

고농도 돈사폐수에의 UASB 적용성 실험

박석균 · 강선홍

광운대학교 환경공학과

I. 서론

우리 나라에서 발생하는 하·폐수 중 축산폐수가 차지하는 양은 생활하수와 산업폐수에 비해 적지만 유기물, 질소와 인의 농도가 높아 수질에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 이런 고농도의 축산폐수를 혐기성 공정을 이용하여 처리하면 호기성공정에 비해 슬러지 발생량이 5-10%정도 밖에 되지 않고 고농도 유기물 부하에 대해서도 미생물의 안정적인유기물 분해를 통해 에너지원인 메탄을 얻을 수 있지만 긴 처리 시간이 문제였다. 그러나 근래에는 미생물 체류시간을 수리학적 체류시간과 별도로 길게 유지함으로써 처리시간을 단축할 수 있는 UAFR(Upflow Anaerobic Filter Reactor), AEB(Anaerobic Expanded Bed), AFBR(Anaerobic Fluidized Bed Reactor), UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket)등과 같은 고효율 혐기성 반응조에 관한 연구가 활발히 진행되어 실용화 단계에 있다. 이들 반응조 중에서 UASB 공정이 원활히 운전되기 위해서는 처리대상을 분해 할 수 있는 미생물을 포함한 침전성이 좋은 입상 슬러지를 얻는 것이 필요한데⁽¹⁾⁽²⁾ 고농도의 암모니아는 슬러지의 입상화를 방해하고 높은 TS 함유량은 혐기성 생물막 형성을 어렵게 한다. 그리고 높은 TS함유량(>2%)은 슬러지 부상을 야기한다. 그래서 양돈폐수와 같이 많은 고형물을 함유한 폐수는 기질이 다른 폐수에서 만들어진 기존의 입상 슬러지를 반응조에 식중하는 방식으로 반응조를 운영하고 있지만 기질적응에 많은 시간이 소요된다. 본 연구의 목적은 전처리 공정으로 UASB를 이용하고 고농도의 양돈 폐수처리시 발생하는 문제점 및 현장적용 가능성을 살피는데 있다.

II. 실험방법

1. 실험장치

본 연구에서는 실험실 규모의 UASB 반응조 3개를(1 - 3번)를 제작하여 유기물의 부하율을 변화시키면서 입상 슬러지의 기질적응 및 반응조의 운전 특성을 평가하였다. 실험에 사용된 UASB 반응조의 유효용량은 3.3L로 아크릴로 제작되었고 온도는 35℃로 유지하였다.

2. 실험방법

[연락처] (우)139-701 서울특별시 노원구 월계동 광운대학교 환경공학과 수질환경연구실

Tel. : 02-940-5075, Fax. : 02-911-2033, E-mail : seonhong@daisy.kwangwoon.ac.kr

충남 공주시에 위치한 B양돈농장에서 고액분리기를 거친 슬러리 양돈폐수를 실험실에서 No200번 체를 통과시킨 후 유입수로 사용하였는데 주요 성분은 Table 1과 같다. 식중으로 사용된 미생물들은 혐기성 양돈 폐수처리조의 하부에서 채취한 소화 슬러지를 사용하였고, 입상슬러지는 주정폐수를 처리하는 UASB 반응조에서 형성된 것을 이용하였는데 크기는 1-3mm정도였다. 실험은 기질적응 단계를 거친 후 희석시료를 HRT 6일로, 원액시료를 HRT 3일로 주입하였다. Table 2와 같이 실험에 사용된 1번, 2번, 3번 반응조에는 각각 미생물, 미생물과 입상 슬러지의 1:1 혼합물, 입상 슬러지를 식중 슬러지로하여 반응조 부피의 30%에 해당하는 약 1L씩을 주입하였다. 기질적응 단계에서는 각 반응조에서 유기물 분해로 발생하는 일일 가스량이 일정해질 때 유기물부하율(OLR)을 높이는 방식으로 반응조내에 있는 미생물들을 고농도의 폐수기질에 적응시켰다. 또한 유출수와 함께 식중된 미생물들이 상향류에 의해 유출될 가능성이 있어서 유출수를 유입 시료통에 연결하여 반송시킴으로써 미생물의 유출을 최소화 시켰다. 실험분석 항목으로 COD, TS, VS, NH₃-N, TKN, VFA, TP는 standard methods에 의해 그리고 알칼리도는 수질공정 실험법에 준하여 분석하였다.

