

## 교대연속유입식 SBR 공정을 이용한 하수중의 질소 및 인 제거

서인석<sup>†</sup> · 김홍석 · 김연권 · 김지연

한국수자원공사 수자원연구원 국제상하수도연구소

## Nitrogen and Phosphorus Removal in Domestic Wastewater using SBR Process with Flow Changing Continuous Feed and Cyclic Draw

In-seok Seo<sup>†</sup> · Hong-suck Kim · Youn-kwon Kim · Ji-yeon Kim

International Water and Wastewater Research Center, KOWACO

(Received 11 April 2005, Accepted 11 January 2006)

### Abstract

A continuous feed and cyclic draw SBR process was developed to overcome flow rate fluctuation and to maximize organic matters utilization efficiency for nitrogen and phosphorus removal. The developed SBR process was operated with two parallel reactors. Influent was supplied to one reactor which was not obligately aerated. At the same time, the other reactor was just aerated without supplying influent. In addition this mode was changed periodically. Cycle time was 6hr and aeration time ratio ( $t_{aer}/t_{total}$ ) was 0.33, respectively.  $COD_{cr}$  and SS removal efficiencies of 95% or higher were achieved. Nitrogen removal was so greatly influenced by influent  $COD_{cr}/T-N$  ratio. At influent  $COD_{cr}/T-N$  ratio of 5.7, removal efficiencies of ammonia-N, T-N and T-P were 96%, 78% and 55%, respectively. Influent  $COD_{cr}/T-N$  of 4 or higher ratio was necessary to achieve 60% or higher nitrogen removal. Organic matters of influent was efficiently utilized in denitrification reaction and consumed COD has a good correlation with removed T-N (about 6.5 mgCOD/mgTN). Continuous feed and cyclic draw SBR process could be one of alternative processes for the removal of nutrients in rural area where  $COD_{cr}/T-N$  ratio was low and fluctuation of flow rate was severe.

**keywords** :  $COD_{cr}/T-N$  ratio, Nitrogen, Oxidation-Reduction Potential (ORP), Sequencing batch reactor

## 1. 서론

강화된 방류수 수질기준에 대비하기 위해 최근 신설되는 하수종말처리시설에서는 BNR(Biological Nutrients Removal) 공정으로 설계가 우선적으로 검토되고 있으며, 기존 처리시설에서도 고도처리 공정으로의 전환을 도모하고 있다. 국외에서 개발되어 도입된 BNR 공정은 우리나라 유입하수의 특성상 낮은 유기물농도로  $COD_{cr}/T-N$ 비가 낮아서 설계인자 및 운영인자의 조정 등 최적화에 어려움이 있다.

기존하수처리장의 여건상 고도처리 공법은  $A^2O$  계열이 많이 검토되고 있으나, 중·소규모의 신설 하수처리장의 경우에는 운영의 유연성 및 유량에 대한 대응성을 고려하여 연속회분식 활성슬러지 공정도 많이 적용되고 있다. 연속회분식 활성슬러지 공정(Sequencing Batch Reactor, SBR)은 유입수의 변동에 따라 한 반응조내에서 공기의 주입시간을 적절하게 조절하여 능동적으로 대처할 수 있으며, 유량변동에도 잘 대응한다는 큰 장점을 지니고 있다. 따라서, 유량 및 수질변동이 심한 중·소규모 도시에서 용이하게 적용할 수 있는 공정이며, 질소 및 인의 제거도 충분하

능하다. 또한, 미국환경청(U.S. EPA)에서도 SBR 공정이 경제성 및 처리효율면에서 우수한 것으로 평가한 바 있으며, 많은 공정들이 현재 상용화된 상태이다. 최근에는 공정을 최적화하는 방식으로 SBR 반응시간에 간헐폭기를 적용하는 방법과, 각종센서를 활용하여 공정의 효율성을 증진시키고자 하는 연구가 활발하게 진행 중에 있으며 연속유입식 SBR 공정 등도 상용화되어 현장에 적용되고 있는 추세이다(EPA, 1999; Coelho et al., 2000; Yu et al., 1998; Metcalf et al., 2003).

