

건식단상혐기성소화조 장·단기 운영의 비교연구

홍종순^{1*} · 김재우¹ · 신대윤²

동남보건대학 환경보건과¹ · 조선대학교 환경공학과²

A study on the comparison of operation for long & short time in the Dranco process

Jong-soon Hong^{1*} · Jae-woo Kim¹ · Dae-yewn Shin²

¹Department of Environmental Health, Dongnam Health College

²Department of Environmental Engineering, Chosun university

Abstract

In this study, a dry single-phase anaerobic digestion process (Dranco system) was investigated to evaluate the optimum operational conditions. Several factors such as injection rate of organic waste, biogas production, CH₄ content in the biogas, pH of the sludge, NH₃-N and VFA concentration were investigated based on the operation of the digestion process for 2 months (short term) and 8 months (long-term). The operation results showed that a small quantity of food waste should be injected every week and that a 10% increase of the microorganism injection rate should be needed. However, normal operation was conducted after 11 weeks based on the designed quantity. The CH₄ content in the biogas was high at the beginning and the end of the food injection. However, it was low during week days. When the biogas production was high, the CH₄ concentration was low. The biogas production increased with an increase of the injection rate. 100m³/ton of biogas was produced from normal operation of the digestion process based on the designed quantity. The pH values of the digestion tank based on short-term operation ranged from 8 to 8.5. However, the pH values ranged from 7.45 to 8.15 after 4 weeks of long-term operation. The NH₄-N concentration of short-term operation ranged from 4,500 to 5,500 ppm and it gradually decreased to 2,000ppm after normal operation was commenced. For long-term operation, it was 5,000ppm initially and 3,800ppm after normal operation was commenced. The VFA concentration of sludge was less than 900ppm and 2,500ppm for short and long-term operations, respectively, after normal operation. Overall, the differences between sludge pH, NH₃-N and VFA concentrations may be due to the different types of microorganisms and the digestion ability of the microorganisms which exist in the accumulation of non digested organics. Moreover, it may be also caused by the type of food waste. Further investigation is needed to confirm these relationships.

Key words : dry single-phase anaerobic digesting, food wastes, methane, NH₃-N, VFA, stationary state.

* Corresponding author · E-mail : hongjsk@dongnam.ac.kr

I. 서론

바이오매스(biomass)는 일정한 지역에서 생활하는 “생물량” 또는 “생물 현존량”을 가리키는 생태학적 용어이며, “생물자원”을 뜻한다. 이 바이오매스는 신·재생에너지인 바이오가스를 생산할 수 있는 자원이며, 생명체가 있는 곳마다 여러 가지 형태로 존재하는 유기성폐기물이다.¹⁾

이와 같은 유기성폐기물을 적절하게 처리하지 않고 방치하면 자연계에서 혐기성적으로 분해되어 지구 온난화 물질인 CO₂, CH₄와 악취물질인 H₂S, NH₃ 등을 생성한다.²⁾

혐기성소화처리법은 자연환경에서 진행되는 유기성폐기물의 혐기성분해시스템을 시설을 갖추어 공학적으로 제어하는 처리기술이며, 소화슬러지의 총고형물농도를 15%이하로 유지하는 습식법과 15%이상 유지하는 건식법으로 구분된다.³⁾

음식물류폐기물, 축산폐수, 도로와 하천변의 풀, 나뭇잎, 골프장 잔디와 같은 유기성폐기물에는 고형물이 많이 함유되어 있기 때문에 이들을 분해하는 데는 습식법보다 건식법이 유리하다.

지금까지 음식물류폐기물은 액상과 고상으로 구분하여 처리해왔다. 즉 수거차량을 이용하여 처리업체에 이송한 음식물류폐기물 중 발생량의 약 5%에 해당하는 고상폐기물은 자원화시설에서 사료화하거나 퇴비화하고, 액상 폐기물은 처리절차가 복잡하고 비용이 많이 들어 대부분 해양투기하여 왔다.

최근 세계적으로 원유가격이 급등하고 공급이 불안정해짐에 따라 화석연료를 대체하는 에너지 생산의 수단으로 유기성 폐기물을 이용한 바이오가스 생산이 고려되면서 음식물류폐기물의 혐기성소화에 관한 연구와 기술개발이 대두되고 있다.^{4~6)}

국내에서도 음식물류폐기물 혐기성적

로 분해시킬 경우 바이오가스 발생량이 80 ~ 140m³/ton¹ 정도이며, 메탄가스농도가 높은 시스템들이 개발되어 상용화단계에 와 있다.

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

건식단상혐기성소화조방식은 산생성소화조와 메탄생성소화조로 분리되어 음식물류폐기물과 물을 1:1로 혼합하여 처리하는 2상-혐기성소화법이 물을 첨가함으로써 시설 규모가 커지고 처리효율이 저하하는 단점을 보완하기 위하여 개발된 공법이다.^{10~12)}

본 연구에서는 국내 자원화 사업소에 설치되어 시운전되고 있는 건식혐기성소화방식인 Dranco system의 단기간 정상상태 진입과 장기간 정상상태 진입에 따른 운전 영향인자를 비교하고자 한다. 이를 위하여 2개월과 8개월 시험운전에 따른 투입량, 바이오가스 발생량, 바이오가스의 CH₄함량, 소화슬러지의 pH, NH₃-N, VFA농도 등을 조사하였다.

