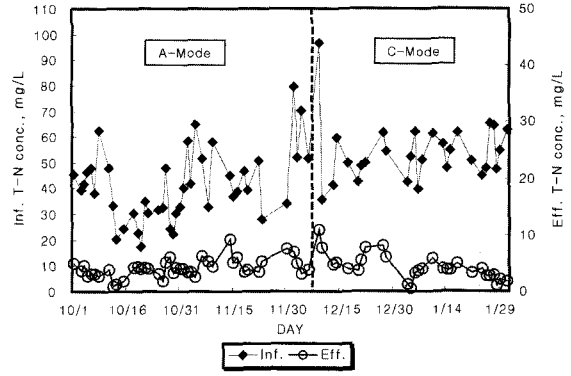


Fig. 10. T-N concentration of Influent & Effluent.

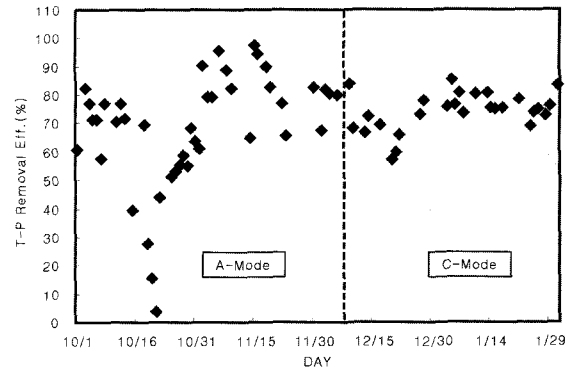


Fig. 11. T-P treatment efficiency of pilot plant.

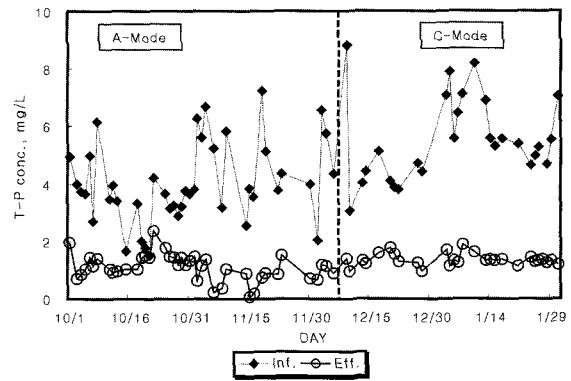


Fig. 12. T-P concentration of Influent & Effluent.

온도가 9°C로 낮게 유지되었으며, 유입수의 T-N농도 또한 운전모드 A에서의 평균농도보다 높게 유입되는 상황 하에서 T-N 평균제거 효율은 90.9%로 높게 유지되었다. 이때 유입된 유입수의 평균 T-N농도는 52.835 mg/L이었으며, 방류수중의 T-N농도는 4.772 mg/L로 나타났다. 따라서 상기 연구결과 T-N 제거효율 측면에 있어 운전모드 C가 낮은 온도에도 불구하고 안정적인 질소 처리효율을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

Fig. 11과 12는 운전모드 A와 C의 T-P 제거효율을 나타낸 그림이다. 운전모드 A의 평균 T-P제거효율은 72.7%이었으며, 이때의 유입수 및 방류수의 T-P농도는 4.016 mg/L와 1.095 mg/L로 나타났다. 또한 운전모드 C의 경우 T-P 평균 제거 효율은 76.4%로 운전모드 A에 비해 높게 나타났다.

이때 유입된 유입수의 평균 T-P농도는 5.362 mg/L이었으며, 방류수중의 T-P농도는 1.308 mg/L로 나타났다. 따라서 상기 연구결과 T-N 제거효율 측면과 마찬가지로 인 제거 효율측면에 있어서도 운전모드 C가 안정적인 인 처리효율을 얻었다. 그러나 이러한 인 제거효율이 다소 높게 나타난 이유는 원수주입 모드의 효과뿐만 아니라 인제거 미생물들이 호냉성 미생물이기 때문에 상대적으로 온도가 낮았던 운전모드 C가 인 제거 조건에 있어 다소 유리한 영향을 받았을 것으로 사료된다.⁵⁾