하지만, 기존 상용화된 질소 및 인 제거 목적의 SBR 공정도 낮은 유기물 농도 및  $COD_{cr}/T-N$  비로 인하여 기존의 설계 및 운영인자로는 효과적인 질소 및 인 제거가 어렵다. 이러한 문제점의 원인은 탈질산화(denitrification) 및 인의 방출과정에 유기물 이용률이 낮기 때문에 발생하는 것이다. 낮은 유기물 농도의 하수를 처리하는 SBR을 비롯한 간헐포기 형태의 고도처리 공정의 운영에 있어서 너무 짧은 포기/비포기의 주기는 오히려 질소 및 인 제거효율을 저하시키고 포기 후 후속되는 비포기 상태에서 적절하게 무산소 조건을 유지하기 어렵다. 최근에 개발되는 SBR 기술은 유량조정조의 축소 등의 시설 및 유지관리 측면만을 고려하여 연속적인 유입수의 공급에 중점을 두고 개발되었으나,

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
seois@kowaco.or.kr

공기가 공급되는 포기상태에서도 유입수가 일정부분 공급되어 유기물 소모가 발생하므로 질소 및 인 제거 효율에 영향을 미치게 된다.

따라서, 본 연구에서는 유기물의 활용성을 극대화시키기 위해 SBR 반응조 2개를 병렬로 배치하고 비포기 상태에만 유입수를 교대로 연속주입하는 SBR 공정을 개발하고 이에 따른 유기물, 질소 및 인 제거 특성을 파악하고자 하였다.

## 2. 실험 재료 및 방법

### 2.1. 유입수 특성

본 연구에서 이용한 유입수는 'D'댐 상류의 마을에서 발생하는 오수를 이용하였으며, COD<sub>cr</sub>의 평균 유입농도는 130.9 mg/L, 총질소 농도는 29.7 mg/L, 총인 농도는 2.3 mg/L로 유기물의 농도가 매우 낮고 COD<sub>cr</sub>/T-N 비도 4.4로 낮은 상태이다. 운영기간 중 우기가 포함되어 유입수의 변동이 매우 크게 나타났으며, 실험기간 중 수온은 20~27°C 범위이었다(Table 1).

**Table 1.** Characteristics of domestic wastewater used in this research

Items	Unit : mg/L					
	TCOD <sub>cr</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	T-N	T-P	Alkalinity
Max.	211.3	44.8	5.9	50.0	3.4	400
Min.	31.3	7.8	0.8	10.0	0.6	80
Avg.	130.9	26.3	2.3	29.7	2.3	270

### 2.2. 연속유입식 SBR 반응조 운영

본 연구에 사용된 SBR 실험장치는 유입완료 후 최대수위(high water level)를 기준으로 총 부피가 20 L인 SBR 반응조 2개를 병렬로 연결하였으며, 유입수는 병렬로 배치한 SBR 반응조 전단에 분배조를 설치하고 밸브의 조작에 의해 각각의 SBR 반응조에 교대로 유입되도록 하였다(Fig. 1). 1회 배출부피는 총부피의 40%이며, 폐슬러지는 방류단계에서 침전된 슬러지를 정량펌프로 1회/일 일정한 시간에 일정량씩 폐기하였다. SRT(Solids Retention Time)는 약 30일 정도로 유지하였다.

$$SRT = \frac{V \cdot X}{Q_w \cdot X_w + (Q - Q_w) \cdot X_e}$$

여기서 V = 반응조 용량 (m<sup>3</sup>)

X = MLSS 농도 (mg/L)

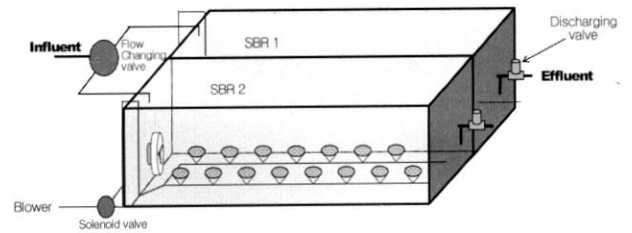
X<sub>w</sub> = 잉여슬러지의 SS 농도 (mg/L)

X<sub>e</sub> = 처리수의 SS 농도 (mg/L)

Q = 유입유량 (m<sup>3</sup>/day)

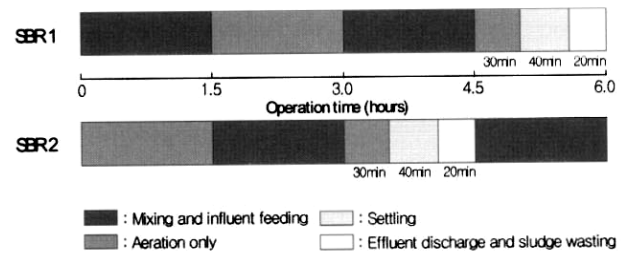
Q<sub>w</sub> = 잉여슬러지량 (m<sup>3</sup>/day)

