

침전 슬러지와 가축분의 유기산화 및 발효유기산이 탈질반응에 미치는 영향

원성연 · 박승국* · 민경국*** · 정근욱*** · 전병희**** · 이상일****

감사원

*(주)한화건설 환경연구소

**환경관리공단

***충북대학교 농화학과

****충북대학교 환경공학과

Effect of Organic Acids Fermented from the Settled Sludge and Animal Organic Wastes on the Denitrification

Seung-Yeon Weon · Seung-Kook Park* · Kyung-Kook Min***

Keun-Yook Chung*** · Byong-Hee Jun**** · Sang-Il Lee****

Board of Audit and Inspection

*Hanwha Eco Institute, Hanwha E&C Corp.

**Environmental Management Corp.

***Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University

****Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University

(Received 28 October 2004, Accepted 14 January 2005)

Abstract

Fermentation efficiencies of organic wastes from the variety of sources were evaluated based on the production of total volatile acids(TVA) in batch reactor. Mixing and pH were not significant factors in producing TVA from the organic wastes. After a 10-day fermentation, final TVA concentrations in piggery, cattle, poultry, and primary settled sludge of domestic wastewater were 8,900, 2,900, 7,370 and 1,630 mg/L, respectively. The pH of organic wastes was decreased from neutral to 5.7. The ratio of TVA to $\text{NH}_4^+\text{-N}$ produced from the animal waste ranged from 11.5 to 30.1, whereas, that in the primary settled sludge of domestic wastewater, was 5.4. Possibility of fermented organic wastes as the electron donors for denitrification in the activated sludge was investigated. In both acclimated and nonacclimated activated sludge, higher denitrification rates were obtained with fermented piggery sludge added than with either methanol or acetate added. The fermented organic acids derived from the primary settled sludge gave the higher denitrification rate (4.2 mg $\text{NO}_3\text{-N/g vss} \cdot \text{hr}$) in the acclimated activated sludge. Denitrification rate was 1.5 mg $\text{NO}_3\text{-N/gvss} \cdot \text{hr}$ in the nonacclimated sludge with the fermented acids from the primary settled sludge of domestic wastewater added.

keywords : Fermentation, Total volatile acids, Primary settled sludge of domestic wastewater, External carbon source, Denitrification

1. 서론

생물학적 질소제거 과정은 질산화 반응과 탈질산화 반응으로 나누어지며, 탈질산화 반응은 질산화 반응 후에 생성된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 를 N_2 기체로 환원시키는 반응을 의미하며, 이때 반응에 관여하는 미생물들은 전자공여체(유기물)를 필요로 한다. 생물학적 처리과정 중 전탈질(pre-denitrification)공정에서는 폐수에 함유되어 있는 유기물을 이용하나 후탈질(post-denitrification)공정, 즉 무산소성 반응조가 호기성 반

응조 다음에 위치한 공정에서는 폐수중 유기물이 호기성 반응조에서 상당 부분 산화되기 때문에 폐수중 유기물의 농도가 낮은 상태이다. 따라서 무산소성 반응조에서 원활한 탈질반응을 진행시키기 위해서는 외부에서 전자공여체를 주입해 줄 필요성이 있다. 이때 외부에서 주입해주는 전자공여체로는 메탄올이 주로 이용되고 있다. Christensen 등(1977)은 메탄올을 외부 전자공여체로 이용하여 질소를 효과적으로 제거하였다.

이는 경제적인 측면을 고려해 볼 때, 고형폐기물을 유기산화 시켜 이를 탈질반응에 이용한다면 보다 경제적인 것으로 판단된다. 고형폐기물의 유기산화 과정은 가축분 및 도시하수의 일차침전 슬러지를 발효하여 얻어진 유기산을

* To whom correspondence should be addressed.
kkmin96@emc.or.kr

이용할 수 있으며, 최근 식품 산업폐수 및 음식물 쓰레기를 발효하여 얻은 유기산을 이용하기도 한다(Katsuhiko et al., 2001; Han et al., 2002). 혐기성 발효과정의 제 1단계인 유기산화 반응은 산 생성단계에 관여하는 유기산 균이 고형성분을 액화시켜 acetate, propionate 및 butylate와 같이 미생물에 의해 쉽게 이용 가능한 유기산을 생성한다. 이때 온도, pH, 및 혼합 등과 같은 물리적 환경인자와 암모니아성 질소 및 독성물질이 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(Letting et al., 1999; van Lier et al., 1997; Dayong et al., 1999).

