

BNR 효율개선을 위한 산 발효조 최적운전 조건에 관한 연구

김효상 · 박종운* · 서정원* · 박철휘

서울시립대학교 환경공학부
*대양 바이오 · 테크(주)

(1999년 12월 13일 접수, 1999년 12월 31일 채택)

A Study on the Optimum Operating Condition of Acid Fermenter for the BNR Performance Improvement

Hyo-Sang Kim · Jong-Woon Park* · Jung-Won Seo* · Chul-Hwi Park

Dept. of Environmental Engineering, The University of Seoul
**Dae Yang Bio · Tech Co., LTD*

ABSTRACT

The most problems of domestic sewage for BNR(Biological Nutrients Removal) process are deficiency of carbon source and low C/N ratio. Primary sludge fermentation is seemed to be one of the best solutions producing biodegradable organic substrates. Soluble organic materials from sludge fermentation are mainly SCFAs(Short-Chain Fatty Acids) with 2~5 carbon atoms.

In this research, it was attempted to apply A_2/O process with the side-stream acid fermenter to improve the nutrients removal efficiency. The result showed that proper SCFAs production is about 3,000mg/L with SRT of 4~5 days. SCFAs yield of approximately 0.10~0.16 mg SCFAs(as COD) per mg of primary sludge(as COD) were achieved. The ratio of acetic, propionic, butyric and valeric acid were 1, 0.7, 0.5 and 0.6.

Significant improvements of nutrients removal over 70% in BNR process were observed, thus will reduce the demand for chemical dosing to increase nutrients removal efficiency. When the fermentate was entered A_2/O process, the ratio of phosphate release to substrate uptake amounts to $0.34 \text{ gPO}_4\text{-P g}^{-1}\text{COD}$.

Key Words : Primary Sludge, Acid Fermenter, A_2/O Process, Carbon Source, SCFAs, BNR

요 약 문

국내 하수처리장에 적용되는 BNR(Biological Nutrients Removal) 공정의 효율저하 원인은 유입원수의 낮은 C/N비와 탄소원(Carbon source) 부족이 가장 큰 것으로 지적되어 왔다. 탄소원의 효율적인 공급을 위해 1차 슬러지 산 발효조(Acid fermenter)를 이용하여 SCFAs(Short-Chain Fatty Acids) 생성을 유도할 수 있다.

본 연구에서는 side-stream의 산 발효조와 조합된 A₂/O 프로세스를 운전하여 영양염류 제거에 미치는 영향을 연구하였다. 그 결과 산 발효조의 최대 SCFAs생성은 중온상의 SRT 4~5일에서 약 3,000mg/L(as COD), 대략 0.10~0.16 mg SCFA(as COD)/mg 1차 슬러지(as COD)로 나타났다. 또한 생성된 SCFAs의 정상비는 Acetic, Propionic, (iso)Butyric 및 (iso)Valeric이 1, 0.7, 0.5 그리고 0.6 순으로 나타났다.

BNR공정의 side-stream 산 발효조 적용에 의한 영양염류 제거효율은 크게 증가하는 것으로 나타났다. T-N은 인공하수(R1)의 경우 35% 정도의 낮은 처리효율을 나타냈으나 인공 SCFA 주입(R2) 및 발효산물 투입(R3)의 경우 제거효율 74%, 76%로 크게 향상되는 것으로 나타났다. 또한 Phosphate는 R1의 경우 45%의 처리효율을 나타냈으나 R2, R3의 경우 73~74% 정도로 양호한 처리효율을 나타냈다. 이는 발효산물 및 SCFA 주입에 의해 혐기조에서 인의 방출 및 호기조에서 과잉섭취가 잘 이루어졌기 때문으로 R3의 경우 인의 방출율은 0.34 g PO₄-P/g COD로 기존 연구와 비교해서 유사한 것으로 나타났다.

주제어 : 1차 슬러지, 산 발효조, A₂/O 공정, 탄소원, 저급지방산, 생물학적 고도처리공정

1. 서 론

국내에 적용된 BNR 공정의 효율저하 원인은 유입원수의 낮은 C/N비와 질소, 인의 처리에 필요한 탄소원(Carbon source) 부족으로 지적되어 왔다. 이에 따른 대안으로 외부탄소원(메탄올, 주정페액 등) 주입이 제안되고 있으나 비용과다 등의 경제적인 어려움을 안고 있다. 또한 국내 대부분의 하수에는 아세트산, 프로피온산 및 부틸산 등의 용존성 유기물 함량이 불충분하기 때문에 생물학적 고도처리공정의 제한요인이 된다.

