

연속회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor)를 이용한 분뇨중 유기물과 질소 및 인의 동시제거

한 기 백 · 박 동 근 · 이 해 군 · 김 창 원
경주전문대학 환경공업과 · 동서대학교 환경공학과 · 부산대학교 환경공학과
(1997년 7월 2일 접수)

Removal of Simultaneously Biological Organic, Nitrogen, and Phosphorus Removal in Sequencing Batch Reactors using Night-soil

Gee-Baek Han, Dong-Keun Park[†], Hae-Goon Lee[‡], and Chang-Won Kim[§]

[†]Dept. of Environ. Eng., Kyongju Junior College, Kyongju

[‡]Dept. of Environ. Eng., Dongseo University, Pusan

[§]Dept. of Environ. Eng., Pusan National University

(Manuscript received 2 July 1997)

Sequencing Batch Reactor(SBR) experiments for organics and nutrients removal have been conducted to find an optimum anaerobic/anoxic/aerobic cycling time and evaluate the applicability of oxidation-reduction potential(ORP) as a process control parameter.

In this study, a 6 l bench-scale plant was used and fed with night-soil wastewater in K city which contained TCODcr : 10,680 mg/l, TKN : 6,893 mg/l, NH₄⁺-N : 1,609 mg/l, PO₄³⁻-P : 602 mg/l on average. The cycling time in SBRs was adjusted at 12 hours and 24 hours, and then certainly included anaerobic, aerobic and anoxic conditions. Also, for each cycling time, we performed 3 series of experiment simultaneously which was set up 10 days, 20 days and 30 days as SRT.

From the experimental results, the optimum cycling time for biological nutrient removal with night-soil wastewater was respectively 3hrs, 5hrs, 3hrs(anaerobic-aerobic-anoxic). Nitrogen removal efficiency was 77.9%, 77.9%, 81.7% for each SRT, respectively. When external carbon source was fed in the anoxic phase, ORP-bending point indicating nitrate break point appeared clearly and nitrogen removal efficiency increased as 96.5%, 97.1%, 98.9%. Phosphate removal efficiency was 59.8%, 64.5%, 68.6% for each SRT. Also, we found the applicability of ORP as a process control parameter in SBRs.

Key words : Biological nutrients removal, Sequencing Batch Reactor(SBR), Process control, ORP, Night-soil

1. 서 론

통상 분뇨 처리시설은 전처리시설, 1차처리시

설, 2차처리시설, 오니처리시설과 그 외 부대시

설로 이루어 지며, 우리나라의 기존 분뇨처리시

Table 1. Characteristics of night-soil used in this study

Item	Range(mg/L)	Mean(mg/L)	No. of analysis
TCOD _{Cr}	6,633 ~ 21,621	10,680	30
SCOD _{Cr}	2,854 ~ 14,860	6,893	30
TKN	1,223 ~ 3,200	1,805	30
NH ₄ ⁺ -N	939 ~ 2,773	1,609	18
NO ₂ ⁺ -N	0 ~ 3.4	3.5	18
NO ₃ ⁺ -N	0 ~ 10.5	4.8	18
Ortho-P	333.2 ~ 1,097	602	18

설은 1차처리시설의 형태에 따라 분류되고 있으며, 주로 유기성 오염물질 처리에만 초점이 맞춰져 있다(김희정, 1980).

이러한 처리시설로는 분뇨중에 험유되어 있는 고농도의 영양염 처리가 어렵기 때문에 유기 물원 뿐만 아니라 영양염까지 처리가 가능한 시설로의 대체가 시급한 실정이다. 최근에 중소규모의 배출원에서 영양염의 처리를 위해 Fill and Draw 방식의 회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor : SBR)에 의한 처리시설이 갖는 장점으로 인해 많은 이용가치가 제기되고 있으며, 또한 연구가 활발히 진행되고 있다(Irvine and Murphy et al., 1979, 1987; Melcer, 1987; Bjorn and Eliassen, 1993; Vuoriran-

ta et al., 1993). 그리고 SBR은 높은 기질의 강도에서도 filamentous bacteria에 의한 슬러지 벌킹 억제에 효과적이며(Irvine and Busch, 1979), 질소제거(Aleeman and Irvine, 1980; Palis and Irvine, 1985) 뿐만 아니라 인의 제거(Manning and Irvine, 1985; Wilderer and Dettmer, 1987)에도 매우 효과적이라는 연구결과가 보고되었다.

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

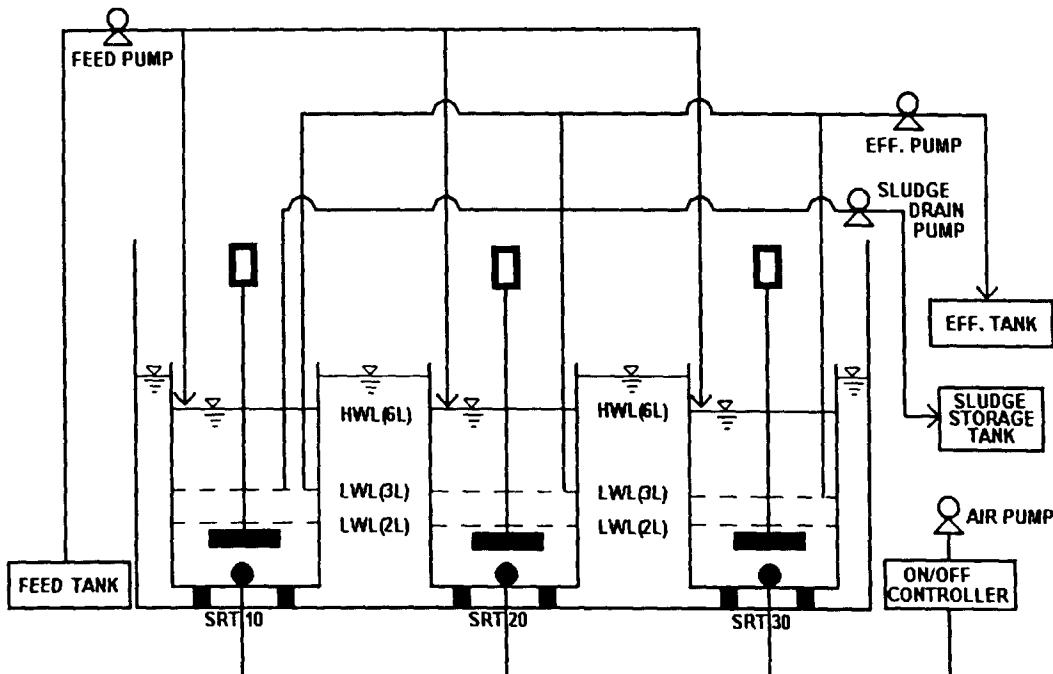


Fig. 1. Schmatic diagram of sequencing batch reactor system.