SBR 1 및 SBR 2의 운영방법에서, 유입단계에서 처리수



**Fig. 1.** Schematic diagram of continuous flow and cyclic draw SBR.

배출단계로 구성되는 주기(cycle)는 6시간으로 설정하여 운영하였으며, 유입수의 주입은 SBR 1 및 SBR 2에 교대로 주입되도록 하였으며, 교대주기는 90분으로 하였다. 이때, 유입수 주입은 비포기 상태에서만 주입되도록 하여 탈질산화(denitrification) 반응에 유기물이 최대한 활용되도록 하였다. 또한, 포기시간도 교대로 시간을 설정하여 브로워의 용량을 최소화 하였으며, 침전 및 방류시간에는 브로워가 정지하도록 하였다. 최종처리수의 배출이 포함된 90분 동안의 시간구성은 30분은 재포기(re-aeration), 40분은 침전(settling), 나머지 20분 동안은 처리수 배출(draw) 및 슬러지 폐기(sludge wasting)로 구성하여 전체반응의 구성은 90분 단위의 반응 4단계로 공정을 구성하였으며 이에 대한 모식도는 Fig. 2와 같다. 전체반응에 대한 포기시간의 비는 0.33이며, 포기상태일 때 용존산소의 농도는 약 3 mg/L 수준까지 증가하도록 조절하였다.



**Fig. 2.** Operation cycle of continuous flow and cyclic draw SBR (6 hr/cycle).

분석 대상의 시료는 시료채취 후 즉시 GF/C(Whatmann) 여과지를 이용하여 여과시켜 입자물질을 완전히 제거한 후 측정용 하였다. 측정항목은 TCOD<sub>cr</sub>(5220 D), SCOD<sub>cr</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(4500-NH<sub>3</sub> C), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N(4500-NO<sub>3</sub> B), T-N, T-P, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P(4500-P E) 등이었고 이 측정항목은 수질오염공정시험법 및 Standard Methods(APHA, 1995)에 의거하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유기물 제거특성

본 연구는 'D'댐 상류의 마을하수처리시설로 유입되는 하수를 이용하여 실험을 수행하였기 때문에 유입수 수질의 변동폭이 매우 크게 나타났으며, 실험기간 중 우기의 영향으로 저농도의 수질이 나타났다. 운영기간 중 COD<sub>cr</sub>/T-N비는 평균 4.4 정도이었으나, COD<sub>cr</sub>/T-N비에 따른 공정의 효율을

평가하기 위해 메탄올을 추가로 투입하여 인위적으로 COD<sub>cr</sub>/T-N비를 증가시켜 최대 10~12 범위까지도 실험을 수행하였다. 실험기간 중 MLSS의 농도는 대략 2,200~3,800 mg/L 범위이었다. 2,200 mg/L 수준으로 MLSS 농도가 감소한 것은 우기에 유기물의 농도가 매우 낮는데 기인한다.

유입수의 COD<sub>cr</sub>는 우기에 31.3 mg/L까지 감소하였으나, 우기 후 210 mg/L까지 점진적으로 증가하여 댐 상류 소규모 처리시설의 전형적인 변화를 보여주고 있다. 운영결과 처리수중의 COD<sub>cr</sub>, SS의 제거효율은 90% 이상의 우수한 제거효율을 얻었으며 안정적이었다. 처리수의 COD<sub>cr</sub> 농도는 안정상태에 도달하였을 때 10~15 mg/L 수준을 나타내었다(Fig. 3).

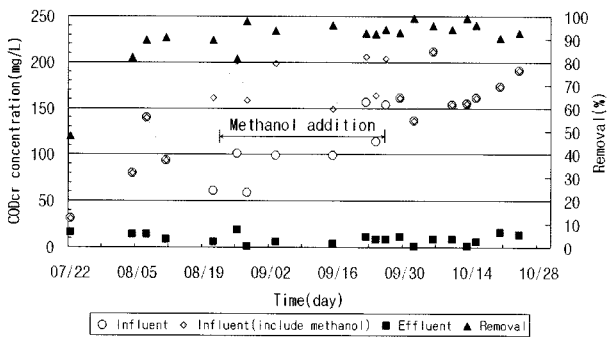


Fig. 3. Variation of influent, effluent COD<sub>cr</sub> and removal efficiency.

3.2. 질소, 인 제거특성

암모니아성 질소 또한 우기에 8 mg/L까지 감소하였으나, 9월부터 점진적으로 증가하여 45 mg/L 수준까지 증가하였다. SBR 반응조 운영결과 정해진 time sequence에서 포기시간의 비( $t_{aeration}/t_{total}$ )가 0.33임에도 불구하고 질산화는 충분히 이루어지는 것으로 나타났으며, 평균 90% 정도의 질산화효율을 나타내었다(Fig. 4).