II. 실험

1. 실험장치 및 방법

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

1.1. 단기간 정상운전 실험

음식물류폐기물을 소량 투입으로부터 설계용량 투입까지 주입회수를 줄이고 주입량을 늘려가며 1주일 간격으로 증량하는 방법으로 2개월 동안 투입하며, 바이오가스 발

생량, 바이오가스의 CH₄농도와 소화조의 운전영향인자를 측정 분석하였다.

1.2. 장기간 정상운전 실험

단기단 정상 운전실험과 같은 방법으로 음식물류폐기물을 8개월 동안 투입하며, 바이오가스 발생량, 바이오가스의 CH₄농도와 소화조의 운전영향인자를 측정 분석하였다.

2. 시료채취 및 분석

시료는 소화조 하단에서 매일 6시에 1회 채취하였다.

소화조 운영의 영향인자인 pH, NH₃-N, VFA, CH₄농도, Gas 발생량 등의 측정분석은 환경오염공정시험법과 Standard Method에 준하여 시험하였다. 즉 pH는 pH meter(#620, Fisher Co.)를 사용하고, NH₃-N는 인도페놀법, VFA는 적정법으로 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.¹³⁾

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. 단기간 정상운전 실험

1.1. 음식물류폐기물 투입량과 CH₄ 함량

건식단상혐기성소화조는 체류시간이 길고 높은 온도로 유지되어 유기산과 가스가 발생하는 3상 반응이 수행된다. 또 음식물류폐기물 중에 미생물에 의해 쉽게 분해되는 물질과 오래 분해되는 물질이 섞여 있고 반응조가 매우 크기 때문에 초기에 정상운전하기 위해서는 투입횟수와 투입량의 조절이 매우 중요하다.

본 연구에서는 초기에는 소량씩 자주 투입하여 미생물량을 증식시키고, 나중에는 1주일 단위로 투입하고 투입량을 점차 증가시키는 방법을 사용하였다.

즉 운전 초기에는 격일로 1일 1회 음식물류폐기물을 35 ton/day씩 3차에 걸쳐 투입하고, 2주와 3주째에는 2 ~ 3일 간격으로 소화조 슬러지 설계용량의 1/20에 상응하는 130 ton/week을 분할 투입하였다. 4번째 주에는 350 ton/week로 증가시켜 매 주 월요일 마다 주 1회 투입하고, 5주 이후에는 전주 투입량보다 10%씩 증량하여 11주부터 설계용량 90 ton/day씩 투입하였다.

바이오가스 발생량은 음식물류폐기물을 1주일 단위로 투입하고 투입량을 증가시키기에 따라 단계적으로 증가하고, 바이오가스의 CH₄함량은 음식물이 투입된 초기에는 바이오가스의 CH₄함량이 55 % 정도로 저하하고 주말에는 65% 이상으로 증가하는 경향을 나타내었다.

바이오가스의 CH₄함량은 음식물류폐기물이 105 ton/week씩 투입된 초기 3주 동안은 55 ~ 65 % 범위를 유지하면서 투입 초기에는 55 % 정도로 저하하고 나중에는 65% 이상으로 회복되는 양상을 보였다. 4주부터 350 ton/week로 증가시키고 주당 10%씩 증가함에 따라 주초에는 55 % 정도로 저하한 후 주말에는 다시 65% 이상으로 회복되는 경향을 반복해서 나타내었고, 11

주 만에 정상상태로 운전되는 것을 확인 할 수 있었다.

위 사항을 종합하면 건식단상혐기성소화조를 단기간에 정상운전하기 위해서는 음식물류폐기물의 투입량 조절이 중요하며, 초기에는 소량을 자주 투입하고 1주일 주기로 증량 투입하여 미생물을 증식시키는 방식으로, 처음 3주 동안은 설계슬러지 용적의 1/20에 상응하는 130 ton/week을 2 ~ 3일간씩 투입하고, 4주부터 350 ton/week로 증가시키고 이후 전 주 대비 10%씩 증량하여 11주부터 정상 운전하였다. 바이오가스의 CH₄함량은 음식물이 투입되는 주초에는 55 % 정도로 저하한 후 주말에 65% 이상으로 회복되는 경향을 나타내었다.

