

돈사폐수의 세정산발효시 온도와 전처리의 영향

배진연 · 민경석[†]

경북대학교 환경공학과

Effect of Temperature and Pre-treatment for Elutriated Acidogenic Fermentation of Piggery Waste

Jin-Yeon Bae · Kyung-Sok Min[†]

Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University

(Received 26 August 2004, Accepted 16 September 2004)

Abstract : The performance of elutriated acid fermentation with slurry-type piggery waste was investigated, especially to evaluate the effects of temperature and pre-treatment. In the first phase, the acid elutriation reactor with piggery waste after centrifugation operated at both mesophilic and thermophilic conditions to evaluate the effect of temperature. Solubilization yield(gVFAs/gSCOD_{prod.}) and acidification rate(gVFAs/gSCOD_{prod.}) in the thermophilic digestion were 0.45 and 0.55, which were higher than those of the mesophilic digestion, 0.25 and 0.45. In addition, the acid elutriation reactor at thermophilic temperature is more effective in removing *e-coli*. In the second phase, the acid elutriation reactor was fed with piggery waste before centrifugation. With piggery wastes before centrifugation, the solubilization yield and the acidification rate were 0.40 and 0.80, respectively, which were higher than the rates using piggery waste after centrifugation at both mesophilic and thermophilic conditions. The higher sludge volume reduction of 80% benefits sludge management. Furthermore, economical advantages can be achieved by removing the pre-treatment process, such as centrifugation. Consequently, the treatment with piggery waste before centrifugation proved to be effective. Also, the optimum temperature condition was estimated at mesophilic or thermophilic conditions, considering solubilization yields and acidification rates, though the system should be heated.

keywords : Solubilization, Acidification, Piggery waste, Temperature, Pre-treatment

1. 서론

돈사폐수는 하천이나 호소의 수질에 영향을 주는 주요한 오염원으로서, 산업폐수 및 생활하수에 비해 발생량은 전체의 약 1%정도이나, BOD를 기준으로 하는 오염부하의 전체의 약 14%로 높은 부분을 차지한다. 유기물뿐만 아니라, 질소와 인의 농도가 높아 오염 부하량 측면에서 상당히 심각한 문제를 가져오고 있다. 특히 우리나라에서는 운영상의 편리함과 초기 시설투자비를 고려하여 슬러리형 돈사를 많이 선호한다. 슬러리형 돈사폐수는 대표적인 고액 미분리형 폐수로서 140 gCOD/L, 96 gTSS/L 이상의 고농도이며, 난분해성 유기물을 많이 포함(Jung et al., 2000)하고 있어 처리가 매우 어려운 실정이다.

돈사폐수는 고농도의 유기성 폐수로서 이를 처리하기 위해서는 호기성 처리방법보다는 혐기성 처리방법이 적합하다. 혐기성 미생물은 복잡한 유기물질을 분해시켜 alcohol이나 기타 SCFAs(short chain fatty acids)를 만드는 산생성 미생물과 CH₄를 생산하는 메탄생성 미생물로 구분할 수

있다. 각 미생물의 환경조건을 최적화하기 위해 산형성 단계와 메탄형성 단계를 분리하여 운전하는 이상 소화(phase digester)공정이 운전되고 있으며, 최근에는 혐기성 발효를 산생성 단계까지만 반응시키고 발생된 유기산을 타 공정과 연계 처리하는 방법이 연구되고 있다. Lee 등(1997)에 의한 연구에 의하면, 질소제거 공정에서 산발효물을 탄소원으로 사용할 때 acetate를 이용할 때와 거의 동일한 탈질율을 얻을 수 있었으며, 축산폐수내의 탄소원만을 이용할 때에 비하여 질소제거율이 14% 향상되었다고 한다. 돈사폐수의 산발효에 의한 VFAs(volatile fatty acids)생성은 메탄생성을 위한 UASB공정과 연계처리 하거나 탈질공정시 필요한 외부탄소원으로 공급하는 등 다양한 효과를 기대할 수 있다. 세정 산발효조는 완전혼합형 산발효조와 달리, 슬러지층을 완전혼합시키지 않고, 별도의 세정수를 사용하여 침전된 슬러지층 내에 농축되어 있는 유기산 및 액상부산물을 세정 유출시킴으로써 산형성 단계의 활성도를 높인다. 또한 슬러지의 높은 부피 감소율로 슬러지 생산량이 적으며, 발생하는 슬러지는 AOP 등의 후속처리를 거쳐 biosolids로 활용가능하다. 세정 산발효조는 완전혼합형 산발효조와 비교할 때 가용화율/산생성율은 더 크면서 고형물의 유출을 최대로 억제하여, 타 공정들과 연계처리할 때 높은 고형물 농도로