본 연구에서는 가축분의 종류를 다르게 하여 유기산 생성시 미치는 혼합 및 pH 조정 유·무에 따른 영향을 평가하고, 가축분 중 양돈분 및 도시하수 침전슬러지에서 생성된 유기산을 이용하여 대상슬러지를 도시하수처리장 및 축산폐수처리장 미생물을 이용하여 탈질율을 비교검토 함으로서 영양염류 처리공정에서 가축분 및 침전 슬러지와 같은 폐기물을 이용하여 외부 전자공여체로의 활용 가능성에 대해 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 폐기물의 유기산 발효

본 연구에서 유기산 발효를 위한 폐기물로는 양돈분, 우분, 계분 및 도시하수의 1차 침전 슬러지를 이용하였다. 가축분은 C시의 인근 농장에 위치한 농가에서 직접 수거하여 이용하였으며, 침전 슬러지는 C시 도시하수처리장의 1차침전 슬러지를 이용하였다. 수거된 가축분 중 우분 및 계분은 고형성분의 농도가 매우 높기 때문에 이를 tap water로 희석하여 발효시켰다. 각 폐기물의 발효 전 성상은 Table 1에 나타내었다. 우분의 경우에 있어서는 pH가 다소 높은 반면 다른 축분에 비해 암모니아성 질소농도는 상대적으로 낮다. 도시하수 슬러지의 고형물 농도는 22,600 mg/L로 가장 높으나 기타 알칼리도 및 암모니아성 질소의 농도는 가축분과 비교시 상대적으로 낮은 성상을 나타내었다.

유기산 발효 실험은 Fig. 1과 같이 구성하였다. 각 반응조 용량은 5.5 L이며, 온도는 항온수조를 이용하여 28°C를 유지하였다. 항온수조 내에 수중모터를 이용하여 전체 온도가 일정하게 유지될 수 있도록 하였다. 각 반응조에는 사각패들이 부착되어 있으며, DC 모터를 이용하여

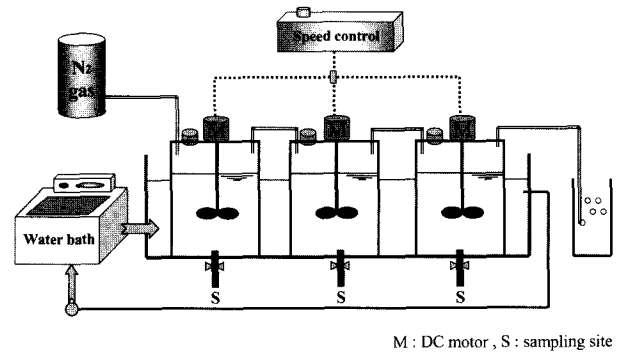


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental setup for fermentation.

60 rpm으로 교반시켜 주었다. 반응조 내부를 혐기성으로 유지하기 위하여 모든 접합부분은 밀폐시켰으며, 시료는 상단에 설치된 고무마개를 열고 시료를 채취하였다. 또한 시료 채취시 유입되는 공기는 간헐적으로 질소가스를 주입하여 혐기성상태가 유지되도록 하였다. 유기산의 발효시 미치는 물리적 인자의 영향을 관찰하기 위해 각 폐기물을 3가지 인자로 나누어 발효 시켰다. 첫 번째 반응조는 혼합과 운영시 변화된 pH를 매일 NaOH 1 N을 이용하여 pH 7로 조정해 주었다. 두 번째 반응조는 혼합 없이 pH 조정만을 행하였다. 세 번째 반응조는 혼합 및 pH조정 없이 행하였다.