1차 슬러지 발효에 의한 BNR 공정 처리효율 개선에 대한 연구는 아직 미비한 형편이며 근래에는 기존 활성슬러지 공정을 생물학적 고도처리 공정으로 개선하는 작업이 수행되고 있는데, 이 과정에서 효율적인 슬러지 처리 및 탄소원 공급에 대한 연구가 병행되어야 할 것으로 사료된다.

1차 슬러지의 혐기성 발효에서 대부분의 탄수화물과 단백질은 산 발효 과정에 의해 다양한 산물(Acetate, Propionate, Butyrate, Hydrogen 등)

로 소모되는데, 이러한 1차 슬러지 산 발효를 통한 SCFAs 생성의 극대화는 상대적으로 새로운 개념이다. 즉 대부분의 연구가 혐기성소화의 메탄생성균의 최적화에 초점을 두고 있으며, SCFAs는 중간대개체로서 역할을 가질 뿐이었다. 혐기성 소화에서 산 발효는 Redox Potential -300mV 이상에서 일어나는 반면 메탄발효는 -550mV 이하에서 일어난다. 즉 산 발효가 끝나고 바로 ORP가 떨어진 후 메탄생성균(MPB)의 성장이 시작되고 곧 평형에 도달한다. 따라서 유용한 SCFAs를 얻기 위해서는 메탄생성 미생물의 성장을 피해야 한다.

하수내의 유기성 고형물은 적절한 발효조건에서 SCFAs와 같은 용존성 COD로 전환될 수 있다. 즉 SCFAs는 하수에서 자연적으로 생성 가능하며 관로, 펌프장에서의 발효 또는 main-stream의 혐기조를 통해서도 생성된다. 그러나 BNR 공정내 혐기성 zone의 체류시간이 대략 2~3시간으로 이러한 main-stream 공정의 발효만으로는 가수분해 및 산 발효가 불충분하게 진행되기 때문에 side-stream의 1차 슬러지 산 발효 공정이 개발되었다.¹⁾

1차 슬러지의 산 발효는 초침의 농축된 슬러지를 다시 초침 유입부로 반송시키는 형태 또는 완전혼합 반응조(Complete mix fermenter)의 발효조를 이용한 형태 등으로 이루어진다. 다른 방안으로는 산 발효를 위한 충분한 체류시간을 가지도록 기존의 중력농축조를 발효조로 활용하여 SCFAs가 풍부한 상장액을 BNR 공정의 혐기조로 주입하는 방법이 있다.^{2,3)}

산 발효조에서 COD손실은 gas상 전환에 의한 것으로 생성된 용존 COD의 10% 이하로 제한되어야 한다. 1차 슬러지 산 발효에서 COD 손실은 pH에 가장 크게 영향을 받는데 pH 5.2에서 4%, pH 6.7에서는 8%의 생성 COD가 손실된다고 한다.¹⁾

Barnard(1984)와 요하네스버그시의 연구자들은 침전조의 농축슬러지를 침전지의 유입부로 직접 혹은 현탁조를 거쳐 반송시키도록 침전지를 구성하였다. 이는 침전지의 바닥층에서 발효가 일어나면 복잡한 유기물이 가수분해되어 SCFAs와 다른 용존성 탄소화합물이 생성되고 이러한 기질이 초침 유출수와 함께 BNR 공정에 주입되도록 한 것이다.⁴⁾

Capetown 대학의 1차 슬러지를 대상으로 한 Batch Test 실험에서 최대 산 농도는 6~9일 후 얻을 수 있었으며 최대 산 생성량은 0.125kg VFA (as COD)/kg 초기 VSS(as COD)로 나타났다. 또한 0.45 μ m 여지로 여과후 생성된 COD의 60~90%가 VFA이고 비율은 Acetic : Propionic : Butyric : Valeric=1 : 1 : 0.08 : 0.07이었다.⁴⁾

Moser 등에 의하면 슬러지 발효액(Soluble Product)은 주로 2~5개 탄소원자를 가진 SCFAs로 구성되며 용존 COD의 84%를 차지한다. 20 $^{\circ}$ C, pH 7로 조정된 범위에서 1차 슬러지 발효조 운전 결과 5일 후 용존성 COD가 Total COD의 17% 정도 생성되었고, 이후 다시 5일이 경과되었을 때 5%의 증가만을 나타냈다. 따라서 오랜 발효일수가 그리 효과적이지 못한 것으로 나타났다.^{5,6)}

혐기-호기 사이클을 가진 회분식 실험에서 SCFAs를 기질로 한 경우 PAO(Phosphate Accumulating Organism)의 기질 섭취율과 기질섭취에 대한 인 방출율을 측정 한 결과 Acetate, Propionate가 C₄~C₅보다 상대적으로 빠르게 섭취되고, 각 SCFAs 몰당 인 방출은 n-Butyrate, iso-Butyrate가 가장 큰 것으로 나타났다. 발효산물에 의한 인의 방출율