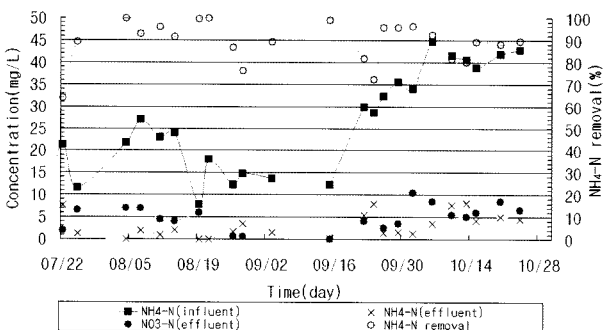


Fig. 4. Variation of influent, effluent NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and removal efficiency.

우기 후 암모니아성질소의 농도가 급격하게 증가하는 경향을 나타내었으며, 이때, 질산화효율이 일시적으로 감소하였으나, 빠른시간에 안정상태에 도달하는 것을 알 수 있다. 처리수 중의 질산성질소의 농도는 유입수의 COD<sub>cr</sub>/T-N 비 등 운영조건에 따라 약간의 차이를 보이고 있지만 대체로

10 mg/L 이하의 농도를 나타내었다. 고도처리공정의 운영에 있어서 효과적으로 질소를 제거하기 위해서는 질소에 대한 유기물(COD<sub>cr</sub>)의 비율(COD<sub>cr</sub>/T-N)이 7~9의 범위에서 양호한 제거효율을 나타내는 것으로 분류되나(Lim et al., 1999) 유입수중의 질산성질소의 농도가 본 연구 대상 지역의 COD<sub>cr</sub>/T-N 비율이 4.4 정도로 질소제거에 있어서 유기물이 크게 부족하다. 이는 본 연구대상 지역의 기준에 설치한 오수정화조에서 오랜 시간 오수가 머무르는 동안 혐기성 반응을 일으켜 유기물은 분해되고 또한, 축산분뇨의 일부 유입으로 질소 및 인의 농도는 높아진 데에 큰 원인이 있을 것으로 판단된다.

유입수의 총질소 농도는 50 mg/L까지 점진적으로 증가하였으며, 유입수의 COD<sub>cr</sub>도 점진적으로 증가하여 전체적인 COD<sub>cr</sub>/T-N비에는 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 즉, 유입수의 농도는 변동하나, 각 성분의 비율이 크게 변화하지는 않는다는 것을 나타낸다. 유입수중의 총질소 농도가 20~30 mg/L의 범위일 때 처리수의 총질소 농도는 대략 10~15 mg/L 정도를 나타내고 제거효율이 50~60% 정도를 나타내었다. 이는 총질소의 유입농도가 높을 때도 비슷한 제거효율을 나타내었으며 처리수의 농도는 약 15~20 mg/L 수준으로 증가하는 것으로 나타났다.

메탄올을 투입하여 COD<sub>cr</sub>/T-N비를 증가시킨 실험에서 약 1개월 이상 유입수수에 메탄올을 투입하였으며, 3주 이상의 적응기간을 두었으며, 하절기에 메탄올을 주입하여 비교적 미생물의 빠른 적용이 가능하였다(Nyberg et al., 1992). 총질소의 제거효율은 약 90%까지 증가하였으며, 처리수의 총질소 농도도 10 mg/L 이하로 효과적인 탈질산화가 이루어진 것을 알 수 있다. 이는 본 대상지역의 COD<sub>cr</sub>/T-N 비율이 낮아 외부탄소원인 메탄올의 투입으로 인하여 잔존하는 질산성질소가 효과적으로 탈질산화 된 데 기인한다.

총질소의 유입농도가 40 mg/L까지 증가하였을 때, 메탄올을 투입한 경우에는 처리효율이 75% 수준으로 매우 우수하였으며, 메탄올을 투입하지 않은 경우에 있어서도 법적 방류수 수질기준인 총질소 20 mg/L에는 근접하지만 60% 수준의 제거효율을 얻을 수 있었다. 이는 대상지역 하수의 특성이 COD<sub>cr</sub>/T-N 비가 4.4로 매우 낮은 조건임을 감안하면 본 처리공정이 다른 SBR 공정에 비해 비포기 상태에서 유입수를 공급하는 방식을 적용함으로써 질소, 인 제거에 유기물을 매우 효율적으로 활용된 결과로 판단된다(Fig. 5).

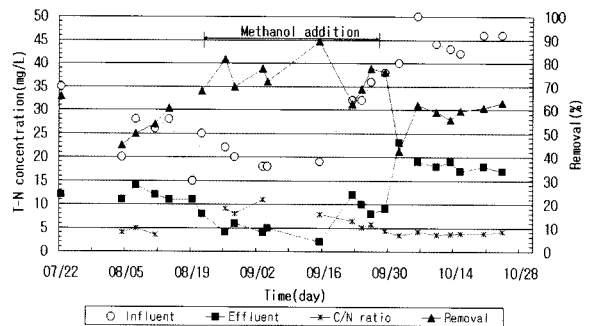


Fig. 5. Variation of influent, effluent T-N and Removal efficiency.

