

## 연속회분식 반응기에서 음식물 발효액이 생물학적 영양염 제거에 미치는 영향

노성희, 김선일\*, 차월석  
 조선대학교 화학공학과  
 (sibkim@mail.chosun.ac.kr\*)

### The Effect of Fermented Leachate of Food Waste on Biological Nutrient Removal in Sequencing Batch reactor

Sung-Hee Roh, Sun-Il Kim\*, Wol-Suk Cha  
 Dept. of Chemical Engineering, Chosun University  
 (sibkim@mail.chosun.ac.kr\*)

#### 서론

최근 SBR 공정은 도시 하수·산업 폐수·축산 폐수 등에 함유된 영양염류를 제거하기 위하여 폭넓게 적용되고 있으며[1], 생물학적 처리공정에서 만족할만한 처리수를 얻기 위해서는 유입수의 유기물 농도와 총질소 농도의 비(C/N비)가 적절히 유지되어야 한다. 국내에 적용된 생물학적 영양염류 제거 공정의 효율 저하 원인은 유입 원수의 낮은 C/N 비로 인한 질소인의 처리에 필요한 탄소원(carbon source) 부족으로 지적되어 왔다. 또한 국내 대부분의 하수에는 아세트산, 프로피온산 및 부틸산 등의 용존성 유기물 함량이 불충분하기 때문에 생물학적 고도처리 공정의 제한 요인이 되고 있다. 미국의 경우 A/O(Anoxic/Oxic) 공정과 이의 변형들의 실용적인 기술이 개발되고 특허화 되었으며, 남아프리카 공화국의 경우 UCT(University of Cape Town) 공정을 중심으로 각종 고도처리 공정들이 실제 하수처리장에 적용되고 있다[2]. 그러나 영양염류를 제거하고자 C/N비가 낮은 국내 하수에 외국의 공법을 직접 적용하기 위해서는 외부탄소원의 공급이 필수적이다. 일반적인 생물학적 방법으로 인을 제거하기 위해서는 인 제거 미생물이 잘 성장할 수 있는 환경조건을 제공해 주어야 하며, 과잉 인 제거 미생물이 쉽게 선택적으로 성장할 수 있는 적절한 유기물 농도와 인 농도의 비(C/P비)를 유지할 수 있도록 외부탄소원을 공급해 주어야 한다[3, 4].

따라서 이러한 대안 중 하나로써 음식물 쓰레기를 발효시킨 유기산을 C/N비가 낮은 국내도시의 하·폐수 처리에 외부 탄소원으로 적용한다면 효과적으로 음식물 쓰레기 문제를 해결함과 동시에 저비용으로 생물학적 영양염류 제거 공정을 운영할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 음식물 쓰레기를 기존의 슬러지처리시설에서 발효 및 탈수시킨다면 별도의 시설비용 없이 탈수과정을 통해서 얻은 저염분 슬러지는 토양개량재로 사용할 수 있다. 따라서 음식물 쓰레기와 하수의 연계처리는 유기성폐기물의 자원화를 극대화시키면서 환경오염을 효과적으로 저감시킬 수 있을 것으로 사료된다. 그러므로 본 연구에서는 SBR 공정에서 생물학적 영양염류 제거를 위한 외부탄소원으로서 음식물 쓰레기 발효액(FLFW, Fermented Leachate of Food Waste)의 효과에 대하여 알아보하고자 낮은 C/N 비 하수의 SBR공정에 음식물 쓰레기 발효액을 공급하여 발효액 첨가량 변화에 따른 유기물 및 질소와 인의 제거효율을 조사하였다.

#### 실험

##### 1) 유기산 발효

유기산 발효액은 광주광역시 소재의 C 대학교 학생 식당에서 발생하는 음식물을 수거하여 분쇄한 후 Hanil R & D사의 Bio G-8 Batch Top Fermentation System (5 L)을 이용하여 생산하였다. 발효조의 운전조건은 발효온도 및 교반속도를 30°C(±2°C) 및 80 rpm

으로 일정하게 유지하여 10일간 운전하였으며, 발효기간 동안 음식물 쓰레기의 pH는 조절하지 않았다. 충분히 발효된 유기산은 4,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액을 취하여 4°C에서 냉장 보관하였으며, 그 특성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Characteristics of Fermented Leachate of Food Waste