Table 2. Operational parameters of the three lab.-scale SBRs used in this study

Parameters	RUN-1			RUN-2			RUN-3			RUN-4		
	RUN-A	RUN-B	RUN-C	RUN-D	RUN-E	RUN-F	RUN-G	RUN-H	RUN-I	RUN-J	RUN-K	RUN-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
Inf. & Eff. 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

였다.

된 저수위(LWL)는 RUN-1, 2, 3이 3L, 그리고 RUN-4는 2L가 되도록 조작하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에서는 K시의 분뇨처리장에서 처리하고 있는 분뇨처리장 1차 유출수를 사용하였다. K시의 경우 1996년도 현재 분뇨와 정화조오니의 1일 발생량은 각각 103kl와 100kl이고, 총 발생량의 44.3%인 90kl가 수거량이며, 이 중 수거분뇨가 60kl이고 정화조오니는 30kl를 차지하고 있다. 실험에 이용된 분뇨는 6시간정도 침전시켜 고형분을 제거한 후 300mesh의 sieve로 여과하여 사용하였는데, 침전 여과한 분뇨처리장 1차 유출수의 수질분석결과는 Table 1과 같다. 그리고 본 실험의 반응조 유입수는 채취시 농도를 고려하여 4~6배 회석하여 사용하였으며 전 운전기간동안 회석된 유입수의 평균농도는 COD가 16,41.9mg/L, TKN이 311.0mg/L 그리고 ortho-P는 92.6mg/L 이었다.

2.2 실험장치

본 연구에서 사용한 SBR은 유효용량이 6L의 원통형 반응기로 Fig. 1과 같이 3기의 SBR을 항온수조내에 설치하였으며, 공기 주입방식이나 부속장치, 산기기와 교반장치 그리고 상등수 제거장치 및 SRT 조절용 pump 등의 운전은 자동제어되도록 장치하였다. SBR의 고수위(HWL)는 6L이나 반응과 침전후 상등수가 제거

2.3 실험방법

2.3.1 SBR의 운전전략

3조의 SBR을 3가지의 SRT에 따른 총 12가지 mode로 운전하였으며, SRT를 초기조건 기준으로 각각 10, 20 및 30일로 운전하였다. 본 연구에 사용된 SBR의 운전변수와 운전조건은 Table 2과 Table 3에 나타내었다. 그리고 SRT 조절을 위한 잉여슬러지는 반응종료 직전에 제거되도록 조절하였다.

본 연구에서 사용한 슬러지는 하수처리장 반송슬러지를 약 1개월간 합성기질로 순치시킨 다음 다시 분뇨와 합성기질을 혼합한 복합기질로 약 2주간 순치시킨 슬러지를 MLSS 3,000mg/L로 맞추어 각 반응기에 분주하여 운전하였다.

또한 탈질산화를 촉진하기 위해 RUN-4의 무산소 조건 초기에 약 1g/L의 glucose를 주입하였으며, 모든 반응기의 운전온도는 20±3°C가 유지되도록 온도조절장치가 부착된 항온수조에서 운전을 수행하였으며, 한 주기동안의 배분시간은 Fig. 2에 나타내었다.

RUN-1에서 RUN-4까지의 협기/호기시간 비율은 각각 0.5, 1, 0.6, 0.6로 운전하였으며, 전체 운전기간동안 COD 용적부하율의 범위가 1.080~1.980 kg/m³.day였고, 평균 COD 용적부하율은 1.558 kg/m³.day로 운전하였다. 그리고 MLVSS 농도 대비 평균 F/M비는 SRT 10일,

Table 3. Operational strategies for SBR in one cycle(hrs)

Operational No.		SRT	Fill	Anaero.	1st Aero.	Ano.	2nd Aero.	Settle	Draw	Operating Periods (days)
RUN -1	RUN-A	10								
	RUN-B	20	0.25	2	4	2	1	2.5	0.25	60
	RUN-C	30								
RUN -2	RUN-D	10								
	RUN-E	20	0.25	3	3	3	1	1.5	0.25	90
	RUN-F	30								
RUN -3	RUN-G	10								
	RUN-H	20	0.25	3	5	2	-	1.5	0.25	30
	RUN-I	30								
RUN -4	RUN-J	10								
	RUN-K	20	0.25	6	10	4	2	1.5	0.25	30
	RUN-L	30								

* SRT : based on 1st aerobic condition in a cycle.

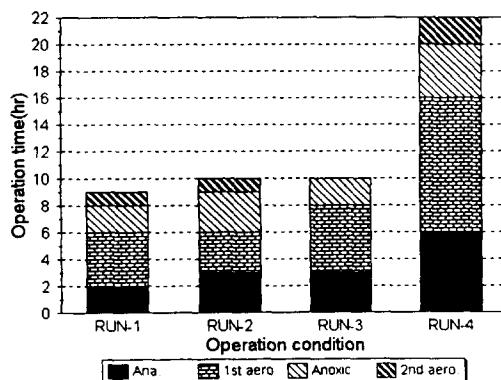


Fig. 2. Time distribution in a cycle.

20일 및 30일 반응기가 각각 0.235, 0.207, 0.193 kgCOD/kg MLVSS.day로 운전하였다.

또한 전 운전기간동안 유입수의 평균 C/N비와 C/P는 각각 5.47과 17.85였으며, 전 운전기간동안 유입수의 C/N 및 C/P ratio의 범위는 각각 3.60~9.01과 11.02~21.10이었다.

2.3.2 분석방법

각각의 SBR에서 50mL의 시료를 채취하여 GF/C 여과지로 거른 후, 다시 0.45 μm membrane filter로 여과하여 분석에 사용하였다. SBR에서 채취한 시료의 분석항목은 pH, DO, MLSS, MLVSS, COD_{cr}, TKN, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, PO₄³⁻-P, alkalinity 및 ORP 등 총 11개항목으로 분석방법은 standard method (1992)과 ion chromatography로 분석하였다.

