

이상혐기공정의 축산폐수 공공처리시설 적용 가능성에 관한 실험적 연구

A Study on the Evaluation of Two-Phase Anaerobic Process for Public Livestock Wastewater Treatment Plant

오성모 · 김문호 · 배윤선 · 박철휘*

Sung Mo Oh · Moon Ho Kim · Yoon Sun Bae · Chul Hwi Park*

서울시립대학교

(2007년 3월 2일 논문 접수; 2007년 6월 13일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the biodegradability and performance of organic removal and methane production rate when treating piggery wastewater using a pilot scale two-phase anaerobic system operated up to a volumetric rate of $10\text{m}^3/\text{day}$.

The pilot scale two-phase anaerobic process is consisted of a continuous-flow stirred-tank reactor (CFSTR) for the acidification phase and an Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor (UASB) for the methanogenesis. The acidogenic reactor played key roles in reducing the periodically applied shock-loading and in the acidification of the influent organics. The acidogenic CFSTR was operated at organic loading rates (OLR) between 1.8 and $14.4\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$, and the UASB reactor was operated between 0.5 and $5.6\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$. A stable maximum biogas production rate was $81\text{m}^3/\text{day}$ and the methane conversion rate of the organic matter varied from 0.30 to $0.42\text{L CH}_4/\text{g COD}_{\text{removed}}$ (0.40) at hydraulic retention time (HRT) above 3.5days . The methane contents ranged from 73 to 82% during the experimental period. It is known that most of the removed organic matter was converted to methane gas, and the produced biogas might be high quality for its subsequent use.

Key words: Two-phase anaerobic process, UASB, piggery wastewater, biogas recovery, methanogenesis, livestock wastewater treatment plant

주제어: 이상혐기공정, UASB, 양돈폐수, 바이오가스, 축산폐수 공공처리시설

*Corresponding author Tel: +82-2-2210-2176, FAX: +82-2-2244-2245, E-mail: chpark@uos.ac.kr (Park, C.H.)

1. 서론

축산분뇨는 고농도의 유기성 물질로서 우리나라 전체 오·폐수 발생량의 0.6%에 불과하지만 오염물질 발생 부하는 25.8%나 차지하고 고농도의 영양염류로 인해 미처리 방류시 하천의 수질을 악화시킨다. 또한 호소의 부영양화를 초래하여 악취 및 해충의 피해 등으로 쾌적한 생활환경을 저해하는 오염원이다. 이러한 축산분뇨에 포함된 병원성 미생물은 지하수에 유입되어 오염될 우려가 있으며 법규의 강화로 인한 기존시설의 성능 개선 향상이 시급한 실정이다. 국내 축산업의 영세성으로 축산폐수방지시설 설치농가 및 방지시설의 경우 대부분 상수원의 인근에 위치하고 있으며, 일반적인 축산 농가는 처리시설의 미흡으로 처리율이 낮아 실제적인 오염저감효과는 크지 않다. 또한 최근 양돈 농가에서는 가축의 성장 및 생산성 향상을 위한 항생물질의 빈번한 사용으로 인해서 체내에 잔류하거나 폐수에 그대로 방류되는 양이 점차 늘어나고 있다. 항생물질은 다른 오염물질과는 달리 미생물의 생물학적 대사에 영향을 주고 난분해성 오염물질로 작용하여 처리장에서 독성의 원인이 되고 있다. 이는 처리장의 효율을 저하시키며 자연생태계에 유입될 경우 내생균을 생성할 가능성을 내포하고 있고 최종적으로 인간에게 부정적 영향을 미치게 된다.

2005년 현재 운영 중인 우리나라 44개소의 축산폐수 공공처리시설은 주처리 공정으로서 생물학적 처리를 채택하고 있으며, 혐기성, 무산소, 호기성처리법 모두가 사용되고 있다. 혐기성 공정으로써는 HAF(6개소), BIMA공정(12개소)이, 호기성 공정으로써는 액상부식법(14개소), 호기성소화법(4개소) 그리고 무산소 호기조합공정으로 개량 산화구법(3개소), Bio-Ceramic법(1개소)이 현재까지 채택되어진 공정이다. 이렇듯 다양한 처리공정이 채택되어진 것은 아직까지 축산폐수처리를 위한 표준화된 공정이 마련되어 있지 못한 현실을 반영하고 있다.