폐기물 종류에 따른 유기산 발효 실험은 4개의 반응조를 이용하여 각 반응조에 양돈분, 우분, 계분 및 도시하수 1차 침전 슬러지를 4 L로 주입하여 경제성을 고려하여 혼합 및 pH조정 없이 발효시켰다. 매일 시료를 분취하여 유기산 및 암모니아성 질소 등을 분석하였다. 발효가 모두 완료되었다고 판단된 약 10일 후에는 발효액을 수거하여 냉장고(4°C)에 보관하였으며 이를 이용하여 활성슬러지의 탈질율을 검토하였다.

2.2. 슬러지의 유기산 적용 유·무에 따른 탈질율의 비교

양돈분 및 도시하수 침전 슬러지로부터 발효된 유기산은 활성슬러지의 탈질을 측정에 이용되었다.

유기산의 종류는 아세테이트, 메탄올, 양돈분의 발효액 및 도시하수 슬러지의 발효 유기산으로 나누어 행하였다.

Table 1. Initial characteristics of animal waste and primary domestic sludge

Parameter	Animal waste			Primary sludge
	Piggery waste	Cattle waste	Poultry waste	
pH	7.2	8.5	7.9	6.7
TSS	15,840	8,300	6,040	22,600
VSS	9,360	4,860	5,460	14,150
TVA ^a	3,300	1,250	2,500	620
NH ₄ ⁺ -N	493	104	630	75
Alkalinity	2,020	860	2,120	560

* Unit: mg/L, except for pH

a: Total volatile acids

이를 도시하수 처리장의 활성슬러지와 축산폐수처리장의 미생물을 각각 이용하여 비교하였다. 도시하수 및 축산폐수 처리장의 반응슬러지를 실험실로 운반하여 약 2시간 이상 포기시켰다. 이는 슬러지에 존재하고 있는 유기물을 분해하여 유기물의 영향을 없애기 위함이었다. 다시 30분 침전 후 상정수를 제거하였으며 1시간 동안 재 포기시켜 주었다. 이후 슬러지는 미생물의 농도가 약 2,000(± 200) mg/L 가 되도록 혐기성 반응조에 주입하여 전자공여체별 탈질속도를 관찰하였다. 이때 각 반응조별 탈질시 전자공여체로 아세테이트, 메탄올, 도시하수 침전발효유기산 및 양돈폐수 슬러지의 발효 유기산을 각각 주입하여 탈질율을 검토하였다. 전자수용체로는 KNO₃를 이용하였으며, 초기 질산성 질소의 농도는 20 mg/L(NO₃⁻-N)로 하였다. 주입된 각각의 유기산은 COD농도로 200 mg/L가 되도록 주입하였다.

반응조에 유기산과 질산성 질소 주입 이후에는 혐기성 상태로 교반시켜 주면서 20분 간격으로 시료를 채취하여 탈질율을 측정하였다. 모든 실험에서 측정을 위한 시료는 반응조의 중앙내부에서 약 50 mL를 채취하였으며, 경우에 따라 고형물 농도가 높은 경우는 즉시 TOYO사의 5종 A 여과지로 거른 후 이를 다시 0.45 µm membrane filter로 여과하여 고형물을 완전히 제거하여 분석하였다. 분석항목은 TVA, COD, MLSS, MLVSS, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N로서 Standard method(1995)와 HACH(DR-4000)에 의거 분석하였으며, TKN 및 COD 분석은 Distillation method와 Closed reflux, colorimetric method에 의거 분석하였다. 또한 질산염은 UV-spectro-photometer(HACH DR-4000)와 Ion Chromatography를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 혼합 및 pH의 영향