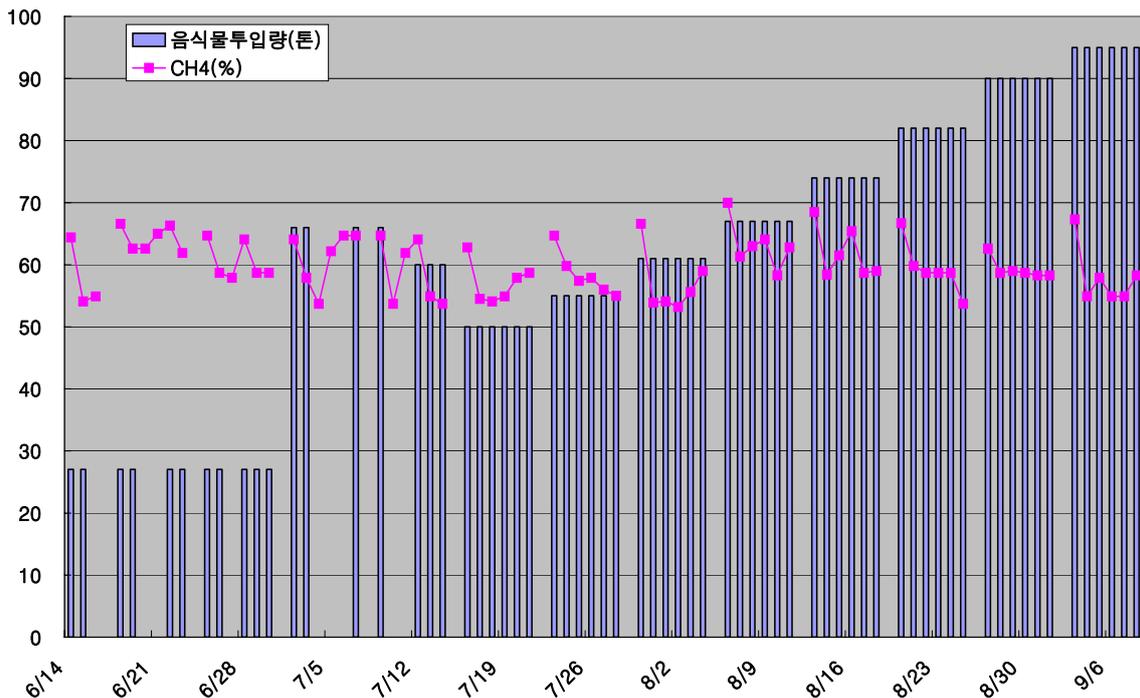


Fig. 1. The methane gas content and the input of the foodwaste by the day. (Short time : 2 months)

1.2. 음식물류폐기물의 주기적 증량 투입에 따른 소화조의 pH변화

소화조의 pH는 운전초기부터 음식물류폐기물을 설계용량까지 투입한 11주 이후

까지 주기적으로 증량 투입함에도 불구하고 운전 기간 동안 pH 8 ~ 8.5 범위의 안정된 상태를 유지하였다.

음식물이 투입된 주초에는 약간 증가한

후 주말로 갈수록 약간씩 저하하는 경향을 반복해서 나타내었다.

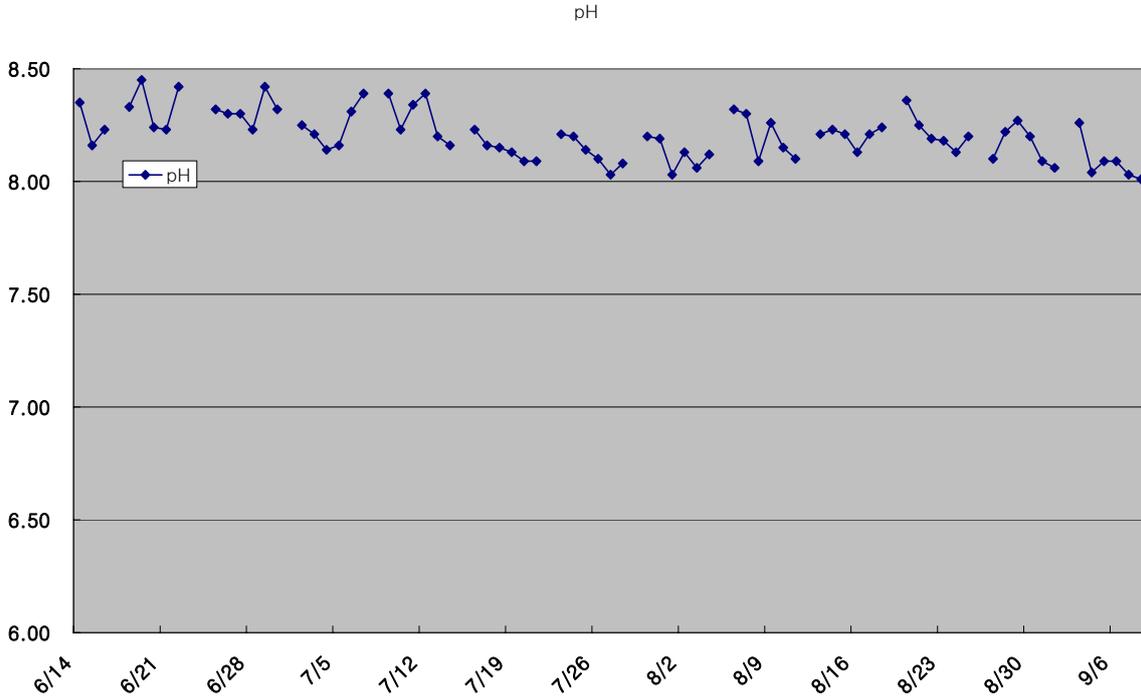


Fig. 2. Variation of the pH by the day. (Short time : 2 months)