은 0.38g PO₄-P/g COD로 나타났으며 이 값은 Henze 등(1995)의 생물학적 처리 운전 및 설계를 위한 수학적 모델을 연구하는 Task group이 제시한 0.4g PO₄-P/g COD와 근사한 것으로 나타났다.^{5,6)}

발효산물의 주를 이루는 아세트산(Acetic acid)의 역할에 대한 규명은 BEPR(Biological Enhanced Phosphate Removal) 메카니즘 모델을 통해 Comeau 등(1987), Wentzel 등(1987) 및 Mino(1987) 등에 의해 명확해지고 있다.^{7~9)} Rabinowitz와 Oldham(1985), Rabinowitz(1987) 등은 pilot scale BNR 공정에서 완전혼합 side-stream 발효조를 이용하여 1차 슬러지 침전후 발효가 없는 공정과 비교 연구하여 인의 제거가 100% 이상 양호한 것으로 보고하였다.¹⁾

본 연구에서는 국내 대부분의 하수특성인 COD/T-N비가 6~8 정도로 낮은 하수를 대상으로 먼저 산 발효조를 회분식으로 운전하여 최적의 SCFAs 생성조건을 도출하고, 이를 적정운전 조건으로 A₂/O 공정에 side-stream으로 연결하여 1차 슬러지의 산 발효조를 이용, 유기물 및 영양염류의 제거효율에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 산 발효조

1차 슬러지 산 발효조는 Fig. 1과 같이 실험실 규모로 직경 150mm, 높이 500mm의 원통형 아크릴조로서 유효용적이 4L인 혐기성 반응기이며, 시료 채취 및 기질주입이 가능하도록 반응조 상하부에 유입 및 유출부를 설치하였고 기질주입후 완전혼합이 가능하도록 교반장치를 부착하였다.

산 발효조의 운전형태는 상부가 열린 준혐기조(F1)와 완전혐기조건을 가질 수 있도록 밀폐시킨 완전혐기조(F2)로 나누어, 실온(25 \pm 1 $^{\circ}$ C) 또는 Chamber를 이용하여 중온(35 \pm 1 $^{\circ}$ C) 조건에서 각각 연속식 및 회분식으로 운전을 수행하였다. 산 발효조의 운전은 최적 pH가 5~6인 것으로 판단되나, 실험에서 pH는 제어하지 않고 온도와 DO의 조절을

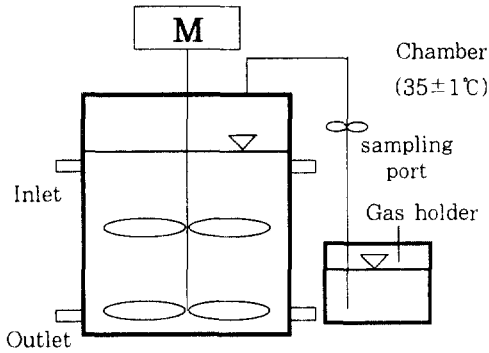


Fig. 1. Schematic diagram of acid fermenter.

통해 수행하였다.

회분식 산 발효조 운전은 최대 SCFAs 생성에 도달하는 SRT에 따라 달라지지만 통상 10~15일까지 운전을 수행하였다. 생성된 용존성 유기물, SCFAs 및 영양물질 등을 분석하여 SRT에 따른 발효결과를 분석하였다. 산 발효조에서 생성되는 발효산물의 분석을 위해 GC-FID를, 배출되는 gas 성분을 분석하기 위하여 GC-TCD를 사용하였다. SCFAs 분석을 위해 시료로 채취한 발효 슬러지를 10분간 3,000 rpm으로 원심분리하여 상등액을 취하고 0.45µm 여지로 여과한 후 50% H₂SO₄에 의해 pH 4로 고정시켜 전처리하였다.

실험에 이용된 1차 슬러지는 J 하수처리장(Q=1,800,000m³/d)에서 주 1회 시료를 채취하여 냉장 보관하였으며 그 성상은 Table 1과 같다.