[†] To whom correspondence should be addressed.
ksmin@knu.ac.kr

처리공정의 문제점으로 지적되는 돈사폐수의 처리 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 효율적인 유기산 생성을 위해 온도 및 기질의 전처리 정도에 따른 세정 산발효조의 효율을 평가하였다. 온도에 따른 세정 산발효조의 효율을 비교·평가하기 위해 원심분리후의 폐수를 기질로 고온(55°C)조건에서 운전하여, 본 연구실에서 수행한 중온 세정 산발효조 연구결과(안 등, 2004)와 비교·평가하였고, 원심분리전의 폐수를 기질로 중온(35°C)조건에서 운전하였다.

2. 실험

2.1. 실험장치 및 운전조건

온도에 따른 세정 산발효조의 운전특성을 살펴보기 위해, 원심분리후의 폐수를 기질로 하여 고온조건에서 실험하였으며, 반응조 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 반응조는 유효용량 1L인 유리 원통형 칼럼을 사용하였으며, 반응조 후단에는 침전성이 좋지 않은 돈사폐수 슬러지를 제어하기 위해 반응조 부피의 50%에 해당하는 침전조를 두었다. 각 반응조는 온도조건에 맞추어 항온 수조 내에서 온도(±1°C)를 유지하였으며, pH는 인위적으로 조절하지 않고 주입하였다.

기질 유입시 슬러지층의 교란을 최소화하기 위해 하루 0.2L의 유입기질을 슬러지층 위로 바로 주입하였다. 회분식

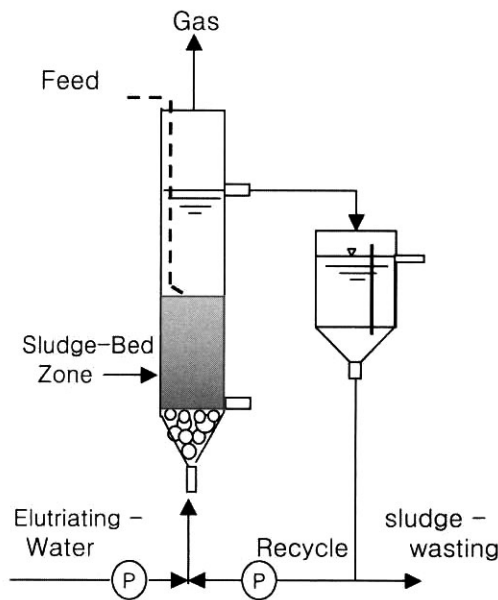


Fig. 1. Schematic diagram.

실험을 통해 슬러리형 돈사폐수의 세정 산발효 특성을 연구한 박(2003)의 실험 결과에 따르면 총 생성된 SCOD 및 VFAs의 70~80%가 초기 5일 이내에 생성되었다. 이러한 결과를 바탕으로 SRT를 5일로 운전하기 위해, 반응조내의 고형물 양 중 1/5을 매일 인발하였다. 세정수는 유입수의 2.5Q(0.5 L)로 유입하였고, 상향류 방식으로 슬러지층 내에 농축되어 있는 생성된 유기산 및 액상 부산물을 1 L/day의 속도로 세정 유출시켰다. 고온 세정 산발효조의 유기물 부하율은 10.9 gCOD/L-day (4.8 gVS/L-day)로 운전되었다.

축산폐수 공공처리장의 전처리 정도(원심분리 전,후)에 따른 세정 산발효조의 효율을 평가하기 위해 원심분리전의 폐수를 기질로 하여 중온조건에서 운전하였고, 고온조건은 가온에 드는 부담으로 인해, 현장적용이 어렵기 때문에 실험하지 않았다. 유효용량 2 L인 유리원통형 칼럼을 사용하였으며, 0.4 L/d의 기질을 유입하였다. 기타 운전방법은 온도에 따른 세정산발효 운전 특성 실험과 동일한 방법으로 수행되었으며, 유기물 부하율은 14.3 gCOD/L-day (8.4 gVS/L-day)이었다.

2.2. 유입기질 및 분석 방법

본 연구에 사용된 기질은 슬러리형 돈사폐수가 유입되는 경북 S시 축산폐수공공처리장의 폐수를 이용하였다. S시 축산폐수공공처리장의 전처리 과정을 Fig. 2에 나타내었으며, 기질은 전처리 과정에 따라 원심분리전의 폐수(drum screen, 5 mm)와 원심분리후의 폐수(원심분리기, 0.1 mm)를 이용하였다.