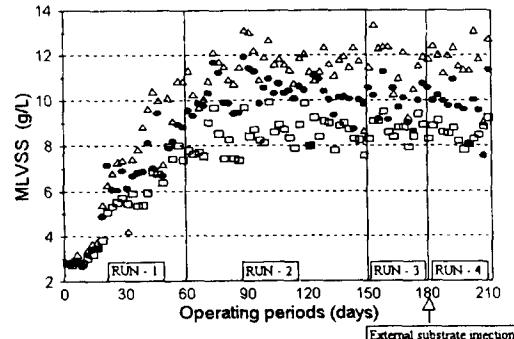


Fig. 3. Temporal variation of MLVSS for SBR system.

3. 결과 및 고찰

3.1 반응기의 MLVSS

순차시킨 미생물은 각 반응기에 3,000mg/L 씩을 분주한 후 분뇨처리장 1차 유출수의 주입을 시작하여 7개월간 운전변수를 달리하면서 운전하였다. 반응기를 운영한 결과 전 운전기간에 따른 SBR내 MLVSS 농도의 변화는 Fig. 3과 같다.

순차시킨 미생물을 SBR에 분주한 후 약 60일 경과후부터 MLVSS가 안정되었으며, 안정된 이후 유지되는 MLVSS 평균농도가 SRT 10일, SRT 20일, SRT 30일로 운전한 3개의 반응기에서 각각 8,532mg/L, 10,056mg/L, 11,534mg/L 이었고, 평균 MLSS/MLVSS 비는 모두 0.86으로 유지되었다.

3.2 pH 및 DO의 거동

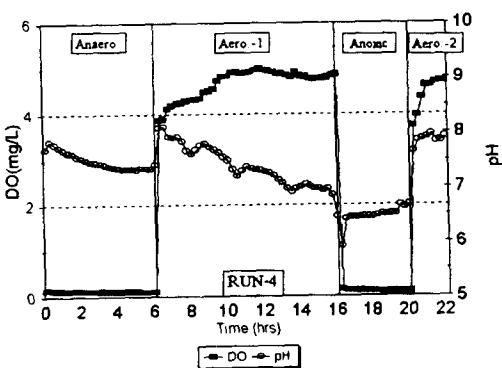
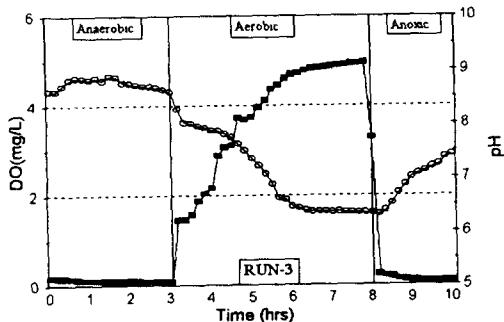


Fig. 4. Temporal variation DO and pH in a cycle.

질소와 인제거를 위한 SBR 공정에서 각 운전 조건에 따라 적절한 DO와 pH 조건부여는 매우 중요하다. 생물학적 질소·인제거 공정에서 인제거 bacteria가 협기조건에서 원활한 인 방출을 위한 DO의 제한 농도는 0.3mg/L 이하가 유지되어야 하고, 무산소 조건에서 탈질반응을 위한 DO의 농도한계는 0.2mg/L 이하가 유지되어야 한다(Skerman, 1957; Terai, 1975; Dawson and Murphy, 1972)

Fig. 4는 한 주기동안의 DO와 pH 변화를 나타내었다. 한 주기동안 호기조건시 질산화 작용으로 인한 pH 변화가 하루 2 cycles 운전한 RUN-3의 경우 호기조건 초기의 pH가 8.6에서 호기조건 종료직전에는 6.3까지 감소하였으며, 하루 1cycle로 운전한 RUN-4에서는 7.4에서 6.5까지 감소하였다. 협기조건 초기에 pH 증가는 탈질산화로 인한 영향이고, 그 후 지방산의 생성으로 pH의 감소가 일어나며, 호기조건에서는 질산화 반응결과 H^+ 생성으로 pH 감소가 일어난다(Yu et al., 1997). 따라서 분뇨와 같이

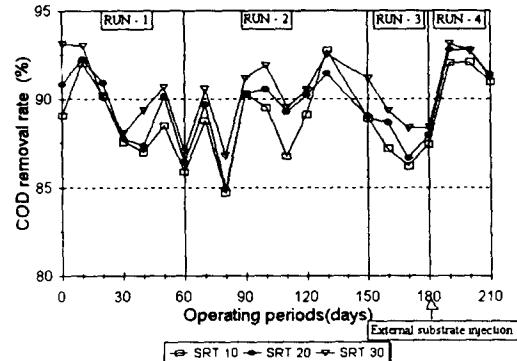


Fig. 5. Temporal profile of COD removal rate.

고농도의 질소원을 함유하는 폐수인 경우 질소와 인제거 공정의 적정운영을 위해서는 pH가 중요한 변수로 작용하고 있음을 알 수 있다.

SBR의 DO 변화는 협기와 anoxic 조건하에서는 0.1mg/L 이하의 농도까지 떨어져 운전되고 있어 인방출 및 탈질산화 기작에 DO의 영향은 없는 것으로 생각된다. 그리고 호기조건 부여시 최대로 유지되는 DO가 모든 조건에서 약 5mg/L로 유지되고 있어 질산화와 인섭취기작에도 DO의 영향은 없을 것으로 생각된다.

3.3 유기물의 제거

질소와 인을 동시에 제거하는 SBR 공정에서 SRT와 1cycle당 각 조건별 배분시간에 따른 COD 제거율 변화는 Fig. 5에서와 같이 크게 관찰되지 않았으며, 각 반응조건별 평균 COD 제거율은 SRT 10, 20, 30일에서 각각 88.9, 89.6, 90.4%이었다. 그리고 4번의 운전조건을 달리한 총 12가지 mode의 운전조건에서 유출수의 평균 COD는 156~183mg/L로 나타났는데 이 값은 사용한 기질내의 slowly biodegradable 또는 nonbiodegradable COD를 의미한다(Bortone et al., 1992).

그리고 협기조건시 SRT 10, 20, 30일의 반응기 COD 제거율은 각각 49.8, 51.3, 52.5%로 비교적 낮게 나타났다. 이는 주입기질이 분뇨로서 분뇨중 생물학적으로 분해가 어려운 물질의 함량이 높아 인제거 미생물에 의한 COD의 흡수 기작에 방해요소로 작용한다는 사실을 입증하는 결과이다(Ekama et al., 1986).