Fig. 13은 운전모드 A와 C에서 유입과 방류의 NH₄⁺-N 농도변화를 나타낸 것으로 운전모드 A의 평균 유입 및 방류농도는 25.191 mg/L와 0.639 mg/L로 나타났으며, 운전모드 C의 평균 유입 및 방류 농도는 27.426 mg/L와 0.224

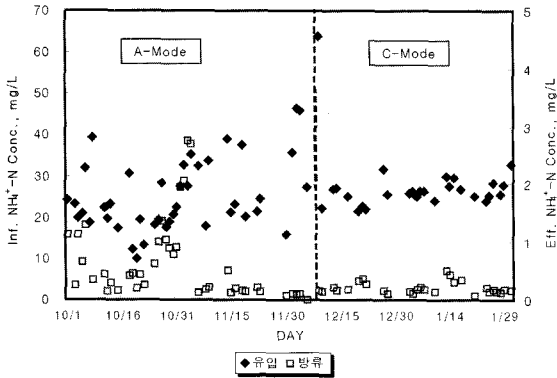


Fig. 13. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration of Influent & Effluent.

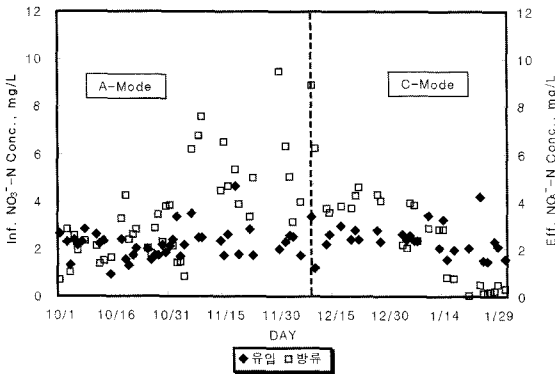


Fig. 14. $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration of Influent & Effluent.

mg/L로 두 운전모드 모두 질산화 효율에 있어서는 큰 차이가 나지 않았으며, 특히, 운전모드 C의 경우 온도에 전혀 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. Fig. 14는 운전모드 A와 C에서 유입과 방류의 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 농도변화를 나타낸 것으로 운전모드 A의 평균 유입 및 방류농도는 2.218 mg/L와 3.444 mg/L로 나타났으며, 운전모드 C의 평균 유입 및 방류 농도는 2.559 mg/L와 3.240 mg/L로 두 운전모드 모두 탈질 효율에 있어서는 큰 차이가 나지 않았지만 운전모드 C가 잔류하는 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 농도에 있어 다소 낮게 검출되었다.

3.4. 잉여슬러지내 인 함량조사

본 연구는 “P”시의 SBR 고도처리 공정에서 발생하는 잉여슬러지와 본 연구용 pilot plant에서 발생하는 잉여슬러지내 인 함유량을 조사하고자 수행하였다. Table 5는 기존 처리장과 pilot plant에서 발생된 잉여슬러지의 인 함유량 및 비율을 나타낸 것으로 기존처리장의 평균 SRT는 약 8일로 운전중에 있으며, pilot plant는 평균 36일의 긴 SRT로 운전중에 있다. 또한 같은 성상의 유입수를 처리중임에도 불구하고 발생하는 잉여슬러지 발생량은 기존 처리장의 경우 평균 0.25 kg/m^3 이었으며, pilot plant의 경우 0.11 kg/m^3 로 발생량 측면에 있어서 기존처리장의 약 40%에 불과한 수치를 보이고 있다. 이와같이 긴 SRT와 상대적으로 높은 T-P처리효율은 pilot plant에서 발생하는 슬러지내 인 함량

Table 5. Total phosphate content for excess sludge to existing SBR and Pilot plant

Item	Avg. SRT (Day)	Excess Sludge (Kg/m^3)	Avg. TP Removal Efficiency (%)	Wet sludge		Dry sludge	
				Conc.	Percent	Conc.	Percent
				mg-TP /g-MLSS	%	mg-TP /g-MLSS	%
Existing SBR	8	0.25	85	10.3	100	19.7	100
Pilot plant	36	0.11	75.6	13.8	133.6	24.5	124.3

