

건식단상혐기성소화조를 이용한 음식물류폐기물 처리

홍종순 · 김재우 · 신대윤*

동남보건대학 환경보건과 · 조선대학교 환경공학과*

A Study on the foodwaste treatment using the DRANCO system

Jong-soon Hong, Jae-woo Kim · Dae-yewn Shin*

Department of Environmental Health, Dongnam Health College

**Department of Environmental Bio Engineering, Chosun university*

Abstract

Foodwaste will be able to treat is 13,000 ton/day. 18×10^{13} won/yr are wasted with the foodwaste treatment. As a result, the initial working condition. These are given as follows :

On the 1st. week, the foodwaste of the 130 ton/week(digest sludge : input foodwaste = 20 : 1) is being put into a DRANCO system by the space of 2 day. On the 2nd week, the food waste of the 130 ton/week(5 day) is being put into a DRANCO system by the space of 2 day. On the 3rd week, the foodwaste of the 130 ton/week is being put into a DRANCO system by the space of 3day. On the 4th week, the foodwaste of the 350 ton/week is being put into a DRANCO system. After that time, increase the quantity than last week is 10%. Under steady-state working condition, the methane content of the biogas is more then 55%. The $\text{NH}_3\text{-N}$ content of the digest sludge is under 3,500ppm. The VFA content of the digest sludge is under 1,500ppm. The pH is more then 8. The TS content of the digest sludge is 18~22%. The VS content of the digest sludge is under 65%.

Key words : Food waste, DRANCO system, initial working condition, methane content, VFA.

* Corresponding author E-mail : dysin@chosun.ac.kr

I. 서론

생활수준이 향상되면서 음식물류폐기물의 발생량이 지속적으로 증가하는 추세이다. 전국 음식물류폐기물 발생량은 2006년에 13,000톤/day이며, 처리비용은 연간 18조원 정도이다.¹⁾

음식물류폐기물은 발생량이 매우 많고 쉽게 분해되어 침출액, 가스, 악취 등을 발생하고 위생해충 및 소동물의 서식처가 되었으며, 용기와 관리시설을 부식시킴으로써 많은 민원이 제기되고, 수집·보관·관리·처리 및 처분 등의 과정에서 혐오대상이 되어 왔다.

음식물류폐기물은 가연성 폐기물로 분류되어 소각로가 갖춰진 지역에서는 생활폐기물과 함께 소각하였으나 대부분 매립 처분하였다. 소각할 경우에도 폐기물피트의 침출액처리와 악취, 소각로배출가스와 비산재에 포함된 dioxin의 문제 등으로 인한 위해성이 제기되고, 매립장에서도 침출수, 악취 위생해충의 서식 등과 관련하여 처분방법의 개선이 요구되어 왔다.^{2,3)}

이에 따라 정부에서는 2005년부터 음식물류폐기물의 매립장 반입을 금지하고 자원화시설을 갖추어 처리하도록 함으로써 초기에는 사료화와 퇴비화시설이 비슷하게 도입되었으나, 사료화시설의 경우 운영비가 과다하고, 생산품의 품질과 안전성, 판로 등의 문제로 요즈음은 대부분 퇴비화하는 추세이다.

에너지원인 석탄, 석유 등 화석연료의 공급에는 장기적으로 한계가 있고, 최근 세계적으로 원유가격이 급등함에 따라 에너지빈국들에서 대체에너지 개발의 수단으로 태양열 및 태양광, 원자력, 풍력, 조수력, 폐기물 소각열 등과 함께 유기성 폐기물을 이용한 바이오가스 생산이 고려되면서 음식물류폐기물의 혐기성소화에 관한 연구와 기술개발이 대두되고 있다.^{4~6)}

음식물류폐기물을 바이오가스로 전환하

기 위해서는 소화영향인자인 소화조 슬러지 농도, 음식물투입량 소화액의 온도, pH, NH₃-N · VFA · TS · VS농도, gas 발생량, gas의 CH₄농도 등이 적절하게 유지해 주어야 한다.^{7~9)}