Table 1은 본 연구에 사용된 슬러리형 돈사폐수의 기질 특성을 나타내고 있다. 시료는 채취시마다 성상 차이가 나는 데, 원심분리후의 폐수의 성상을 살펴보면, TCOD 43~56 g/L, SCOD 22~39 g/L, TKN 4.9~5.2 g/L, NH₄-N은 2.7~4.7 g/L, TS 29~38 g/L이며, 원심분리전의 폐수는 TCOD 43~82 g/L, TKN 5.7~6.1 g/L, TS 56~82 g/L이었다. 전체적인 농도가 원심분리전의 폐수가 원심분리후의 폐수에 비해 높았으며, 특히 ICOD (TCOD-SCOD), 고형물(TS) 및 VS함량이 높아 세정 산발효에 높은 효과가 있을 것으로 기대하였다.

유입기질과 유출수에 대하여 pH, alkalinity, VA(volatilic acids), BA(biocarbonate alkalinity), COD(total, soluble), TKN, NH₄-N, T-P, PO₄-P, TS, VS, TSS, VSS, VFAs (acetate, propionate, butyrate, valerate, lactate, formate)를 분석하였다. VFAs(volatilic fatty acids)는 UV 검출기와 유기산 분석 칼럼(Aminex HPX-87H, Bio-Tad, Inc., U.S.A)이 장착된 HPLC(Shimadzu Model LC-10AD, Japan)로 측정하

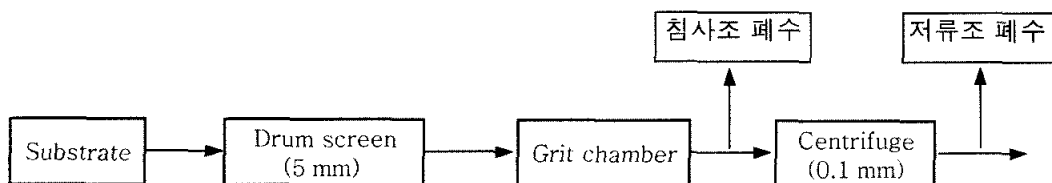


Fig. 2. Pretreatment of slurry-type piggery waste.

Table 1. Characteristics of piggery waste

Pre-treatment	After centrifugation		Before centrifugation	
Temp. (°C)	Thermophilic (55°C)		Mesophilic (35°C)	
Item	Range	Average ± S.D.	Range	Average ± S.D.
pH	7.9~8.5	8.5 ± 0	8.3~8.8	8.5 ± 0.3
TCOD _{cr}	51,400~56,040	54,590 ± 1280	42,950~81,770	58,610 ± 21,100
SCOD _{cr}	25,700~38,560	27,650 ± 1,460	17,340~38,810	25,490 ± 12,090
TKN	5,200~6,400	5,900 ± 10	5,650~6,100	5,880 ± 320
NH ₄ -N	2,860~4,650	4,240 ± 250	3,240~4,960	4,390 ± 700
T-P	630~690	670 ± 40	1,620~2,040	1,860 ± 160
PO ₄ -P	360~480	400 ± 45	315~772	454 ± 463
TS	32,840~37,130	35,230 ± 2,590	55,990~81,840	66,160 ± 8,720
VS	21,230~24,860	24,090 ± 1,210	40,250~57,210	46,800 ± 6,900
TA	10,550~21,900	10,940 ± 1,005	12,350~13,825	13,090 ± 1,040
BA	7,456~17,175	6,810 ± 220	4,250~6,250	5,250 ± 1410

Unit: mg/L; S.D.: standard deviation; TA: total alkalinity; BA: bicarbonate alkalinity
Number of data points, n=8.

었다. 가스성분 분석은 TCD 검출기와 silica gel 칼럼이 장착된 G.C(Tremetrics Model 9000, USA)로 측정하였다. 칼럼 온도는 60°C, 주입부 온도 85°C, 검출기 온도는 75°C이었으며, 이동상은 helium을 사용하였고, 이동상 속도는 22 mL/min이었다. 그 외의 분석항목은 Standard Methods (APHA, 1998)에 준하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 온도의 영향

온도에 따른 돈사폐수의 세정 산발효조의 운전 특성을 연구하기 위해 고온(55°C)조건에서 운전하여 중온(35°C)조건에서 실험한 안(2004)의 연구결과와 비교·평가하였다. 고온 세정 산발효조의 운전특성은 Fig. 3에 나타내었는데, TA는 평균 3,500 mg/L, BA는 2,300 mg/L로 양 조건 모두 혐기성 소화의 완충작용을 할 수 있는 조건을 유지하였다. 운전기간 중 BA농도가 증가한 것은 반응조내에서 미생물 자체적으로 생성된 결과일 수도 있는데, 단백질과 지방 분해시 알칼리도가 생성되고, 미생물의 내호흡과정에 의해서도 알칼리도가 생성되었기 때문이다.