Fig. 6은 협기조건시 미생물에 의한 COD 섭

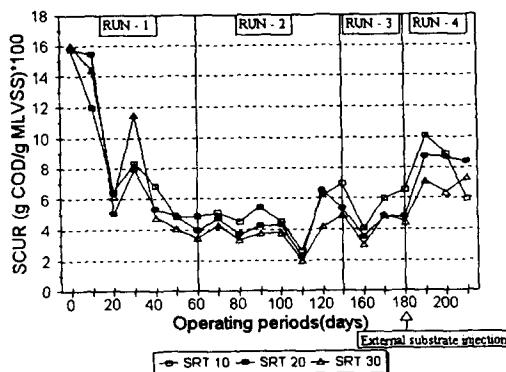


Fig. 6. Temporal profile specific CODC, uptake rate at anaerobic condition.

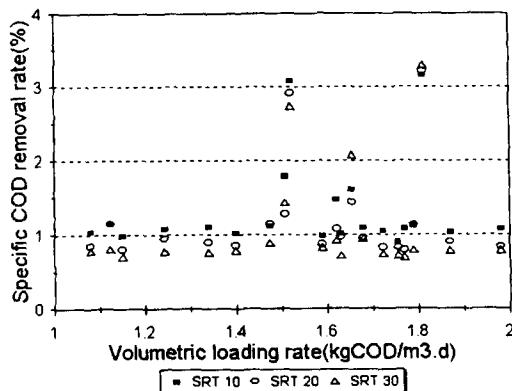


Fig. 7. Relationship between volumetric loading and specific COD removal rate.

취율로 유입기질로 사용한 분뇨중 인체거 기작에 작용하는 미생물에 의한 혼기시 평균 비기질 섭취율(specific COD uptake rate : SCUR)이 평균 SRT 10, 20, 30일에서 각각 6.79×10^{-2} , 6.42×10^{-2} , 5.99×10^{-2} g COD/g MLVSS · day로 나타났다.

그리고 Fig. 7은 COD 용적부하율에 따른 COD 비제거율인데 용적부하율에 따른 COD 제거율의 변화는 크게 관찰되지 않았다.

3.4 질소 제거

3.4.1 질소원의 제거율

생물학적 질소제거 공정에서 질산화반응의 영향인자는 pH, DO, 온도, SRT, C/N비 등이고, 탈질산화 반응은 온도, NO_x-N 농도 및 탄소 원의 종류 등에 영향을 받는다. Rusten(1993)

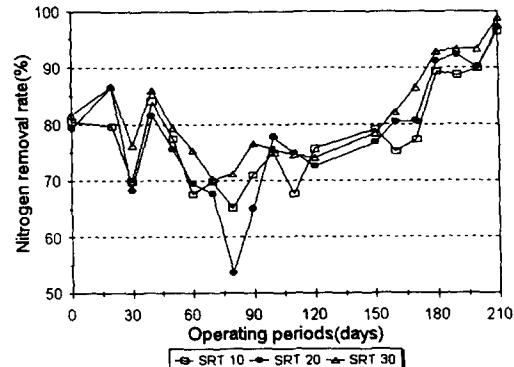


Fig. 8. Temporal profile of nitrogen removal rate.

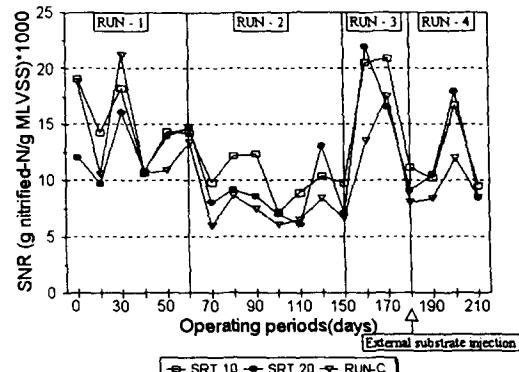


Fig. 9. Temporal profile of specific nitrification rate at aerobic condition.

은 질산화 반응에서 10°C 호기조건의 NH₄⁺-N 유출농도가 2mg/L 이하로 유지하기 위해서는 호기 SRT가 최소 12~13일 이상되어야 한다고 하였다.

그림 3-5에서와 같이 본 연구에서 각 반응조건별 질소의 평균 제거효율은 SRT 10, 20, 30일이 각각 77.9, 77.9, 81.7%로 나타났으며, 탈질산화율을 높이기 위해 외부기질로서 glucose를 주입한 RUN-4의 운전조건에서는 96.5, 97.1, 98.8%로 나타났다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 질소원의 제거효율이 RUN-2의 운전조건에서 질소제거율이 SRT 10, 20, 30일에서 각각 71.4, 69.7, 74.5%로 타 운전조건에 비해 낮은 값을 나타났다.

3.4.2 질산화와 탈질산화

3.4.2.1 Specific nitrification rate(SNR)

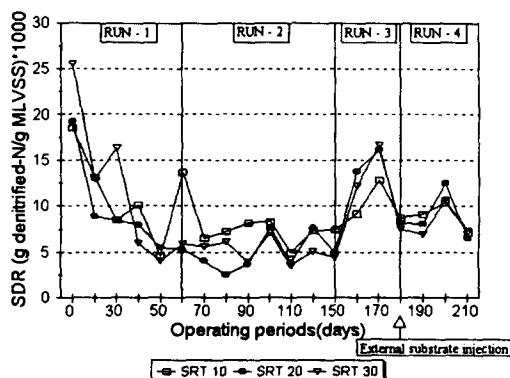


Fig. 10. Temporal profile of specific denitrification rate at anoxic condition.

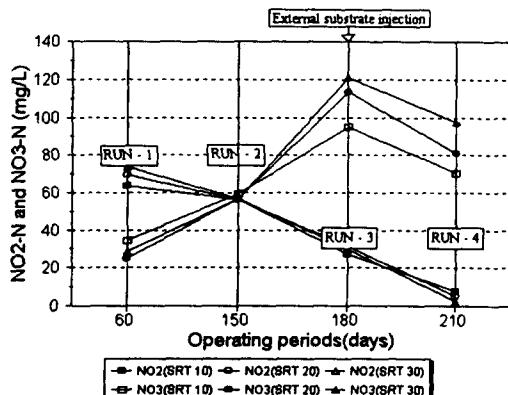


Fig. 11. Profile of average nitrite and nitrate concentration at aerobic condition.