Table 1 Characteristics of raw wastewater (unit; mg/L)

	Concentration
Alkalinity	35060
TS	85600
VS	58200
CODcr	216093
VFA	4500
TP	635
TKN	7840
NH ₃ -N	6496

Table 2 Comparison of seed substance in each reactor

	1번반응조	2번반응조	3번반응조
실험	미생물	미생물 + 입상슬러지	입상슬러지

III. 실험결과 및 고찰

1. 기질적응

초기 2, 3번 반응조의 OLR을 2gCOD/L/d로 운전을 시작하여 운전경과 27일에 4gCOD/L/d까지 높이며 기질적응을 시도하였으나 가스가 발생하지 않아 이후 Fig.1과 같이 OLR을 펌프조절과 희석을 통해 0.8g COD/L/d까지 점점 낮추며 운전하였다. 가스가 발생하기까지는 2번 반응조는 20일, 3번 반응조는 45일이 걸렸으나 초기 발생량은 미미했다. 운전일수 50일 정도 부터 2,3번 반응조의 가스 발생량이 조금씩 증가하였다. 그리고 60일 이후 저농도의 기질에 적응된 것으로 판단되어 증가하는 일일 가스 발생량이 일정한 수치를 보이고 COD제거율이 50%이상 나타날 때 희석 비율을 낮추며 OLR를 올렸다. Fig. 1에서 OLR을 높인 이후 다시 감소추세를 보이는 이유는 미생물 유출 방지를 위해 유출수를 유입수통에 반송시킴에 따라 유입수가 희석되었기 때문이다. 1번 반응조는 2, 3번 반응조의 운전경과 62날부터 작동하였고 가스가 발생하기까지는 1주일이 소요되었다. 운전시작 후 농도가 50gCOD/L인 기질에 적용하는데 까지 1번 반응조는 약40일, 2, 3번 반응조는 약120일 정도 걸렸다. 1번 반응조의 기질적응 기간이 가장 짧았던 이유는 양돈폐수처리에 이용하던 미생물을 식중하였기 때문이며 발생가스의 성분은

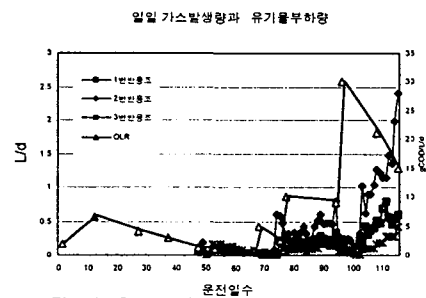


Fig. 1. Gas production rate vs OLR

Table 3에 나타났다. 가스 발생량이 가장 많았던 2번 반응조의 메탄함량이 다른 반응조에 비해 낮았으나 전체적으로 안정된 혐기성 소화로 인해 높은 CH₄함량을 보였다.

Table 3. Gas composition in each reactor

반응조 \ 합량	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
1번 반응조	80.1	7.1	1.9
2번 반응조	70.7	8.8	2.2
3번 반응조	78.5	4.4	2.3

2. 시료에 따른 제거율

회석시료를 주입한 경우에는 운전시작 13일째 되는 날, 원시료를 주입한 경우에는 운전시작 후 22일째 되는 날 측정값들이다.

1) 가스발생량

Fig.2은 회석시료를 HRT 6일로 하고 13일 동안 운전하면서 발생한 일일 가스 발생량인데 각 반응조는 운전8일 이후 증가와 감소의 일정한 패턴을 보였다. 운전초기에 2번 반응조에서 높은 가스발생량을 보인 이유는 기질적용 단계의 연장선상에서 실험을 시행했기 때문이다. 각 1, 2, 3번 반응조의 일일 평균 가스 발생량은 약 1.4, 1.7, 0.9L로 2번 반응조가 높은 발생량을 보였다. Fig.3은 원시료를 HRT 3일로하고 운전하면서 발생한 일일 가스 발생량인데 시간이 지남에 따라 점점 감소하는 추세를 나타내어 운전시작 후 22일에 반응조의 운전을 중지하였다.

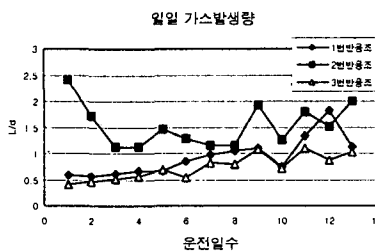


Fig. 2. Gas production rate in reactor using diluted wastewater

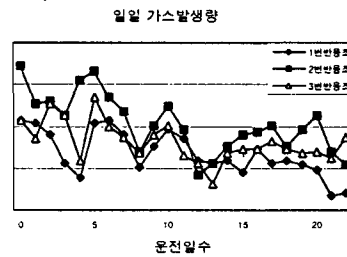


Fig. 3. Gas production rate in reactor using raw wastewater

2) TS와 VS

Fig.4 와 Fig.5 은 회석시료와 원액시료를 각 HRT3일, HRT6일로 주입했을 때 시료와 각 반응조의 유출수의 TS와 VS함량을 나타내었다. TS의 함량이 16.5g/L인 회석 시료를 주입했을 때 1, 2, 3번의 반응조 유출수의 TS함량은 9.4, 7.1, 11.9g/L를 보였고 제거율은 43, 57, 28%이었다. 1, 2, 3번 반응조의 각 VS제거율은 46, 63, 38%이다. 원액 시료를 주입한 경우에는 1, 2번 반응조는 미생물의 유출로 인해 운전이 실패해서 TS와 VS의 제거율은 미미했지만 3번 반응조는 입상슬러지 침강성에 기인해서 약간의 TS, VS 제거가 일어났고 TS와 VS의 제거율은 각각 54, 55%를 이었다.