에 차이가 있을 것으로 사료되어 본 실험을 수행하게 되었다. 본 실험결과 기존 처리장에서 발생하는 잉여슬러지중 생 슬러지내의 T-P 함량은 $10.3 \text{ mg-TP/g-MLSS}$ 이었으며, 건조 슬러지내 T-P의 함량은 $19.7 \text{ mg-TP /g-MLSS}$ 로 조사되었다. 반면에 pilot plant에서 발생된 잉여슬러지중 생 슬러지내에 함유된 T-P의 농도는 $13.8 \text{ mg-TP/g-MLSS}$ 이었으며, 건조 슬러지내에 함유된 T-P 농도는 $24.5 \text{ mg-TP/g-MLSS}$ 로 나타났다. 따라서 기존 처리장에서 발생된 잉여슬러지의 인 함량비율을 100%라 할 때 pilot plant에서 발생된 잉여슬러지내의 인 함유율은 생 슬러지의 경우 133.6%, 건조 슬러지의 경우 124.3%로서 기존 처리장의 슬러지내 인 함유율보다 25~30% 정도 높은 것으로 조사되었다.

이와같은 결과로 볼 때 가변형 간벽이 설치된 SBR공법은 긴 SRT에서도 양호한 T-P의 제거 효율을 나타낼 수 있었던 것은 가변형 간벽의 설치로 인한 명확한 “상”의 제공과, 상대적으로 긴 반응시간을 제공해 주었기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 동일 조건에서 동일 수준의 T-P 제거 효율을 획득하기 위한 공정평가를 수행한다면, 가변형 간벽이 설치된 SBR 반응조가 슬러지 발생량 측면에 있어서 우수한 평가를 받을 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

1) 운전모드 A에서는 각 지에 1:1:1의 비율로 원수가 공급되었기 때문에 anoxic조건에서 상대적으로 유기탄소원이 많이 공급되는 No.4 주기가 anaerobic조건으로 전환되는 것으로 나타났으며, aerobic 조건인 지의 경우 +150 mV 정도 까지, anaerobic 조건의 No.4 주기에서는 -152 mV까지 환원 전위를 나타냈다. 또한 Watanabe et al.(1985)가 제시한 ORP 경험식으로 추정된 이론적 ORP값은 -165 mV로 완전한 탈질을 위한 ORP조건을 상당부분 충족하는 것으로 나타났다.

2) 운전모드 C는 No.4모드까지 산화전위의 경우 +118 mV, 환원전위의 경우 -72.6 mV를 나타냈으며, 이후 침전 단계의 무산소 조건에서는 -60.9 mV까지 빠르게 감소하여 탈질반응이 충분히 수행되었다. 본 연구가 1월중 동절기에 수행된 점을 감안한다면 No.6의 ORP감소속도가 상대적으로 빠른 경향을 보인 것이다. 그 이유는 슬러지의 침강속도가 느려 MLSS와 상등수의 접촉시간이 길어 졌기 때문인 것으로 사료되며, 동절기 MLSS의 유실을 고려한 높은

F/M ratio에서도 침전단계에서의 접촉시간 증대로 인하여 탈질효율에는 큰 차이가 없을 것으로 사료되며, 오히려 하절기 침강속도를 고려한다면 본 공법의 경우 침전/방류단계인 No.6모드까지 원수를 연속적으로 주입시켜 슬러지 침강속도를 완화시켜 줌으로서 접촉시간을 증대시키고 탈질 반응시 유기탄소원 공급효과를 이용한다면 탈질효율을 이전보다 더 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

3) 운전모드 C의 NO_3^- -N농도는 1번 지의 경우 No.3 주기까지 3.742 mg/L까지 축적되었으나, 3번 지의 경우 0.279 mg/L까지 거의 완전한 탈질효율을 보였으며, No.4의 전체 anoxic 주기에서는 초기 2.353 mg/L에서 0.361 mg/L로 빠르게 감소하였으며, 최종 방류수의 NO_3^- -N의 농도는 0.786 mg/L로 탈질 효율에 있어서는 본 운전모드가 가장 적합한 것으로 나타났다.