국내에 도입된 혐기성소화법은 대부분 음식물류폐기물을 발효시켜 가스화하는 방법이며, 2상-혐기성(습식혐기성)소화법이다. 우리나라 음식물류폐기물은 염분함량이 많기 때문에 혐기성소화법으로 처리하려면 반드시 물을 1:1로 혼합해야 처리할 수 있고, 수분함량이 많기 때문에 건식보다는 습식을 선호하는 경향이 있다.¹⁰⁾

2상-혐기성소화법은 산생성소화조와 메탄생성소화조로 구성되며, 음식물류폐기물과 물을 1:1로 혼합하여 처리한다. 따라서 처리하고자 하는 음식물류폐기물의 부피는 두 배로 되어, 시설 측면에서 단상혐기성소화조방식 보다 두 배의 규모가 요구된다.¹¹⁾

가수하지 않고 음식물류폐기물만을 혐기성소화조에 투입하여 처리할 경우 이와 같은 2상-혐기성소화조의 단점을 보완할 수 있다. 이러한 취지로 만들어진 기술이 건식 단상혐기성소화조방식인 Dranco system이다.

본 연구에서는 국내 자원화 사업소에 설치된 Dranco system의 초기 적정 운전조건을 모색하기 위하여 영향인자인 투입량, 바이오가스 발생량, 소화조 상태를 평가하는 pH, NH₃-N, VFA농도, 소화슬러지의 TS와 VS농도 등의 관계를 조사하였다.

II. 실험방법

1. 실험장치 및 실험 방법

실험장치는 부산시에 설치되어 시운전 중인 시설로서 물을 가하지 않고 음식물류폐기물을 처리하는 건식단상혐기성소화조를 사용하였으며, 설계용량은 90 ton/day이다.

1.1. 소량 음식물류폐기물 투입 실험

음식물류폐기물의 소량 투입에 따른 정상 가동여부를 파악하기 위하여 소화조 상태를 점검하며, 3주 동안 건식단상혐기성소화조 슬러지량의 1/20에 상당하는 130 ton/week을 투입하며 실험하였다. 첫 번째 주와 두 번째 주에는 2 일간씩 투입하고, 세 번째 주에는 3일간 투입하면서 바이오가스 발생량과 CH₄농도를 측정 분석하였다.

1.2. 음식물류폐기물 주기적 증량 투입 실험

주기적 음식물류폐기물의 투입량 증가에 따른 정상 가동여부를 파악하기 위하여 소화조 상태를 점검하며 처음 3주 동안은 130 ton/week을 2 ~ 3일간씩 투입하고, 4주 이후부터 10%씩 증량하여 설계용량까지 투입하면서 바이오가스 발생량, CH₄농도 등 영향인자를 측정 분석하였다.

2. 시료채취 및 분석

시료는 소화조 하단에서 매일 6시에 1회 채취하였다.

소화조 운영의 영향인자인 pH, NH₃-N, VFA, TS, VS, CH₄ 농도 Gas 발생량, 음식물투입량 등의 측정분석은 환경오염공정시험법과 Standard Method에 준하여 시험하였다. 즉 pH는 pH meter(#620, Fisher Co.)를 사용하고, NH₃-N는 인도페놀법, VFA는 적정법, TS와 VS는 중량법으로 분석하였다.

바이오가스의 CH₄ 농도는 gas chromatography(Yanaco, R2-201C)를 이용하여 분석하였으며, 분석에 사용한 표준가스의 조성은 CH₄ gas 62.2%, CO₂ gas 37.8% 및 H₂ gas 100%이다.

Table 1. Operating condition for gas analysis in gas chromatography.

Item	Contents
Gas chromatography	Yanaco
Injection port temperature	70°C
Column packing temperature	6ft × 1/8inch stainless steel porapak Q initial column 60°C final column 130°C
Carrier gas flow rate	He 25 ml/min
Detector temperature	TCD 140°C
Sample injection	gas sampler

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 소량 음식물류폐기물 투입 실험

바이오가스 발생량은 음식물류폐기물이 투입되는 주초에는 3,500 ~ 4,000 m³/day, 주중에는 4,500 ~ 5,500 m³/day, 주말에는 3,800 ~ 5,500 m³/day이고, 3주 평균

4,000 m³/day 로서 주초와 주말에는 적고 소화세균의 활동이 왕성하고 먹이가 풍부한 주중에 많이 발생되었다.

