



1차 하수슬러지의 유기산발효에 미치는 HRT의 영향

김형석, 송영채*, 성낙창**

신라대학교 환경공학과, 한국해양대학교 토목환경공학부*, 동아대학교 환경공학과**
(2002년 8월 5일 접수, 2002년 8월 17일 채택)

The effect of HRT variation on acidogenic fermentation with municipal primary sludge

Hyeong-Seok Kim, Young-Chae Song*, Nak-Chang Sung**

Dept. of Environmental Eng., Silla Univ., Division of Civil and Environmental Eng., Korea Maritime Univ.*,
Dept. of Environmental Eng., Dong-A Univ.**

ABSTRACT

Acidogenic fermentation of primary sludge was investigated for the solution to reduce the sewage sludge and develop external carbon source for BNR process. In a viewpoint to use existing anaerobic digestion tanks, we didn't change environmental factors such as reactor configuration, temperature, pH and investigate the variation of solubilization rates, acidification rates and environmental factors which affected by the variation of HRT. The average solubilization rates were 0.0309 and 0.0204mgSCOD_{prod.}/mgICOD_{inf.} at a HRT of 3 and 1.5 days, respectively.

The average acidification rates were 0.0068mg HAc/mg TCOD_{inf.} and 0.0652mg HAc/mg VSS_{destroyed} at a HRT of 3day. At a HRT of 1.5 days the average acidification rates were 0.0060mg HAc/mg TCOD_{inf.} and 0.0346mg HAc/mg VSS_{destroyed}. For the period of experiments alkalinity and pH were properly maintained without artificial adjusting.

Key Words : Acidogenic fermentation, Primary sludge , solubilization, acidification

초 록

하수슬러지의 발생량 감소와 BNR공정의 외부탄소원 개발에 대한 해결방안으로 1차슬러지의 산발효가 연구되었다. 기존 혐기성 소화조를 활용한다는 측면에서 반응조의 형상, 온도, pH와 같은 환경인자는 변화시키지 않았고, HRT변화에 따른 가수분해율, 산생성율 및 환경인자의 특성변화를 검토하였다. 평균 가수분해율은 HRT가 3일과 1.5일 일때, 각각 0.0309., 0.0204mgSCOD_{prod.}/mgICOD_{inf.}였다. 평균 산생성율은 HRT 3일에서 0.0068mg HAc/mg TCOD_{inf.}, 0.0652mgHAc/mg VSS_{destroyed}였다. HRT 1.5일에서 평균 산생성율은 0.0060mg HAc/mg TCOD_{inf.}, 0.0346mgHAc/mg VSS_{destroyed}였다. 실험기간 동안 알칼리도와 pH는 인위적인 조절없이 적정하게 유지되었다.

주제어 : 유기산 발효, 1차슬러지, 가수분해, 산생성

1. 서론

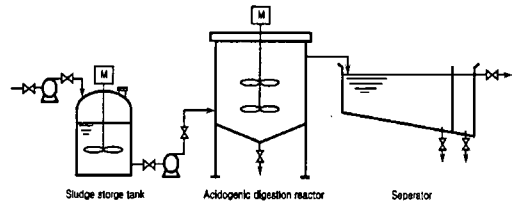
2000년 말 현재 우리나라에 설치된 하수종말처리 시설은 모두 172개소, 시설용량 1,840만톤으로서 약 70%의 하수도보급율을 나타내고 있다. 이들 처리장에서 발생하는 하수슬러지는 연간 1,741,371톤에 이르며, 향후 2005년까지 하수도보급률을 80%로 향상시킬 계획으로 하수종말처리시설 설치 및 증설사업이 계속 추진되고 있어, 하수슬러지의 발생량은 계속 증가할 전망이다.^{1), 2)}

현재 대부분의 하수슬러지는 가수분해-산생성-메탄생성의 3단계로 이루어지는 혐기성 소화공정으로 처리된 이후 육상매립이나 해양투기로 처분되고 있으나 2003년 후반기부터는 폐기물관리법과 런던협약에 따라 하수슬러지의 직매립과 해양투기가 금지될 예정이므로 하수슬러지의 효과적인 처리, 처분 방법의 개발과 함께 발생량의 감소가 절실히 요구된다.

