

UASB의 HRT와 원수의 농도가 양돈폐수 처리에 미치는 영향 연구

HRT and Influent Concentration Effects on Swine Wastewater Treatment Using UASB

박종훈 · 강선홍

Jong-Hoon Park · Seon-Hong Kang

광운대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

Abstract

This study aims to study the effect of HRT and influent concentration on swine wastewater treatment using UASB(Uplow Anaerobic Sludge Blanket).

Sample was separately collected from the piggery farm; urine(liquid part) and solid part to compare their treatment characteristics. Reactors were used two UASB(3.2 L) in this research under constant temperature(35°C). Their operating conditions were as follows; Run 1(UASB ; HRT 6-days, 1 cycle/d), Run 2(UASB ; HRT 3-days, 1 cycle/d). Biogas was collected and analyzed using GC(HP-6890).

By comparing the results of Run 1 and Run 2, the effect of HRT was investigated. The treatment efficiency of Run 1 which had longer HRT was higher than that of Run 2 in both solid and liquid parts of piggery sample.

Methane content in collected biogas is more than 80%.

keywords : UASB, swine wastewater, HRT, biogas

1. 서 론

돼지는 하루 약 2 kg의 분과 약 4 L의 뇨와 세 정수를 발생시킨다. 축산분뇨는 배출량에 비해 오염부하량이 매우 커서 적정관리가 이루어지지 않는다면 상수원으로 이용되는 하천 및 호소 수질의 악화는 물론이고 동시에 토양오염 및 지하수 오염도 심각해 질 것이다. 축산분뇨처리의 기본 방향은 친환경 축산업의 정착을 기본으로 분은 농지환원, 폐수는 처리 후 방류를 목표로 처리되고 있다. 축산폐수 처리를 위해 정부는 '92년

부터 '98년까지 농림부를 통해 약 8,000억원, 환경부를 통해 약 2,250억원 등 1조원 이상을 투자했으나¹⁾ 뚜렷한 성과가 없는 형편이다. 축산폐수 처리는 '오수·분뇨 및 축산폐수처리에 관한 법률'에 의해 규제되고 있으나 축산폐수는 원수의 성상이 계절별, 사료별 등 여러 인자에 따라 차이가 많아 그 처리에 어려움이 많다. 2000년 현재 정부에서 설치하였거나 설치 중에 있는 처리장은 41개소로 이중 17개소는 현재 운전 중에 있으며 24개소는 건설 중에 있다²⁾. 대규모 처리장은 혐기성 처리방법이 적용되고 있으며 소규모에 있

어서는 호기성 처리방법이 적용될 계획이다. 또한 개별처리 보다는 하수처리장과의 연계처리를 수행하는 곳도 상당히 있다³⁾.

본 연구에서는 혐기적 생물 반응기 중 2개의 UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 반응기를 HRT 3일과 6일로 나누고, 시료의 성상을 고액 분리형인 재래식 돈사의 뇨성분과 분성분에 대해, 실험초기 45일간은 뇨성분 시료를, 후기 45일간은 분성분 시료를 나누어 살펴봄으로써 성상에 따른 현장 적용 가능성을 검토하였다. 뇨성분의 시료는 회석없이 사용함으로써 재래식 돈사에 직접 적용 가능성을 검토하였다. 또한 혐기성 소화시 발생하는 biogas의 성분과 양을 측정함으로써 메탄의 이용 가능성을 파악하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구를 위해 내부 유효용적 3.2 L의 UASB 반응기 2개를 사용하였으며, 2개의 Gas 포집기를 제작하여 각 반응기에서 나오는 Gas를 포집하였다. 반응기와 포집기는 모두 아크릴로 제작하였다. 실험에 사용한 반응기의 재원을 그림 1에 나타내었다.