바이오가스의 CH₄농도는 첫 번째 주 월, 화요일에는 6.5 %이었으나, 수요일에는 5.5 %로 저하하였고, 목요일부터 다시 6.5 %로 회복되었다. 두 번째 주와 3번째 주에도 CH₄농도 변화는 같은 경향을 나타내었다.

3주 동안 건식단상혐기성소화조 슬러지의 NH₃-N농도는 5,000 ppm 이상이고, VFA농도는 1,800 ~ 2,000 ppm으로서 비교적 높은 값을 나타내었다.

소화조가 정상적으로 가동되기 위해서는 영향인자인 바이오가스의 CH₄농도는 55 ~ 65 %, 슬러지의 NH₃-N농도는 2,000 ppm 이하, VFA농도는 1,200ppm이하로 비교적 낮게 유지되는 것이 바람직한데, NH₃-N와

VFA농도가 높게 유지되어, 설계용량보다 1/6배 적은 105 ton/week로 처리할 경우 정상상태로 가동되지 않음을 알 수 있다.^{10~12)}

위 사항을 종합하면 설계용량보다 1/6배 적은 105 ton/week로 처리할 경우 NH₃-N와 VFA농도가 높게 유지되어 정상상태로 가동되지 않았다.

Table 2. Variation of operating factor according to few foodwaste input.

Items	contents	Average
바이오가스 발생량(m ³ /day)	3,800 ~ 5,500	4,000
바이오가스의 CH ₄ 농도(%)	5.5 ~ 6.5	6.0
슬러지의 NH ₃ -N농도(ppm)	4,800 ~ 5,500	5,000
VFA농도(ppm)	1,800 ~ 2,000	1,900

2. 음식물류폐기물 주기적 증량 투입 실험

바이오가스 발생량은 음식물류폐기물을 1주일 단위로 투입하고 투입량을 증가시킴에 따라 단계적으로 증가하고, 바이오가스의 CH₄농도는 55 ~ 65 % 범위에서 톱니바퀴 증감경향을 나타내었다.

음식물류폐기물을 초기 3주 동안 105 ton/week 투입하고, 4번째 주에 350 ton/week로 증량하여 가동하는 동안 바이오가스의 CH₄농도는 55 ~ 65 % 범위를 유지하였다.

4주 이후 주당 음식물류폐기물을 전주 대비 10%씩 증량하였는데, 4주 초기에는 바이오가스의 CH₄농도가 55 % 정도로 저하되었으나 주말에 다시 65% 이상으로 회복되었다. 바이오가스의 CH₄농도변화는 음식물류폐기물 투입량을 설계용량까지 증량

하여 투입한 11주 이후에도 주초에 55 % 정도로 저하한 후 주말에 65% 이상으로 회복되는 경향을 반복해서 나타냄으로써 11주 만에 정상상태로 운전됨을 확인 할 수 있었다.

위 사항을 종합하면 초기운전의 정상가동에는 음식물류폐기물의 투입량 조절이 중요하며, 1주일 주기로 증량 투입하여, 처음 3주 동안은 건식단상혐기성소화조 소화슬러지의 1/20에 상응하는 130 ton/week을 2 ~ 3일간씩 투입하고, 4주부터 전 주 대비 10%씩 증량하여 11주 만에 정상 운전되었다.

바이오가스의 CH₄농도는 음식물류폐기물을 1주일 단위로 증량 투입함에 따라 주초에 55 % 정도로 저하한 후 주말에는 65% 이상으로 회복됨으로써, 55 ~ 65 % 범위에서 톱니바퀴 증감경향을 나타내었다.