양돈폐기물의 유기산 발효시 혼합 및 pH 조정 유·무에 따른 TVA(total volatile acids), NH₄⁺-N 및 pH의 변화는 Fig. 2와 같다. 대표적으로 양돈분을 이용했을 경우만을 나타내었다. 우분, 계분 및 도시하수 1차 침전 슬러지의 경우도 같은 경향을 나타내었다. Fig. 2에서와 같이 혼합 및 pH 조정 유·무와 같은 운영인자에 대한 영향은 크지 않음이 관찰되었다. 이는 축분의 경우 섭취된 음식물이 가축들의 몸속에서 소화를 거쳐 대부분 고형물 입자가 잘게 부수진 상태이었던 때문에 혼합에 대한 영향이 크지 않았던 것으로 판단된다. 유기산의 생성은 반응개시 후 약 6일까지 빠르게 생성함을 보였으나 6일 이후에는 크게 변하지 않았다. 유기산 생성농도는 약 8,700-9,000 mg/L범위의 유기산이 생성되어 초기 유기산 농도에 비해 약 270% 정도 증가됨이 관찰되었다(Fig. 2, top). 일반적으로 혐기성 상태 하 유기산 생성은 초기 고형물의 농도, pH, 알칼리도 및 독성물질과 같은 방해인자 등에 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Pavlostathis et al., 1991; Knezevic et al., 1995; Cecchi et al., 1991; Atkinson et al., 1996). 박 등(2002)은 음식물 쓰레기와 하수 슬러지를 혼합하여 약 5일 후 유기

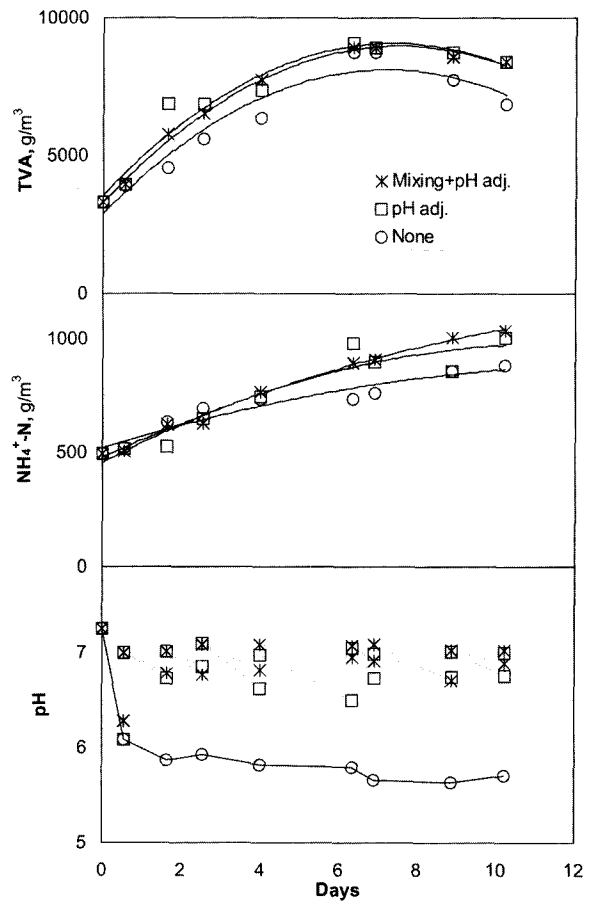


Fig. 2. Effect of mixing and pH adjustment on fermentation of piggery waste.

산이 약 220-370% 증가됨을 관찰하였다.

유기산이 생성됨에 따라 암모니아성 질소도 증가함이 관찰되었다(Fig. 2, middle). 이는 고형물 형태의 유기성 질소가 가수분해 되어 암모니아성 질소형태로 전환되기 때문인 것으로 판단된다. 혼합 및 pH 조정 유·무에 따라 큰 차이는 나타나고 있지 않으나 초기농도에 비해 약 170-200% 정도 증가하였다. 몇몇 연구자들의 연구에 의하면 NH₄⁺-N의 경우 농도가 700 mg/L에서 미생물에 저해를 유발하며, 1,500-3,000 mg/L에서는 치명적인 독성을 유발하는 것으로 보고되고 있다(Bhattacharya et al., 1989; Hensen et al., 1998).