또한, 2008년 이후부터는 전국의 하수처리장 방류수 수질기준-특히, 질소와 인에 대한 규제기준-이 강화될 예정이나, 국내 하수처리장 유입수의 C/N비가 낮아 효과적인 질소제거가 어려운 문제점이 있다. 즉, 생물학적 영양염류 제거(BNR)공정의 탈질과정에서 요구되는 외부탄소원의 구입이 경제적인 부담이 되기 때문에 대체물질의 개발이 시급한 형편이다.³⁾

이러한 두가지 문제점-하수슬러지 발생량 감소와 대체탄소원 개발-에 대한 해결방안으로써 하수슬러지의 혐기성 산발효 실험을 실시하였다. 혐기성 소화공정의 산생성 단계에서 생성되는 용존성 유기탄소는 BNR공정에서 요구되는 외부탄소원으로 이용될 수 있어 유입수의 유기물 농도가 충분하지 못한 경우 질소제거에 요구되는 대체탄소원으로서 활용가치가 있다.

1차슬러지의 유기산발효는 폐기물의 특성, HRT나 SRT 같은 운전인자와 pH, 온도, 반응조의 형상 등과 같은 환경인자의 영향을 받는 것으로 알려져 있다.⁴⁾ 따라서, 본 연구에서는 기존 하수처리장의 혐기성 소화조를 활용한다는 측면에서 반응조 형상이나 온도, pH와 같은 환경인자는 인위적으로 변화시키지 않고, 운전인자인 HRT 변화에 따른 가수분해율, 산생성 및 환경인자 등의 특성변화를 검토하였다.



(Fig. 1) Schematic diagram of experimental apparatus

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험장치

(Fig. 1)은 기존 A하수처리장의 혐기성 소화조를 scale down한 산발효조를 중심으로 전단의 슬러지 저류조와 고·액 분리를 위한 후단의 침전설비로 구성되어 있다. 유입슬러지의 균질화를 위해 2m³ 용량의 저류조 전단에 screen을 설치하였으며 저류조 내에는 교반기를 장착하여 가동하였다. 산발효조는 $\phi \times H = 1.3\text{m} \times 1.8\text{m}$ 의 원통형으로써 총용적 2.225m³, 유효용적 1.59m³으로 제작되었으며, 산발효 혼합액의 고·액 분리를 위해 1m³ 침전지를 산발효조 후단에 설치하여 상등액을 탄소원으로 이용하였다. 산발효조는 내부 온도가 35℃의 중온을 유지하도록 외부항온조에 침지시켰으며, 운전인자 변화에 따른 산발효 특성을 검토하기 위하여 HRT를 3일과 1.5일로 하여 147일간 운전하였다.

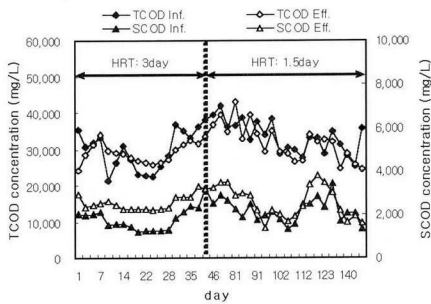
2.2 실험재료 및 분석

본 실험에 사용된 1차슬러지는 A하수처리장 1차침전지에서 채취한 것을 이용하였다. A하수처리장은 유입수가 가정오수, 공장에서 배출되는 산업폐수, 공업단지 공동처리장의 처리수, 쓰레기매립장의 침출수 등으로 매우 다양한 특성을 가지고 있다.

(Table 1)은 HRT 적용기간에 따라 유입된 1차슬러지의 특성을 분류하여 나타낸 것이다. TCOD, SCOD, TSS, VSS, Alkalinity, TVA의 농도와 pH의 측정은 Standard Methods(18th)에 따라 분석하였다.⁵⁾

[Table 1] Characteristics of Influent Primary Sludge

Parameter	HRTT : 3day			HRT : 1.5day		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
pH	6.85	6.26	6.44	7.06	6.65	6.85
TCOD(mg/L)	38,180	21,500	29,861	41,960	25,120	33,423
SCOD(mg/L)	3,195	1,210	1,781	3,440	1,315	2,175
TSS(mg/L)	33,660	16,700	25,872	44,750	21,700	29,569
VSS(mg/L)	22,950	10,000	15,267	24,600	11,900	16,664
Alkalinity(mg/L)	2,938	1,668	2,320	4,625	1,813	2,935
TVA(mg HAc/L)	537	248	369	1006	398	642