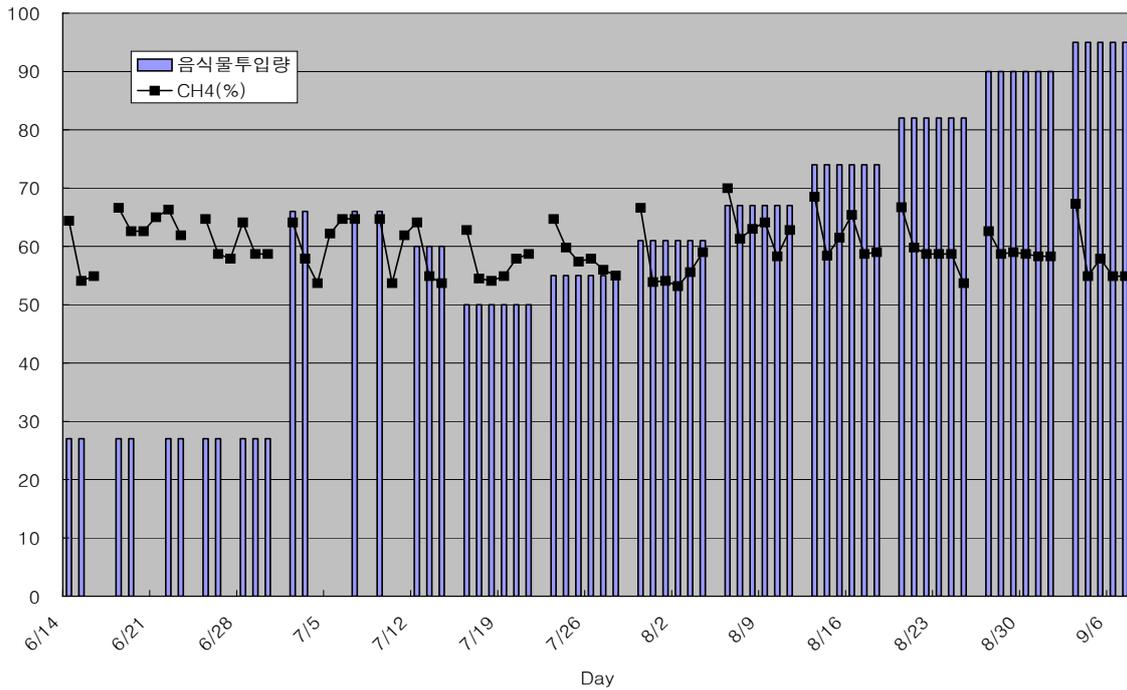


Fig. 1. The methane gas concentration according to operation time and the input of the foodwaste in Dranco system.

3. 음식물류폐기물 주기적 증량 투입에 따른 biogas 발생량, NH₃-N 및 VFA농도 변화

바이오가스 발생량은 음식물류폐기물을 105 ton/week로 투입한 초기 3주 동안 4,000 m³/day 정도이었고, 4주에 350 ton/week투입하고, 이후 음식물류폐기물 투입량을 1주 주기로 전 주 대비 10 %씩 증량함에 따라 6,000m³에서 9,000m³으로 단계적 증가하는 경향을 나타내었다.

주초와 주말에는 발생량이 감소하였으며, 음식물류폐기물을 최대용량으로 투입하며 정상화하는 동안 바이오가스 발생량은 음식물류폐기물 1톤당 100m³ 이상이었다.

소화슬러지의 NH₃-N농도는 음식물류폐기물 투입량이 증가한 4주 이후 5,000 ppm에서 톱니바퀴 형상으로 점차 감소하여

설계용량이 투입된 11주 이후에는 2,000 ppm으로 감소하였다.

소화슬러지의 VFA농도는 3주 이후 2,000 ppm에서 톱니바퀴 형상으로 점차 감소하여 설계용량이 투입된 11주 이후에는 900 ppm이하로 감소하였다.

위 사항을 종합하면 바이오가스 발생량은 음식물류폐기물이 1주 주기로 증량 투입됨에 따라 3,000m³에서 9,000m³로 단계적으로 증가하였고, 최대용량으로 투입하여 정상화하는 동안 평균 발생량은 약 100 m³/ton이었다.

소화슬러지의 NH₃-N과 VFA농도는 음식물류폐기물 투입량이 증가함에 따라 톱니바퀴 형상으로 점차 감소하였으며, 설계용량이 투입된 11주 이후 NH₃-N는 2,000 ppm, VFA농도는 900 ppm이하로 감소하였다.