1.3. Biogas 생성량과 NH₃-N, VFA농도

바이오가스 발생량은 음식물류폐기물을 105 ton/week로 소량 투입한 초기 3주 동안은 4,000 m³/day 정도이고, 넷째 주에 350 ton/week로 증가하여 투입하고 이후 1주 주기로 전 주 대비 10 %씩 증량함에 따라 6,000m³/day에서 9,000m³/day로 단계적 증가하는 경향을 나타내었다.

바이오가스 발생량은 주초와 주말에는 적고 주중에는 많았으며, 설계용량인 630 ton/week이 투입되어 정상 운전되기까지 평균 약 100 m³/ton 이었다.

소화슬러지의 NH₃-N농도는 운전초기 4,500 ~ 5,500ppm에서 음식물류폐기물 투입량이 증가한 4주 이후 5,000 ppm으로 감소하고 설계용량이 투입된 11주 이후에

는 2,000 ppm으로 낮아졌다.

소화슬러지의 VFA농도는 운전초기 2,000 ppm에서 단계적으로 감소하여 설계용량이 투입된 11주 이후에는 900 ppm이하로 낮아졌다.

위 사항을 종합하면 바이오가스 발생량은 음식물류폐기물을 1주 주기로 증량 투입함에 따라 3,000m³/day에서 9,000m³/day로 단계적으로 증가하고, 설계용량이 투입되어 정상운전되기까지 평균 발생량은 약 100 m³/ton이었다.

소화슬러지의 NH₃-N과 VFA농도는 음식물류폐기물 투입량이 증가함에 따라 단계적으로 감소하였고, 설계용량이 투입된 11주 이후 NH₃-N는 2,000 ppm, VFA농도는 900 ppm이하로 낮아졌다.

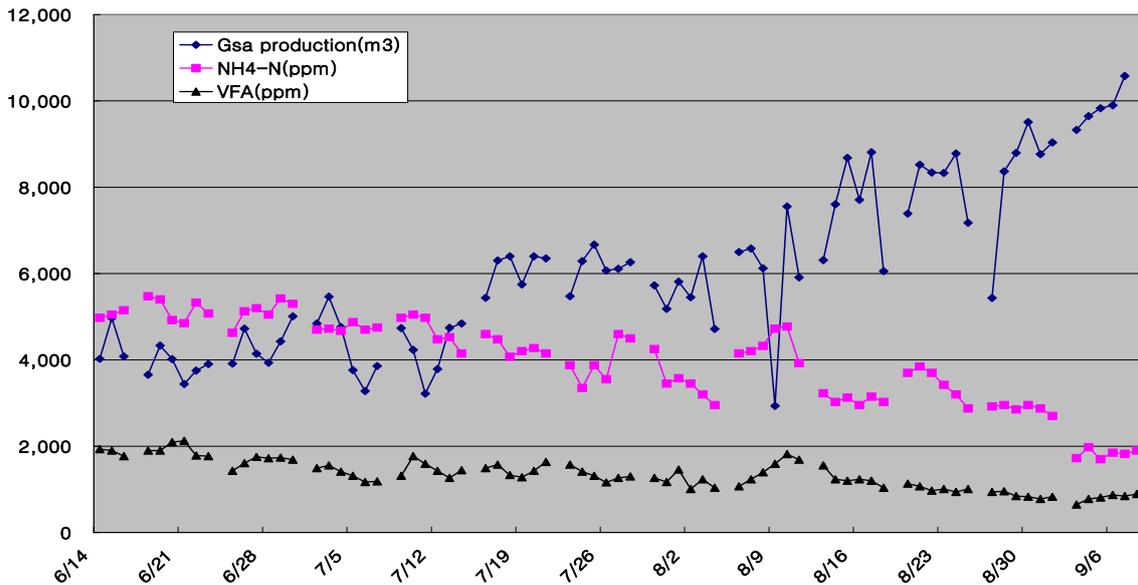


Fig. 2. The biogas production, the $\text{NH}_3\text{-N}$ content and VFA content by the day.
(Short time : 2 months)

2. 장기간 정상운전 실험

2.1. 음식물류폐기물 투입량과 바이오가스의 CH_4 함량

건식단상혐기성소화조에 음식물류폐기물을 투입하는 방법은 장기간 정상운전실험도 단기간 실험에서 적용하였던 것과 같이, 초기에는 소량씩 자주 투입하여 미생물량을 점차 증식시키면서 1주일 단위로 투입하고 투입량을 증가시켜, 11주부터 정상적으로 운전하는 방법을 사용하였다.