실험에 사용한 반응기를 HRT에 따라 Run 1, Run 2로 표현하며, Run 1은 HRT 6일, 1 cycle/d, Run 2는 HRT 3일, 1 cycle/d로 운전하였다. 반응기의 1 cycle은 하루 4시간 30분 유입, 19시간 30분 침전 시간을 두었고, 유출은 유입시 자연스럽게 overflow 하도록 설계하여 운전하였다. 막힘 방지를 위한 최소한의 전처리로, Run 1, Run 2는 뇨성분 시료의 경우 채취시 No. 35 체를 통과한 원수를 그대로 유입 시료로 사용하였고, 분성분 시료의 경우 No. 100 체를 통과한 시료를 5배 회석하여 사용하였다. 모두 35℃ 항온조 내에 설치하고 동일 시료를 사용하였다.

유입을 위해 Master flex pump를 사용하였다. 항온 유지를 위해 항온조를 두어 Heater와 온도 센서를 이용하여 항온조 내부 온도를 35±0.5℃로 유지하였다.

실험 시간 단축을 위해 식종 미생물을 사용하였으며, 발생하는 biogas 양이 일정한 수준을 유지할 때를 기질 적용 시기로 하여, 시료 주입을 시작하였다. 각 반응기들의 운전 cycle은 Timer를 설

치하여 일정하게 유지하였다. Biogas 포집량의 측정은 24 시간 주기로 기록하였다.

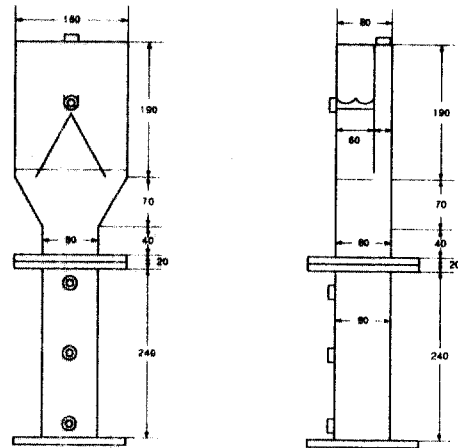


그림 1. UASB 반응기

2.2 실험방법 및 분석방법

본 연구에 사용된 시료는 경기도 동두천시 봉암리 소재 연 800두의 소규모 축사에서 채취한 시료를 사용하였으며, 이곳은 뇨와 분을 분리 수거하는 재래식 돈사이다. 시료는 뇨성분과 분성분으로 구분하여 채취하여 실험하였다. 반응기의 유입시 막힘 현상을 방지하기 위해 뇨성분의 시료는 채취시 No. 35 체(직경 0.5 mm)를 통과시켜 사용하였으며, 분성분의 시료는 채취해온 시료를 실험실에서 No. 100 체(직경 150 μm)를 통과한 후 5배 회석하여 사용하였다. 실험에 사용된 시료의 성상을 뇨성분과 분성분을 나누어 표 1과 2에 나타내었다.

표 1. 뇨성분 시료의 성상

항목	농도(mg/L)	범위(mg/L)
pH	7.71	7.08 ~ 8.08
SS	3,000	2,350 ~ 3,800
TS	8,106	6,733 ~ 10,867
VS	5,793	3,767 ~ 8,000
Alkalinity	6,696	5,607 ~ 8,295
TCOD _{cr}	8,670	6,564 ~ 10,871
VFA	6,574	3,681 ~ 10,117

표 2. 분성분 시료의 성상(5배 희석시)

항 목	농 도(mg/L)	범 위(mg/L)
pH	6.76	6.38 ~ 7.56
SS	17,859	3,850 ~ 36,450
TS	23,158	7,833 ~ 41,900
VS	17,188	6,767 ~ 34,000
Alkalinity	6,896	6,018 ~ 7,870
TCOD _{cr}	47,464	10,256 ~ 88,201
VFA	8,942	2,931 ~ 17,560

본 연구에서는 초기 45일 동안 비교적 저농도라 할 수 있는 뇨성분의 시료를 주입하였다. Run 1과 Run 2의 비교를 통해, 35℃, 같은 시료 등 조건이 동일한 상태에서 HRT에 따른 반응기의 효율을 비교 분석하였다. 뇨성분에 대한 실험 종료 후 6일간 내부의 남은 뇨성분 시료를 제거한 후 51일 후부터 고농도인 분성분의 시료를 주입하여 초기와 같은 비교를 반복하였다.