총인의 변화도 총질소 변화와 유사한 경향을 나타내었으며, 메탄을 투입 후 약 70%까지 총인 제거효율이 증가하였고, 처리수는 1 mg/L 이하로 유지할 수 있었다. 메탄을 투입하지 않은 유입수의 경우 약 40%의 제거효율을 얻었다(Fig. 6).

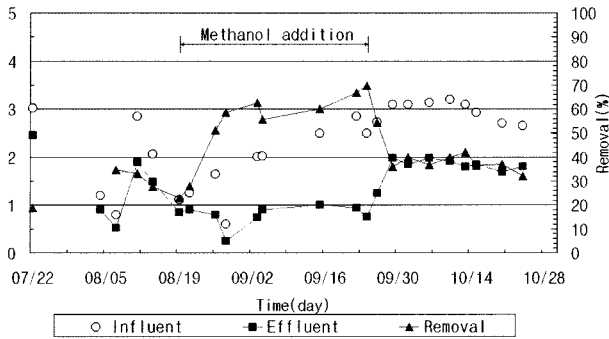


Fig. 6. Variation of influent, effluent T-P and removal efficiency.

본 연구에서 9월 중순부터 유입수중의 질소 및 인의 농도가 급격하게 증가한 상황에서 총질소의 경우, 메탄을 주입 시에 비해 주입을 중지한 후 효율감소의 폭이 10~20% 수준이었으나, 총인은 약 30% 수준으로 총질소에 비해 감소 폭이 큰 것으로 나타났다. 이는 유입수중의 질소 및 인이 동시에 증가로 질산성질소가 존재 시, 인 방출에 필요한 조건인 혐기성상태를 유지하기 어렵고 NO<sub>3</sub>-N을 탈질시키기 위한 유기물 소모와 인 방출을 위한 유기물 소모의 경쟁으로 인해 인의 방출이 충분히 일어나지 못했으며 탈질 및 인의 방출에 필요한 충분한 유기물 공급이 이루어지지 않았기 때문이다(Hascoet et al., 1985).

3.3. COD<sub>cr</sub>/T-N비에 따른 제거효율

본 연구에서 개발한 SBR 공정에서 질소 및 인 제거에 있어서 유기물(COD<sub>cr</sub>)의 영향을 평가하기 위해 유입수의 COD<sub>cr</sub>/T-N비를 변화시켜 실험한 결과, COD<sub>cr</sub>/T-N 비 4 수준에서 약 60% 정도의 총질소 제거효율을 얻었으며, 메탄을 투입에 의해 조정된 10 이상의 COD<sub>cr</sub>/T-N 비에서는 80% 이상의 우수한 제거효율을 얻었다(Fig. 7). 즉, 60% 이상의 총질소 제거를 얻기 위해서는 최소한 유입수의 TCOD<sub>cr</sub>/T-N비가 최소한 4 이상은 유지되어야 한다는 것을 알 수 있다.

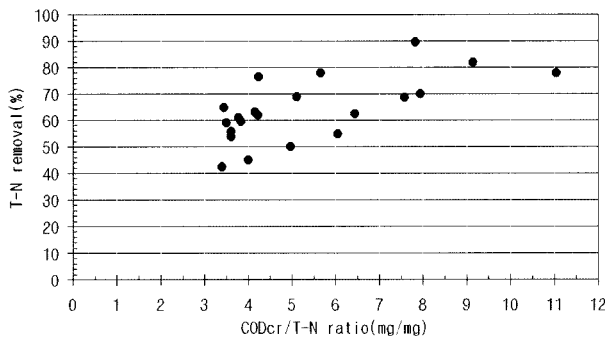


Fig. 7. Effect of influent COD<sub>cr</sub>/T-N ratio on T-N removal efficiency.

SBR 공정운영에 있어서 질소, 인 제거에 유기물의 활용의 효율성을 평가하였다. 평가방법은 제거된 유기물과 제거된 질소, 인의 농도 비율로 평가하였다(Fig. 8).