운전 초기 3주 동안 바이오가스의 CH_4 함량은 투입 초기에는 45%, 나중에는 65 ~ 72 %로 증가하며 불안정한 형태의 증감 현상이 반복되었다. 이러한 경향은 단기간 정상운전 실험 때와는 약간 다른 양상인데, 그 이유는 이번 운전에서 사용되고 있는 미생물은 이미 단기간 운전실험에 사용된 것들이고, 투입되는 음식물의 조성이 달라졌기 때문이라고 판단된다.

음식물류폐기물 투입량이 증가함에 따라 바이오가스 발생량이 단계적으로 증가하고, 바이오가스의 CH_4 함량은 투입 초기에는 62

~ 65 %이었으나, 3일 후에는 55 %로 저하하고, 다시 4일후부터 62 ~ 65%로 회복되는 현상을 반복하였다.

바이오가스 발생량과 바이오가스의 CH_4 함량을 비교하면, 발생량이 많을 때에는 농도가 낮아지고, 발생량이 적을 때에는 농도가 높아지는 경향이 나타났는데, 이는 소화슬러지의 유기물분해 특성이 음식물 투입 초기에는 유기산을 생성하고 유기산이 다시 분해되어 가스를 생성하게 되는데, 산생성 단계에서 CH_4 함량이 다소 저하하는 것으로 판단된다.

바이오가스의 CH_4 함량은 음식물류폐기물 투입량이 350 ton/week로 증가한 4주 이후부터 55 ~ 72 % 범위를 유지하며, 투입되는 주초에는 저하하고, 주말에 회복되는 양상이 설계용량까지 증량하여 투입한 11주 이후에도 4개월 동안 반복되었다. 이로써 11주 만에 정상상태로 운전되는 것을 확인 할 수 있었다.

4주 이후 바이오가스의 CH_4 함량을 단기간 정상운전 실험 때와 비교하면, 단기간 운전 때바이오가스의 CH_4 함량 55 ~ 65 %

보다 약간 높아진 55 ~ 72 %인데, 그 이유는 이번 운전에서 사용되는 미생물이 단기간 실험에 사용된 것이고, 투입되는 음식물의 조성이 달라진데 기인한다고 사료된다.

위 사항을 종합하면 건식단상혐기성소화조의 장기간 실험에서도 음식물류폐기물을 초기 소량투입 후 1주일 주기로 증량 투입하며 단계적으로 미생물을 증식시켜 11주

이후 정상 운전하는 방식이 도입될 수 있음을 알 수 있다.

바이오가스의 CH₄함량은 음식물 투입초기에는 55 ~ 68 %, 3일 후 55 %로 저하한 후 다시 65 ~ 72 %로 회복되는 양상을 반복하고, 바이오가스 발생량이 많을 때 CH₄농도가 낮았으며, 단기간 운전보다 약간 높은 농도로 유지되었다.