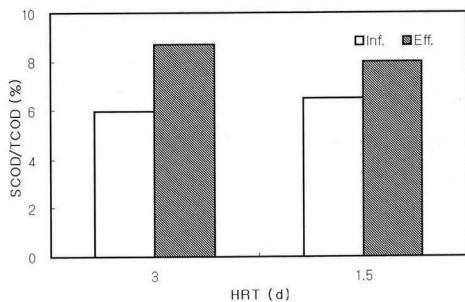
[Fig. 2] Variation of COD concentration

3. 결과 및 고찰

3.1 가수분해율

[Fig. 2]는 실험기간 동안 산발효조의 유입·유출 슬러지에 대한 유기물 분해특성으로써 TCOD와 SCOD 변화를 나타낸 것이며, [Fig. 3]은 HRT 3일과 1.5일로 운전한 경우 유입슬러지와 유출슬러지의 SCOD/TCOD비를 비교 검토한 것이다.

HRT 3일에서 SCOD/TCOD비는 5.97%에서



[Fig. 3] Comparison of SCOD/TCOD rates

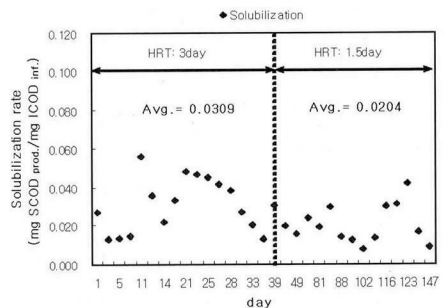
8.73%로 증가하였고, HRT가 1.5일 때는 SCOD/TCOD비가 6.51%에서 7.99%로 증가하였다. 이는 유입슬러지 내의 입자상 유기물이 가수분해 단계를 거쳐 용존성의 저분자물질로 분해됨으로써 나타나는 현상으로 판단된다.

산발효의 전단계로서 가수분해 반응은 여러 종류의 미생물들이 분비하는 체외효소에 의하여 고분자 물질이 가용성 저분자 물질로 분해되는 과정으로 pH, 온도 뿐만 아니라 고형물의 형태, 크기 및 잔류농도에 영향을 받고 가수분해 반응의 산물인 유기산에 의해서도 저해를 받는 등의 복잡한 반응으로 전체 혐기성 소화반응의 율속단계라고 알려져 있다.⁶⁾

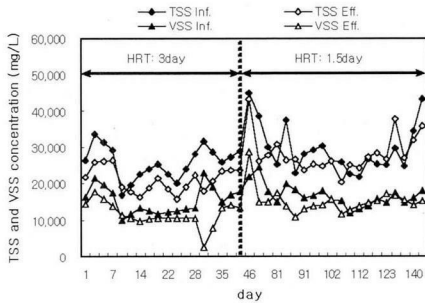
가수분해율은 가용화 정도(Solubilization)로 표현될 수 있으며 용해성 COD(SCOD)의 생성으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Solubilization} = \frac{\text{mgSCOD}_{\text{prod.}} (= \text{SCOD}_{\text{eff.}} - \text{SCOD}_{\text{inf.}})}{\text{mgTCOD}_{\text{inf.}} (= \text{TCOD}_{\text{inf.}} - \text{SCOD}_{\text{inf.}})}$$