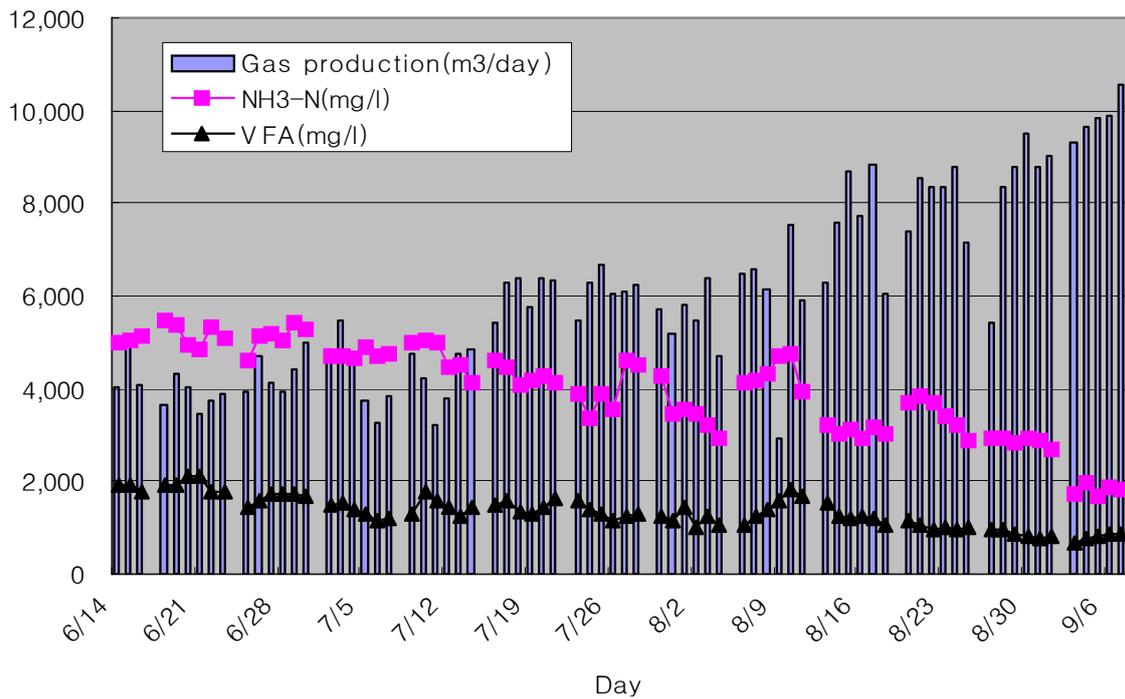


Fig. 2. Variation of biogas production, NH₃-N and VFA concentration according to operation time in Dranco system.

4. 음식물류폐기물 주기적 증량 투입에 따른 소화조의 pH변화

소화조의 pH는 음식물류폐기물 설계용

량이 투입된 11주 이후까지 주기적으로 증량 투입됨에도 불구하고 운전 기간 동안 pH 8 ~ 8.7 범위의 안정된 상태를 유지하였다.