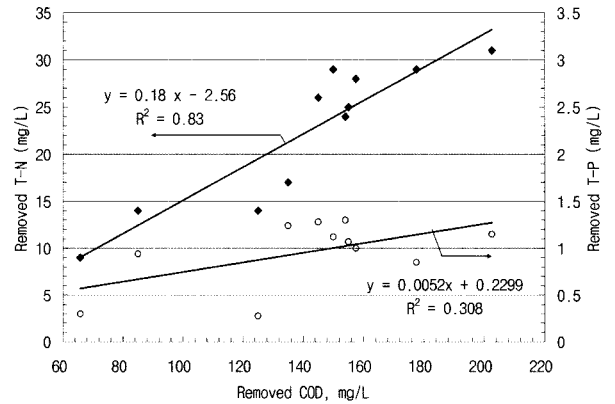


Fig. 8. Correlation between removed COD<sub>cr</sub> and removed T-N, T-P.

메탄을 투입하지 않은 하수만을 이용한 상관도 분석에서 제거된 COD<sub>cr</sub>의 농도가 증가함에 따라 총질소(removed T-N) 및 총인의 제거량은 증가하며 총질소 제거량과 소모되는 COD<sub>cr</sub>와는 COD/T-N비 약 6.5에서 매우 좋은 상관관계를 가지는 것으로 나타난 반면 총인의 경우에는 상관성이 높지 않은 것으로 나타났다. 이는 탈질산화 반응과 인의 방출에 있어서 유기물 경쟁에 있어서 우선적으로 질소가 제거되기 때문에 총질소의 경우가 안정적이고 상관성이 좋은 반면 인의 상관도는 질소의 제거에 지해를 받아 변동이 큰 것으로 판단된다.

3.4. ORP의 변화특성

일반적으로 SBR이나 간헐포기와 같이 포기조건 및 비포기조건이 시간에 따라 제어되는 dynamic state 고도처리공정에서 질소 및 인이 효과적으로 제거될 때 반응조 내에서 ORP값은 질산화의 완료시점과 탈질산화의 완료시점을 나타내는 변곡점(bending point)이 관찰되며 최근 이러한 변곡점을 이용한 공정제어 기술이 활발하게 연구되고 있다. 즉, 무산소 상태에서 혐기상태로 전환되는 과정에서 탈질산화가 완료되고 인이 방출하게 되는데, 이 시점에서 ORP값의 차이가 생겨 변곡점이 생기게 된다.

최근에는 시간에 따른 상대적인 ORP값 변화에 기초하여 운영을 제어하는 기술이 등장하여 ORP값의 사용가능성에 대한 연구가 더욱 더 커지고 있는 추세이다(Corominas et al., 2005; Kishida et al., 2003). 따라서, 본 연구에서도 COD<sub>cr</sub>/T-N비에 따른 질소, 인 제거효율변화 및 이에 따른 ORP의 변화특성을 파악하여 향후 공정자동화를 위한 기초연구로서 각각의 대표적인 낮은 COD<sub>cr</sub>/T-N비와 높은 COD<sub>cr</sub>/T-N비에서 ORP값을 분석하였다.

3.8의 낮은 COD<sub>cr</sub>/T-N 비에서, 반응조 내 ORP의 거동에 의한 탈질산화 완료 및 인의 방출(release)을 확인하기 위한 실험을 수행하였으며, 이때, COD<sub>cr</sub> 96%, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 89%,

T-N 60%, T-P 37%의 제거효율의 특성을 나타내나 탈질산화 완료 및 인의 방출시점에서 관찰되는 변곡점은 나타나지 않았다. 또한, 낮은 유입수의 유기물 농도에서는 비포기 시간으로 전환 후에도 20분이상 호기조건이 유지되어 용존산소가 빠른 시간내에 고갈되지 않아 효율적인 무산소 조건을 형성하기 어려운 것으로 나타났다(Fig. 9). 따라서, 무산소 조건에서의 변곡점이 발견되지 않는 이유는 유입수중의 유기물 농도가 낮고 또한, 이로 인한 낮은  $COD_{cr}/T-N$  비로 효율적인 탈질산화가 일어나지 않은 점과 비포기 시간으로의 전환 후 잔존하는 용존산소가 유기물의 활용성을 저해시킨 점 등을 큰 원인으로 볼 수 있을 것이다.

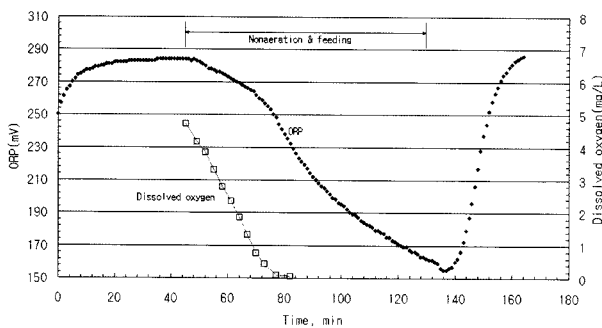


Fig. 9. ORP and DO variation in SBR reactor.