Fig. 9는 각 운전조건에 따른 specific nitritification rate(SNR)을 나타낸 것으로, MLVSS가 안정된 60일 이후의 평균 SNR값은 SRT 10, 20, 30일에서 각각 10.83, 11.04, 9.04mg nitrified-N/g MLVSS로 나타났다. 탄운전조건에 비해 RUN-2의 SNR값이 상대적으로 낮았으며, RUN-3이 가장 높았다. 따라서 본 연구에서 사용한 SBR의 질산화는 하루 2cycle로 운전한 조건에서 혼기/호기/무산소 배분시간을 3/5/2시간으로 하는 것이 가장 효과적이었다.

3.4.2.2 Specific denitrification rate(SDR)

specific denitrification rate(SDR)은 Fig. 10에서처럼 운전기간이 경과할수록 MLVSS

증가에 비례하여 감소하고 있다. 이러한 결과는 정상상태가 될 때까지 MLVSS 농도는 증가하나 그 중 탈질산화 비생물의 비율은 증가하지 않고 있음을 암시하는 결과이다. MLVSS가 안정된 60일 이후의 평균 SDR값은 SRT 10, 20, 30일에서 각각 8.26, 7.65, 7.47mg denitrified-N/g MLVSS로 나타났다. MLVSS의 안정적 농도가 유지되는 60일 이후에서 배분시간에 따른 SDR의 값은 본 연구에서는 RUN-3의 조건으로 운전했을 때가 가장 높게 나타났다.

3.4.3 nitrite의 축적

nitrite의 축적은 반응기내 free ammonia 농도, 온도, pH 그리고 DO농도에 의해 영향을 받고, 그 중 free ammonia와 온도가 가장 큰 영향을 미친다(Balmelle et al., 1992; Anthonisen, 1976; Suthersan and Ganczarczyk et al., 1989; Jayamohan and Ohgaki, 1988; Hanaki and Wantawin, 1990). 질소원 제거를 위한 질산화-탈질산화 처리공정인 경우, nitrite의 축적은 질산화를 위한 전자수용체(O_2)와 탈질산화를 위한 전자공여체(유기탄소)의 요구량이 저감되는 장점이 있기 때문에 바람직한 결과를 가져오기도 한다(White, 1981; Smith et al., 1978; Colt, 1979; Prakasam et al., 1978; Alleman, 1983a; Senanayake, 1983).

Fig. 11은 호기조건 종료시점에서 각 반응조건별 nitrite와 nitrate의 농도를 나타낸 것으로 운전기간 약 70일까지 상당량의 nitrite의 build-up 현상을 보이다가 그 이후부터 점차 감소하여 RUN-3의 운전조건부터 nitrite의 build-up 현상이 급격히 감소되고 질산화된 N-source 거의 모두가 nitrate로 전환되고 있음을 볼 때 *Nitrobacter*의 inhibition이 상당히 감소되었을 것이라 추정된다.

따라서 본 연구에서는 운전기간이 증가함에 따라 *Nitrobacter*의 inhibition이 상당히 감소되고 있다는 것을 알 수 있고, 특히 RUN-4의 경우 질산화의 rate-limiting step은 *Nitrosomonas*에 의한 NH_4^+ -N이 NO_2^- -N으로의 전환시점으로 볼 수 있을 정도로 nitrite의 농도가 낮게 유지되었다. 따라서 질산화-탈질산화 공정일 경우, 공정에 문제를 일으키지 않는 조건이라면 nitrite의 일시적인 build-up 시점에서 공정을 운전하는 RUN-1과 RUN-2와 같은 운전조

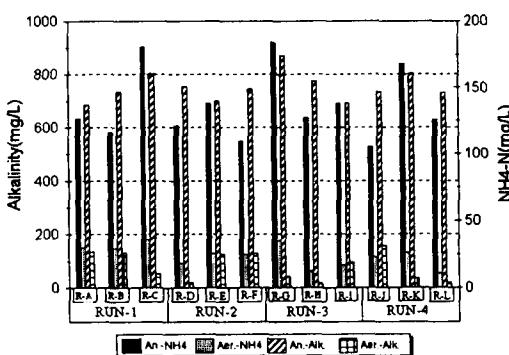


Fig. 12. Profile of average ammonia and alkalinity concentration between anaerobic and aerobic condition.

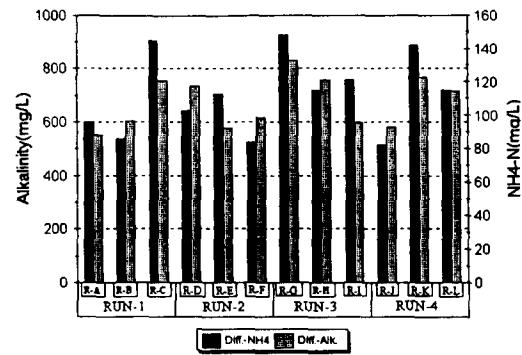


Fig. 13. Difference of average ammonia nitrogen and alkalinity concentration between anaerobic and aerobic condition.

전이 경제적일 것이라 판단된다. 그러나 본 연구에서 처럼 nitrite의 일시적인 축적이 질소와 인제거에 얼마만큼의 효과적인지 대한 향후의 연구가 필요하리라 생각된다.

3.4.4 Alkalinity와 질산화와의 관계

본 연구에서 사용한 유입기질내 alkalinity 평균농도는 1162.8mg/L로 비교적 높은 alkalinity 농도를 나타내고 있다. 질산화 반응결과 alkalinity 소모로 인해 pH가 저하되고 있으며 특히 RUN-4의 호기조건 종료시점에서 탈질산화를 촉진하기 위해 외부탄소원인 glucose를 투입할 때 pH의 급격한 감소현상이 나타나 최저 pH 값이 5.9까지 저하되었다. 이러한 pH 감소는 반응기내의 미생물의 활성을 저하시키는 요인으로 작용하여 C·N·P 제거공정의 전체적인 부실로 연계되기 때문에 적절한 pH 조절을 위한 외부 alkalinity의 공급이 필요하다는 것을 시사해 주는 결과이다. Fig. 12에서와 같이 한 주기동안의 alkalinity 변화는 협기조건에서 호기조건으로 전환되면 급격한 감소가 나타나고, 협기조건의 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 가 호기조건에서 급격히 감소하는 패적과 거의 동일한 양상을 보이고 있다. Fig. 13은 협기조건과 호기조건에서 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 와 alkalinity와의 각 운전조건별 평균 농도차이를 나타내고 있다. 본 연구를 통하여 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 CaCO_3))

