

발효 슬러지를 이용한 SBR공정에서 하수 처리의 특성

노성희, 김선일
조선대학교 화학공학과

Characteristics of Domestic Wastewater Treatment in the SBR Process by Fermented Sludge

Sung-Hee Roh and Sun-Il Kim

Dept. of Chemical Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

서론

연속 회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor, SBR)는 압출류법(Plug Flow)과 동일한 동력학 특성을 가지며(즉, 동일한 조건의 반응기 용적에서 완전 혼합형 반응기보다 더 많은 기질 제거가 가능), 연속 회분식 반응기를 여러 개 설치하여 운전할 경우에는 연속흐름 반응기와 동일한 효과를 얻을 수 있다. 그리고 한 개의 반응기에서 모든 생물학적 반응과 침전에 의한 슬러지 분리가 가능하므로 별도의 침전지와 반송 슬러지 펌프 및 관망이 필요 없다는 잇점이 있다[1].

SBR은 도시 하수, 산업 폐수, 축산 폐수 등에 함유된 영양염을 제거하기 위하여 폭넓게 적용되어 왔으며[2], 활성 슬러지를 이용하여 폐수 속에 함유된 질소를 제거하기 위한 생물학적 처리공정에서 만족할만한 처리수를 얻기 위해서는 유입수의 유기물질 농도와 총질소 농도의 비(C/N 비)가 적절히 유지되어야 한다. 탈질에 이용 가능한 유기 탄소원으로는 글루코스, 메탄올, 아세트산 등이 효과적이라고 알려져 있으며[3], 일반 하수에서 80% 이상의 질소 제거효율을 얻기 위한 적정 C/N 비는 3.4이상이고 그 이하에서는 외부 탄소원의 공급이 필요한 것으로 알려져 있다[4]. Barth, E. F.[5]와 Randall, C. W.[6]의 연구결과에 의하면 생물학적 영양염류 처리 공정에서 유입수 중의 질소와 인을 제거하기 위한 BOD_5/TN 비와 BOD_5/TP 비는 각각 4:1 과 20:1 이상이다. 그러나 국내의 몇몇 폐수 처리장에서는 잔반 폐기물의 분리수거 및 관거의 부실시공으로 인한 유기 성분의 손실로 인하여 C/N 비가 적정 기준치에 미달하는 것으로 나타났다. 따라서 하·폐수 속에 함유된 영양염류를 생물학적으로 제거하기 위해서는 인위적으로 외부 탄소원을 공급해주어야만 하나, 메탄올이나 아세테이트 등과 같은 화학약품을 외부탄소원으로 사용할 경우 폐수 처리비용의 상승요인이 되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 현장에서 이용 가능한 1차 슬러지의 발효에 의해 얻어진 휘발성 지방산(Volatile Fatty Acids, VFAs)을 하·폐수 처리 공정의 외부 탄소원으로 공급하여 유기성 폐기물의 자원화를 극대화하고자 하였다. 또한 SBR에서 생물학적 영양염 제거를 위한 외부 탄소원으로서 발효 슬러지의 효과를 알아보기 위하여 외부탄소원을 공급하지 않은 경우와 외부 탄소원으로 메탄올을 공급한 경우의 질소와 인 제거율을 조사하여 비교하였다.

실험

본 연구에 사용된 폐수는 실험기간 중 분석 대상물질의 농도를 일정하게 유지하기 위하여 하·폐수 특성을 나타내는 N, P 등을 주성분으로 제조하여 사용하였다. 질소원 및 인산원으로는 각각 NH_4Cl 및 KH_2PO_4 를 사용하였으며, 외부 탄소원의 종류에 따른 생물학적 영양염 제거 효과를 비교하고자 합성 폐수 제조시 탄소원은 사용하지 않았다. 발효 슬러지의 원료로는 하수 처리장의 1차 슬러지를 공급 받아 세척수로 희석시켜 안정시킨 후 사용하였으며, 35°C에서 10일간 발효시켰다. 발효조의 교반 속도는 80 rpm으로 일정하