Components		Concentration
CODcr	Total	34,530 mg/L
	Soluble	26,800 mg/L
SS	Total	4,545 mg/L
	Soluble	3,920 mg/L
Nitrogen	TKN	1,680 mg/L
	NH <sub>4</sub> -N	665 mg/L
Phosphorus	T-P	130 mg/L
	PO <sub>4</sub> -P	32 mg/L
VFAs as CODcr		9,802 mg/L
pH		< 4.5

## 2) 영양염류 제거 공정

폐수는 실험기간 중 분석 대상물질의 농도를 일정하게 유지하기 위하여 도시하수의 특성을 나타내는 BOD, N, P 등을 주성분으로 제조하여 사용하였다. SBR 공정의 반응기는 아크릴 재질을 사용하여 총용적 5 L인 원통형 구조로 4조를 제작하였으며, 각 반응기내에 교반기 및 산기 장치를 설치하여 원활한 혼합과 폭기를 유도하였으며, 유입 및 유출 펌프에 타이머를 부착하여 운전조작이 자동제어 되도록 하였다.

활성슬러지는 하수처리장 반응슬러지를 약 1개월간 합성기질로 순치시킨 슬러지를 MLSS 3,000 mg/L로 맞추어 각 반응기에 분주하였다. 총용적 5 L인 SBR 공정반응기의 유효용량은 3 L로 운전하였으며, 각 운전주기의 유입과 유출시간동안 1.5 L의 처리용량을 유입, 배출시켰다. SBR 공정의 HRT 및 SRT를 각각 48시간 및 20일로 유지하였으며, SBR의 운전주기는 24시간을 1cycle(15min fill, 6h anaerobic, 10h aerobic, 4h anoxic, 2h aerobic, 1.5h settling, 15min draw)로 하여 운전하였다. 각 반응기에 유기산 발효액을 무산소단계 초기에 첨가하였으며, 하나의 반응기는 비교실험을 위하여 유기산 발효액을 첨가하지 않았다(RUN 1). 유기산 발효액 첨가량은 각 반응기 내 C/N비를 각각 5(RUN 2), 10(RUN 3), 20(RUN 4)으로 맞추어 증가시켰으며, 외부탄소원으로 유기산 발효액 첨가에 따른 각 운전조건의 운전단계별 유기물 및 영양염류의 거동을 조사하였다.

## 결과 및 토론

생물학적 처리공정을 거친 유출수 중의 SCOD 구성 성분은 생물학적으로 분해가 가능한 유기물의 일부가 남은 것이 아니라 대부분 생물학적으로 분해가 불가능한 유기물이거나 미생물의 대사과정에서 재생성된 것이다[5]. Figure 1에 유기산 발효액 첨가량 증가에 대한 각 SBR 공정에서 1 cycle당 배분시간에 따른 SCOD 농도 변화를 나타내었다. RUN 1, RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 각 SBR 공정에서 평균 SCOD 농도는 반응 초기 혐기 단계에서 각각 56 mg/L, 58 mg/L, 62 mg/L 및 68 mg/L로 나타났으며, 호기 단계 후 유출수에서는 각각 28 mg/L, 29 mg/L, 32 mg/L 및 40 mg/L로 나타나 유기산 발효액의 첨가량이 증가함에 따라 유출수 중의 SCOD 농도가 증가함을 알 수 있었다. 이것은 유기산 발효액에 존재하는 유기물 중 생물학적으로 분해 불가능한 유기물이 유기산 발효액 첨가량의 증가에 따라 비례적으로 증가하여 유출수 내 SCOD 농도가 증가한 것으로 사료된다.