특히 돈사폐수는 함수율이 높고 고액분리가 어려운 돈사슬러지가 대부분을 차지하고 있어 적정처리방법에 대한 연구가 필요한데 이에 대한 방법이 정립되어 있지 않아 축산농가에서는 분뇨처리에 많은 시행착

오를 범하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이상혐기성 소화공정(Two-Phase Anaerobic process)을 양돈폐수에 적용하여 산생성 단계와 메탄생성단계의 pH를 5.5~6.5, 6.8~7.4로 맞추어 산생성 박테리아와 메탄생성박테리아를 분리해 양질의 유기산 생성과 메탄의 발생을 최적화하여 체류시간 단축과 처리효율의 향상을 기대한다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 유입원수 및 슬러지

2.1.1. 대상 유입원수

본 연구는 축산연구원내 양돈사육장의 폐수를 원수로 사용하였다. 돈사의 분뇨 및 사육장의 세척 폐수가 혼합되어 유입된다. 따라서 유입수의 성상이 일정하지 않기 때문에 유량조정조를 두어 균등화시켜 실험을 수행하였다.

2.1.2. 집중 슬러지

초기 운전시간을 단축시키기 위해서 집중슬러지는 청원의 H주정공장의 입상슬러지와 J발효의 소화슬러지를 사용하였으며, 이들의 비율을 80%, 20%로 주입하여 양돈폐수가 기질로서 적용되도록 하였다. 주입된 입상슬러지의 TSS는 평균 37,570mg/L, VSS는 평균 29,793mg/L이었으며, VSS/TSS의 비율은 0.79이다.

2.2. 실험장치

Pilot-scale 반응조의 처리공정은 Fig. 1과 같다. 연구에 적용한 양돈폐수는 전처리 공정으로서 서브스크린을 거쳐서 거대 고형물을 제거한 후 약품을 넣어 응집하여 원심분리와 가압부상을 통하여 TS의 24~48%를 제거하여 약 0.9%의 TS를 생물반응조로 유입하였다. 생물 반응조로 이용한 이단혐기공정의 산발효조는 15m³의 CFSTR(Continuous Flow Stirred-Tank Reactor)로 운전되며, 메탄발효조는 35m³의 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)의 반응기로 구성되고 유입수를 가온하여 35 ± 1°C로 유지하여 운전하였다.

2.3. 분석 방법 및 평가항목

2.3.1. 대상 축산폐수(양돈폐수)의 특성 분석

대상양돈폐수의 특성을 분석하기 위해 시료채취 후 total sample과 soluble sample로 나누어 4°C에서 냉

장 보관하여 사용하였으며, soluble의 경우 시료 채취 후 3,000rpm에서 30분간 원심분리 한 후 상정액을 입경 1.0µm GF/C filter(Whatman)를 이용하여 여과 하였다. 실험에 사용한 각 항목별 방법 및 활용 기기를 Table 1에 나타내었다. 휘발성 지방산의 조성 및

Table 1. Analytical methods

Item	Instrument	Method
pH	pH meter(YSI 63, Metrohm 744)	Electrometric method
COD _{Cr}	-	Closed reflux, titrimetric method(5220 C.)
BOD ₅	-	수질오염공정시험법(5-day BOD test, 5210 B.)
VFAs	GC-2010(SHIMADZU)	Gas chromatographic method
TVA	-	Distillation Method(5560 C.)
TKN	AutoAnalyzer3(Bran+Luebbe)	Titrimetric method (4500-N _{org} B.)
TP	-	Ascorbic acid method
SO ₄ ²⁻	HIC-20A super(SHIMADZU)	Ion chromatographic method
S ²⁻	HIC-20A super(SHIMADZU)	Ion chromatographic method
PO ₄ ³⁻ -P	HIC-20A super(SHIMADZU)	Ion chromatographic method
NH ₄ ⁺ -N	DR-2010 (Hach)	Nesslerization method
NaCl	HIC-20A super(SHIMADZU)	Ion chromatographic method
TSS	-	TSS dried at 103~105°C (2540 D.)
VSS	-	VSS ignited at 103~105°C (2540 E.)
TS	-	TS dried at 103~105°C (2540 D.)
VS	-	VS ignited at 103~105°C (2540 E.)
Alkalinity	pH meter (Metrohm 744)	Titrimetric method (2320 B.)

