

분뇨처리를 위한 연속회분식 반응기에서의  
질산화와 탈질산화 및 인제거  
Nitrification, denitrification and biological  
phosphate removal in sequencing batch reactors  
treating night-soil

한기백 · 민만기 · 박동근<sup>1</sup> · 이해군<sup>2</sup> · 김창원<sup>2</sup>

경주전문대학 환경공학과

<sup>1</sup>동서대학교 환경공학과

<sup>2</sup>부산대학교 환경공학과

### 1. 서 론

본 연구에서는 약 20만명의 인구가 상주하고 있는 K시를 대상으로 액상부식법에 의한 1차 처리를 거친 분뇨의 유출수를 대상으로 회분식 반응기를 이용하여 유기물과 질소 및 인의 동시제거 가능성을 파악하기 위해 7개월간에 걸쳐 총 12개 운전변수에 따라 그 처리정도를 파악하였다.

### 2. 실험재료

실험에 이용된 액상부식법 처리된 분뇨를 분석한 결과 SCOD<sub>cr</sub>, TKN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, ortho-P의 평균농도가 각각 6893mg/L, 1085mg/L, 1609mg/L, 602mg/L였으며, SBR에 주입하기전 6시간정도 침전으로 고형물을 제거한 후 다시 300mesh의 sieve로 여과한 다음 4~6배 희석하였으며 전 운전기간동안 희석된 유입수의 평균농도는 각각 16,41.9mg/L, 311.0mg/L, 251.9mg/L, 92.6mg/L였다. 그리고 사용한 SBR은 유효용량이 6L인 3기의 SBR을 항온수조내에 설치하여 고수위(HWL)는 6L, 반응과 침전후 상등수가 제거된 저수위(LWL)는 RUN-1, 2, 3이 3L, 그리고 RUN-4는 2L가 되도록 조작하였다.

### 3. 실험방법

3조의 SBR을 3가지의 SRT에 따른 총 12가지 mode로 7개월간 운전하였으며, SRT는 호기조건 기준으로 각각 10, 20 및 30일로 운전하였다. 탈질산화를 촉진하기 위해 RUN-4의 anoxic 조건 시작과 동시에 약 1g/L의 glucose를 주입하여 운전하였다. 평균 COD 용적부하율은 1.56 kg/m<sup>3</sup>.day, 평균 F/M비는 SRT 10일, 20일 및 30일 반응기가 각각 0.24, 0.21, 0.19(kgCOD/kg MLVSS.day), 유입수의 평균 C/N비와 C/P는 각각 5.47과 17.9로 운전하였다.

Table 1. Operational parameters of the three lab.-scale SBRs used in this study

Parameters	RUN-1			RUN-2			RUN-3			RUN-4		
	R-A	R-B	R-C	R-D	R-E	R-F	R-G	R-H	R-I	R-J	R-K	R-L
SRT(day)	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
HRT(day)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.67	0.67	0.67
No. of cycle(cycle/day)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
Flow rate(L/day)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4
MLSS(avg.)	6.27	7.22	8.21	10.2	12.3	13.7	8.75	11.1	13.1	9.47	11.0	13.3
MLVSS(avg.)	5.2	5.97	6.75	8.45	10.2	11.5	8.76	9.91	11.5	8.54	9.78	11.8
MLVSS/MLSS ratio	84.2	83.8	83.5	83.3	83.3	83.8	89.8	89.0	88.1	90.2	88.6	88.6
F/M(gCOD/gMLVSS/d)	0.34	0.31	0.31	0.19	0.16	0.14	0.20	0.18	0.15	0.14	0.12	0.10
C/N ratio	5.51	5.51	5.51	5.59	5.59	5.59	4.71	4.71	4.71	5.81	5.81	5.81
C/P ratio	17.84	17.84	17.84	16.45	16.45	16.45	16.86	16.86	16.86	19.98	19.98	19.98

Table 2. Operational stages and periods of the SBR cycle time

RUN No.	Operational strategy(hrs)	days
RUN-1	Anaero.(2)/Aero. I (4)/Anoxic(2)/Aero. II(1)/Sett.(2.5)/Fill & Draw(0.5)	60
RUN-2	Anaero.(3)/Aero. I (3)/Anoxic(3)/Aero. II(1)/Sett.(1.5)/Fill & Draw(0.5)	90
RUN-3	Anaero.(3)/Aero. I (5)/Anoxic(2)/Sett.(1.5)/Fill & Draw(0.5)	30
RUN-4	Anaero.(6)/Aero. I (10)/Anoxic(4)/Aero. II (2)/Sett.(1.5)/Fill & Draw(0.5)	30

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 유기물의 제거

반응조건별 평균 COD 제거율은 SRT 10, 20, 30일에서 각각 88.9, 89.6,

90.4%이었고, 혐기조건시 COD 제거율은 각각 49.8, 51.3, 52.5%로 비교적 낮게 나타나 분뇨중 생물학적으로 분해가 어려운 물질의 함량이 높았다.

## 4.2 질소 제거

### 4.2.1 질소원의 제거율

각 반응조건별 질소의 평균 제거효율은 SRT 10, 20, 30일이 각각 77.9, 77.9, 81.7%로 나타났으나 탈질산화율을 높이기 위해 외부기질로서 glucose를 주입한 RUN-4의 운전조건에서는 96.5, 97.1, 98.8%로 나타났으며, RUN-2의 운전조건에서는 각각 71.4, 69.7, 74.5%로서 가장 낮게 나타났다.