Figure 2에 유기산 발효액 첨가량 증가에 대한 각 SBR 공정에서 1 cycle당 배분시간에 따른 인의 거동을 나타내었다. 유기산 발효액을 첨가하지 않은 RUN 1의 경우에는 혐기단계와 호기단계에서 인 방출과 과잉 섭취가 관찰되지 않았으나, 유기산 발효액을 첨가한 RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 경우에는 유기산 발효액 첨가량이 증가함에 따라 생물학적인 제거 기작이 활발하게 이루어졌다. RUN 1, RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 각 SBR 공정에 사용한 기질의 C/P비는 각각 16, 25, 50 및 100이었으며, C/P비가 증가할수록 혐기단계에서의 인 방출 및 호기단계에서의 인 흡수가 활발하게 이루어져 인 제거효율이 향상되어 유출수 내 평균 인 농도는 각각 6.3 mg/L, 4.5 mg/L, 2.5 mg/L 및 2 mg/L로 감소하였다. 이러한 결과는 혐기단계에서 생물학적인 인 방출은 BDCOD(Biodegradable COD)를 섭취하면서 이루어지기 때문에 효과적인 인 방출을 위해서는 BDCOD의 존재가 필수적이며, C/P비가 증가할수록 인 제거율이 증가한다는 Meinhold 등[6]의 연구결과와 일치한다. 그러나 C/P비 100인 경우(RUN 4)에는 C/P비가 충분히 크에도 불구하고 C/P비 50인 경우(RUN 3)와 비교하여 유출수 중의 인 농도는 큰 차이를 보이지 않았는데, 이것은 혐기조건에서 유기물에 의한 PHB 형성이 저해되었기 때문으로 사료된다.

생물학적 공정에서 질소의 제거는 생물학적 질산화와 탈질반응, 암모니아성 질소의 탈기 및 미생물의 세포합성 등으로 이루어지며, 질산화와 탈질반응의 영향인자는 pH, DO, 온도, SRT, C/N비,  $\text{NO}_x\text{-N}$  농도 및 탄소원의 종류 등이다. Figure 3에 유기산 발효액 첨가량 증가에 대한 각 SBR 공정에서 1 cycle당 배분시간에 따른 질산성 질소와 암모니아성 질소의 거동을 나타내었다. 질산성 질소의 농도는 무산소조에서 유기산 발효액 첨가량이 증가함에 따라 감소하였으며(Figure 3(a)), 암모니아성 질소의 농도는 혐기 단계에서는 높게 나타났지만 폭기가 시작되면서 질산화가 진행됨에 따라 암모니아성 질소의 제거율이 증가하기 시작하여 호기 단계 2시간 후에는 RUN 1, RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 각 SBR 공정에서 각각 9 mg/L, 7 mg/L, 2 mg/L 및 2 mg/L로 감소하였다(Figure 3(b)). 이와 같이 호기 단계에서 암모니아성 질소의 제거율이 높게 나타난 것은 질산화와 세포의 합성에 의한 것으로 사료된다.

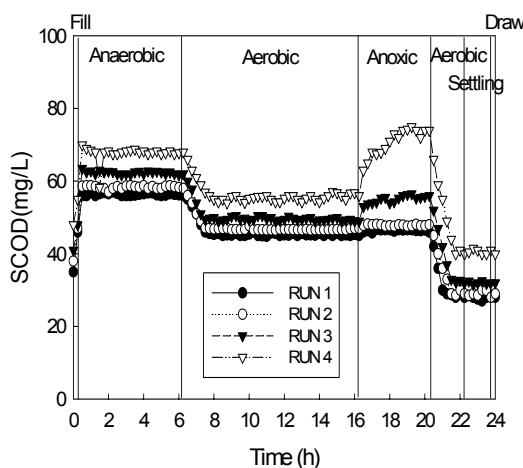


Figure 1. Temporal variation SCOD concentration in a cycle.

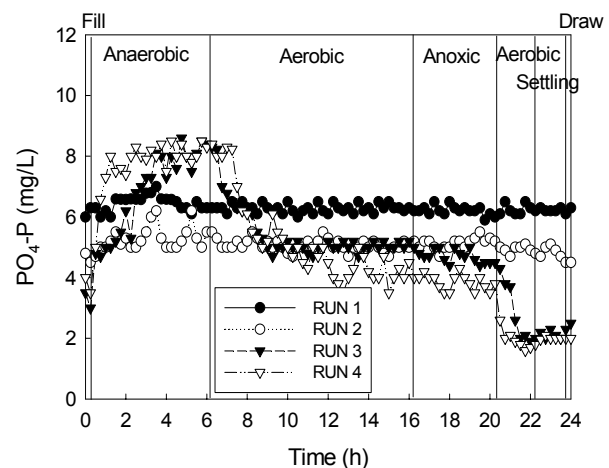


Figure 2. Temporal variation  $\text{PO}_4\text{-P}$  concentration in a cycle.