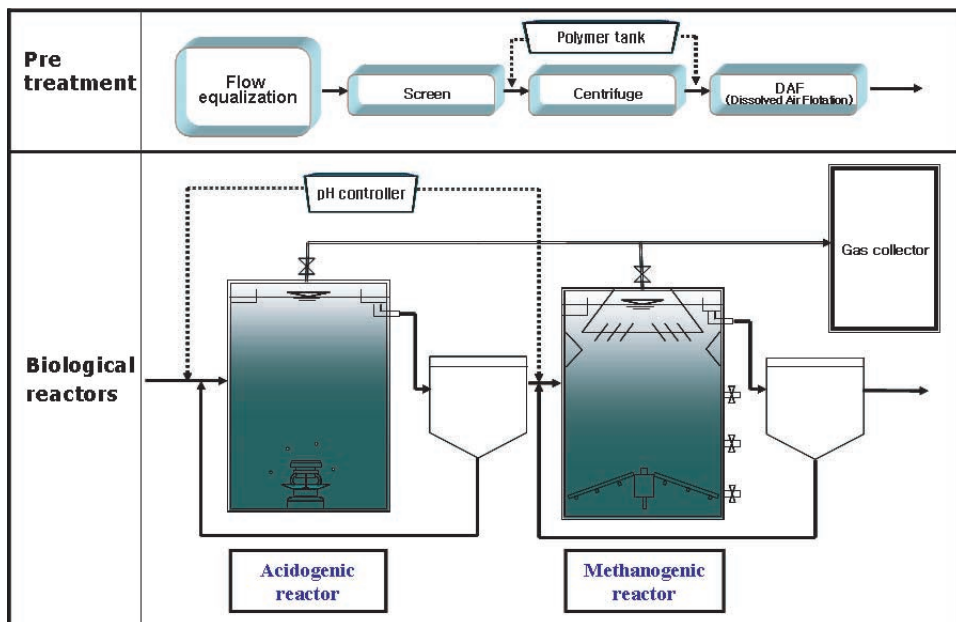


Fig. 1. Schematic diagram of Two-Phase anaerobic process.

Table 2. Characteristics of influent piggery wastewater mg/L, (): mean value

Organic				Nitrogen		Phosphorus	
BOD	TCOD _{Cr}	SCOD _{Cr}	TKN	NH ₄ ⁺ -N	TP	PO ₄ ³⁻ -P	
1,781~9,722 (4,254)	3,740~23,116 (10,519)	1,781~9,722 (4,254)	1,650~3,996 (2,639)	890~1,520 (1,228)	39~250 (123)	32~70 (44)	
Solid				Etc.			
TSS	VSS	TS(%)	VS(%)	SO ₄ ²⁻	NaCl	Alkalinity(as CaCO ₃)	pH(unitless)
1,560~25,400 (5,982)	1,077~9,333 (3,720)	0.3~1.21 (0.8)	0.2~0.95 (0.52)	9~118 (31)	395~1,892 (945)	5,135~10,976 (7,688)	7.1~8.1 (7.6)

농도는 Gas chromatograph/FID(GC-2010, SHIMADZU)를 이용하여 분석하였다. 각 시료는 3% 인산으로 pH가 3이 되도록 조절하고 VFA 표준용액(Supelco, No. 4-6975)을 이용하여 외표준법으로 각 성분의 농도를 구하였다.

Gas collector의 메탄 및 이산화탄소, 산소, 질소, NH₃, H₂S의 함량은 가스분석기(GA 2000 PLUS)를 이용하여 분석하였으며, 주기적으로 가스를 포집하여 기체의 조성을 Gas chromatograph TCD(GC-8A, SHIMADZU)로 분석하여 실험결과와 비교하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 대상 양돈폐수의 유입성상 분석

분뇨 및 양돈의 급수량, 사육장의 세척 폐수 및 소독에 사용되는 물이 포함되어 유입수의 성상이 일정하지 않다. 따라서 양돈폐수가 plant에 유입되기 전에 유량 조절조를 두어 폐수의 수리 부하량 및 오염 부하량 변화를 균등화시켜 원수로 이용하여 실험을 수행하였다. 유입수로 이용한 양돈폐수의 성상은 Table 2와 같다.

본 연구에서 사용한 양돈 폐수의 pH는 7.1~8.1의 범위를 나타내고 알카리도는 평균 7,688mg/L as CaCO₃를 나타내어 축산폐수의 전형적인 특징인 높은 pH와 높은 알카리도를 보였다. TCOD_{Cr} 농도는 3,740~23,116mg/L으로 변화가 광범위한데 생활하수와 사육장 세척폐수가 양돈폐수와 함께 유입되어 양돈폐수를 희석시키는 효과를 주기 때문으로 사료된다. 그리고 soluble COD_{Cr} 비율은 40.4%, soluble BOD₅ 비율은 49.4%로 입자성 유기물질의 비율이 높음을 알 수 있다.

혐기성 발효에 있어 원수 중에 함유된 영양물질은 혐기성 미생물의 축진에 매우 중요한 역할을 한다. 반응조의 최적운전을 위해 폐수 내에 유기물에 대한 영양물질의 비가 COD:NH₃-N:PO₄³⁻-P = 350:5:1로 존재하여야 한다. 본 연구에 이용한 양돈폐수는 평균 250:40:1을 나타내는 것으로 보아 상대적으로 질소의 비율이 높다. 영양물질의 적당량은 혐기성균을 축진하지만 필요 이상의 농도가 존재하게 되면 저해물질로 작용할 수 있다. 적응된 메탄균의 농도는 NH₄⁺-N가 최대 5,000mg/L as N가 함유한 경우에도 적용할 수 있다고 보고하여(van Velsen, 1979) 독성물질로 작용하지는 않는다고 판단된다.