4) Pilot plant의 T-N 제거효율은 운전모드 A의 경우 반응조 평균온도가 16℃일 때 T-N제거효율은 88.7%이었으며, 운전모드 C의 경우 반응조내 평균온도가 9℃일 때 평균제거 효율은 90.9%로 높게 유지되었다. 따라서 상기 연구결과 T-N 제거효율 측면에 있어 운전모드 C가 낮은 온도조건에도 불구하고 안정적인 질소 처리효율을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

5) T-P 제거효율 측면에 있어 운전모드 A의 평균 T-P 제거효율은 72.7%이었으며, 운전모드 C의 경우 T-P 평균제거 효율은 76.4%로 운전모드 A에 해 다소 높게 나타났다. 이러한 이유로는 중온성 또는 호냉성인 인 제거미생물의 특성도 영향을 미쳤을 것으로 사료되며, 또한 인의 uptake를 위한 유기물의 충분한 공급과 인을 release하기 위한 혐기조건의 제공에 있어 운전모드 C가 다소 양호하였던 것으로 사료된다.

6) 상기 연구결과에서와 같이 $\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{N}$ ratio 10(BOD_5/N ratio 5)정도의 실 플랜트 조건에서 flexible vertical이 설치된 SBR공법은 T-N평균 제거효율에 있어서 90.9%를 나타냈다. 반면에 2002년 기준 국내 고도처리공법으로 적용된 약 13개소의 SBR시설의 평균 T-N 제거효율이 51%로서, 유입 T-N 28 mg/L, 방류 T-N 14 mg/L인 점을 감안한다면 기존 재래식 SBR 고도처리 공법에 flexible vertical을 설치하거나 본 SBR 고도처리공법을 적용한다면 부하변동이나 물량변동에 적절히 대처하며 N, P처리 효율 증대효과를 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

7) "P"시의 SBR 고도처리 공정에서 발생하는 잉여슬러

지와 본 연구용 pilot plant에서 발생하는 잉여슬러지내 인 함유량을 조사하고자 수행한 결과 기존 처리장에서 발생된 잉여슬러지의 인 함유비율을 100%라 할 때 pilot plant에서 발생된 잉여슬러지내의 인 함유율은 생 슬러지의 경우 133.6%, 건조 슬러지의 경우 124.3%로서 기존 처리장의 슬러지내 인 함유율보다 25~30% 정도 높은 것으로 조사되었다. 따라서 동일 조건에서 동일 수준의 T-P 제거효율을 획득하기 위한 공정평가기 가변형 간벽이 설치된 SBR 반응조가 우수한 평가를 받을 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2004년도 중소기업 기술혁신개발사업의 일환으로 중소기업청의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Watanabe, S., et. al, Basic Studies of an ORP/External Carbon Source System for the Biological Denitrification Process, Inst. and Cont. of Wat and Waste. Treat. and Transp. Sys. in Proc. 4th IAWPRC Workshop, 27 April-May, Houston and Denver, USA, 641~644(1985).
2. Plisson-Saune, S, Capdevile, B, Mauret, M., Debuin, A., and Baptiste, P., Real-Time Control of Nitrogen Removal Using Three ORP Bending Points; Signification, Control Strategy and Results. *Water Sci. Technol.*, **33**(1), 275~280(1996).
3. Warcham, D. G., Kenneth, J. H., and Mavinic, D. S., Real-Time Control of Wastewater Treatment System Using ORP. *Water Sci. Technol.*, **28**(11-12), 273~282 (1993).
4. 원성연, 이상일, 김만수, "온도 및 Free ammonia농도에 따른 농축질화균의 질화반응에 미치는 영향인자 규명", 대한환경공학회지, **21**(9), 1613~1620(1999).
5. Brdjanovic, D., Slamet, A., Van Loodsrecht, M. C. M., Hooijmans, C. M., Alaerts, G. J., and Heijnen, J. J., "Influence of temperature on BPR: Process and Molecular Ecological studies. *Water Res.*, **32**(4), 1035~1048(1998).