## 결론

유기산 발효액 첨가량 변화에 따른 각 SBR 공정에서 질산성 질소의 농도는 무산소조에서 유기산 발효액 첨가량이 증가함에 따라 감소하였으며, 암모니아성 질소의 농도는 혐

기 단계에서는 높게 나타났지만 폭기가 시작되면서 질산화가 진행됨에 따라 호기 단계 2 시간 후에는 RUN 1, RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 각 SBR 공정에서 각각 9 mg/L, 7 mg/L, 2 mg/L 및 2 mg/L로 감소하였다. 유기산 발효액을 첨가하지 않은 RUN 1의 경우에는 혐기단계와 호기단계에서 인 방출과 과잉 섭취가 관찰되지 않았으나, 유기산 발효액을 첨가한 RUN 2, RUN 3 및 RUN 4의 경우에는 C/P비가 증가할수록 혐기단계에서의 인 방출 및 호기단계에서의 인 흡수가 활발하게 이루어져 인 제거효율이 향상되어 유출수 내 평균 인 농도는 각각 6.3 mg/L, 4.5 mg/L, 2.5 mg/L 및 2 mg/L로 감소하였다.

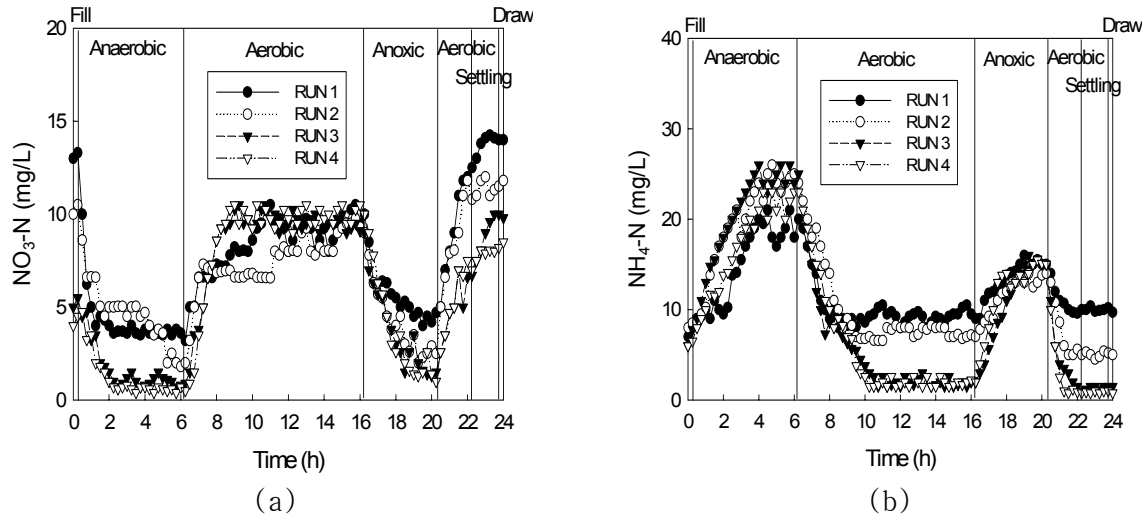


Figure 3. Temporal variation  $\text{NO}_3\text{-N}$  concentration and  $\text{NH}_4\text{-N}$  concentration in a cycle; (a)  $\text{NO}_3\text{-N}$ , (b)  $\text{NH}_4\text{-N}$ .

### 참고문헌

1. B. Rusten and H. Eliassen, *Wat. Sci. Tech.* **28**, 233 (1993).
2. M. C. Wentzel, *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 567 (1991).
3. M. Okada, *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 755 (1991).
4. M. H. Bate and A. Torabian, *Wat. Res.*, **15**, 99 (1996).
5. G. S. Bortone, A. Rambaldi and A. Tilche, *Wat. Sci. Tech.*, **26**, 977 (1992).
6. J. Meinhold, H. Pedersen, E. Isaacs and M. Henze, *Wat. Sci. Tech.*, **38**, 97 (1998).