또한 pH 조정 유·무에 따른 영향은 가축분 자체 완충능력(buffer capacity)이 컸기 때문에 pH 강하가 크지 않아 유기산 발효에 관여하는 미생물이 영향을 적게 받았기 때문인 것으로 판단된다. Zeotemeyer 등(1982)은 산발효조의 경우 pH가 5.7-6.0에서는 정상적인 발효가 가능하다고 보고하고 있으며, Gijzen(1987)은 pH 6-7이 적절하다고 보고한바 있다. 가축분의 pH 강하는 첫째날을 제외하고는 일일 0.2-0.3 강하하였으며, pH를 조정하지 않는 반응조에서는 초기 pH 7.2에서 5.7까지 감소함이 관찰되었다(Fig. 2, bottom). 하지만 그이상의 강하 없이 pH가 5.7이 유지되어 pH를 조정해준 반응조와 마찬가지로 정상적인 발효가 진

행되었던 것으로 판단된다.

3.2 슬러지 종류에 따른 유기산 생성

양돈분, 우분, 계분 및 도시하수 침전 슬러지의 발효시 반응조내 VSS, TVA 및 NH₄⁺-N의 농도변화는 Fig. 3과 같다. 반응이 진행됨에 따라 휘발성 고형성분(VSS)은 분자량이 적은 물질로 전환되어 감소하는 경향을 나타내었다. 반면, TVA 및 NH₄⁺-N의 농도는 증가하였다.

양돈분, 우분 및 계분의 경우 TVA는 6일 후 8,742, 2,742 및 6,685 mg/L를 나타내어 모두 260%정도 증가함을 보였다. 반면, 도시하수 슬러지의 경우는 초기 620 mg/L에서 1,610 mg/L로 증가하여 약 220% 증가함이 관찰되었다 (Table 2).

양돈분과 계분, 특히 양돈분의 발효시 유기산이 많이 생성된 것은 양돈분 자체가 고형화된 덩어리가 적었고, 입자들이 미세하여 유기산 발효가 쉽게 진행되었기 때문인 것으로 판단된다. 우분의 경우는 시료채취시 함유율이 낮았고 물로 희석하여 발효하여도 유기산 발생량은 양돈분에 비해 상대적으로 낮았다. 유기산 생성과정에서 가축분 및 도시하수 슬러지 모두 암모니아성 질소도 함께 증가됨이 관찰되었다. 암모니아성질소의 증가도 유기산 생성과 비례적으로 증가하여 양돈분 및 계분의 발효시 상대적으로 크게 증가함이 관찰되었다. 유기산을 고도처리공정의 외부 전자공여체로 활용시에는 증가된 암모니아성 질소도 같이 주입되기 때문에 반응조의 질소농도를 증가시키는 원인이 될 수 있다. 따라서 발효액을 탈질시 탄소원으로 이용하고자 하는 경우는 TVA/NH₄⁺-N 비가 높은 가축분 으로부터 생성된 유기산을 이용하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

Fig. 4는 감소된 휘발성 고형물의 농도와 생성된 TVA 및 NH₄⁺-N농도의 상관관계를 나타내고 있다. 고형물이 분해되면서 생성된 TVA 및 NH₄⁺-N의 변화는 같은 경향을 나타내나 분해된 고형물과 생성된 TVA 및 NH₄⁺-N의 비는 계분이 가장 높았으며 양돈분, 우분 및 도시하수 침전슬러지 순이었다. TVA생성을 및 NH₄⁺-N의 생성율은 Table 3에 나타내었다. 계분은 5,954 TVA mg/gvss destroyed 로 가장 높았다. 이때 TVA/NH₄⁺-N 비는 30.1이었으며, 양돈

분, 우분 및 도시하수 침전 슬러지는 각각 23.7, 11.5 및 5.4의 비를 나타내었다. 가축분에 비해 도시하수 침전 슬러지는 휘발성 고형물이 분해되면서 생성되는 TVA가 비교적 낮게 나타났으며, 이것은 침전 슬러지의 경우, 가축분과는 다르게 하수관거로 유입되는 혐잡물이 차지하는 비율이 크기 때문인 것으로 판단된다. 가축분은 도시하수의 침전 슬러지와는 다르게 동물의 배설물이므로 혐기성 조건에서 유기산 생성 반응이 쉽게 진행되기 때문인 것으로 판단된다.