(1) 가용화율

세정 산발효조의 COD 및 VFAs는 세정수의 사용으로 인하여 질량기준으로 비교하였다. 중온 세정 산발효조에 유입된 SCOD는 반응조 단위 체적당 5.16 gSCOD/L-day(25.8 gSCOD/L)이었고, 유출수를 기준으로 SCOD생성량과 산생성량은 반응조 체적당 각각 6.4 gSCOD/L-day와 3.7 gVFAs(as COD)/L-day이었다. 총 유출된 SCOD양은 유입 SCOD에 비해 약 24% 높은 값이며, 이는 ICOD가 가용화되었음을 의미한다. 고온 세정 산발효조의 유입기질에 포함된 SCOD는 반응조 체적당 5.53 g/L-day(27.6 gSCOD/L)이었다.

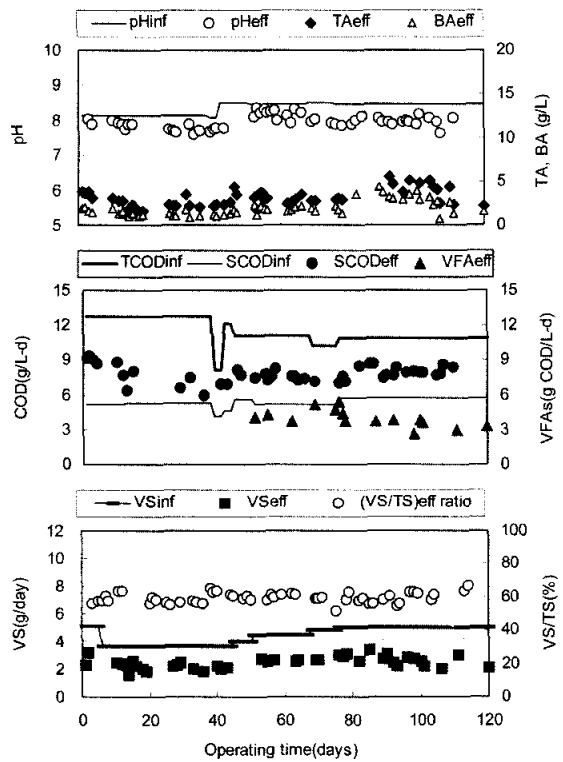


Fig. 3. Acid elutriation reactor with piggery waste after centrifugation at thermophilic condition.

세정 산발효 유출수를 기준으로 SCOD 생성량과 산 생성량은 7.91 gSCOD/L-day와 4.06 gVFAs(as COD)/L-day이었다. 유입 ICOD의 약 44%가 가용화되었으며, 중온에 비해 ICOD가 SCOD로 가용화 되는 비율이 2배정도 높았다.

가용화율(solubilization yield)은 식 (1)을 이용하여 유입 ICOD당 SCOD생산량으로 구하였는데, 중온과 고온에서 각각 0.25와 0.45 gSCOD_{prod}/gICOD_{fed}로, 고온조건에서의 가용화

율이 높은 조건에 비해 약 2배정도 높았다. 돈사폐수의 기질 특성상 가용화가 상당히 제한적이긴 하지만, 소화온도가 증가함에 따라 가용화율도 상승하였다. 회분식 실험을 통한 슬러리형 돈사폐수의 산발효 특성을 연구한 박(2003)은 온도(20°C, 35°C와 55°C)에 따른 가용화율이 각각 0.15, 0.35 및 0.40 gSCOD_{prod}/gICOD_{fed}라고 보고하였다. 본 연구 결과와 비교할 때 중온에서는 낮은 결과를 보였지만, 고온에서는 오히려 높은 결과를 보였다. 이는 유입기질의 특성 및 운전방법의 차이로 인한 결과로 사료되며, 고온조건의 연속식 실험은 100일 이상 긴 운전기간으로 인해, 미생물이 충분히 적응한 결과로 판단된다. 각 조건의 가용화율 및 산생성율을 Table 2에 나타내었다.