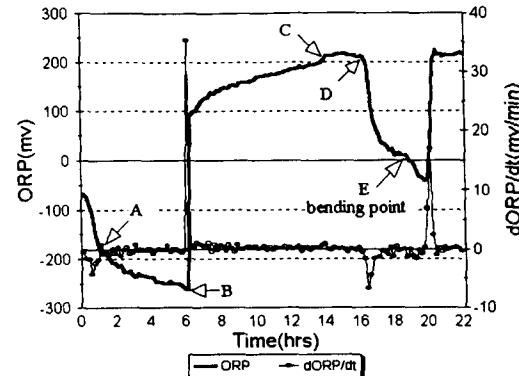


Fig. 14. Variation of ORP, $d\text{ORP}/dt$ during one cycle in the RUN-L.

mg removed $\text{NH}_4^+ \text{-N}$]로 나타나 이론값보다 낮게 나타났다. 이러한 결과는 미생물에 의한 무기질소 화합물의 합성량을 고려하지 않았기 때문이다. 그리고 SRT가 길어질수록 그 값이 낮아지는 것은 SRT가 길어질수록 MLSS농도가 상대적으로 높기 때문에 미생물에 의해 이용되는 질소의 양이 증가한 때문인 것으로 생각된다.

3.4.5 질소제거와 ORP와의 관계

ORP-time profile은 생물학적 반응과 관련이 있는 뚜렷한 특징을 가지고 있고, system내의 생물학적 상태를 감지하여 빠른 실시간 정보를 제공한다(Wareham et al., 1993). ORP-time profile에서 제어에 사용되는 주요 ORP-time 특징은 질산염 파괴점이다. 따라서 굴곡점에 따라 cycle당 배분시간을 조절하면 불필요한 폭기비

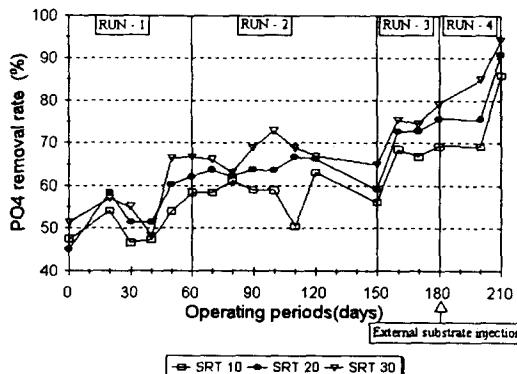


Fig. 15. Temporal profile of ortho-P removal rate.

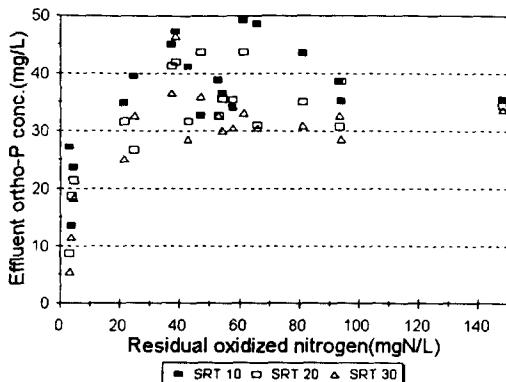


Fig. 16. Relationship between residual oxidized nitrogen and effluent ortho-P concentration.

용을 줄일 수 있고, SBR을 이용한 BNR 공정을 자동제어할 수 있을 것이다.

Fig. 14는 하루 1cycle과 SRT 30일로 운전한 RUN-L의 운전조건에서 ORP와 $d\text{ORP}/dt$ 의 관계로서 A지점은 nitrate 농도가 zero가 될 때 나타나며, 이 점이 nitrate knee이다(Peddie et al., 1990). B지점에서 폭기로 인해 ORP의 급격한 증가가 일어난 후, C지점까지는 완만한 증가가 나타났다. C지점이 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 농도가 최소가 되고 질산화가 종료되는 시점을 의미한다 ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 에서 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 으로). 그리고 C지점에서 D지점까지의 구간은 nitrite가 nitrate로 산화되는 구간으로 ORP변화가 거의 나타나지 않았다. 또한 4시간의 무산소 조건에서 탈질산화가 완료된 ORP의 bending point는 약 3시간에서 나타났다.

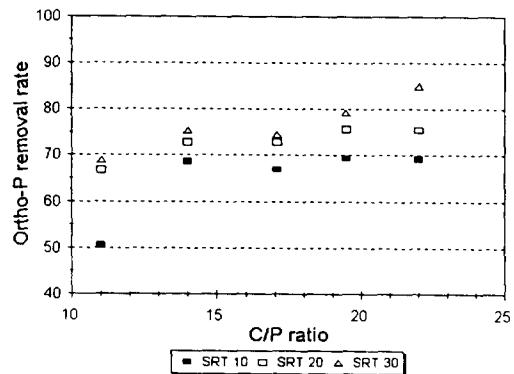


Fig. 17. Temporal profile of ortho-P removal rate at various C/P ratio.

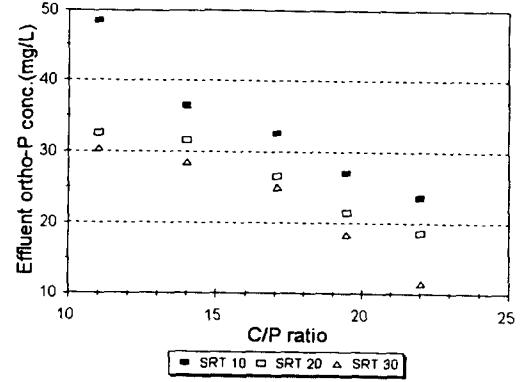


Fig. 18. Temporal profile of effluent ortho-P concentration at various C/P ratio.