유입수 중의 용존성 SO₄²⁻는 최대 118mg/L을 포함하는데 이는 H₂S를 증가시키고, 황환원 박테리아의 전자수용체로서 이용되는데 200mg/L 이상의 용존성 S²⁻(sulfide)가 존재하는 경우에는 메탄 발생미생물의 저해를 초래한다(Lawrence, et al.). 또한 일반적으로 염분에 의한 혐기성 소화의 저해 작용을 일으키는 농도는 NaCl을 기준으로 0.9~1.4%의 범위로 보고되고 있으나 본 대상 양돈 폐수의 NaCl 평균농도는 945mg/L를 보이고 있어 저해 기준에 못 미치는 수준을 보이고 있다.

3.2. 연속운전에 따른 유기물 처리특성

진한 갈색을 띠는 양돈폐수는 혐기성 생물반응조인 산발효조와 메탄발효조를 거쳐 검정색을 나타낸다. 운전 초기에는 각 반응조의 슬러지와 유입기질의 적응을 유도하여 안정된 자료를 얻기 위해 운전 초기 약 60일 동안은 유입 유량을 최대한 낮게 유지하여 긴 HRT를 유지한 이후 HRT를 4단계에 걸쳐 점차 낮추어 운전하였다.

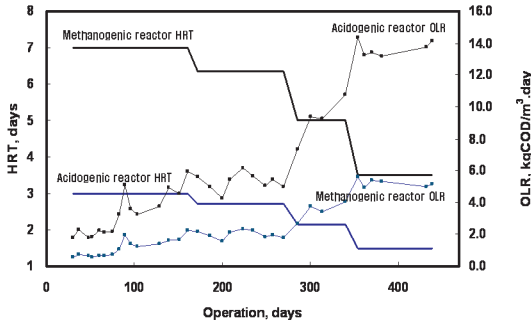


Fig. 2. Variation of OLR and HRT in each reactor.

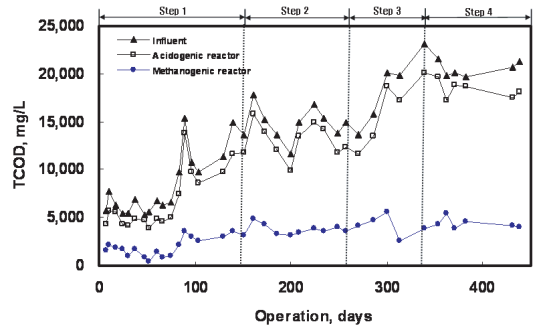


Fig. 3. Variation of TCOD concentration in each reactor.

3.2.1. 연속운전에 따른 유기물의 부하율 및 HRT의 변화

Fig. 2는 산발효조와 메탄발효조의 연속운전 시간에 따른 적용 유기물질의 부하율 및 수리학적 체류시간(HRT)의 운전단계를 나타내었다.

산발효조의 HRT는 3day에서 1.5day로, 메탄발효조의 HRT는 7day에서 3.5day로 점차 HRT를 4단계로 낮추어 운전하였다. 이에 따라서 유기물 부하는 초기 적응 기간에 산발효조에서 $1.8\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 에서 운전하며 점차 늘려 최대 $14.4\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 으로 운전하였고, 메탄발효조에서 초기 적응기간의 OLR $0.5\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 에서 최대 $5.6\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 까지 운전하였다.

이는 complete-mix process로 대표되는 재래식 혐기성 소화의 허용 OLR이 $1\sim 5\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 이지만, 고율 혐기성소화의 대표적 공법인 UASB의 OLR은 $2\sim 24\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로서 complete-mix process보다 OLR을 높고 광범위하게 운전될 수 있는 장점을 잘 활용한 것이다.

3.2.2. TCOD의 처리 특성 변화

생물반응조로 유입되어 유출되는 유기물 거동을 평가하기 위하여 Fig. 3에 운전 시간에 따른 유입수와 산발효조 유출수 그리고 메탄발효조의 유출수 TCOD 농도를 나타내었다.

운전 기간 동안 $20,000\text{mg}/\text{L}$ 이상의 양돈폐수가 유입되어 산발효조와 메탄발효조를 거친 후에 최종 유출수의 TCOD 농도는 평균 $3,868\text{mg}/\text{L}$ 로 일정하게 유지한다. 유입되는 유기물의 부하에 따라 생성되는 휘발성 유기산의 양은 $Y = 50.139X - 266.23$ ($R^2 =$