비교를 위한 측정 항목으로 pH, TS(Total Solid), SS(Suspended Solid), VS(Volatile Solid), TCOD_{cr}(Total COD_{cr}), VFA(Volatile Fatty Acid), Alkalinity 그리고 biogas의 양과 성분 분석을 하였다.

대부분의 실험은 Standard method⁴⁾와 수질오염 공정시험법⁵⁾에 의해 실행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 pH의 변화

실험기간 중 시료의 pH는 6.38~8.08이었으며 평균 7.24로 나타났다. Run 1의 경우 pH가 7.96~8.80으로 평균 8.40을, Run 2의 경우 7.57~8.33으로 평균 8.20을 나타내었다. 유입수인 시료는 대부분 중성 부근을 나타냈으며 유출수는 약알칼리 경향을 보였다.

보통 메탄생성균은 pH 6.8~7.2에서 가장 활성을 가지며 6.8이하부터 저해를 받는 것으로 알려져 있다⁶⁾. 본 연구에서는 두 반응기 모두 약알칼리 경향으로 큰 변화없이 안정적이었다. 알려져 있는 범위는 벗어났으나 충분한 양의 메탄이 생성된 것

으로 미루어 비교적 메탄생성균이 좋은 활성을 보인 것으로 사료된다. 분성분 시료의 pH가 낮은 것은 희석시 수돗물의 영향으로 보이나, 실험에 큰 영향을 없었다.

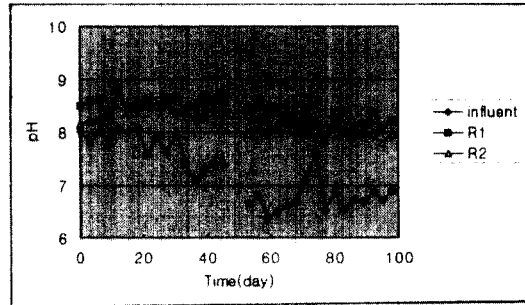


그림 2. pH의 변화

3.2 Alkalinity의 변화

Alkalinity 농도 5,607~8,295 mg/L인 뇨성분의 시료를 주입하였을 경우 Run 1 처리수 농도는 4,398~7,075 mg/L로 평균 5,618 mg/L를 보였고, Run 2 처리수 농도는 5,188~7,373 mg/L로 평균 6,332 mg/L를 보였다. 또한 Alkalinity 농도 6,018~7,870 mg/L인 분성분의 시료를 주입하였을 경우 Run 1 처리수 농도는 3,935~6,195 mg/L로 평균 5,044 mg/L를 보였고, Run 2 처리수 농도는 3,472~6,858 mg/L로 평균 5,239 mg/L를 보였다. Alkalinity의 농도 변화를 그림 3에 나타내었다.

Alkalinity의 소모는 뇨성분의 시료보다 분성분의 시료에서 더 많이 소모된 것을 알 수 있었는데 이는 뇨성분의 시료에서보다 분성분의 시료일 때 미생물의 활성이 활발하여 소모가 더 컸던 것으로 사료된다. 또한 VFA/Alk 비로 biogas 발생량과 pH 변화를 예측할 수 있는데 VFA/Alk 비가 0.25 이상이면 CO₂가 증가하고 pH가 저하하며 Biogas의 발생량이 감소한다고 알려져 있다⁷⁾.