$$\text{Solubilization yield} = \text{g SCOD}_{\text{prod}} / \text{g ICOD}_{\text{fed}} \quad (1)$$

유입 VS당 SCOD 생산율을 구한 값 역시 가용화율의 한 지표로 평가할 수 있는데, 식 2를 이용하였다. 가용화에 의한 SCOD 생산량은 중온과 고온에서 각각 0.26과 0.44 gSCOD_{prod}/gVS_{fed} 이었다. 중온에 비해 고온에서 약 2배정도 높은 값을 가졌으며, 이 값 역시 온도가 상승함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, ICOD당 생성된 SCOD에 의한 가용화율과 같은 경향을 나타내었다.

$$\text{Solubilization yield} = \text{g SCOD}_{\text{prod}} / \text{g VS}_{\text{fed}} \quad (2)$$

(2) 산생성율

산발효조에서 생성된 유기산의 조성구분과 농도를 Table 3에 나타내었다. 측정된 VFAs 농도는 생성된 COD량과 비교하기 위하여 각 성분들의 분자량을 고려하여 이론적 산소요구량(mg/L as COD)으로 환산하였다. 고온조건에서 생성된 VFAs는 유출 SCOD의 62%를 차지하였고, 그 중 acetate가 65%, propionate가 25%, butyrate가 8%, valerate가 2%를 차지하였다. 고온조건에서도 lactate와 formate는 검출되지 않아 중온과 거의 흡사한 결과를 보였다. 중온 조건의 산발효물 중 acetate가 53%인데 비해 고온에서 더 높은 함유율(65%)을 보였다. 이러한 결과는 혐기성 소화과정의 중간산물 중 acetate가 마지막 단계라는 점을 고려할 때, 고온소화가 중온 소화에 비하여 유기물질 소화시간이 단축된 결과로 사료된다. 또한 고온에서는 valerate의 비율이 높아짐으로써, 온도가 증가함에 따라 short chain acid와 더불어 long chain acid도 생산된다는 김 등(2000)의 연구결과와 일치하였다.

산생성율은 식 (3)을 이용하여 생산된 SCOD양에 대한 휘발성 산으로 전환된 양으로 구하였다. 이는 생산된 SCOD중 회수된 휘발성 산의 정도를 비교하므로, 순수한 산생성율을 평가할 수 있다. 산생성율은 중온과 고온에서 0.45와 0.55 gVFAs/gSCOD_{prod}로 중온보다 고온조건에서 약 1.5배 높았다. 이러한 결과 역시 혐기성 상태에서 소화온도가 높음에 따라 산생성 미생물의 활동력 및 입자상 오염물질의 가용화율이 증가하기 때문에 유기물 분해에 도달하는 시간이 짧아진 결과로 사료된다. 박(2003)의 회분식 실험에서 온도(20°C, 35°C 및 55°C)에 따른 산생성율(0.55, 0.80 및 0.75

Table 2. Solubilization yield and acidification rate at each condition

Pre-treatment	Temp. (°C)	Solubilization yield (gSCOD _{prod} /gICOD _{fed})	Acidification rate (gVFAs/gSCOD _{prod})
After centrifugation	35	0.25	0.45
After centrifugation	55	0.45	0.55
Before centrifugation	35	0.40	0.80

Table 3. VFAs concentration in Acidogenic effluent

Pretreatment	After centrifugation		Before centrifugation	
	Thermophilic(55°C)		Mesophilic(35°C)	
Temp. (°C)	Range	Average± S.D	Range	Average±S.D
Formate	N.D	N.D	N.D	N.D
Acetate	3,470~5,560	4,100±700	2,980~3,950	3,410±300
Propionate	780~2,410	1,660±560	790~1,090	980±100
Butyrate	140~1,940	590±550	725~1,470	1,080±270
Valerate	0~360	220±200	N.D	N.D
Lactic Acid	N.D	N.D	N.D	N.D
Total VFAs	5,260~8,750	6,400±1,290	4,860~5,900	5,470±330
Produced SCOD	7,060~11,650	10,020±1,200	8,350~9,570	8,880±460
VFA recovery	51~82	64±11	56~66	62±3

Unit: mg COD/L except for VFAs recovery (%); number of data points, n=8; N.D., not detectable

gVFAs/gSCOD_{prod.})과 비교해 볼 때 다소 낮은 결과를 보였다. 이때 돈사폐수 기질 630 ml당 1 L/day의 세정수를 사용하였다. 회분식 실험에 비해 가용화율 및 산생성율이 낮은 이유는 회분식 실험에 비해 적은 세정수의 양(약 1.6Q)과 낮은 세정율(약 1.6Q)에 의한 결과로 사료된다.