2.2. A₂/O 반응조

처리공정은 대표적인 생물학적 고도처리 공정으로 질소·인 동시제거가 가능한 A₂/O Process를 선정하였다. 식종은 G시 하수처리장의 4-Stage BNR pilot 공정의 슬러지를 이용하였으며 Fig. 2에 처리공정도를 나타내었다. 반응조의 온도는 동절기를 제외하고는 질산화에 문제가 없을 것으로 판단되므로 실

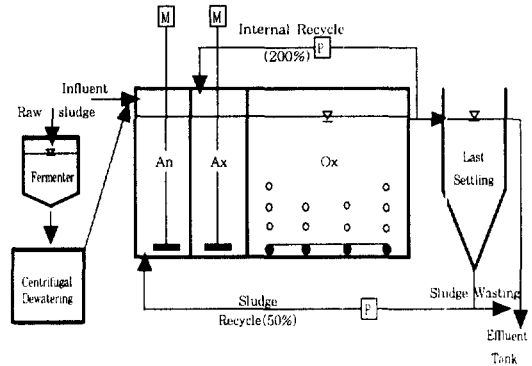


Fig. 2. Schematic diagram of BNR process (A₂/O process) with acid fermenter.

Table 2. Characteristics of synthetic wastewater

Constituent	Concentration (mg/L)
Glucose(C ₆ H ₁₂ O ₆)	350
Peptone	50
KH ₂ PO ₄	35~60
(NH ₄) ₂ CO ₃	145~200
MgSO ₄ ·7H ₂ O	2
FeCl ₃	1
CaCl ₂	1
NaHCO ₃	75
pH	6~7
COD	180~280(210)mg/L
TKN	25~35(30)mg/L
PO ₄ -P	7~15(10)mg/L
Alkalinity	100~200mg/L
Synthetic wastewater (R1)	210mg/L (as COD)
Syn. Wastewater+SCFAs (R2) (Acetic+Propionic+Butyric acid)	210mg/L+50mg/L(as COD) (3 : 2 : 1)
Syn. Wastewater+Fermentate(R3)	210mg/L+45cm ³ /day (270mg/L as COD)

내에 설치하되 조류의 번식이 발생하지 않도록 차양하였다.

생물학적 고도처리 반응조는 3개의 경우로 나누어

Table 1. Characteristics of sampling primary sludge

(unit : mg/L)

Item	TSS	VSS	SCOD	NH ₃ -N	PO ₄ -P
Raw Sludge	3,750~55,100 (27,850)	2,525~25,100 (14,113)	55~1,809 (800)	50~137 (96)	6~39 (19)

각각 운전을 실시하였다. 첫번째 R1은 side-stream 공정을 연결하지 않은 전형적인 A₂/O 공정이며, 다음 R2는 SCFAs의 주성분인 Acetic, Propionic 및 Butyric acid를 3:2:1의 비율로 인공 제조하여 A₂/O 공정의 혐기조에 주입하였다. 마지막으로 R3는 산 발효조의 발효산물을 원심분리한 후 그 상등액을 BNR 공정 유입 유량의 1%인 450ml/일의 부하로 A₂/O 공정의 도입부인 혐기조에 주입하였다. Table 2는 인공하수의 조성을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 산 발효조

3.1.1. SCOD 발생량

J 하수처리장(Q=1,800,000m³/d)의 1차 슬러지를 기질로 하여 증온, 실온 및 완전혐기, 준혐기 등의 조건에서 산 발효조 운전을 실시하여 용존된 SCFAs 및 영양물질의 발생량과 성상을 분석하였다.

Fig. 3과 같이 준혐기조(F1)의 경우 운전일수가 증가할수록 SCOD 발생량은 계속 증가하며 변곡점으로 나타난 기간은 SRT 5~7일 정도로 발생량은 2,500mg/L 정도로 나타났다. 반면 완전혐기조(F2)에서는 약 10일경 이후 SCOD 발생량이 오히려 감소된 것으로 나타났다. 이는 완전 혐기의 조건에서 MPB, SRB 등의 활성도가 우세하여 SCOD 소모량이 산 생성균에 의한 SCOD 생성량보다 크기 때문인 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 SCOD/TCOD ratio를 나타낸 것으로 최대 25%까지 용존된 것으로 나타났으나, 효율적인 SCOD 발생은 15%까지 용존되는 5일 내외가 적합할 것으로 판단되었다.

Fig. 5는 연속식 발효조를 SRT 5일로 일정하게 운전한 결과로 완전혐기조(F2)의 경우 MPB, SRB가 산 형성 미생물의 활성보다 크게 나타나는 10일경 이후에는 계속되는 신선한 기질주입에도 불구하고 SCOD 발생량이 감소하였다. 또한 이를 설명할 수 있는 간접적인 지표로서 pH의 증가를 확인할 수 있었다. 반면 준혐기조(F1)로 운전한 경우 pH가 6.5 이하로 일정하게 유지되면서 약 2,500mg/L