0.8243)으로 산발효조에서 $10\sim 18\%$ 제거되고, 생성된 지방산은 메탄발효조에서 메탄발생 미생물의 기질로 이용하여 최대 87.0% 를 제거하며 이상 혐기조건인 산발효조와 메탄발효조 역할을 각각 효율적으로 수행하고 있음을 볼 수 있다. 일반적으로 축산분뇨에는 생물학적으로 처리가 불가능한 부식질(humic substance)이라는 교질상의 복잡한 고분자 물질이 존재하며 이것이 폐수 전체 COD에서 차지하는 비율은 최소 $3\sim 3.5\%$ 에 해당한다. 따라서 생물학적으로 완벽히 처리할지라도 이로 인해 발생하는 처리수의 COD_{Cr} 농도는 약 $160\sim 1,300\text{mg}/\text{L}$ 이며, 이는 COD_{Mn} 으로 $40\sim 300\text{mg}/\text{L}$ 정도가 된다. 이러한 축산폐수의 특성을 감안할 때 본 논문에서 제시된 이상 혐기공정에 의해 전체적인 유기부하량을 낮춰주고, 방류수 수질 기준을 만족시키기 위해서는 후속 공정에 의한 추가처리가 검토되어야 하며 이 부분은 기존의 일반적인 공정의 조합에 의해 현실적인 처리가 가능할 것이다.

3.2.3. 휘발성 유기산의 제거특성

휘발성 유기산 역시 유기물의 거동을 평가하는데 중요한 인자 중 하나이다. Fig. 4는 운전조건에 따른 휘발성 유기산의 생성과 유출농도 및 제거율을 나타내었다. Step 3에서 유입부하가 $9.4\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}\sim 14.4\text{KgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{day}$ 로 급격히 증가하면서 유입되는 휘발성 유기산의 농도가 $11,500\text{mg}/\text{L}$ 로 높아져 유출수의 농도도 증가하는 경향을 보인다. 하지만 step4에서 부하를 낮추어 줌으로서 점차 안정된 유출수를 얻을 수 있었다. 그 시점의 농도는 평균 $239\text{mg}/\text{L}$ 를 유지하고 유출수 대비 유입수의 휘발성

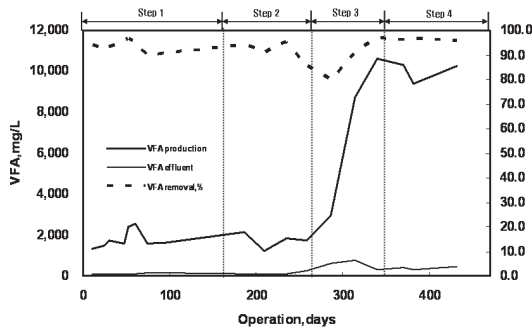


Fig. 4. Variation of VFA concentration.

유기산의 제거율은 80.1~96.9%, 평균 92.8%의 제거율을 나타내었다.

3.2.4. 유기물 부하율에 따른 휘발성 유기산의 조성 변화

산발효조와 메탄발효조에서 휘발성 유기산의 거동을 확인하기 위해 유입수, 산발효조 그리고 메탄발효조의 조성을 각각 분석하였다. 본 연구에서 이용한 양돈폐수는 양돈사육장에서 간헐적으로 유량조정조로 원수를 유입하기 때문에 물리·화학적 반응을 거쳐 생물반응조로 유입되는 유입수의 유기산의 농도가 매우 높게 유입되었다. Step 1에서 step 4 단계의 유입 부하의 변화에 따라 휘발성 유기산의 조성에도 변화가 있었는데, 유입 유량의 변화 중 3단계를 대표하는 시료에 대한 조성 변화를 Fig. 5~Fig. 7에 나타내었다.

Step 2는 유입부하를 점차 늘려가는 단계로서 반응조로 유입되는 유입유량이 5.5m³/day이고, 산발효조 유입 부하 기준 OLR은 5.5KgCOD/m³·day이다. 휘발성 유기산의 조성 중 acetic, propionic, butyric acid는 산발효조에서 각각 13.0%, 33.7%, 26.1% 증가하는 경향을 보였다. 산발효 미생물의 활성에 의해 고분자 물질이 저분자 형태로 분해되어 휘발성 유기산이 증가하였고, 메탄발효조에서 85.7%의 휘발성 유기산이 제거되면서 전체 휘발성 유기산중 97.8%를 제거하여 처리수는 5mg/L 이하였다.

Step 3은 유입유량이 7.0m³/day이고, 유입부하를 점차 늘려 산발효조의 OLR는 14.4KgCOD/m³·day, 메탄발효조는 5.6KgCOD/m³·day까지 증가하였다. 유입 부하율이 step 2에 비하여 약 3배 정도 높아지면서 발생한 총휘발성 지방산의 농도는 약 10배 증가하

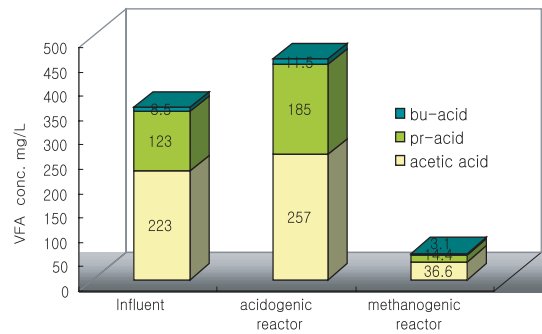


Fig. 5. The Volatile fatty acids fraction of step 2.