$COD_{cr}/T-N$  비 5.7로 증가된 상태에서 실험을 수행한 결과,  $COD_{cr}$  95%,  $NH_4^+-N$  96%, T-N 78%, T-P 55%로 제거효율이 크게 증진된 상태이었으며, 탈질산화 완료 및 인의 방출시점에서 관찰되는 변곡점이 1차 비포기 유입단계 30분 정도 경과 후에 나타나 질소 및 인의 제거기작이 원활하게 이루어지고 있는 것으로 나타났으며, 반응조 내에서  $NO_3^- -N$  농도를 측정된 결과 0.5 mg/L 정도로 나타나 동일한 결과를 얻었다. 이는 질산성질소의 탈질산화에 유기물이 효율적으로 활용되었다는 것을 나타내는 것이다. 이러한 현상과 총질소 및 총인 제거효율의 증가는 정확하게 일치한다.

SBR과 같이 간헐포기 기술을 적용하는 dynamic state 운영공정의 경우, 수질 및 유량 등의 유입수 특성, 수온 및 반응조의 운영조건에 따라 포기 및 비포기 시간의 조절이 필수적인 사항이다. 동절기의 경우에는 질산화가 주요 영향인자로 작용하게 되며,  $COD_{cr}/T-N$ 비가 낮은 경우, 동절기를 제외하고는 질산화는 충분히 일어나나 탈질산화가 효과적이지 못한 문제가 있다. 특히, 중·소규모 하수처리장의 유기물농도가 상대적으로 낮으며  $COD_{cr}/T-N$ 비가 낮기 때문에 탈질산화가 질소제거에 중요하게 작용한다.

일반적으로 침전지를 운영하는 연속흐름식 간헐포기공정의 자동제어에서는 DO 및 ORP를 이용하여 운영모드를 전환하여 포기/비포기의 주기를 조정하는 방식을 적용하나, SBR 공정의 경우 침전 및 배출과정을 가지고 있기 때문에 2개 이상의 SBR이 운영되는 경우, 시설운영변경 등의 문제로 주기의 조절이 어렵다. 따라서 정해진 주기는 유지하면서 일정시간 특정반응을 중지하고 운영하는 방법이 바람직할 것으로 판단된다. 따라서, 주어진 포기시간 중 질산화

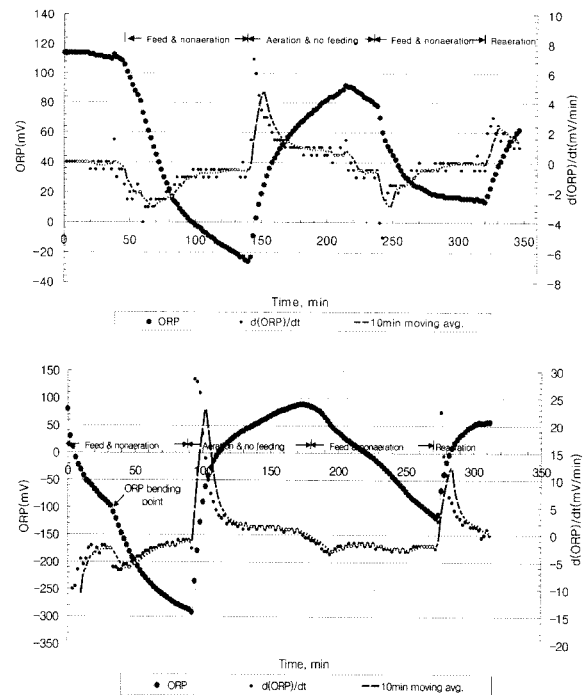


Fig. 10. ORP variation in SBR reactor (top:  $COD_{cr}/T-N$  ratio=3.8; bottom:  $COD_{cr}/T-N$  ratio=5.7).

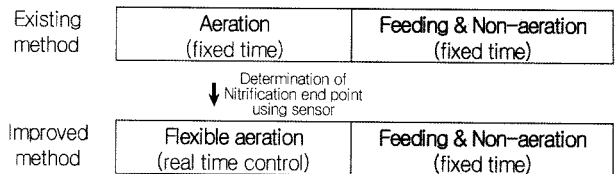


Fig. 11. Improved control method for removal efficiency upgrading.

반응이 완료 후 공기공급을 중단하여 다음단계인 유입수가 공급되는 비포기 상태에서 용존산소의 영향을 최대한 억제시켜 유기물을 최대한 활용하는 것이 바람직하다. 이에 대한 제어방안으로는 기존의 DO, ORP 및 암모니아성질소 센서의 활용이 가능할 것으로 판단되며 추후 심도 있는 연구가 필요하다(Fig. 11).