게 유지시켰으며, 발효 기간 동안 슬러지의 pH는 조절하지 않았다. 시료는 매일 발효조의 sample port를 이용하여 초기 150 mL를 순환시켜 준 후 50 mL를 채취하여 수질오염공정 시험법에 의하여 분석하였다. 충분히 발효된 슬러지는 4,000 rpm에서 10분간 원심분리 한 후 상등액에 1N NaOH를 주입하여 pH 7로 조절하였다. SBR 실험에 사용되는 발효 슬러지는 4°C에서 냉장 보관하였으며, 그 특성을 Table 1에 나타내었다. 주된 유기 탄소원인 발효 슬러지의 SCODcr 농도가 3,160 mg/L이므로 비교 유기탄소원인 메탄올의 CODcr 농도도 3,160 mg/L로 제조하여 사용하였다.

Table 1. Characteristics of fermented sludge used in this study

Items	TSS	SCODcr	TN	NH ₄ -N	TP	PO ₄ -P
Concentration (mg/L)	160.5	3160.0	11.0	8.6	12.2	9.2

본 실험에서는 3조의 SBR을 사용하였으며, 활성 슬러지는 하수 처리장 반송 슬러지를 약 1개월간 합성기질로 순차시킨 후 MLSS 3,000 mg/L로 맞추어 각 반응조에 식중시켰다. 각 반응조의 HRT와 SRT는 각각 24시간과 20일로 유지하였으며, SBR의 운전주기는 Fig. 1에 나타내었다. SBR 공정의 첫 번째 반응조에는 외부 탄소원을 주입하지 않았으며, 두 번째와 세 번째 반응조에는 외부 탄소원으로서 각각 메탄올과 발효 슬러지를 주입하였다. 외부 탄소원은 반응조 내의 SCOD/NO₃-N 비를 10으로 맞추어 SBR의 무산소 상태 초기에 주입하였다.

시료는 SBR에 설치된 정량펌프를 이용하여 매일 150 mL씩 채취하였으며, 채취 즉시 GF/C filter와 membrane filter로 여과한 후 standard method[7]에 준하여 분석하였다.

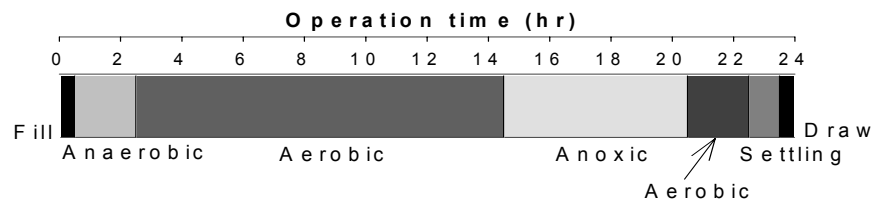


Fig. 1. Operation time distribution in a cycle.

결과 및 토론

하수 처리장의 1차 슬러지를 세척수로 희석시켜 안정시킨 후 35°C, 80 rpm으로 운전되는 반응조에서 발효시켰다. 반응조에는 기질 외에 산 발효를 촉진시키기 위한 별도의 영양물질이나 알카리도 물질은 투입하지 않았으며, 생성된 유기산의 pH 및 SCODcr 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 산 발효 10일동안 발효조에 투입된 1차 슬러지의 pH는 6.2에서 5.4로 감소하였으며, SCODcr 농도는 3,850 mg/L에서 3,160 mg/L로 서서히 감소하였다.

SBR 공정에서 외부 탄소원 공급 여부에 따른 영향을 알아보기 위하여 1 주기 동안의 유기물질 거동을 조사하였다. Fig. 3에 나타난바와 같이 외부 탄소원을 주입하지 않은 반응조 내의 질산염은 포기가 시작되면서부터 증가하여 34.2 mg/L의 질산염이 축적되었으며, 포기 후 무산소 상태에서 질산염의 감소는 약 1/2 정도였다. 또한 운전 주기 동안의 혐기와 호기 조건 모두에서 인의 거동은 거의 나타나지 않았다. 이것은 질산염 존재하에서 인 방출 기작이 저해를 받는다는 Gerber 등[8]의 연구결과에 부합되는 것이며, 외부 탄소원을 주입하지 않은 경우 탈질율이 낮아 잔존하는 질산염으로 인하여 인의 방출 및 섭취가 일어나지 않은 것으로 사료된다.