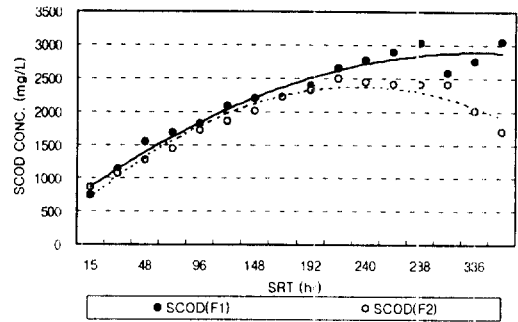


Fig. 3. SCOD production, (temp. : 35°C)

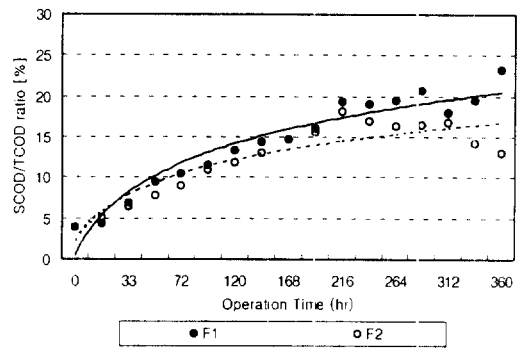


Fig. 4. SCOD/TCOD ratio, (temp. : 35°C)

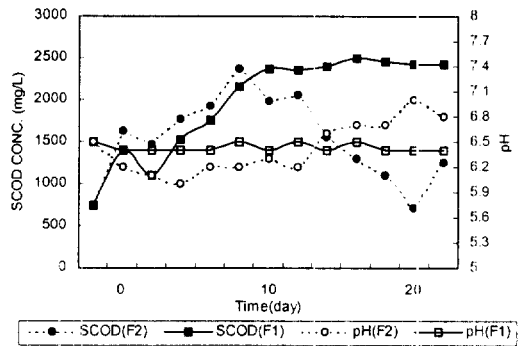


Fig. 5. SCOD production & pH fluctuation, (temp. : 35°C, continuous)

의 SCOD를 유지할 수 있었다. 이는 연속식 산발효조 운전 지표로서 pH가 중요한 역할을 할 수 있음을 나타낸다.

3.1.2. SCFAs 발생량 및 성상

산 발효조를 회분식으로 운전하여 SRT, 온도별로 생성된 SCFAs 발생량 및 성상을 분석한 결과 Fig. 6

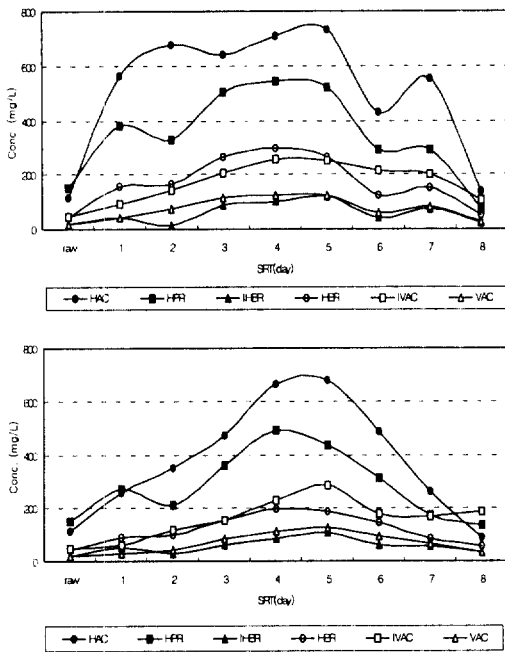


Fig. 6. SCFA production of batch acid fermenter. (top : temp. 35°C, bottom : temp. 20°C) (HAC : Acetic acid, HPR : Propionic acid, (I)HBR : (iso)Butyric acid, (I)VAC : (iso)Valeric acid)

과 같이 최대 SCFAs 생성은 중온에서 2,030mg/L (COD 환산 : 3,071mg/L), 실온에서는 1,820mg/L (COD 환산 : 2,754mg/L)로 동일하게 4~5일에서 나타났다. 생슬러지의 성상은 Acetic acid와 Propionic acid가 거의 동일하거나 오히려 Propionic acid가 더욱 크게 나타났으나 산 발효가 진행되자 Acetic acid의 생성량이 크게 나타났다. 또한 pH 조절이 없는 완전 혐기 산 발효조의 경우 7~8일 이후에는 대부분의 SCFAs가 메탄생성균의 기질로 소모되어 SCFAs생성량이 크게 낮아지는 것으로 조사되었다.