3.5 인 제거

3.5.1 인 제거율

생물학적 인 제거 공정에서 반응기내 잔존하는 $\text{NO}_x\text{-N}$ 가 인제거 미생물에 의한 인방출 기작에 방해작용을 한다(Sasaki and Myoga, 1982; Marais et al., 1983). 본 연구에서도 Fig. 16에서와 같이 반응기내 잔존 $\text{NO}_x\text{-N}$ 의 농도가 낮을 수록 유출수내 인농도가 낮게 나타났다. 그리고 혼기조건에서 생물학적인 인방출은 biodegradable COD(BDCOD)를 섭취하면서 이루어지기 때문에 효과적인 인방출을 위해서는 BDCOD의 존재가 필수적이다(Mostert et al., 1989; Jones et al., 1987). 전 운전기간 동안 평균 인제거율을 Fig. 15에 나타내었는데 RUN-1, 2, 3에서 각각 59.8, 64.5, 68.6%로 나타났으며 운전기간과 SRT가 증가할수록 인제거율이 증가하였다. 인제거 공정에서 적절한 C/P비는 약 20이나(WRC, 1984) 본 연구에서 사용한 기

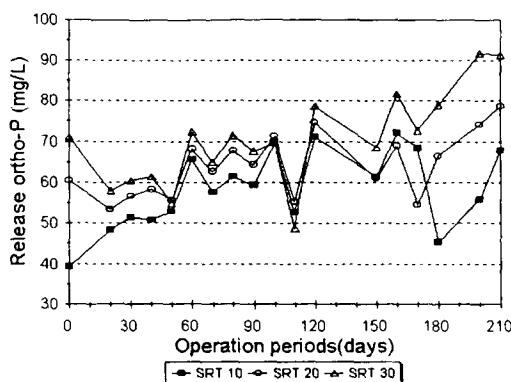


Fig. 19. Temporal profile of released ortho-P concentration at anaerobic condition.

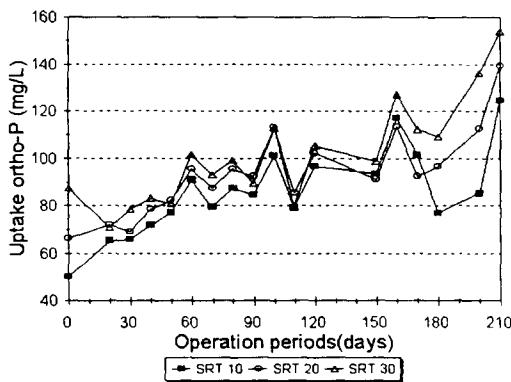


Fig. 20. Temporal profile of released ortho-P concentration at anaerobic condition.

질의 C/P비]는 전 운전기간 평균 17.9이었다. Fig. 17과 Fig. 18에서처럼 C/P비가 증가할수록 인제거율이 증가하였으며, 유출 인의 농도도 낮게 유지되었다. 따라서 본 연구를 통해 C/P비를 20 이상일 때 70% 이상의 인제거율을 보였다.

3.5.2 인 방출과 섭취

Fig. 19는 운전기간 동안 협기조건에서 방출된 인의 농도이고, Fig. 20 호기조건에서의 섭취된 인의 농도를 나타낸 것으로 운전기간과 SRT가 증가할수록 인 방출 및 섭취농도가 증가하고 있다.

또한 Fig. 21에서 보는 바와 같이 협기조건에서 소비된 COD농도와 SRT가 증가할수록 인방

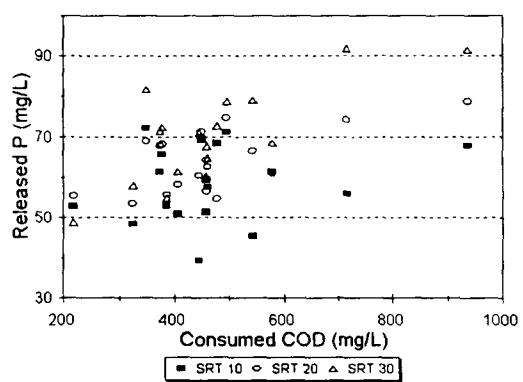


Fig. 21. Relationship between consumed COD and released ortho-P at anaerobic condition.

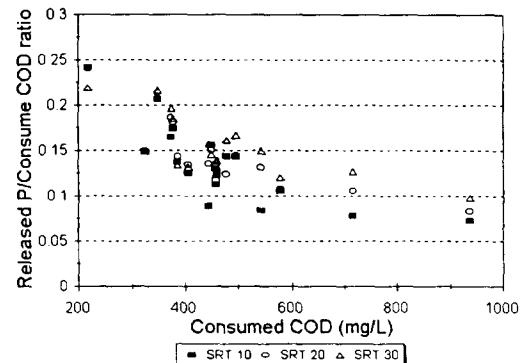


Fig. 22. Relationship between consumed COD and released ortho-P/consumed COD ratio at anaerobic condition.

출이 증가하고 있다. 본 연구를 통해 협기조건에서 released P/consumed COD 비[는 약 0.1에서 SBR이 안정적으로 운전되었다(Fig. 22).

4. 결 론

7개월간 SBR을 운전한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 6주간 순차시킨 미생물을 SBR에 분주하여 운전한 결과 약 60일 경과후부터 MLSS가 안정적으로 유지되었으며, SRT 10, 20, 30일로 운전한 SBR에서 각각 9.935, 11.79, 13.483g/L였다.

- 2) 협기조건 평균 비기질 섭취율이 SRT 10, 20, 30일의 반응기에서 각각 6.79×10^{-2} , 6.42×10^{-2} , 5.99×10^{-2} gCOD/gMLVSS.day로 비

교적 낮게 나타났으며, SRT에 따른 COD제거율은 큰차이를 보이지 않았다.

3) 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 specific nitrification rate와 specific denitrification rate는 각각 11.18, 11.62, 10.68mg nitrified-N/g MLVSS과 9.25, 8.14, 8.83mg denitrified-N/g MLVSS로 나타났다. 그리고 운전기간 약 70일까지 상당량의 nitrite 축적현상을 보이다가 그 이후 점차 감소되었으며, RUN-4의 운전조건에서는 NO_x-N 중 대부분이 nitrate까지 질산화되었다.

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

5) 하루 1cycle로 운전한 무산소 조건에서 nitrate knee(NO_x-N^o) zero가 되는 지점 point인 ORP bending point가 약 3시간만에서 나타났으며, ORP를 이용한 SBR의 영양염 제거를 위한 공정제어 가능성을 확인하였다.

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

7) C/P비가 20이상에서 70% 이상의 인제거율이 나타났으며 반응기내 잔존 NO_x-N이 낮을 수록 유출인의 농도가 낮게 나타나, SBR을 이용한 영양염 제거공정에서 인제거 미생물이 NO_x-N에 의한 방해를 받고 있음을 확인하였다.