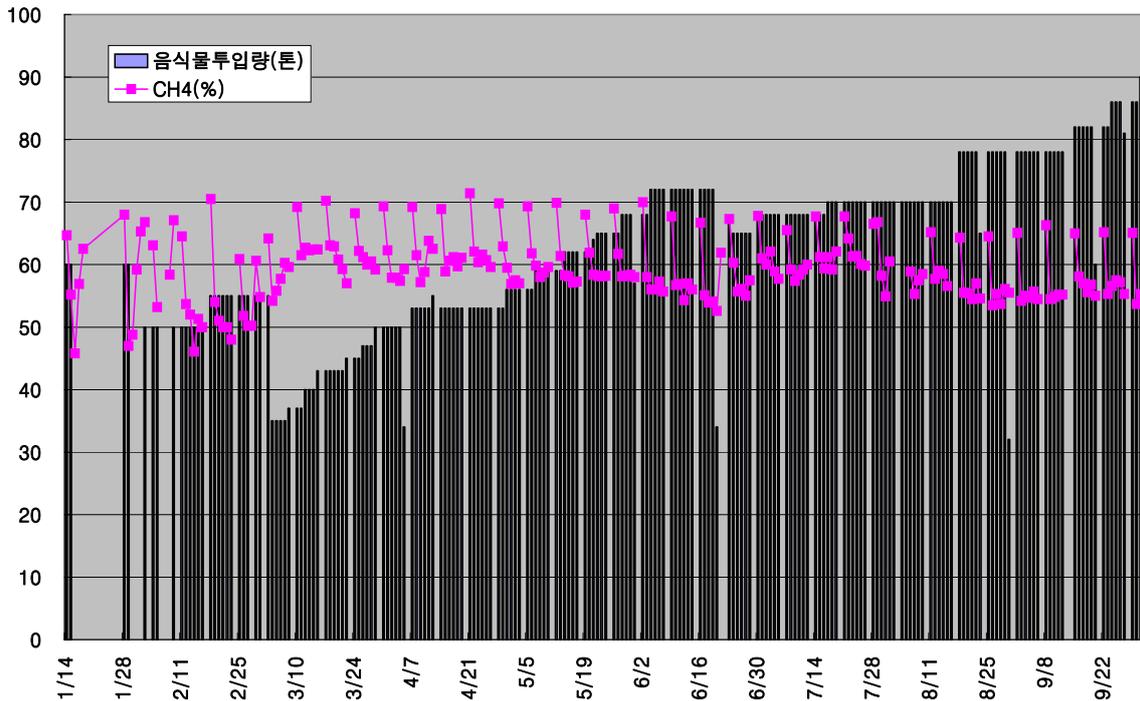


Fig. 3. The methane gas content and the input of the foodwaste by the day. (Long time : 8 months)

2.2. 음식물류폐기물의 주기적 증량 투입에 따른 소화조의 pH변화

소화조의 pH는 운전초기에 7.1 ~ 8.1범위에서 음식물류폐기물 투입에 따라 불안정하게 증감하는 양상을 보였으나, 4주 이후 투입량이 증가하면서 pH 7.45 ~ 8.15범위의 안정된 상태를 유지하였다.

이 결과는 운전초기부터 음식물류폐기물

을 설계용량까지 투입한 11주 이후까지 주기적으로 증량 투입함에도 불구하고 운전기간 동안 pH 8 ~ 8.5 범위의 안정된 상태를 유지한 단기간의 상황과는 약간 다른데, 그 이유는 소화조를 장기간 운전함에 따라 쉽게 분해되지 않는 유기물이 축적되고, 투입되는 음식물의 성상이 다르기 때문이라고 판단된다.

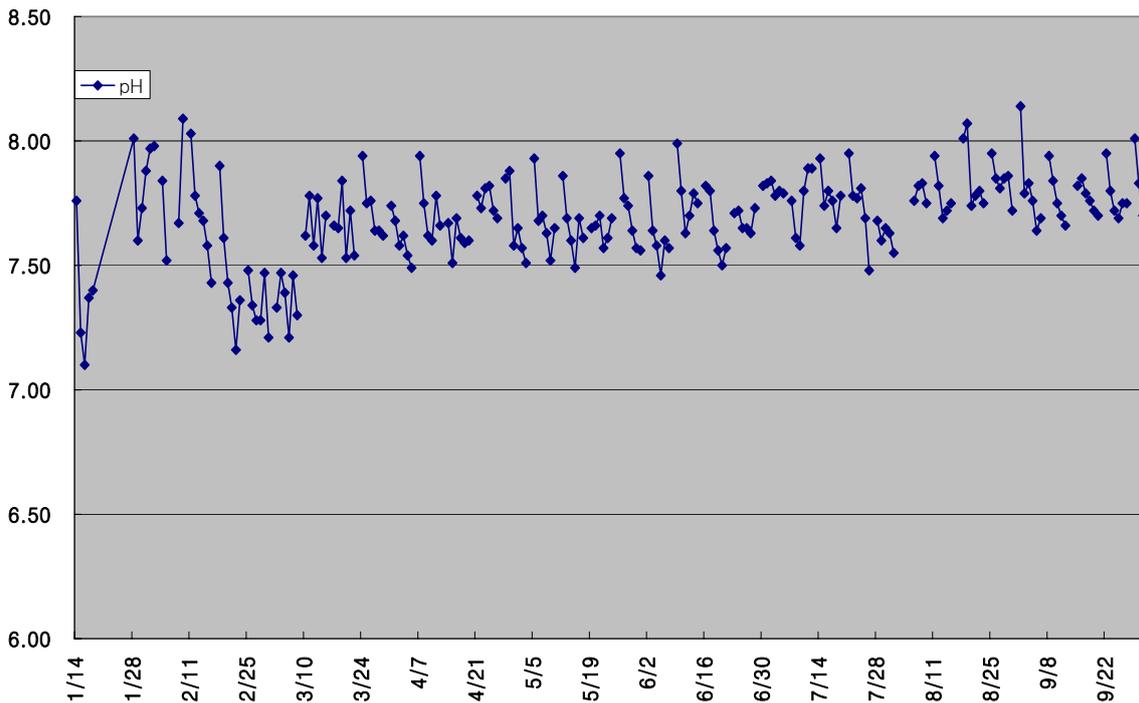


Fig. 4. Variation of the pH by the day.(Long time : 8 months)

2.3. Biogas 생성량과 $\text{NH}_3\text{-N}$, VFA농도

바이오가스 발생량은 초기 1개월 동안은 $4,000\text{m}^3/\text{day}$ 정도 발생하였으나 6개월 이후에는 $6,000\text{m}^3/\text{day}$ 로 증가하고, 8개월 이후에는 $10,000\text{m}^3/\text{day}$ 이상 생산됨으로써, 소화조의 음식물류폐기물 투입량이 단계적으로 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 설계용량으로 투입하여 정상 운전하는 동안 음식물류폐기물 투입량 당 평균 발생량은 약 $100\text{ m}^3/\text{ton}$ 이었다.