SCFAs의 성상별로 분석하면 BEPR에 유리한 탄소원으로 알려진 Acetic acid와 Propionic acid가 각각 35, 25% 정도로 전체 60% 정도를 나타내는 것으로 분석되었고, (iso-)Butyric acid, (iso-)Valeric acid가 남은 성상분을 차지하는 것으로 나타났다. 생성된 SCFAs의 성상비는 Acetic : Propionic : (iso)Butyric : (iso)Valeric = 1 : 0.7 : 0.5 : 0.6순으로 나타났다.

SCFAs의 발생량은 대략 0.10~0.16mg VFA(as COD)/mg 1차 슬러지(as COD)로 Rabinowitz (1985)가 제시한 0.09mg VFA(as COD)/mg 1차 슬러지와 Lilley 등(1990)이 보고한 0.17mg VFA (as COD)/mg 1차 슬러지(as COD)사이의 적정 한 값을 보이고 있다.¹⁾

3.1.3. 영양물질 생성

산 발효조 운전은 영양물질의 처리에 필요한 SCFAs 생성과 더불어 1차 슬러지의 혐기성 발효에 의한 질소와 인의 생성이 일어난다. 따라서 이에 따른 전처리가 필요한지를 판단하기 위해 산 발효조 운전 결과 용존된 영양물질의 발생량을 검토하였다. 그 결과 Fig. 7과 같이 SRT 4~5일에서 생성 영양물질에 대한 SCFAs의 비율은 COD/TKN값이 중온에서 10~16, 실온은 9~13이며, COD/PO₄-P는 중온에서 100~125, 실온은 100~130이 가장 큰 것으로 나타났다. 그러나 이후 산 발효가 계속 진행 되면 메탄생성균에 의한 SCFAs의 급격한 소모가 일어나게 되고 이에 따라 SCFA에 대한 영양물질의 비도 크게 감소하는 것으로 나타났다.

1차 슬러지 산 발효에 의한 질소와 인의 용출은 본 연구에서는 SCFAs(as COD) 1.0mg/L당 0.05~0.2mg NH₄⁺-N/L와 0.008~0.03mg PO₄-P/L가 용존되는 것으로 나타났으며 이는 Banister 등 (1997)이 보고한 0.03~0.04mg PO₄-P/L와 0.09~0.14mg NH₄⁺-N/L가 용존된다는 보고와 비교할 때 다소 낮은 값을 나타내었다.¹⁾

3.2. BNR Plant 적용

산 발효조 운전시 유입수내 유기물은 인공하수만을 기질로 주입한 R1에 비해서 R2, R3의 경우 50~60mg/L(as COD)의 부하증가를 가져왔다. 그러나 처리된 유출수의 COD농도는 Fig. 8과 같이 세 반응조 모두 유사한 수질로 처리되어 유입수의 농도가 큰 R2(95%) 및 R3(94%)의 처리효율이 R1(90%)에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

또한 질소(T-N) 처리효율은 반응조 R1(인공하수)의 경우 35% 정도의 처리효율을 나타냈으나 R2 (VFA 주입-50mg/L as COD) 및 R3(발효산물 투