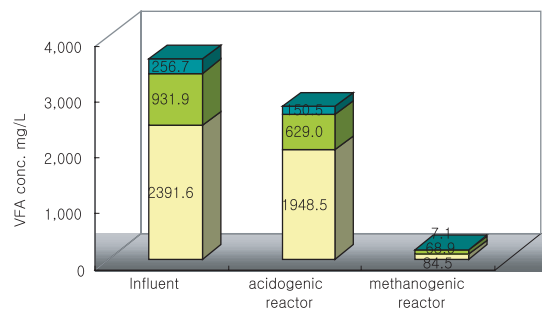


Fig. 6. The Volatile fatty acids fraction of step 3.

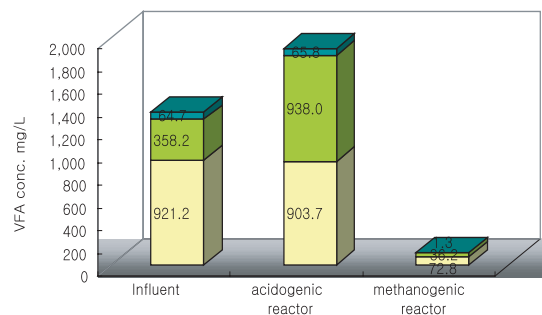


Fig. 7. The Volatile fatty acids fraction of step 4.

였다. 따라서 유입되는 높은 농도의 휘발성 지방산은 산발효조의 미생물에 의해 더 이상 생성시키지 못하고 저해작용을 일으킨 결과 54.8%가 제거되었다.

Step 4에서는 유입 유량 10.0m³/day으로 운전하고, 산발효조의 유입부하를 13.3KgCOD/m³·day으로 낮추어 운전하였다. 이 단계에서는 산발효조에서 propionic acid의 양이 크게 증가하고, 메탄발효조에서 휘발성 유기산은 90.4% 제거되고, 전체 92.1%의 제거 효율을 나타내어 현 상태의 운전모드를 유지시키고 안정된 유기물 부하를 유지시킨다면 산발효조의

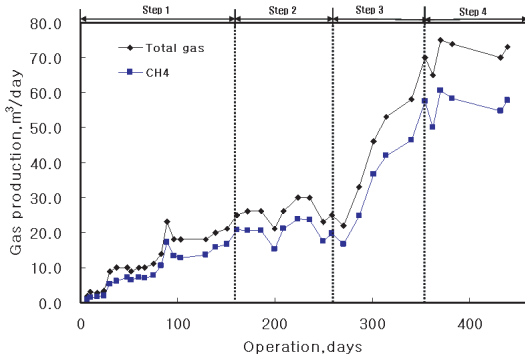


Fig. 8. Variation of biogas production in UASB reactor.

기능을 더욱 강화시킬 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 짧은 체류시간의 산발효조에서 휘발성고형물질의 가수분해 및 휘발산의 생성을 극대화할 수 있으며, 성장속도가 빠른 산생성균을 짧은 체류시간에서 배양함으로써 최대의 성장을 유도할 수 있었다.

3.3. 바이오가스 중 메탄가스 함량 평가

3.3.1. 연속운전에 따른 바이오가스의 발생

Fig. 8은 메탄 발효조에서 발생하는 총 바이오 가스량과 메탄 가스량을 나타낸다. 운전시간에 따라 점차 발생량이 증가하여 하루 75m³ 이상의 가스가 발생하며 그 중 80%인 최대 60m³/day의 메탄이 발생된다. 바이오 가스의 주성분은 메탄(CH₄)과 이산화탄소(CO₂)로써, 바이오 가스가 증가하고 안정적으로 발생함에 따라 메탄가스의 함량은 75.6~83.3% 발생하며 평균 80% 수준의 메탄함량을 유지한다.