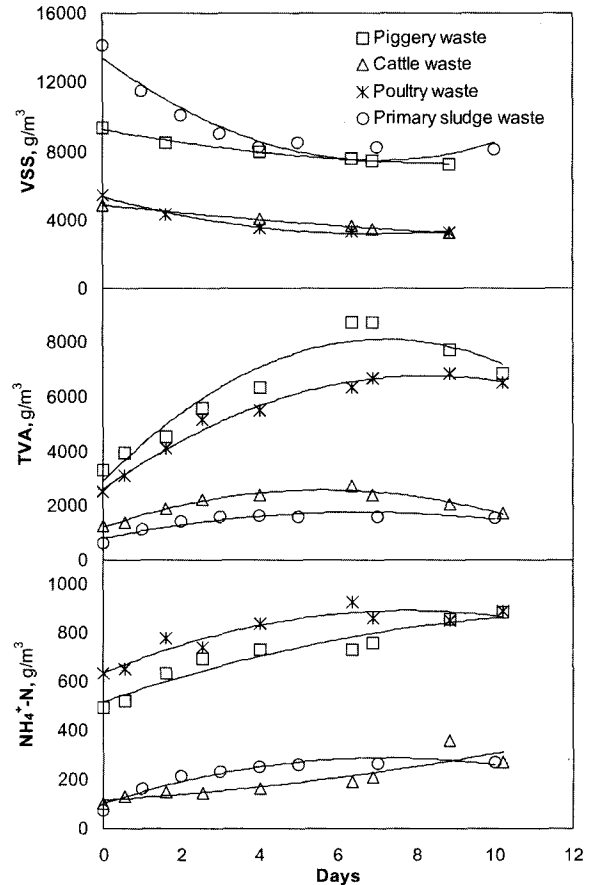


Fig. 3. Variation of VSS, TVA and NH₄⁺-N concentration of waste organics during the 10 days fermentation.

Table 2. COD, TVA and NH₄⁺-N concentration of waste by waste sludge fermentation

Sample	COD, mg/L	TVA, mg/L	NH ₄ ⁺ -N, mg/L	TVA/NH ₄ ⁺ -N
Piggery waste	3300	8742	910	3.6
Cattle waste	1250	2742	184	6.8
Poultry waste	2500	6685	924	2.7
Primary sludge	620	1610	252	2.4

Table 3. Volatile acids and ammonia yields in waste sludge fermentation

Sample	TVA mg/g VSS destroyed (R ²)	NH ₄ ⁺ -N mg/g VSS destroyed (R ²)	TVA/NH ₄ ⁺ -N (yield ratio)
Piggery waste	2103 (0.88)	183 (0.96)	11.5
Cattle waste	1209 (0.76)	51 (0.78)	23.7
Poultry waste	5954 (0.91)	198 (0.83)	30.1
Primary sludge	145 (0.95)	27 (0.95)	5.4

Table 4. Comparison of initial denitrification rates obtained with alternative electron donors

Sample	Initial denitrification rate, mg NO ₃ -N/gvss · hr			
	Activated sludge for municipal wastewater ^a	No ^b	Activated sludge for swine wastewater ^a	No ^b
Acetate	7.7±0.8	5	4.0±1.2	5
Methanol	2.9±0.9	5	2.5±0.5	5
Piggery Waste	10.0±0.4	7	10.1±0.7	7
Primary Sludge	4.2±0.6	7	1.5±0.9	7

a: Mean ± S.D.

b: Number of denitrification trials with indicated electron donor.