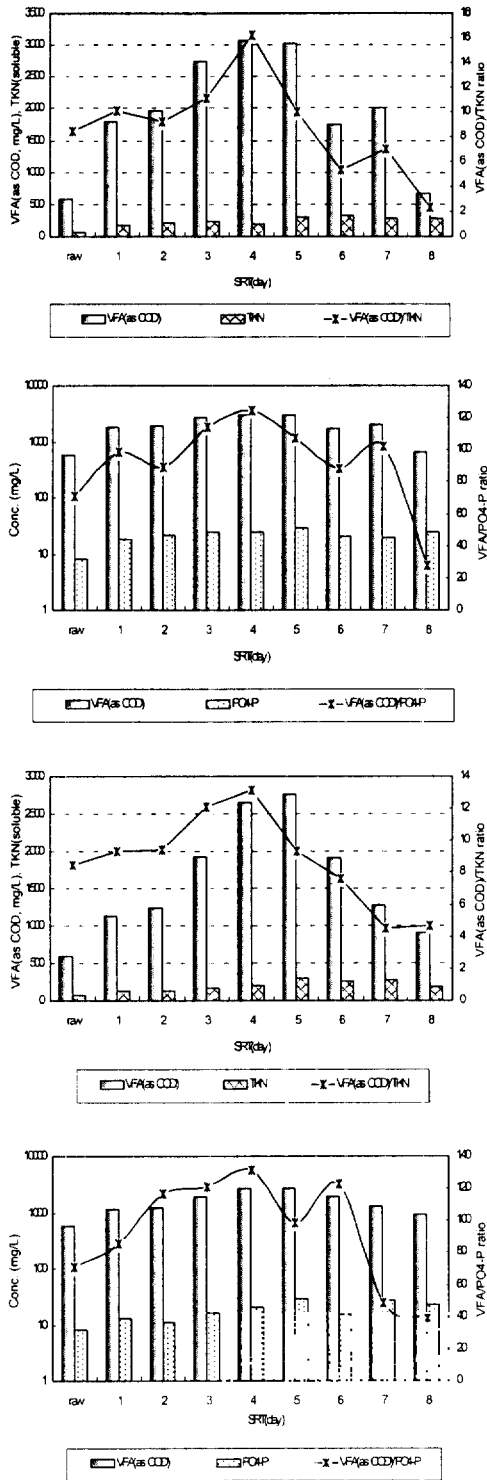


Fig. 7. SCFAs and nutrients(N, P) concentration by batch acid fermenter. (top : temp. 35°C, bottom : temp. 20°C)

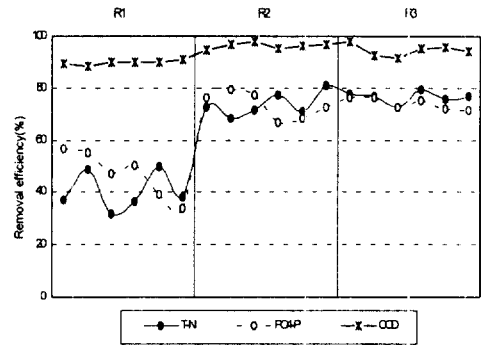


Fig. 8. Organic and nutrients removal efficiency.

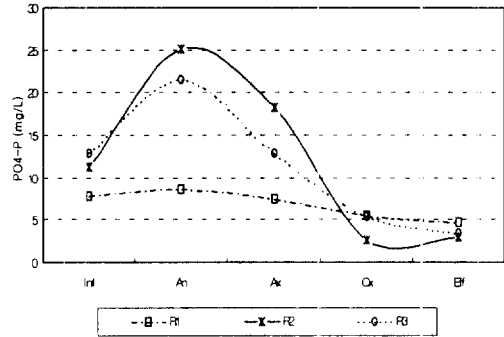


Fig. 9. PO₄-P concentration.

입-450ml/일)의 경우 제거효율 74%, 76%로 크게 향상되는 것으로 나타났다. 이는 R1의 경우 7 정도의 낮은 C/N비 유입수 성상을 감안해 보면 탈질에 필요한 탄소원이 부족한 원인으로 효율이 저하된 반면, R2~R3의 경우 발효산물 및 SCFAs 주입에 의해 탈질에 유리한 탄소원 공급으로 제거효율이 향상된 것으로 판단된다. SCFAs 및 발효산물의 주입시 완벽한 탈질이 수행됨을 알 수 있는데, 이는 R2~R3의 BNR 공정이 내부 반송비가 200%임을 감안한 이론적인 탈질을 $(2/3 \times 100 = 67\%)$ 과 생체합성을 고려할 때 호기조에서 질산화된 질산성 질소의 대부분이 주입된 탄소원에 의해 탈질이 되었음을 알 수 있다.

Phosphate의 처리효율 또한 R1의 경우 45%의 처리효율에 미쳤으나 R2, R3의 경우 73~74% 정도 나타나 역시 처리효율이 크게 양호하게 나타났다. 이는 발효산물 및 SCFAs 주입에 의한 혐기조에서 인의 방출을 증가 및 호기조에서 과잉섭취가 이

루어졌기 때문이다. 이는 Fig. 9의 반응조별 인의 거동을 보면 잘 알 수 있는데, R2~R3의 경우 인의 방출율이 크고 또한 섭취율도 큰 것을 알 수 있다. 발효산물을 주입한 R3의 경우 인의 방출율은 혐기조에서 SCFAs에 의한 방출된 인의 mass를 발효 SCFAs(as COD)의 mass로 나누어 산정하였으며, 0.34g PO₄-P/g COD로 Moser-Engeler 등(1998)이 제시한 0.38g PO₄-P/g COD 및 ASM No.2 (Henze 등, 1995)에서 제시한 0.4g PO₄-P/g COD와 거의 유사한 것으로 나타났다.⁵⁾