실험기간 중 UASB 반응기인 Run 1은 빠른 안정화로 실험시작 3일 후부터 바로 VFA/Alk 비가 0.25이하로, 안정적인 biogas의 생성을 보였고, Run 2의 경우 Run 1과 큰 차이 없이 안정이 되었다. VFA/Alk 비의 변화를 그림 4에 나타내었다.

3-3 HRT의 변화에 따른 UASB의 처리효율

HRT 6일인 Run 1과 HRT 3일인 Run 2를 비교하여 HRT에 따른 뇨성분 시료 주입시 처리효율

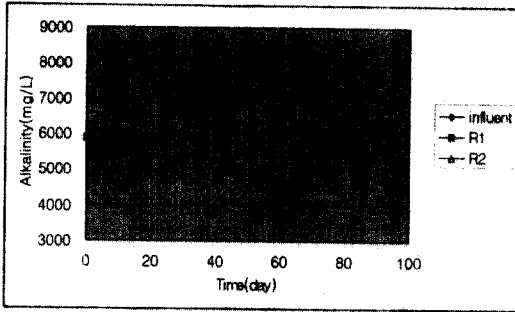


그림 3. 반응조에 따른 Alkalinity 농도

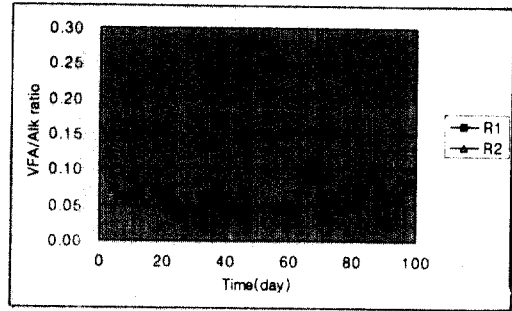


그림 4. VFA/Aik ratio

과 분성분 시료 주입시 처리 효율을 비교 분석하였다(그림 4~8). 표 3에 HRT에 따른 UASB 반응기의 측정항목별 비교를 나타내었다.

같은 UASB 반응기이고 동일한 조건에서 HRT

TCOD_{cr}은 약 3~10 %, VFA는 약 1~3 %정도 제거율이 우수하였다. 노성분일 때보다 분성분일 때 처리 효율이 많은 차이를 나타내었다. HRT를 늘려줌으로써 미생물과의 접촉과 부유물의 침전시

표 3. HRT에 따른 UASB 비교

(단위 : mg/L)

구 분	TS		SS		VS		TCOD _{cr}		VFA	
	노	분	노	분	노	분	노	분	노	분
Run 1 (HRT 6)	5,237 (35%)	6,272 (71%)	1,197 (59%)	2,876 (84%)	2,618 (54%)	4,615 (72%)	2,199 (75%)	5,756 (87%)	320 (95%)	270 (96%)
Run 2 (HRT 3)	5,307 (34%)	7,793 (65%)	1,330 (54%)	4,251 (73%)	3,118 (45%)	5,685 (65%)	3,022 (65%)	6,769 (84%)	542 (92%)	316 (95%)

* 처리효율 우수한 반응기를 음영처리로 표시했다.

* ()속의 수치는 처리효율을 나타냄.

만 6일과 3일로 다른 Run 1과 Run 2의 비교에서는 시료의 농도에 관계없이 HRT 6일인 Run 1의 효율이 더 우수하게 나타났다. Run 1이 TS는 약 1~6 %, SS는 약 5~10 %, VS는 약 7~10 %,

간이 증가한 때문으로 사료된다. Biogas의 발생으로 2~3일 간격으로 blanket 층의 미생물과 유입수내 유기물의 부상이 있었으며 이 경우 HRT가 길수록 재침전에 유리할 것으로 사료된다.