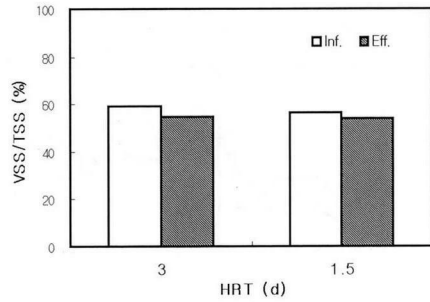
[Fig. 4]에 운전기간 동안의 가수분해율을 나타내었



[Fig. 4] Variation of solubilization rates



[Fig. 5] Variation of TSS and VSS concentration



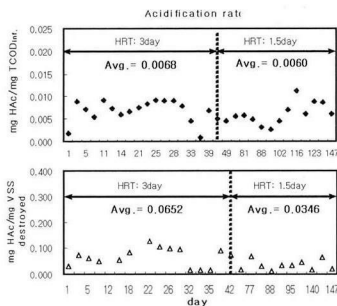
[Fig. 6] Comparison of VSS/TSS rates

다. 가수분해율은 HRT가 3일 일 때, 평균 0.0309 mgSCOD_{prod.}/mgICOD_{inf.}였으며, HRT가 1.5일로 운전시에는 평균 가수분해율은 0.0204mg SCOD_{prod.}/mgICOD_{inf.}로 Wenzel등(1988)에 의한 0.06-0.1mgSCOD_{prod.}/mgICOD_{inf.}과 Jørgensen(1990)에 의한 0.14-0.16mg SCOD_{prod.}/mgICOD_{inf.}의 실험결과와 비교해 상당히 낮은 것을 알 수 있다.⁷⁾ 이는 입자상유기물이 용존성으로 원활히 전환되지 못한 결과로써, 가수분해 단계가 전체반응의 공정속도를 제한하므로, 가수분해율을 안정적으로 증가시키기 위해 열처리, 산 및 알칼리 처리, 초음파처리, 오존처리 등의 전처리가 필요할 것으로 판단된다.

3.2 산생성율

산생성율은 유입기질농도(TCOD) 또는 유입슬러지의 휘발성 부유성분(VSS)의 파괴에 대한 총 휘발성 유기산(TVA)의 생성으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Acidification} = \frac{\text{mg HAC} (= \text{TVA}_{\text{eff.}} - \text{TVA}_{\text{inf.}})}{\text{mgTCOD}_{\text{inf.}}}$$



[Fig. 7] Variation of acidification rates

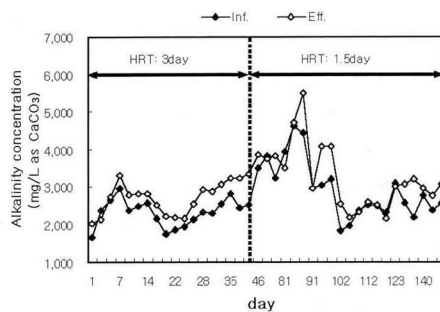
$$\frac{\text{mg HAC} (= \text{TVA}_{\text{eff.}} - \text{TVA}_{\text{inf.}})}{\text{mgVSS}_{\text{destroyed}}}$$

[Fig. 5]는 실험기간 동안 반응조 유입슬러지와 유출슬러지의 TSS 및 VSS의 농도 변화를 나타낸 것이며, [Fig. 6]에 산발효 전·후의 VSS/TSS(%) 변화를 나타내었다. HRT 3일에서, VSS/TSS는 59.0%에서 54.6%로 감소하였고, HRT가 1.5일 때는 56.4%에서 53.6%로 감소하였다. 이는 유입슬러지 내의 입자상 유기물이 분해되어 저분자의 용존성으로 분해되기 때문에 VSS가 줄어든 결과를 보였다.

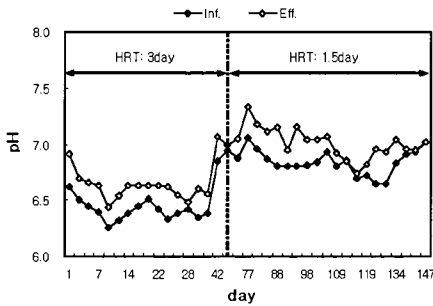
[Fig. 7]은 운전기간 동안의 산발효율을 나타낸 것이다. 산생성율은 HRT를 3일로 운전시 평균 0.0068mg HAC/mg TCOD_{inf.}였고, HRT를 1.5일로 운전시에는 평균 0.0060mg HAC/mg TCOD_{inf.}로 큰 차이가 없었다.

소모된 gVSS당 생성된 gTVA는 HRT가 3일, 1.5일 일때, 각각의 평균값이 0.0652, 0.0346mg HAC/mg VSS_{destroyed}였다.

이는 Rabinowitz(1986)에 의한 0.079-0.093mg



[Fig. 8] Variation of alkalinity concentration



[Fig. 9] Variation of pH

HAc/mg TCOD_{inf}와 T' Seyen (1986)의 결과인 0.084mg HAc/mg TCOD_{inf}에 비해 상당히 낮으며, 또한 Lee 등(1995)에 의한 0.17mg HAc/mg VSS_{destroyed}의 결과와 비교해도 산생성율이 낮은 것을 알 수 있다.^{7),8)} 이는 유입슬러지의 특성상 가수분해율이 저조하였기 때문에 산생성율에 영향을 미친 것으로 보이며, 율속단계인 가수분해율을 증가시킬 필요가 있다고 판단된다.