4. 결 론

- 1) 슬러지를 이용한 산 발효조 운전에 의한 SCOD 발생량은 준혐기조의 경우 운전일수가 늘어날수록 증가하며 변곡점으로 나타난 기간은 SRT 5~7일 정도로 발생량은 2,500mg/L 정도 나타났다. 반면 완전혐기조에서는 약 10일경 이후 SCOD 발생량이 오히려 감소된 것으로 나타났다. SCOD/TCOD ratio를 나타내면 최대 25% 까지 용존된 것으로 나타났으나, 효율적인 SCOD 발생은 15%가량 용존되는 5일 내외가 적합할 것으로 판단된다.
- 2) 산 발효조를 회분식으로 운전하여 분석한 결과 최대 SCFAs 생성은 중온 2,030mg/L(COD 환산 : 3,071mg/L), 실온 1,820mg/L(COD 환산 : 2,754mg/L)로 동일하게 4~5일에서 나타났다. 또한 SCFAs의 성상별로 분석하면 Acetic acid와 Propionic acid가 각각 35, 25% 정도로 전체 SCFAs의 60% 정도를 나타내는 것으로 분석되었고, (iso-)Butyric acid, (iso-)Valeric acid가 남은 성상분을 차지하는 것으로 나타났다. SCFAs의 발생량은 대략 0.10~0.16 mg VFA(as COD)/mg 1차 슬러지(as COD)로 나타났다으며 생성된 SCFAs의 성상비는 Acetic : Propionic : (iso)Butyric : (iso)Valeric가 1 : 0.7 : 0.5 : 0.6으로 나타났다.
- 3) SRT 4~5일에서 생성 영양물질에 대한 SCFAs의 비율(COD/TKN - 중온 : 10~16, 실온 : 9~13, COD/PO₄-P - 중온 : 100~125, 실온 : 100~130) 또한 가장 큰 것으로 나타났다. 그러나 이후 산 발효가 계속 진행되면 메탄생성균에 의한 SCFAs의 급격한 소모가 일어나게 되고 이에 따라 SCFAs에 대한 영양물질의 비도 크게 감소하는 것으로 나타났다. 1차 슬러지의 산 발효에 의한 질소와 인의 용출은 본 연구에서는 SCFAs(as COD) 1.0mg/L당 0.05~0.2mg N/L의 암모니아와 0.008~0.03mg P/L의 Phosphate가 용존되는 것으로 나타났다.
- 4) BNR 공정의 side-stream 산 발효조 적용으로 C/N비의 증가 및 영양물질 제거에 유리한 탄소원 공급으로 혐기조내 인의 방출율이 0.34g PO₄-P/g COD로 산정되었고, 영양물질의 제거 효율은 질소 76%, 인의 경우 74%로 크게 향상되는 것으로 나타났다.
- 5) 국내 하수의 생물학적 고도처리 공정시 유기물의 비가 낮을 경우 1차 슬러지를 이용한 side-stream의 산 발효조를 적용하여 SCFAs가 포함된 발효산물을 탄소원으로 주입할 경우 외부 탄소원 투입과 유사한 처리효율을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. WERF Assessment Report, Research Needs for Nutrient Removal from Wastewater, WERF Project 92-WNR-1(1994).
2. Lotter, L. H. and Pitman, A. R., "Improved Biological Phosphorus Removal Resulting from the Enrichment of Reactor Feed with Fermentation Products," *Wat. Sci. Tech.*, **25**(5~6), 943~953(1992).
3. Pitman, A. R., Lotter, L. H., Alexander W. V. and Deacon, S. L., "Fermentation of Raw Sludge and Elutriation of Resultant Fatty acids to Promote Excess Biological Phosphorus Removal," *Wat Sci Tech.*, **25**(4~5), 185~194(1992).
4. Clifford, W. Randall, James, L. Barnard, H. David, Stensel, "Design and Retrofit of

- Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal," 85~95(1992).
5. Moser-Engeler, R., Udert, K. M., Wild, D. and Siegrist, H., "Products from Primary Sludge Fermentation and Their Suitability for Nutrient Removal," *Proceedings of the Water Quality International 1998*, **1**, pp. 252~259(1998).
 6. Moser-Engeler, R., Kuhni, M. K., Bernhard, C. and Siegrist, H., "Fermentation of Raw Sludge on a Industrial scale and Applications for Elutriating its Dissolved Products and Non-Sedimentable Solids," *Wat. Res.*, **33**(16), 3503~3511(1999).
 7. Hiroyasu Satoh, Takashi Mino and Tomonori Matsuo, "PHA Production by Activated Sludge," *Biological Macromolecules*, **25**, 105~109(1999).
 8. Wen-tso Liu, Takashi Mino, Nakamura and Tomonori Matsuo, "Glycogen Accumulating Population and its Anaerobic Substrate Uptake in Anaerobic-Aerobic Activated Sludge without Biological Phosphorus Removal," *Wat. Res.*, **30**(1), 75~82(1996).
 9. Yoshio Inoue, Fumitaka Sano, Kazuhiro Nakamura and Naoko Yoshie, "Microstructure of Copoly(3-hydroxyalkanoates) Produced in the Anaerobic-Aerobic Activated Sludge Process," *Polymer International*, **39**, 183~189(1996).