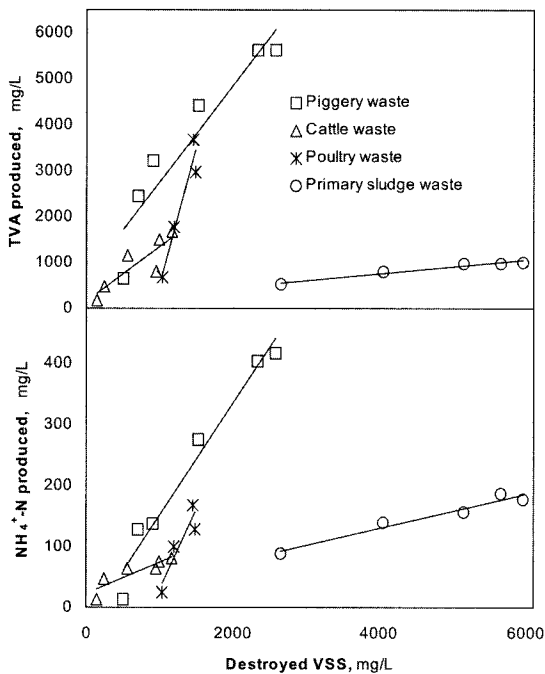


Fig. 4. Comparison of TVA and NH₄⁺-N produced vs destroyed VSS.

3.3. 슬러지 종류에 따른 탈질율의 비교

슬러지 종류를 비교하기 위해 도시하수 처리장의 슬러지와 축산폐수처리장의 슬러지를 이용하여 탈질율을 검토하였다. NO₃-N가 제거되는 탈질율은 도시하수 슬러지나 축산폐수 슬러지나 모두 양돈분에서 발효된 유기산을 이용시 10 mg NO₃-N/gvss · hr로 가장 높은 반응속도를 나타내었다(Table 4). 그 다음은 acetate 및 메탄올 순이었다. 하지만 도시하수 슬러지를 이용하는 경우는 1차 침전 슬러지에서 발효된 유기산을 이용하는 경우가 메탄올을 이용하는 경우보다 더 빠른 탈질율이 관찰되었다. 이는 도시하수 처리장에서 운영되는 슬러지는 도시하수 폐수에 기 적용되었기 때문에 메탄올을 이용하는 것 보다 도시하수 침전 슬러지에서 생성된 유기산을 선호하는 것으로 판단된다. 반면, 축산폐수처리장에서 운영되는 슬러지를 이용하는 경우는 도시하수의 침전슬러지에서 발효된 유기산이 메탄올보다 더 낮은 탈질율을 나타내었다. 이는 축산폐수 처리장의 슬러지는 도시하수의 침전슬러지로부터 발생하는 유기산 보다는 메탄올, acetate 및 양돈분에서 발생하는 유기산을 더 선호하는 것으로 판단된다.

따라서 가축분이나 도시하수의 침전슬러지를 유기산화 하여 이를 탈질반응에 이용하는 경우에는 대상 슬러지가 기 적용된 폐수의 유기산을 이용하는 것이 더 바람직할 것으로 판단된다.

4. 결론

가축분 및 도시하수의 침전 슬러지를 유기산화 시킬 때 혼합 및 pH 조정은 유기산화를 촉진시키는 영향인자이나, 혼합 및 pH 조정이 없는 경우라도 pH 강하는 약 5.7까지 진행되었으며, 이런 조건에서도 유기산의 생성은 효과적으로 생성되었다. 유기산 생성을 위한 최적 발효기간은 28°C에서 약 6-8일로 관찰되었다. 유기산화 과정에서 고형물이 파괴되면서 생성되는 유기산의 생성율은 계분이 가장 높았으며 양돈분, 우분 그리고 도시하수 침전 슬러지 순서로 관찰되었다. 도시하수의 침전 슬러지는 동물의 배설물과는 다르게 고형물 중 혐잡물이 포함되어있기 때문에 상대적으로 낮은 유기산화 생성율을 나타낸 것으로 판단된다. 반면 유기산 생성과 암모니아성 질소의 생성비는 가축분인 경우 TVA/NH₄⁺-N 비가 11.5-30.1의 값을 나타냈던 반면 도시하수 침전 슬러지의 경우는 5.4로 암모니아성 질소 생성량에 비해 TVA생성량이 낮은 것으로 관찰되었다.