3.3.2. 바이오가스의 조성

혐기성 미생물의 반응에 의한 산발효조와 메탄발효조 그리고 외부 가스포집 장치에서의 가스 조성을 Table 3에 나타내었다. 운전 초기에는 메탄가스와 이산화탄소가 각각 46%, 28% 정도 발생하였으나 운전시간이 지나감에 따라서 메탄발효조의 메탄가스의 함

Table 3. Variation of biogas contents in each reactor

Reactor	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	NH ₃ (ppm)	H ₂ S (ppm)
Acidogenic	73	21	0.5	2.3	253	200
Methanogenic	82	16	0.3	2.0	15	150

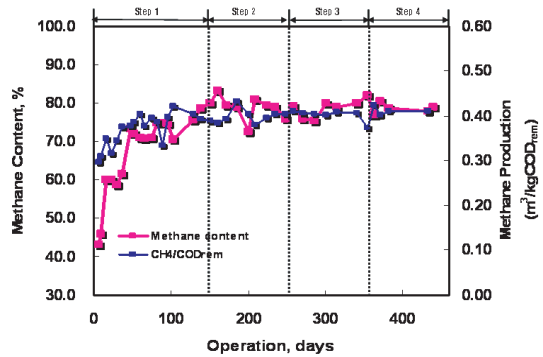


Fig. 9. Variation of methane content and specific methane production rate.

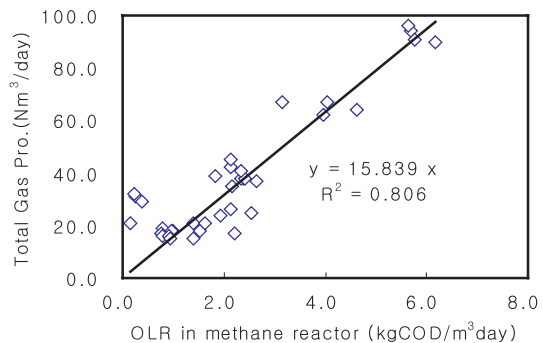


Fig. 10. Relationship between OLR and total gas production in UASB reactor.

량이 점차 증가하여 최대 82%에 도달했다. 메탄가스 이외에 이산화탄소는 평균 16%, 질소 0.3%가 발생되었고, 혐기성 미생물의 저해작용에 영향을 줄 수 있는 NH₃와 H₂S의 농도는 각각 15ppm, 150ppm 이하로 영향은 미비한 것으로 사료된다.

3.3.3 메탄가스 생성량 예측

Fig. 9는 제거되는 기질의 양과 발생하는 가스량을 이용해서 이론적으로 제거된 KgCOD 당 m³ 메탄발생량을 구하여 비교해본 후 반응조 성능을 평가하였다. 혐기성 미생물의 작용으로 인해 메탄가스의 발생량은 KgCOD 제거당 발생하는 메탄 발생량의 비가 약 0.30~0.41의 비율을 보이는데, 이 수치는 혐기성 조건에서 이론적으로 전환되어지는 COD당 발생하는 메탄가스(CH₄)의 양인 0.40L CH₄/g COD_{removed} (표준상태 0°C, 1기압, 0.35L CH₄/g COD을 이상기 체법칙에 의해 35°C 상태로 보정)와 비교해보면 운전

시작 약 100일 이후부터 이론치에 근접해 짐을 알 수 있다. 여기에서 발생한 오차는 cell 합성을 고려하지 않은 수치로서, 기존 문헌(Lettinga, 1979; McCarty, 1964; McCarty, 1974; Metcalf and Eddy, Inc, 1979)에서는 생물학적으로 분해 가능한 유입 유기물질(as COD)의 약 4~10%가 미생물의 세포물질로 전환된다고 보고하였다.

3.3.5. 유기물 부하와 메탄가스 발생량의 관계

Fig. 10은 메탄발효조에서 유입되는 유기물의 부하와 발생하는 바이오 가스의 상관관계를 나타내는 그래프이다. 유입되는 유기물 부하의 차이가 있음에도 불구하고, 단위 용적 당 발생하는 메탄가스의 발생량은 유기물 부하율의 증가에 따라 증가하며 일정한 상관관계를 보였다. 자료에 대한 회귀분석결과 관계식은 $Y = 15.839X (R^2 = 0.806)$ 로 나타났는데 이 결과는 Lettinga and Hulshoff Pol.의 연구와도 일치하였다.

4. 결 론

이상혐기공정을 고농도의 유기폐수인 양돈폐수 처리에 적용하여 유기물질(휘발성 유기산 등)과 바이오 가스의 발생을 극대화하고 메탄가스 발생을 생분해도의 척도로 평가하여, 축산폐수 공공처리시설의 적용 가능성에 대해 연구하였다.

1) 대상 양돈폐수 처리 특성

생물반응조로 운전된 산발효조와 메탄발효조의 HRT를 각각 3.5day, 1.5day로 운전하여 산발효조의 유기물 부하를 $14.4\text{Kg COD/m}^3 \cdot \text{day}$, 메탄발효조의 유기물 부하를 $5.6\text{KgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 까지 유지하여 운전하였다. 그 결과 유입수의 TCOD 농도가 11,579~23,116mg/L일 때(평균 17,468mg/L) 69.7~87.0%의 제거율을 보이고, 휘발성 유기산은 80.1~96.9%의 제거 효율을 나타내었다. 하지만 산발효조의 유입부하율이 $9.4\sim 14.4\text{KgCOD/m}^3 \cdot \text{day}$ 로 운전한 경우에 과량의 휘발성 유기산의 유입으로 산발효조에서 발생량이 감소됨을 알 수 있었다. 또한 유입되는 유기물의 부하에 따라 생성되는 휘발성 유기산의 양을 $Y = 50.139X - 266.23 (R^2 = 0.8243)$ 으로 정량적으로 나타내었다.