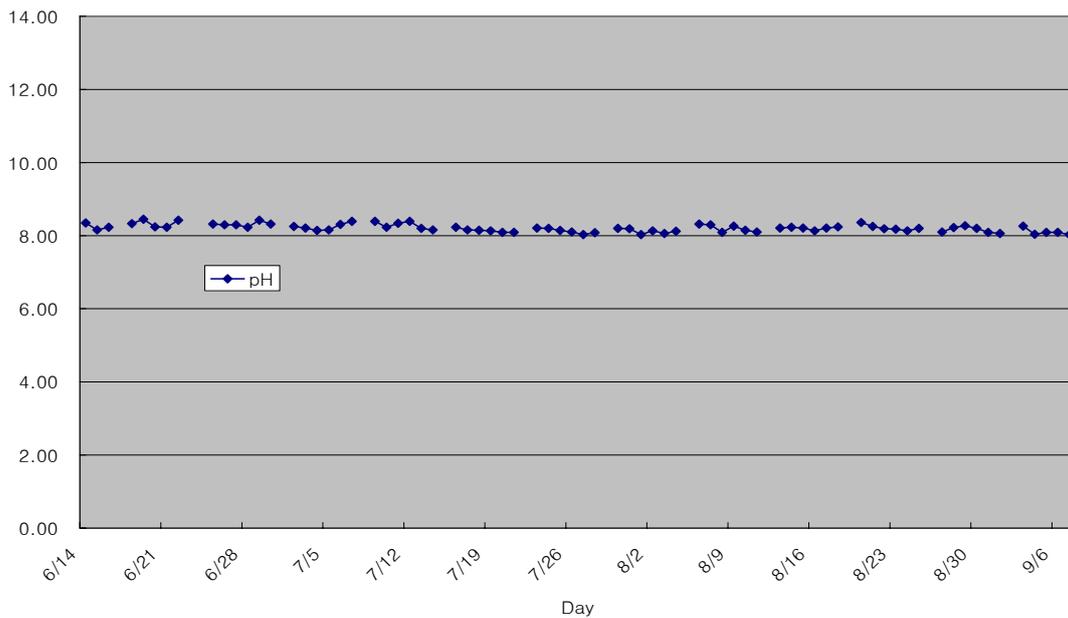


Fig. 3. Variation of pH in Dranco system according to operation time.

5. 음식물류폐기물 주기적 증량 투입에 따른 소화조의 TS와 VS농도 변화

소화조의 TS농도는 운전 초기부터 설계 용량이 투입된 11주 이후까지 16 ~ 18 % 범위의 안정된 상태로 유지되었다.

소화조의 TS 대비 VS농도는 초기에 53 %이었으나 음식물류폐기물이 1주 주기로 증량 투입됨에 따라 55 ~ 65 %로 다소 증가하였다. 이는 운전기간이 길어짐에 따라 소화되지 않은 휘발성지방산이 축적되기 때문이라고 사료된다.

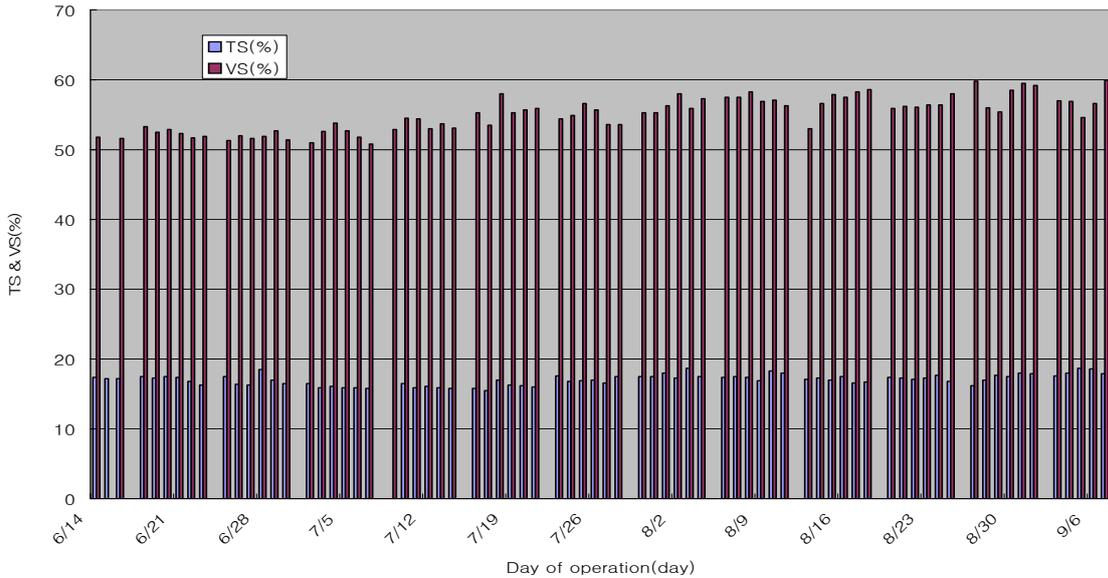


Fig. 4. Variation of TS and VS concentration in Dranco system according to operation time.