소화슬러지의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 초기 3주 동안은 $5,000\text{ ppm}$ 정도이었으나 4주 이후 음식물류폐기물이 증가함에 따라 단계적으로 감소하여 7개월 정도 지나서 $4,000\text{ ppm}$ 으로 저하하였으며, 8개월이 경과한 후에는 $3,800\text{ ppm}$ 정도로 낮아졌다.

소화슬러지의 VFA농도는 초기 3주 동안은 $3,000\text{ ppm}$ 이상 비교적 높은 농도가 유지되고, 4주 이후 음식물류폐기물 투입량이 증가함에 따라 단계적으로 감소하여 7개월 이후 $2,800\text{ ppm}$, 8개월 이후 $2,500\text{ ppm}$ 이하로 낮아졌다.

이와 같은 결과는 단기운전에서 소화슬러지의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도가 운전초기 $4,500 \sim 5,500\text{ ppm}$ 에서 음식물류폐기물 투입량이 증가한 4주 이후 $5,000\text{ ppm}$ 으로 감소하고 음식물류폐기물 투입량이 증가한 4주 이후 $5,000\text{ ppm}$ 에서 단계적으로 감소하여 설계용량이 투입된 11주 이후 $2,000\text{ ppm}$ 으로 낮아지고, VFA농도가 운전초기에 $2,000\text{ ppm}$ 에서 매우 완만하게 감소하여 설계용량이 투입된 11주 이후 900 ppm 이하로 낮아진 것과는 큰 차이가 있다.

이와 같은 차이는 소화조를 장기간 운전함에 따라 쉽게 분해되지 않는 유기물이 축적되어 서식하는 미생물의 종이나 분해성이 달라지고, 투입되는 음식물의 성상이 다르기 때문이라고 판단된다.

위 사항을 종합하면, 바이오가스의 발생량은 음식물류폐기물의 투입량이 증가함에 따라 점차 증가하여 설계용량으로 정상 운전하는 동안 약 $100\text{ m}^3/\text{ton}$ 이었고, 소화슬러지의 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도는 초기 $5,000\text{ ppm}$ 에서 점차 감소하여 정상 운전하는 동안에는

3,800ppm정도로 안정화되었으며, VFA농도는 초기 3,000 ppm이상에서 완만하게 감소하여 정상 운전하는 동안에는 2,500 ppm이하로 낮아졌다.

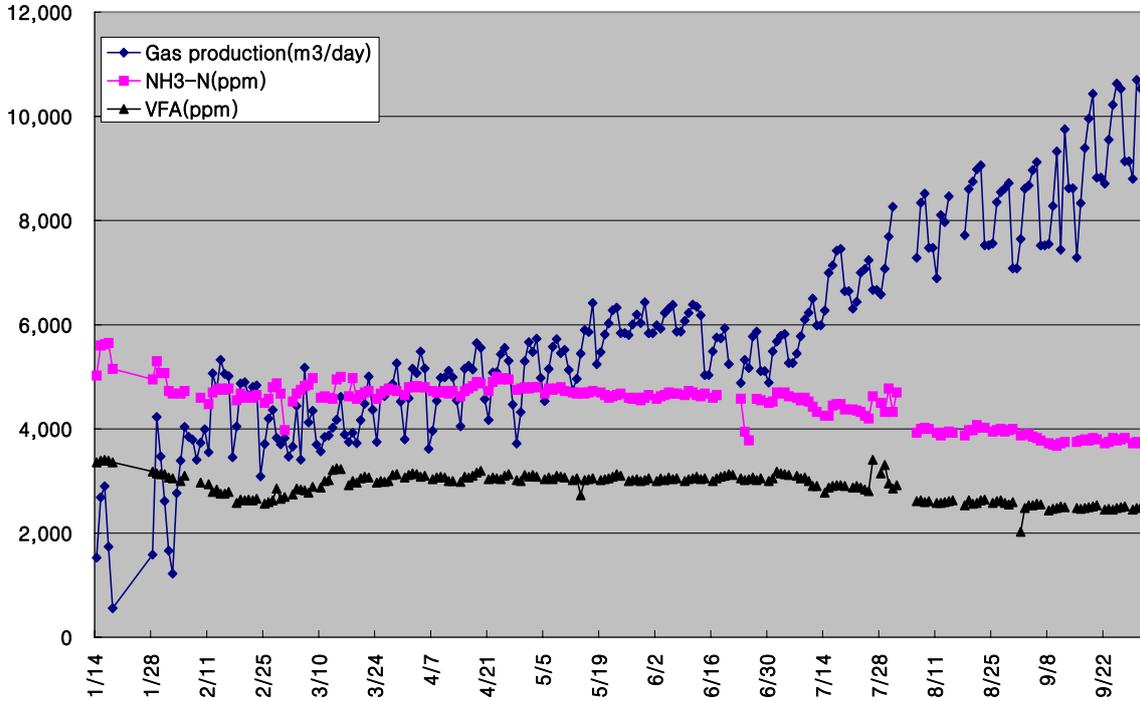


Fig. 5. The biogas production, the NH₃-N content and VFA content by the day. (Long time : 8 months)