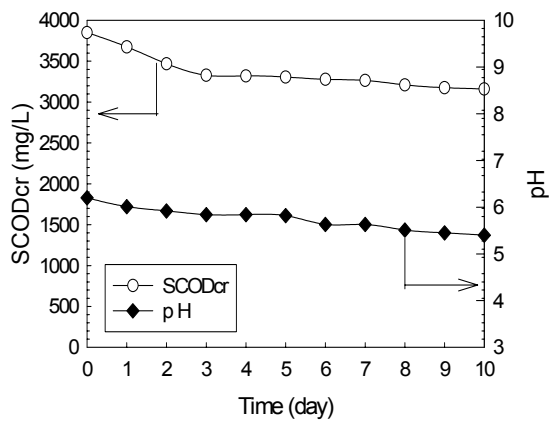


Fig. 2. Variation of pH and SCODcr concentration with fermentation time.

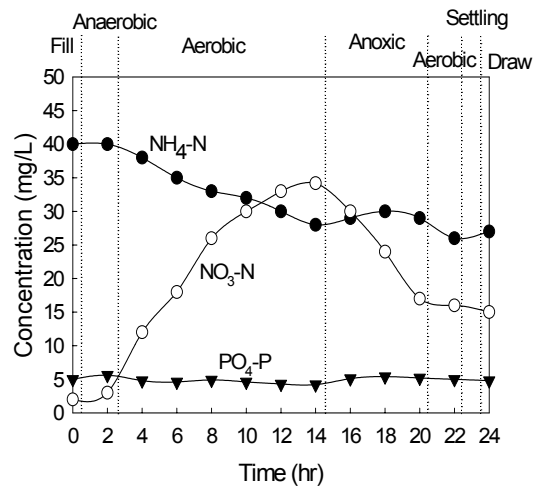


Fig. 3. Variation of nutrient concentrations during one cycle for SBR using no external carbon source.

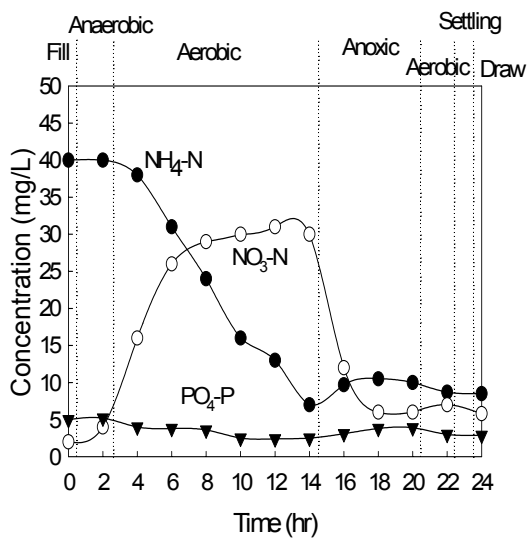


Fig. 4. Variation of nutrient concentrations during one cycle for SBR using methanol as external carbon source.

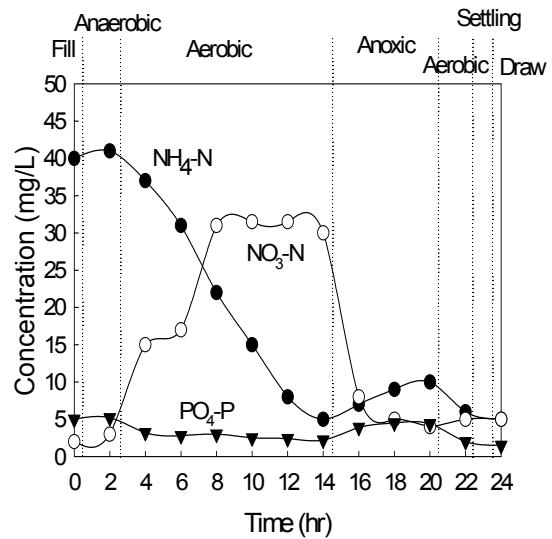


Fig. 5. Variation of nutrient concentrations during one cycle for SBR using fermented sludge as external carbon source.