IV. 결 론

가수하지 않고 음식물류폐기물을 처리하는 Dranco system의 적정 운전조건을 모색하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 설계용량의 1/6인 105 ton/week로 처리할 경우 정상상태로 가동되지 않았다.
2. 초기운전의 정상가동에는 음식물류폐기물의 투입이 중요하며, 1주일 주기로 증량 투입하여, 처음 3주 동안은 건식 단상혐기성소화조 소화슬러지의 1/20에 상응하는 130 ton/week을 2 ~ 3일간씩 투입하고, 4주부터 전 주 대비 10%씩 증량하여 11주 만에 정상 운전되었다.
3. 바이오가스의 CH₄농도는 음식물류폐기

물을 1주일 단위로 증량 투입함에 따라 주초에 55% 정도로 저하한 후 주말에는 65% 이상으로 회복됨으로써, 55 ~ 65 % 범위에서 톱니바퀴 증감경향을 나타내었다.

4. 바이오가스 발생량은 음식물류폐기물 투입량이 1주 주기로 증량 투입됨에 따라 3,000m³에서 9,000m³로 단계적 증가하는 경향을 나타내었으며, 최대용량으로 투입하여 정상화하는 동안 평균 발생량은 약 100 m³/ton이었다.
5. 소화슬러지의 NH₃-N과 VFA농도는 음식물류폐기물 투입량이 증가함에 따라 톱니바퀴 형상으로 점차 감소하였으며, 설계용량이 투입된 11주 이후 NH₃-N는 2,000 ppm, VFA농도는 900 ppm이하로 감소하였다

6. 소화조의 pH는 음식물류폐기물이 주기적으로 증량 투입됨에도 불구하고 운전 기간 동안 pH 8 ~ 8.7범위의 안정된 상태를 유지하였다.
7. 소화조의 TS농도는 운전 초기부터 설계 용량이 투입된 11주 이후까지 16 ~ 18 % 범위의 안정된 상태로 유지되었고, TS 대비 VS농도는 초기에 53 %이었으나 55 ~ 65 %로 다소 증가하였다.

참 고 문 헌

1. Weber, W. J. and J. C. Morris, "Kinetics of adsorption in columns of fluidized media", J. WPCF, Vol. 46, 2118, 1974.
2. Stanfford, D. A. and Wheatley, "Anaerobic digestion", Applied science publisher LTD, 145, 1980.
3. 千畑一郎編, "固定化生體觸媒", 講談社 イエンティファイワ, 1989.
4. McCarty, P. L., "Anaerobic waste treatment fundamentals" J. WPCF, Part 1-4 Public Works, 1964.
5. Young, A. F. and Gaudy, E. T., "Microbiology for environmental scientists and engineers.", McGraw-Hill, 519, 1980.
6. Mary and H. Franson, et. al., "Standard method for the examination of water and waste", 16th ed., American Public Health Association, 1985.
7. Dilallo, R. and Albertson, O. E. "Volatile acids by direct titration", J. WPCF, Vol. 33, No. 4, pp356~365, 1961.
8. Van Huts steen, J. J., "Gas chromatographic separation of anaerobic digester gases using porous polymers", Water reserch pergamon press, vol. 1, pp237~242, 1967.
9. 심명철, 오대인, "음식물류폐기물 탈리여액의 발생 특성 및 처리에 관한연구", 한국폐기물학회, 2007.
10. 서영화, 김위성, "음식물류폐기물의 염분농도 저감을 위한 로터리식 저염화 공정설비개발", 2005년 춘계학술연구발표회, 대한환경공학회, pp1337~1341, 2005.
11. 차진명, "습식탄화 반응을 이용한 음식물류폐기물의 처리기술 연구", 2006년 추계학술연구발표회, 대한환경공학회, pp570~577, 2006.
12. 정병곤, 김병효, "내부반송을 통한 슬러지층 유동화가 수산폐기물 처리용 소화조의 운전 효율에 미치는 영향, 2005년 추계학술연구발표회, 대한환경공학회, pp1494~1500, 2005.