3) 알칼리도와 VFA

Fig.6에서 보듯이 회석시료의 알칼리도와 1, 2, 3번 반응조의 유출알칼리도의 차이는 10%도 나지 않았고 원액을 주입한 경우에도 비슷한 수치를 보였다. 그러나 VFA의 경우는 회석시료를 주입한 경우 시료의 VFA값은 4200 mg/L 이었고 1, 2, 3번 반응조의

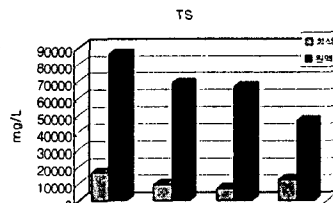


Fig. 4. TS concentration in each reactor

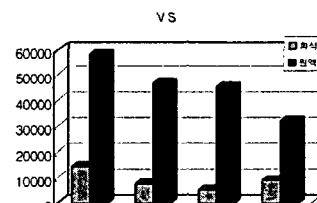


Fig. 5. TS concentration in each reactor

유출수 VFA값은 840, 73, 487mg/L이었다. Fig.7에서와 같이 원액시료를 주입한 경우는 휘발산들이 미처 분해되지 못하고 축적되어 시료보다 높은 값들을 보였다. 원시료의 VFA는 4500mg/L 이었고 1, 2, 3번 반응조의 유출수 VFA는 각각 7500, 6000, 6000mg/L로 약 30%이상씩 증가하였다.

4) COD와 TKN

COD농도가 52305mg/L인 회석시료를 1, 2, 3번 반응조에 주입한 결과 Fig.8에서 처럼 각 반응조의 유출수는 35896, 16409, 22563mg/L로 제거율 32, 69, 57%를 보였다. 원시료를 주입한 경우 1, 2번 반응조는 미생물의 유출로 인해 유기물 제거가 거의 이루어지지 않아 시료와 유출수의 COD가 비슷한 수치를 보였으나 3번 반응조의 유출수는 143584mg/L으로 유입수에 비해 약 30%의 제거효율을 보였다. 그러나 운전기간이 더 길어질수록 유출수와 함께 유실되는 입상슬러지양은 증가하는 추세이므로 이후 3번 반응조의 처리효율은 현격히 떨어질 것으로 예상된다. Fig.9에서 회석시료의 TKN은 3024mg/L이고 1, 2, 3번 반응조 유출수의 TKN은 2688, 2800, 2500mg/L이었다. 각 반응조의 TKN 제거율은 11.1, 7.4, 16.7%이었다.

IV. 결론

UASB의 효율적 운영을 위해서는 입상슬러지가 필요한데 기질이 다른 입상 슬러지 식중시 기질적용에 많은 시간이 소요된다. 실험에서처럼 다른 기질의 입상 슬러지와 기존 축산폐수처리리에 이용되었던 혐기성미생물을 적정비율로 섞어서 사용하면 기질 적용기간을 단축하고 유기물 제거율을 향상시킬 수 있을 것으로 판단됐다. 그러나 신속히 UASB를 현장에 적용시켜야 할 경우에는 입상화가 이루어지지 않은 기존 혐기성 축산 미생물만 이용해도 가능하나 높은 효율 및 운전의 안전성을 위해서는 회석을 통해 TS의 함량을 낮추어 슬러지 상승에 의한 미생물의 유출을 막아야 한다. 그리고 고농도의 시료를 주입해야될 경우에는 입상화가 잘된 입상슬러지만 식중하면 어느 정도의 슬러지부상을 저지할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 이성택, "식중슬러지로 입상슬러지를 이용한 돈분뇨수의 처리특성", 수질보전학회 추계발표회 논문초록집, 1997.
- 2) Goodwin, J.A.S, "Pre-granulated seed for UASB reactor : How necessary are they?", Bioresource Technology, Vol. 41, pp 71-79, 1992.

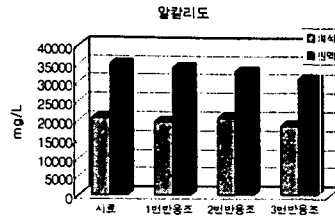


Fig. 6. Alkalinity concentration in each reactor

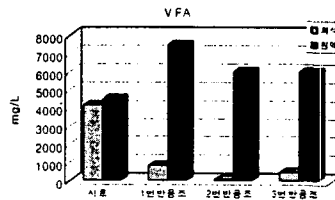


Fig. 7. VFA concentration in each reactor

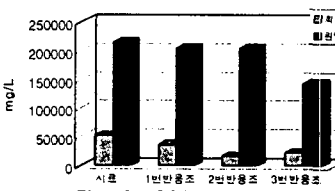


Fig. 8. COD concentration in each reactor

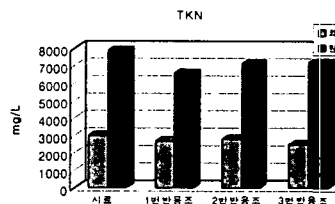


Fig. 9. TKN concentration in each reactor