$$\text{Acidification rate} = \text{g VFAs} / \text{g SCOD}_{\text{prod.}} \quad (3)$$

산생성율은 식 (4)와 같이 유입 VS당 생성된 산의 양으로도 비교하였다. 산생성율(gVFAs/gVS_{fed})을 계산한 결과 중온에서는 0.74이며, 고온에서는 0.82로 중온에 비해 고온에서 높은 값을 보였다.

$$\text{Acidification rate} = \text{g VFAs} / \text{g VS}_{\text{fed}} \quad (4)$$

온도가 상승함에 따라 가용화율 뿐만 아니라, 산생성율 역시 증가하는 경향을 보였다. 이는 온도(15°C, 25°C, 35°C 및 45°C)에 따른 돈사폐수의 산발효 특성을 연구한 김 등(2000)의 연구에서 발효온도가 증가됨에 따라 TVFAs의 생성이 완료되는 시간이 10일, 7일 및 5일 등으로 단축되며, TVFAs 생성량 역시 온도가 증가될수록 높게 나타났다. 또한 단위 gVSS감소에 따라 생성된 gTVFAs량도 발효 온도가 상승함에 따라 증가한다는 연구결과와 일치하였다.

(3) 고형물 변화

중온 세정 산발효조에서는 TS와 VS 제거율이 50%와 57.7%이었으며, 고온에서는 TS제거율이 38%, VS제거율은 46%이었다. 부피감소율은 중온에서 25%이었으며, 고온에서는 20%로 낮은 효율을 보였다. 고온소화에서 TS, VS 제거율 및 부피감소율이 감소한 이유는 고온소화시 고형물의 분해로 인해 입자성 고형물의 입자 크기가 감소하여 침전성이 떨어졌기 때문에 유출수의 TS농도가 높아진 결과이며, 이로 인해 슬러지 인발량도 감소하였기 때문이다. 가용화에 의한 VS감소율은 25%로, 중온조건에서 VS감소율이 10%인데 비해 높은 결과를 보였다. 고온소화의 폐슬러지에는 TCOD의 53%에 해당하는 1.2 gSCOD/d가 포함되어 있어, 원심분리 후 산발효조 유출수로 보내졌다. 이렇게 탈수된 고형물은 함유율이 5%로 매우 낮아 석회처리등 후속처리가 용이할 것으로 기대된다(민 등, 2002). 또한 산발효조를 통해 약 50%에 해당하는 TS의 높은 제거율은 타 공정들과 결합할 때 높은 고형물 농도가 처리공정의 문제점으로 지적되는 돈사폐수의 처리효율을 향상시킬 수 있을 것이다.

(4) 질소 및 인 용출율

세정 산발효 공정을 통해 유기물 가용화와 함께 영양염류가 용출되었는데, 가용화단계에서 유기성 질소성분이 암모니아성 질소로 전환되어 수중의 암모니아성 질소 농도가 증가된 것으로 판단된다(박, 2003). 암모니아성 질소(gNH₄-N/gICOD)와 용존성 인(gPO₄-P/gICOD)의 용출율은 중온과 고온에서 각각 0.176, 0.014과 0.20, 0.02이었다. 중온조건

에 비해 고온에서 COD의 가용화뿐만 아니라 영양염류의 용출율도 높았다.

(5) 대장균군(Coliform)

돈사폐수의 또 다른 문제점은 대장균군등 병원성 미생물의 다량 함유이다. MPN(most probable number)법을 이용하여 대장균군을 측정된 결과, 중온조건의 유입수에 포함된 대장균군수는 10.9×10⁵였다. 이에 비해 인발슬러지에 포함된 대장균군수는 2.4×10⁵로 25%의 제거율을 보였다. 고온 조건에서는 원수 속에 포함된 대장균군은 13.5×10⁵이고, 인발 슬러지내에서는 2.7×10³로 93%가 제거되었다. 중온에 비해 높은 대장균 제거율을 보인 고온 세정산발효조의 폐슬러지는 AOP등의 후속처리 후 biosolids로 활용가능 할 것으로 사료된다.