#### 4. 결론

SBR 반응조 2개를 배치하여 유입수를 교대연속유입형태로 운영하는 SBR 공정의 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 운영기간 중  $COD_{cr}$ , SS의 제거효율은 유입수 조건에 크게 관계없이 90% 이상으로 안정적이고 우수한 제거효율을 얻었다.
- 2)  $COD_{cr}/T-N$  비 4 및 10이상에서 총질소의 평균 제거효율을 평가한 결과, 각각 60 및 80% 정도이었으며, 이때 처리수의 평균 총질소 농도는 각각 14.1 및 6.5 mg/L이었다.
- 3) 소모되는  $COD_{cr}$ 의 농도가 증가함에 따라 총질소 및 총인의 제거량은 증가하며 총질소의 제거량에 대한 소모

되는  $COD_{cr}/T-N$  비는 약 6.5로 매우 좋은 상관관계를 가지는 것으로 나타났다.

- 4) 간헐포기 형태의 공정에서 포기 후 후속되는 비포기시간 초기에 용존산소의 효율적인 저감이 질소, 인 제거에 영향을 미침으로 이에 대한 제어전략이 필요하다.
- 5) 비포기 상태에서만 유입수를 공급하는 SBR 공정은 질소 및 인 제거에 유기물 활용성을 최대화할 수 있으며, 유입수에 대한 대응성이 뛰어나  $COD_{cr}/T-N$ 비가 낮은 중소규모 하수처리에 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- 김홍태, 박창광, 신석우, SBR에서의 ORP를 이용한 반응기 최적화, *한국물환경학회지*, **18**(6), pp. 613-620 (2000).
- APHA, AWWA and WEF, *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*, 19th Ed., Washington DC. (1995).
- Coelho, M. A. Z., Russo, C. and Araujo, O. Q. F., Optimization of a Sequencing Batch Reactor for Biological Nitrogen Removal, *Wat. Res.*, **34**(10), pp. 2809-2817 (2000).
- Corominas, L., Sin, G., Puig, S., Traore, A., Balaguer, M., Colprim, J. and Vanrolleghem, P. A., model-based Evaluation of an On-line Control Strategy for SBRs Based on OUR and ORP Measurements, *Proceedings of the 2nd IWA Conference on Instrumentation, Control and Automation*, **1**, pp. 359-367 (2005).
- Hamamoto, Y., Tabata, S. and Okubom, Y., Development of the Intermittent Cyclic Process from Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal, *Wat. Sci. Tech.*, **35**(1), pp. 145-152 (1995).
- Hascoet, M. C., Florentz, M. and Granger, P., Biological Aspects of Enhanced Biological Phosphorus Removal from Wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, **17**, pp. 271-280 (1985).
- Kishida, N., Kim, J. H., Chem, M., Sasaki, H. and Sudo, R., Effectiveness of Oxidation-reduction Potential and pH as Monitoring and Control Parameters for Nitrogen Removal in Swine Wastewater Treatment by Sequencing Batch Reactors, *J of Bioscience and Bioengineering*, **96**(3), pp. 285-290 (2003).
- MetCalf & Eddy, *Wastewater engineering*, Mcgraw-Hill, pp. 519-544 (2003).
- Nyberg, U., Aspegren, H., Andersson, B., Jansen, J. la C. and Villadsen, I. S., Full-Scale Application of Nitrogen Removal with Methanol as Carbon Source, *Wat. Sci. Tech.*, **26**(5-6), pp. 1077-1086 (1992).
- Randall, C. W., Barnard, J. L. and Stensel, H. D., *Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal*, Technomic Publishing Co., Inc pp. 25-78 (1992).
- Sasaki, K., Yamamoto, Y., Tsumura, K., Hatsumata, S. and Tatewaki, M., Simultaneous Removal of Nitrogen and Phosphorus in Intermittently Aerated 2-Tank Activated Sludge Process Using DO and ORP bending Point Control, *Wat. Sci. Tech.*, **28**(11-12), pp. 513-521 (1993).
- U.S. EPA, *Wastewater Technology Fact Sheet: Sequencing Batch Reactors*, EPA 932-F-99-073 (1999).
- Yu, R.-F., Liaw, S.-L., Chang, C.-N., Lu, H.-J. and Cheng, W.-Y., Monitoring and Control On-Line ORP on the Continuous Flow Activated Sludge Batch Reactor System, *Wat. Sci. Tech.*, **35**(1), pp. 57-66 (1997).
- Yu, R.-F., Liaw, S.-L. and Chang, C.-N., Applying Real-time Control to Enhance of Introgen Removal in the Continuous-Flow SBR System, *Wat. Res.*, **38**(3), pp. 271-280 (1998).