IV. 결론

국내 자원화 사업소에 설치되어 시운전되고 있는 건식혐기성소화방식인 Dranco system의 단기간 정상상태 진입과 장기간 정상상태 진입에 따른 운전영향인자를 비교하기 위하여 투입량, 바이오가스 발생량, 바이오가스의 CH₄함량 소화슬러지의 pH, NH₃-N, VFA농도 등을 조사하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 음식물류폐기물을 초기에는 소량씩 자주 투입하고 1주일 주기로 전 주 대비 10%씩 증량 투입하여 미생물을 증식시키는 방식으로 투입하여, 11주부터 설계용량으로 정상 운전하였다.
2. 바이오가스의 CH₄함량은 음식물 투입초기와 말기에는 높고, 주중에 저하하는

- 양상을 반복하고, 바이오가스 발생량이 많을 때 CH₄농도가 낮았으며, 단기간 운전보다 약간 높은 농도로 유지되었다.
3. 바이오가스 발생량은 투입량에 따라 증가하였고 설계용량으로 정상 운전하는 동안 발생량은 100 m³/ton이었다.
4. 소화조의 pH는 단기간 운전에서는 초기부터 설계용량으로 정상 운전한 이후까지 pH 8 ~ 8.5 범위로 안정되고, 장기간 운전에서는 초기 pH 7.1 ~ 8.1에서 점차 저하하여 4주 이후 pH 7.45 ~ 8.15로 안정되었다.
5. 소화슬러지의 NH₃-N농도는 단기운전에서 초기 4,500 ~ 5,500ppm부터 단계적으로 감소하여 설계용량으로 정상 운전에서 2,000 ppm으로 낮아지고, 장기간 운전에서는 초기 5,000 ppm정도이었던

나 정상 운전에서 3,800 ppm정도로 낮아졌다.

6. 소화슬러지의 VFA농도는 단기운전에서 초기 2,000 ppm부터 완만하게 감소하여 정상 운전한 후에는 900 ppm이하로 낮아지고, 장기간 운전에서는 초기 3,000 ppm이상에서 단계적으로 감소하여 정상 운전에서 2,500 ppm이하로 낮아졌다.

단기간 운전과 장기간 운전에 따른 소화조의 pH, NH₃-N 및 VFA농도의 차이는 소화조를 장기간 운전함에 따라 쉽게 분해되지 않는 유기물이 축적되어 서식하는 미생물의 종이나 분해성이 달라지고, 투입되는 음식물류폐기물의 성상이 다르기 때문이라고 판단되며, 정확한 원인을 규명하기 위해서는 체계적이고 종합적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Weber, W. J. and J. C. Morris, "Kinetics of adsorption in columns of fluidized media", J. WPCF, Vol. 46, 2118, 1974.
2. Stanford, D. A. and Wheatley, "Anaerobic digestion", Applied science publisher LTD, 145, 1980.
3. McCarty, P. L., "Anaerobic waste treatment fundamentals" J. WPCF, Part 1-4 Public Works, 1964.
4. Young, A. F. and Gaudy, E. T., "Microbiology for environmental scientists and engineers.", McGraw-Hill, 519, 1980.
5. Mary and H. Franson, el. al., "Standard method for the examination of water and waste", 16th ed., American Public Health Association, 1985.
6. Dilallo, R. and Albertson, O. E. "Volatile acids by direct titration", J. WPCF, Vol. 33, No. 4, 356-365, 1961.
7. Van Huts steen, J. J., "Gas chromatographic separation of anaerobic digester gases using porous polymers", Water reserch pergamon press, vol. 1, 237-242, 1967.
8. 심명철, 오대인, "음식물류폐기물 탈리여액의 발생 특성 및 처리에 관한연구", 한국폐기물학회, 2007.
9. 서영화, 김위성, "음식물류폐기물의 염분농도 저감을 위한 로터리식 저염화 공정설비 개발", 대한환경공학회, pp. 1337-1341, 2005.
10. 차진명, "습식탄화 반응을 이용한 음식물류폐기물의 처리기술 연구", 대한환경공학회, pp.570~577, 2006.
11. 정병곤, 김병효, "매부반송을 통한 슬러지층 유동화가 수산폐기물 처리용 소화조의 운전 효율에 미치는 영향, 대한환경공학회, 2005.
12. "신·재생에너지이용 발전전력의 기준 가격 지침", 산업자원부, 2006.
13. 김재우, 이기성, 강승균, DRANCO공법을 이용한 음식물 폐기물처리, 대한환경공학회 춘계발표, 2007.

“본 논문은 2007년도 동남보건대학 연구비 지원에 의해 수행된 것임”