유기 탄소원으로 메탄올을 주입한 반응조 내의 질소 및 인의 거동을 Fig. 4에 나타내었다. 호기 상태에서 증가한 질산염은 무산소 상태 초기에 주입한 메탄올로 인하여 80% 이상 제거되었으며, 인의 거동은 외부 탄소원을 주입하지 않은 경우와는 달리 혐기 조건과 호기조건에서 각각 인의 방출 및 섭취가 원만히 일어났다.

Fig. 5에 나타낸바와 같이 발효 슬러지를 유기 탄소원으로 주입한 반응조 내의 질소 및 인의 거동은 메탄올을 유기 탄소원으로 사용한 경우와 유사하였다. 발효 슬러지를 주입한 반응조 내 질산염은 호기 조건에서 31.5 mg/L가 축적되었는데 무산소 상태에서 2시간 이내에 거의 제거되었다. 무산소 상태 초기에 주입한 발효 슬러지로 인하여 암모니아 및 인산염의 농도가 약간 증가하였는데 이것은 발효 슬러지에 함유된 영양염에 기인한 것이며, 무산소 이후의 호기 상태에서 거의 제거되었다. 인의 거동은 전체 운전 조건에서 탈질이 원만하게 이루어졌기 때문에 질산염의 방해 없이 혐기 조건에서의 인 방출 및 호기조건에서의 인 섭취가 원활하게 일어났다.

결론

SBR에서 생물학적 영양염 제거를 위한 외부 탄소원으로서 발효 슬러지의 효과를 알아보기 위하여 외부 탄소원을 공급하지 않은 경우와 외부 탄소원으로 메탄올을 공급한 경우의 질소와 인 제거율을 조사하여 비교하였다. 실험 결과 SBR 운전 주기 동안 무산소 상태 초기에 주입한 외부탄소원이 영양염의 거동에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 외부 탄소원으로서 발효 슬러지를 주입한 경우가 외부 탄소원을 주입하지 않은 경우나 메탄올을 주입한 경우보다 탈질 효과가 높게 나타났다. 따라서 C/N 비가 낮은 하수의 영양염류 제거를 위한 외부 탄소원으로서 슬러지를 발효시켜 생성된 유기산을 이용하는 것은 매우 바람직할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 成樂昌, 金炯奘, 朴炫建, 下·廢水處理, 東和技術, 307(1999).
2. Rusten B. and Eliassen H., "Sequencing batch reactors for nutrient removal at small wastewater treatment plants", *Wat. Sci. Technol.* **28**, 233(1993).
3. U. S. EPA. Design for Nitrogen Control (1993).
4. Kuba, T. and Van Loosdrecht, M. C. M., "Phosphorous and Nitrogen Removal with Minimal COD requirement by Integration of Denitrifying Dephosphastation and Nitrification in a two-sludge system", *Water Research*, **30**(7), 1702(1996).
5. Barth, E. F., Brenner, R. C. and Lewis, R. F., "Chemical biological control of nitrogen and phosphorus in wastewater effluent", *J. Water Pollut. Control Fed.*, **40**, 2040(1968).
6. Randall, C. W., Barnard, J. L. and Stensel, H. D., Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal, Tech. Pub., Lancaster, Pennsylvania(1992).
7. APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., American Public Health Association, Washington DC(1995).
8. Gerber. A., Mostert. E. S., Winter. C. T. and de Villies. R. H., "The effect of acetate and other short-chain carbon compounds on the kinetics of biological nutrient removal", *Water SA*, **12**, 7(1986).