8) 하루 2cycle로 운전할 경우 유기물과 질소 및 인제거를 위해 혼기/호기/무산소 조건의 배분시간은 3/5/2로 하여 운전하는 것이 가장 효과적이었다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 연구비지원과제(과제번호 : 06-E-0046)의 일환으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- 김희정 · 김수생, 1980, 분뇨 · 폐하수오니의 처리, 산업공해연구소, 서울, 295.
- Alleman, J. E and R.L. Irvine, 1980, Storage-induced denitrification using sequencing batch reactor operation. *Wat. Res.*, 14, 1483-1488.
- Alleman, J.E., 1983a, A streamlined approach to biological nitrogen removal in wastewater treatment. U.S. National Science Foundation, Grant No. CME-8006856-Final Report, Washington, D.C., 112.
- Anthonisen, A.C., 1976, Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid, *J. WPCF.*, 48(5), 835-852.
- Balmelle, B., K.M. Nguyen, B. Capdeville, J. C. Cornier and A. Deguin, 1992, Study of factors controlling nitrite build-up in biological processes for water nitrification, *Wat. Sci. Tech.*, 26(5/6), 1017-1025.
- Bjorn R. and H. Eliassen, 1993, Sequencing batch reactors for nutrient removal at small wastewater treatment plants, *Wat. Sci. Tech.*, 28(10), 233-242.
- Bortone G., S. Gemelli, A. Rambaldi and A. Tilche, 1992, Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, 26(5/6), 977-985.
- Colt J.S., 1979, Streamlined nitrogen removal from wastewater using batch activated sludge treatment, Unpublished masters thesis, University of Maryland, College Park, MD, 102.
- Dawson, R. N. and K. L. Murphy, 1972, The temperature dependency of biological denitrification, *Wat. Res.*, 6 : 71.
- Ekama G. A., P.L. Dold and G.v.R. Marais, 1986, Procedures for determining influent COD fractions and the maximum specific growth rate of het-

- erotrophs in activated sludge systems, *Wat. Sci. Tech.*, 18, 91-114.
- Jayamohan, S., S. Ohgaki, 1988, Effect of DO on kinetics of nitrification, *Wat. Supply*, 6, 141-150.
- Jones P.H., A.D. Tadwalkar and C.L. Hsu, 1987, Enhanced uptake of phosphorus by activated sludge - Effect of substrate addition, *Water Res.* 21, 301-308.
- Hanaki, K. and C. Wantawin, 1990, Nitrification at low levels of dissolved oxygen with and without organic loading in a suspended-growth reactor, *Wat. Res.*, 24(3), 297-302.
- Irvine, R.L., D.V.S. Murthy, M.L. Arora, J. L. Copeman, and J.A. Heidman, 1987, Analysis of full scale SBR operation at Grundy Center, Iowa, *J. WPCF*, 59, 132-138.
- Marais, G.V.R., R.E. Lowenthal and I.P. Siebritz, 1983, Observations supporting phosphate removal by biological excess uptake - A review, *Wat. Sci. Tech.*, 15, 15-41.
- Melcer, H., B.H. Topnik, and W.K. Bedford, 1987, Conversion of small municipal wastewater treatment plants to sequencing batch reactors, *Environmental Canada Report EPS 3/NR/2*.
- Mostert E.S., A. Gerber and C.J.J. van Riet, 1989, A comparative study on the effects of feedstock composition on enhanced biological phosphate removal in modified activated sludge systems, *Environ. Tech. Letters*, 10, 9-22.
- Palis, J. C. and R.L. Irvine, 1985, Nitrogen removal in a low-loaded single tank sequencing batch reactor, *J. WPCF*, 57(1), 82-86.
- Peddie C.C., D.S. Mavinic and C.J. Jenkins, 1990, Use of ORP for monitoring and control of aerobic sludge digestion, *J. Environ. Engng. ASCE*, 116(3), 461-471.
- Prakasam, T.B.S., C. Lue-Hing and R.C. Loehr, 1978, Nitrogen control in wastewater treatment systems by microbial nitrification and denitrification, *Microbiology*-1978, 372-379.
- Sasaki S. and H. Myoga, 1982, Biological removal of phosphorus by A/O process, (in Japanese) *Yosui to Haisui*, 24, 1157-1161.
- Senanayake, S., 1983, Substrate inhibition for streamlined nitrogen removal in the sequencing batch reactor, Unpublished masters thesis, University of Maryland, College Park, MD, 104.
- Skerman, V. B. D. and I. C. MacRae, 1957, The influence of oxygen availability on the degree of nitrate reduction by *Pseudomonas* denitrifications, *Can. J. of Microbiol.*, 3 : 305.
- Smith, E.D., R.M. Sweazy, D.M. Wells, M.L. Peeples, R.C. Baskett and R.H. Ramsey, 1978, Development of an unconventional approach to nitrification-denitrification, Final Report, OWRT No. A-035-Tex, Tech University, Lubbock, TX, 162.
- Suthersan, S. and J.J. Ganczarczyk, 1989, Inhibition of nitrite oxidation during nitrification, some observations, *Wat. Poll. Res. J. Canada*, 21(2), 257-266.
- Terai, H. and T. Mori, Studies on phosphorylation coupled with denitrification and aerobic respiration in *Pseudomonas denitrificans*, *Bio. Mag.*, 38 : 231.
- Vuoriranta P, D.H. Mariam, D. H. and E. Kautia, 1993, Organic carbon and nitrogen removal from wastewaters of single houses and small separate establishments using a simple sequencing batch reactor, *Wat. Sci. Tech.*, 28(10), 243-249.
- Wareham D.G., J.H. Kenneth and D.S. Mavinic, 1993, Real-time control of

- wastewater treatment systems using ORP, *Wat. Sci. Tech.*, vol. 28(11/12), pp. 273-282.
- White, G.C., 1981, Problems of disinfecting nitrified effluents, *Proc. ASCE Specialty Conf. on Environ. Engng.*, New York, NY, 497-511.
- WRC(1984) Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes, Water Research Commission of South Africa, South Africa.
- Yu R.F., S.L. Liaw, C.N. Chang, H.J. Lu and W.Y. Cheng, 1997, Monitoring and control using on-line ORP on the continuous flow activated sludge batch reactor system, *Wat. Sci. Tech.*, 35(1), 57-66.