#### 4.2.1.1 Specific nitrification rate(SNR)

MLVSS가 안정된 60일 이후의 평균 SNR값은 SRT 10, 20, 30일에서 각각 10.83, 11.04, 9.04(mg nitrified-N/g MLVSS)로 나타났으며, RUN-2의 운전조건에서는 각각 10.11, 13.64, 11.46(mg nitrified-N/g MLVSS)으로 가장 낮았고, RUN-3의 경우 15.61, 13.64, 11.46(mg nitrified-N/g MLVSS)으로 가장 높게 나타나, SBR의 질산화는 하루 2cycle로 운전한 조건에서 혐기/호기/무산소 배분 시간을 3/5/2시간으로 하는 것이 가장 효과적이었다.

#### 4.2.1.2 Specific denitrification rate(SDR)

MLVSS가 안정된 60일 이후의 평균 SDR값은 SRT 10, 20, 30일에서 각각 8.26, 7.65, 7.47(mg denitrified-N/g MLVSS)로 나타났다. RUN-3의 조건으로 운전했을 때가 각각 10.25, 12.70, 12.15(mg denitrified-N/g MLVSS)로 가장 높게 나타났다.

### 4.2.2 nitrite의 축적

운전기간 약 70일까지 상당량의 nitrite의 build-up 현상을 보이다가 그 이후부터 점차 감소하여 RUN-3의 운전조건부터 nitrite의 build-up 현상이 급격히 감소하다가 RUN-4의 운전조건부터 N-source 거의 모두가 nitrate로 전환되었다.

### 4.2.3 Alkalinity와 질산화와의 관계

특히 RUN-4의 무산소조건 종료시점에서 탈질산화를 촉진하기 위해 외부탄소원인 glucose를 투입할 때 pH의 급격한 감소현상이 나타나 최저 pH 값이 5.9까지 저하되었다. 호기조건에서 1g의  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 질산화되는데 소비되는 alkalinity의 실험적 계수값은 평균은 SRT 10, 20, 30일에서 각각 6.22, 6.11, 5.84[mg destroyed alk.(alkalinity as  $\text{CaCO}_3$ )/mg removed  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ]로 나타나 이론값보다 낮게 나타났다.

#### 4.2.4 질소제거와 ORP와의 관계

RUN-L의 조건으로 운전한 반응기의 혐기조건에서  $\text{NO}_x\text{-N}$ 의 농도가 zero가 되는 'nitrate knee'가 약 20분에 나타났으며 4시간의 무산소 조건에서 탈질산화가 완료된 ORP의 bending point는 약 3시간에서 확인하였다.

#### 4.3 인 제거

반응기내 잔존  $\text{NO}_x\text{-N}$ 의 농도가 낮을수록 유출수내 인농도가 낮게 나타났다. 전 운전기간 동안 평균 인제거율은 RUN-1, 2, 3에서 각각 59.8, 64.5, 68.6%로 나타났으며 운전기간과 SRT가 증가할수록 인제거율이 증가하였다. 사용한 기질의 C/P비는 전 운전기간 평균 17.9이었다. 그리고 C/P비가 증가할수록 인제거율이 증가하였으며, 유출 인의 농도도 낮게 유지되었다. 따라서 본 연구를 통해 C/P비를 20 이상일 때 70% 이상의 인제거율을 보였다. 운전기간과 혐기조건에서 소비된 COD농도 및 SRT가 증가할수록 인방출이 증가하였고 혐기조건에서 released P/consumed COD 비는 약 0.1에서 SBR이 안정적으로 운전되었다.

#### 4. 결 론

7개월간 SBR을 운전한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 질소제거율은 SRT 10, 20, 30일로 운전한 SBR에서 각각 평균 77.9, 77.9, 81.7%로 나타났으며, 탈질산화를 높이기 위해 무산소 조건 초기에 외부기질인 glucose를 주입한 RUN-4의 운전조건에서 질소제거율은 각각 96.5, 97.1, 98.8%로 가장 우수하였고, RUN-2의 운전조건에서는 각각 71.4, 69.7, 74.5%로 가장 낮게 나타났다. MLVSS가 안정된 60일 이후의 SNR과 SDR은 각각 11.18, 11.62, 10.68(mg nitrified-N/g MLVSS)과 9.25, 8.14, 8.83(mg denitrified-N/g MLVSS)로 나타났다. 그리고 운전기간 약 70일까지 상당량의 nitrite 축적현상을 보이다가 그 이후 점차 감소되었으며, RUN-4의 운전조건에서는  $\text{NO}_x\text{-N}$  중

대부분이 nitrate까지 질산화되었다.

2. 전 운전기간동안 호기조건에서 질산화된 질소와 소비된 알칼리도와의 양론적 관계는 SRT 10, 20, 30일로 운전한 SBR에서 각각 6.22, 6.11, 5.84(mg destroyed alkalinity/mg nitrified N)으로 나타났다.

3. 하루 1cycle로 운전한 무산소 조건에서 nitrate knee( $\text{NO}_x\text{-N}$ 이 zero가 되는 지점) point인 ORP bending point가 약 3시간만에서 나타났으며, ORP를 이용한 SBR의 영양염 제거를 위한 공정제어 가능성을 확인하였다.

4. 전 운전기간 평균 인제거율은 SRT 10, 20, 30일로 운전한 SBR에서 각각 59.8, 64.5, 68.6%로 나타났다.

5. C/P비가 20이상에서 70% 이상의 인제거율이 나타났으며 반응기내 잔존  $\text{NO}_x\text{-N}$ 이 낮을수록 유출인의 농도가 낮게 나타나 SBR을 이용한 영양염 제거공정에서 인제거 미생물이  $\text{NO}_x\text{-N}$ 에 의한 방해를 받고 있음을 확인하였다.

6. 하루 2cycle로 운전할 경우 유기물과 질소 및 인제거를 위해 혐기/호기/무산소 조건의 배분시간은 3/5/2로 하여 운전하는 것이 가장 효과적인 것으로 나타났다.