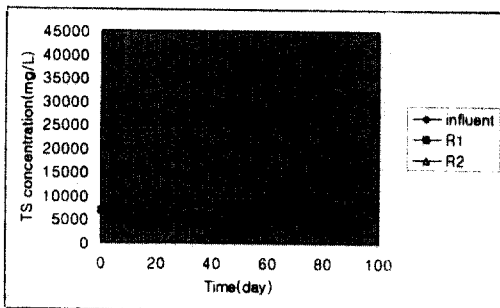


그림 5. HRT에 따른 TS 농도

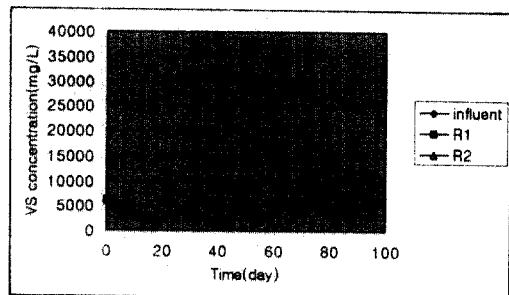


그림 6. HRT에 따른 SS 농도

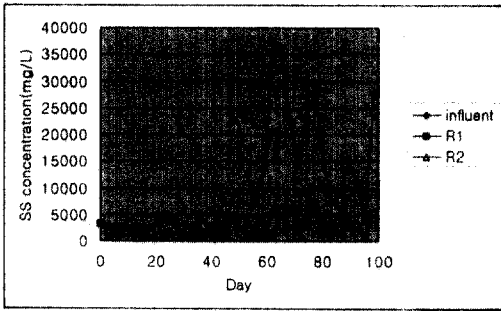


그림 7. HRT에 따른 VS 농도

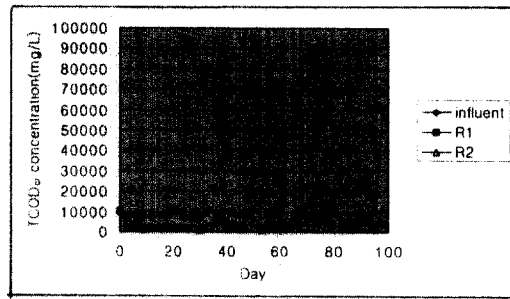


그림 8. HRT에 따른 TCODcr 농도

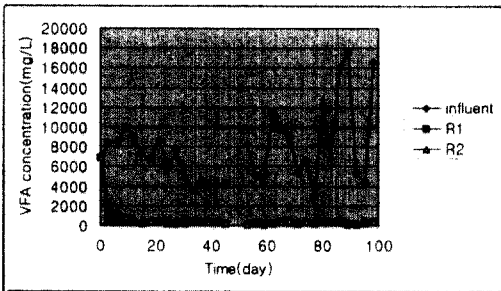


그림 9. HRT에 따른 VFA 농도

3.4 Biogas의 발생

2개의 반응기 모두 실험 초기에는 미생물의 기질 적응을 위한 기간으로 biogas의 양이 많지 않았으나 곧 활발한 반응을 하며 biogas를 발생시켰다. HRT에 따라 약간의 차이는 있었지만 많은 biogas를 생성하였다. 포집한 biogas의 성상은 HP사의 6850 GC를 사용하여 7일 간격으로 분석하였다. biogas의 주성분은 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)로써, 메탄은 75~87%를 유지하였고 이산화탄소(CO_2)는 12~22% 정도였다. 반응기에 따

른 biogas의 일별 발생량과 누적량을 그림 10과 11에 나타내었다.

빠른 시간에 많은 양의 시료를 주입한 Run 2가 Run 1에 비해 많은 양의 biogas를 발생하였다. 그러나 biogas의 발생은 미생물에 부착하여 미생물의 부상과 유출로 이어지는 결과를 보이기도 하였다. 혐기성 처리의 장점인 biogas의 이용을 위해 gas 압축시설, 난방장치의 개발 등 보다 많은 연구와 기술 개발이 이어져야 할 것으로 사료된다.