3.3 환경인자

[Fig. 8]에 실험기간 동안 반응조 유입슬러지와 유출슬러지의 알칼리도의 농도 변화에 대한 결과를 나타내었다. HRT가 3일로 운전되었을 때 유입슬러지의 평균농도는 2,320mg/L, 유출슬러지의 평균농도는 2,709mg/L였고, HRT가 1.5일로 운전되었을 때 유입슬러지의 평균농도는 2,935mg/L, 유출슬러지의 평균농도는 3,260mg/L였다.

따라서 약품주입 등 별도의 인위적인 조절이 없이도 혐기성 소화조 운영을 위한 적절한 알칼리도인 2,000~4,000mg/L(as CaCO₃)가 유지되었다.

[Fig. 9]에 실험기간 동안 반응조 유입슬러지와 유출슬러지의 pH 변화에 대한 결과를 나타내었다. HRT가 3일로 운전되었을 때 유입슬러지의 평균 pH는 6.44, 유출슬러지의 평균 pH는 6.64이었고, HRT가 1.5일로 운전되었을 때 유입슬러지의 평균 pH는 6.85, 유출슬러지의 평균 pH는 7.01이었다. 실험기간 동안 산발효에 의한 pH의 저하없이 반응조가 안정적으로 운전되었으며, 이는 유입슬러지 내에 포함된 단백질 등의 분해에서 방출된 암모니아와 생성된 유기산으로 인한 완충능력 때문에 유출슬러지의 pH가 중성영역을 유지했기 때문으로 생각된다.

4. 결론

pilot 규모의 실험을 통해 1차슬러지의 유기산 발효를 이용한 TVA의 생성에서 HRT변화에 따른 가수분해율과 산생성율 및 환경인자에 대한 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 1차슬러지의 가수분해율은 HRT가 3일 일때, 평균 0.0309mgSCOD_{prod}/mgICOD_{inf}였으며, HRT가 1.5일 일때 평균 0.0204mgSCOD_{prod}/mgICOD_{inf}였다.

2. 산생성율에 있어, HRT를 3일로 운전시 0.0068mg HAc/mg TCOD_{inf}였고, HRT를 1.5일로 운전시에는 0.0060mg HAc/mg TCOD_{inf}로 큰 차이가 없었다.

소모된 gVSS당 생성된 gTVA는 HRT가 3일, 1.5일에서 각각 0.0652, 0.0346mg HAc/mg VSS_{destroyed}였다.

3. 알칼리도와 pH는 실험기간 동안 약품주입 등 인위적인 조절없이도 혐기성 소화조 운영에 적합한 범위내로 유지되었고 산발효에 의한 반응조 내의 pH저하는 없었다.

1차슬러지의 유기산 발효에서 가수분해율이 다소 낮았으므로, 가수분해율의 향상을 위해서는 열처리, 산 및 알칼리 처리, 초음파처리, 오존처리 등의 적절한 전처리가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 환경부 "환경백서" (2001).
2. 환경부 "하수도통계" (2001).
3. 부산광역시, "장립하수처리장 질소제거를 위한 대체물질개발 타당성 연구보고서" (2000).
4. P. Elefsiniotis, W.K. Oldham "Effect of HRT on acidogenic digestion of primary sludge", ASCE National Conference on Environmental Engineering, Reno, Nev. (1991).
5. WPCF. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 18th edition, American Public Health

- Association, (1992).
6. John A. Eastman, John F. Ferguson "Solubilization of particulate organic digestion", JWPCF, Vol. 53, No. 3, pp.352-366 (1981).
 7. Ricardo Franci GonCalves, Anne Catherine Charlier and Francois Sammut "Primary fermentation of soluble and particulate organic matter for wastewater treatment", Wat. Sci. Tech., Vol. 30, No. 6, pp.53-62, (1994).
 8. Sang-Il Lee, Ben Koopman, Seung-kuk Park, Keith Cadee "Effect of fermented wastes on denitrification in activated sludge", Water Environment Research, Vol. 67, No. 7, pp. 1119-1122, (1995). ☐