3.2. 전처리의 영향

원심분리전의 폐수를 기질로 한 세정 산발효조의 반응조 운전특성을 Fig. 3에 나타내었다. 반응조내의 pH와 알칼리도의 변화를 살펴보면, 유기산 생성에 의해 유출수의 pH(7.2~7.5)가 유입수 pH(8.3~8.8)에 비해 감소되었다. 또한 TA는 평균 3,800 mg/L, BA는 평균 2,700 mg/L로 혐기성 소화의 완충작용을 할 수 있는 조건을 유지하였다. 돈사폐수의 충분한 알칼리도는 혐기성 소화과정에서 과도한 유기산 생성으로 인한 pH감소 현상을 방지하여 반응조의 안정적인 운전을 가능하게 하였다.

(1) 가용화율

원심분리전의 폐수를 기질로 한 세정 산발효조내의 COD와 VFAs변화를 Fig. 4에 나타내었다. 반응조 2 L로 유입되는 기질이 0.4 L(19.8 gSCOD/L)였으며, 단위 체적당 부하율은 3.95 gSCOD/L-d이었다. 반응조 운전결과 SCOD생산량과 VFAs생산량은 5.3 gSCOD/L-day와 3.3 gVFAs(as COD)/L-day이었다. 가용화율은 0.40이며, 이는 원심분리후의 폐수를 이용한 중온조건의 가용화율(0.25)에 비해 두 배정도 높은 효율을 보였으며, 고온조건의 가용화율(0.45)과 비슷한 결과를 보였다. 유입 VS당 SCOD생산율로 구한 가용화율은 0.19 gSCOD_{prod.}/gVS_{fed}이었다. 원심분리후의 폐수와 비교했을 경우 다소 낮은 값을 보였는데, 유입기질 속에 다량 포함된 난분해성 고형물에 의한 결과로 사료된다.

(2) 산생성율

원심분리전의 폐수를 기질로 한 세정 산발효조에서 생성된 유기산의 조성 및 농도를 Table 3에 나타내고 있다. 유출 SCOD의 약 62%가 VFAs로 회수되었으며, 생성된 유기산은 acetate(62%), butyrate(20%)와 propionate(18%)가 대부분을 차지하였고, formate와 lactate는 검출되지 않았다. 식 3을 이용하여 구한 산생성율은 0.80 gVFAs/gSCOD_{prod.}으로, 원심분리후의 폐수를 기질로 한 중온(0.45) 및 고온(0.55)의 산생성율보다 높은 효율을 나타내었다. 유입 VS당 VFAs생성율은 0.47 gVFAs/gVS_{fed}이었다.

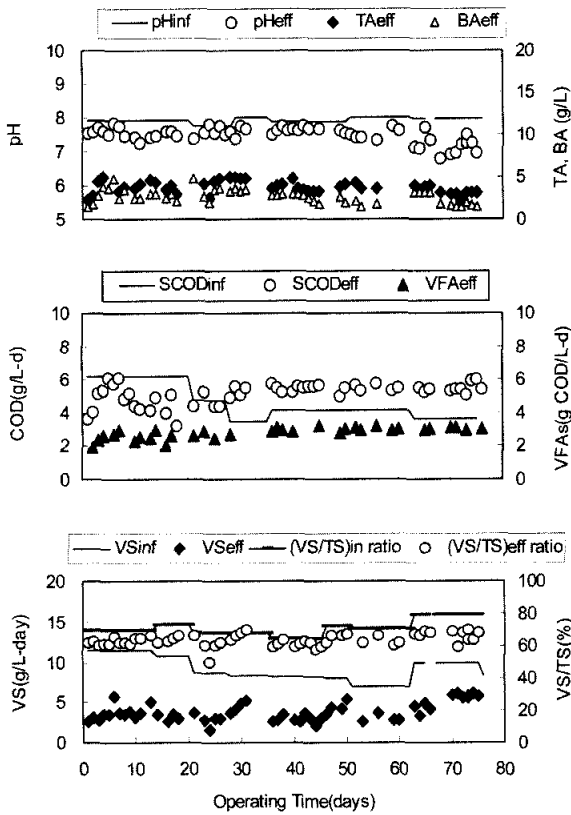


Fig. 4. Acid elutriation reactor with piggery waste before centrifugation at mesophilic condition.

(3) 고형물 변화

세정 산발효조 내에서 인발슬러지의 폐기량을 고려하지 않고 유입수에 대한 유출수의 TS, VS 제거율은 각각 37.8%와 46.5%이었다. 가용화에 의한 VS감소율은 24%로, 원심분리후의 돈사폐수를 기질로 할 경우 VS 감소율이 10%인데 비해 VS감소율이 높았다. 또한 세정 산발효조의 운전결과 폐슬러지의 부피 감소율은 80%로, 원심분리전의 폐수를 기질로 할 경우는 겨우 25%에 비해 높은 부피 감소율을 보였다. 이러한 슬러지의 높은 부피 감소는 슬러지 처리를 용이하게 하여, 경제적인 것으로 사료된다.