도시하수처리장 및 축산폐수처리장 슬러지를 이용하여 발효유기산을 탈질 반응시 전자공여체로 주입했을 경우, 두 가지 종류의 슬러지 모두 양돈 발효액으로 부터 높은 탈질율을 보였다. 반면, 도시하수 침전 슬러지로 부터 생성된 유기산을 주입하는 경우에는 도시하수처리장 미생물에는 높은 탈질율(4.2 mg NO₃-N/gvss · hr)을 나타내었으나 축산폐수처리장 미생물에는 상대적으로 낮은 탈질율(1.52 mg NO₃-N/gvss · hr)이 관찰되었다. 이는 대상 미생물이 폐수의 적용 여부에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2003년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-050-D00010).

참고문헌

박종용, 김진복, 라원식, 음식물 쓰레기와 하수슬러지의 혐

- 기성 병합처리시 전처리 방법 및 혼합비가 소화효율에 미치는 영향, *한국폐기물학회지*, **19**(7), pp. 874-882 (2002).
- APHA, American Public Health Association, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed., Washington DC (1995).
- Atkinson, C. F., Jones, D. D. and Gauthier, J. J., Putative Anaerobic Activity in Aerated Composts, *J. of Industrial Microbiology*, **16**, pp. 182-188 (1996).
- Bhattacharya, S. K. and Parkin, G. F., The Effect of Ammonia on Methane Fermentation Processes, *J. water pollut. Control. Fed.*, **61**(1), pp. 55-59 (1989).
- Cecchi, F., Pavan, P., Mata-Alvarez, J., Bassetti, A. and Cozzolino, C., Anaerobic Digestion of Solid Waste: Thermophilic vs. Mesophilic Performance at High Solids, *Waste Manag. & Research*, **9**, pp. 305-315 (1991).
- Christensen, M. H. and Harremoes, P., Biological Denitrification of Sewage: A Literature Review, *Prog. Water Tech.*, **8**, pp. 509-555 (1977).
- Dayong, J., Jian, C. and Shiyi, L., Production of Poly (hydroxyalkanoate) by a Composite Anaerobic Acidification-fermentation System, *Process biochemistry*, **34**(8), pp. 829-833 (1999).
- Han, S. K., Shin, H. S., Song, Y. C., Lee, C. Y. and Kim, S. H., Novel Anaerobic Process for the Recovery of Methane and Compost from Food Waste, *Water Sci. and Technol.*, **45**(10), pp. 313-319 (2002).
- Hensen, K. H., Anbelidaki, I. and Ahring, B. K., Anaerobic Digestion of Manure Inhibition of Ammonia, *Water Res.* **32**(1), pp. 5-12 (1998).
- Katsuhiko, M., Takeshi, M. and Tadasi, W., Methane Fermentation of Bean Curd Refuse, *Bioscience and Bioengineering*, **91**(2), pp. 208-212 (2001).
- Knezevic, Z., Mavinic, D. S. and Anderson, B. C., Pilotscale Evaluation of Anaerobic Codigestion of Primary and Pretreated Waste Activated Sludge, *Water Environmental Research*, **67**(5), pp. 835-841 (1995).
- Letting, G., Rebac, S., Parshina, S., Nozhevnikova, A., van Lier, J. B. and Stams, A. J. M., High-rate Anaerobic Treatment of Wastewater at Low Temperature, *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**, pp. 1696-1702 (1999).
- Pavlostathis, S. G. and Giraldo-Gomez, E., Kinetics of Anaerobic Treatment: A Critical Review, *Critical Reviews in Environmental Control.*, **21**, pp. 411-490 (1991).
- van Lier J. B., Rebac. S. and Leteinga, G., High-rate Anaerobic Wastewater Treatment under Psychrophilic and Thermophilic Conditions, *Water Sci. technol.*, **35**(10), pp. 199-206 (1997).
- Zoetemeyer, R. J., Matthijsen, A. J. C. M., Cohen, A. and Boelhouwer, C., Product Inhibition in the acid Forming Stage of the Anaerobic Digestion Process, *Wat. Res.*, **16**, pp. 633-639 (1982).