2) 바이오가스 발생

메탄 발효조로 사용된 UASB에서 발생하는 단위 용적 당 발생하는 바이오 가스는 총 부피 $75\text{m}^3/\text{day}$ 이상이 발생하였고 메탄가스 분율은 73~82%, 평균 78%를 유지하여 하루 최대 $60\text{m}^3/\text{day}$ 이상이다. 이는 유입 기질이 혐기성 미생물의 작용으로 인해 메탄가스의 발생량은 cell 합성을 고려하지 않는다고 가정하면 35°C 의 이론치 $0.40\text{L CH}_4/\text{gCOD}_{\text{removed}}$ 에 상응하는 약 $0.30\sim 0.42\text{L CH}_4/\text{g COD}_{\text{removed}}$ 의 비율을 나타낸다.

3) 본 실험 결과를 바탕으로 우리나라 현실에 맞는 축산폐수 공동처리시설로서 이상혐기공정의 안정적인 주처리 공정으로서 가능성을 확인하였다.

4) 이상혐기공정의 처리효율을 극대화하여 공공처리시설로 적용하기 위해서는 앞단에 스크린, 응집시설 그리고 이상혐기공정 후단에 호기성 수처리 공정이 추가적으로 필요하다.

사 사

본 연구는 서울시립대학교 2006년도 연구년 교수 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 이용세, 홍승모, 박현수, 이의신, 오세은 (2004) 주정폐수처리를 위한 pilot 규모에서 단상 및 이상고율혐기성공정의 비교연구, 대한환경공학회 C-2-1.
- 정진영, 정윤철, 강신현, 정형숙 (2005) 양돈폐수처리시설규모 이단 혐기성 공정의 성능 및 메탄회수, 한국물환경학회지, 21(3), pp. 256-262.
- Banks C.J., Humphreys P.N. (1998) The anaerobic treatment of a lignocellulosic substrate offering natural pH buffering capacity, *Water Science and Technology*, 38, pp. 29-35.
- Banks C.J., Wang Z. (1999) Development of a two phase anaerobic digester for the treatment of mixed abattoir wastes, *Water Science and Technology*, 40, pp. 69-76.
- Ghosh S., Chynoweth DP., Tarman PB. (1987) Two-phase anaerobic digestion, US Patent No 4,696, 746.
- Ghosh S., Conrad, J.R., Klass, D.L. (1975) Anaerobic acidogenesis of wastewater sludge, *Journal of Water Pollution Control Federation*, 47(1), pp. 30-45.
- Hansen, K., Angelidaki, I., Ahring, B. (1998) Anaerobic digestion of swine manure: Inhibition by ammonia, *Water*

- Research*, **32**(1), pp. 5-12.
8. Hill D.T., Bolte J.P. (2000) Methane production from low solid concentration liquid swine waste using conventional anaerobic fermentation, *Bioresource Technology*, **74**, pp. 241-247.
 9. Largus T. Angenent, Shihwu Sung and Lutgarde Raskin (2002) Methanogenic population dynamics during startup of a full-scale anaerobic sequencing batch reactor treating swine waste, *Water Research*, **36**, pp. 4648-4654.
 10. Lo K.V., Liao P.H., Gao Y.C. (1994) Anaerobic treatment of swine wastewater using hybrid UASB reactors, *Bioresource Technology*, **47**, Issue 2, pp. 153-157.
 11. METCALF & EDDY (2001) *Wastewater Engineering* Forth edition, Mc Graw Hill.
 12. Nadais H., Capela I., Arroja L., Duarte A. (2005) Treatment of dairy wastewater in UASB reactors inoculated with flocculent biomass, *Water WA*, **31**(4).
 13. Strydom J.p., Britz, T.J., Mostert J.F., Two-phase anaerobic digestion of three different dairy effluents using a hybrid bioreactor, *Water SA*, **23**(2), pp. 151-156.
 14. Wang, S.C., Cheng, S.S, Wong, K.M. and Tseng, I. (1988) Characteristic of a two-phase UASB series process with a methanosarcina type of sludge, IAWPRC's asian workshop on anaerobic treatment at SASA international house, Bangkok.
 15. Yu H., Fang H.H.P. (2002) Acidogenesis of dairy wastewater at various pH levels, *Water Science Technology*, **45**(10), pp. 201-206.