(4) 질소 및 인 용출율

세정 산발효조 내에서 SCOD 가용화와 함께 암모니아성 질소와 용존성 인의 용출도 함께 관찰되었다. 원심분리전의 폐수를 이용한 세정 산발효조내 영양염류 용출이 일어났다. 암모니아성 질소의 용출율은 0.147 gNH₄-N/gICOD이고, 용존성 인의 용출율은 0.026 gPO₄-P/gICOD이었다. 이는 앞서 연구된 원심분리후의 폐수를 이용한 중온 세정 산발효조의 영양염류 용출도(0.176 gNH₄-N/gICOD, 0.014 gPO₄-P/gICOD)와 비교해 암모니아성 질소의 용출율은 낮지만, 용존성 인의 용출율은 2배정도 높았다. 이는 원심분리전의 폐수가 고형성분이 다량 포함되어 있는 기질의 특성에 의한 결과로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 슬러리형 돈사폐수를 기질로 하여 온도 및 전처리 정도에 따른 세정 산발효조의 운전 특성을 알아보기 위해 연구하였으며, 도출된 연구결과를 다음과 같이 정리하였다.

1. 온도에 따른 세정 산발효조 운전 특성을 조사한 결과, 가용화율은 중온과 고온에서 0.25과 0.45 gSCOD_{prod}/gICOD_{fed}이었으며, 산생성율은 각각 0.45와 0.55 gVFAs/gSCOD_{prod}이었다. 가용화율 및 산생성율이 중온 조건에 비해 고온조건에서 각각 2배와 1.5배 높은 값을 보였으며, 또한 대장균군도 더 높은 제거효율을 나타내어 세정 산발효조는 고온조건에서 더 효과적임을 알 수 있었다.
2. 돈사폐수의 전처리에 따른 세정 산발효조 운전 특성을 조사한 결과, 원심분리전의 폐수와 원심분리후의 폐수를 기질로 하였을 때 가용화율은 각각 0.40과 0.25 gSCOD_{prod}/gICOD_{fed}이었으며, 산생성율은 0.80과 0.45 gVFAs/gSCOD_{prod}이었다. 가용화율은 원심분리전의 폐수가 원심분리후의 폐수에 비해 약 2배 높았으며, 원심분리후의 폐수를 기질로 한 고온조건(0.45)과 비슷한 결과를 보였다. 산생성율 역시 원심분리전의 폐수가 약 2배정도 높았으며, 원심분리후의 폐수를 기질로 한 고온조건(0.55)보다 높은 효율을 나타내었다. 또한 80%의 높은 슬러지 부피 감소율은 슬러지 처리를 용이하게 하여 경제적인 것으로 사료된다. 원심분리전의 폐수를 사용함으로써 전처리 시스템을 줄일 수 있으며, 중온조건 또는 가온의 부담은 있지만 가용화율 및 산생성율이 더 높을 것으로 사료되는 고온조건에서 운전하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

참고문헌

김민호, 오양환, 축산폐기물을 이용한 혐기성 발효공정에서 고형물질 농도 및 초기 pH변화가 유기산 생성에 미치는 영향, *환경관리학회지*, 6(2), pp. 251-258 (2000).
 민경석, 정용준, 권덕희, 석회처리 한 슬러리형 돈사폐수와 유기성폐기물의 혼합 퇴비화, *한국폐기물학회지*, 19(4), pp. 436-443 (2002).
 박소민, 유기성 슬러리의 가수분해 및 산발효, 경북대학교 석사학위 논문 (2003).
 안영호, 배진연, 박소민, 민경석, 돈사폐수의 고율 혐기성처리, *대한토목학회지*, 24(2B), pp. 155-161 (2004).
 APHA, WEF and ASCE. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Eds. Washington DC. USA (1998).
 Jung, Y. J. and Kim K. H. Development of Solid/Liquid Separation Technology and Purification Process for Swine Wastewater Treatment. Ministry of Agriculture, Seoul, Korea, p. 56 (2000).
 Lee, S. I., Park, J. H., KO, K. B., and Ben, K., Effect of fermented swine wastes on biological nutrient removal in sequencing batch reactors, *Water Res.*, 31(7), pp. 1807-1812 (1997).