4. 결 론

실험 기간동안 유입 시료의 pH는 중성이었고 유출수의 pH는 약알칼리 경향을 나타내었다. pH의 저하나 biogas의 발생의 저하 등 미생물 활성이 떨어졌을 때 나타나는 징후가 없었던 것으로 미루어 기질 적응 및 활성이 잘 이루어진 것으로 사료된다.

동일조건에서 HRT만 다른 두 UASB 반응기의 처리효율을 살펴보면 HRT가 긴 Run 1이 노성분 일 때 TS 약 1%, SS 약 5%, VS 약 9%, $TCOD_{cr}$

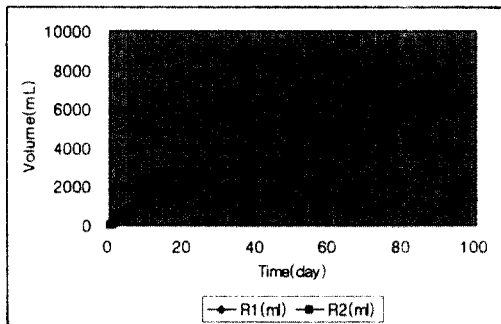


그림 10. 반응기에 따른 일별 biogas 발생량

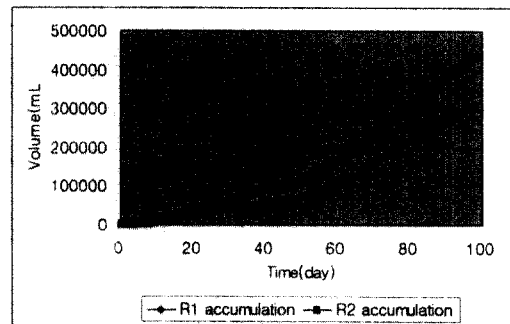


그림 11. 반응기에 따른 biogas 누적량

약 10%, VFA 약 3%정도 Run 2에 비해 좋은 효율을 보였으며, 분성분의 경우 TS 약 6%, SS 약 9%, VS 약 7%, TCOD_{cr} 약 3%, VFA 약 1%정도 Run 2에 비해 좋은 효율을 나타내었다. 그러나 노성분과 분성분 모두 약 1~10%정도의 그리 크지 않은 처리효율 차이를 나타내었다. 혐기성 공법이 중간 처리 단계임을 감안할 때 HRT에 따른 차이가 미미하므로 현장 적용시 시설의 규모 등 경제적인 요소를 감안할 때 HRT를 반드시 길게 할 필요는 없다고 사료된다. 그러나 분성분에서는 HRT가 너무 짧을 경우 유입되는 부하에 의해 미생물의 처리 한계를 벗어나므로 HRT를 늘려줄 필요가 있다. 또한 너무 큰 부하의 변동은 반응기 내의 미생물의 활성에 저해되는 요인이 될 수 있으므로 응집제 등과 같은 전처리를 통해 유입 부하의 변동을 안정적으로 유지하고 교반기 등과 같은 장치로 미생물과의 접촉시간을 충분히 할 수 있다면 HRT가 짧더라도 보다 좋은 효율을 얻을 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 국회환경포럼, 축산분뇨관리 정책토론회 (1999).
2. 환경부, 축산폐수공공처리시설 (2000).
3. 최의소, 음영진, "지속발전을 위한 축산분뇨의 문제점과 개선방향", 우리나라의 현안문제:축산폐수 문제 해결을 위한 기술 및 정책 심포지엄, pp 153-163 (2001).
4. APHA(American Public Health Association), Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, APHA (1995).
5. 환경처, 수질오염공정시험법, 동화기술 (1994).
6. Grady, C. P. L. Jr., Lim, H. C., "Biological Wastewater Treatment-Theory and Application", Macel Dekker Inc., New York (1980).
7. 김종원, "Anaerobic fixed bed를 이용한 축산폐수의 혐기성 전처리", 충남대학교 대학원 환경공학과 석사학위논문 (1998).