

탈질화의 외부 탄소원 제공을 위한 음식폐기물의 유기산발효

장성호 · 조한진* · 손영일*

국립밀양대학교 환경공학과 · 국립밀양대학교 산업과학기술연구소*

A study on VFAs recovery from food waste for exterior carbon source of denitrification

Seong-Ho Jang · Han-Jin Cho* · Young-Il Son*

*Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University
Industrial Science & Technology Institute, Miryang National University**

Abstract

This study's purpose is the investigating the created liquid post-acid fermentation of usability of denitrification as exterior carbon sources by loading capacity of Organic matters. The time of acid fermentation of food waste, the slower loading capacity of organic matter, the faster decomposition rate, but the density of generation VFAs was weak and, SBOD₅ : ST-N rate and SBOD₅/SCOD_{Cr} rate was low. Between TS and VS, VS was decreased to 6th day fast, and then was decreased slowly. Two days after stating the experiments, SCOD_{Cr}, SBOD₅, STOC and VFAs was decreased or increased slowly, and then increased fast. And after showing the highest density, it was tended to decreased fast. About 5 days after, because about 5 days later CH₄ bacteria activity due to the accumulation of VFAs was limited, CH₄ density was weak. When highest density in the acquisition of VFA, R₁ was 10,120mg/ℓ, R₂ was 11,380mg/ℓ, R₃ was 13,720mg/ℓ. So R₃ only cut was highest generation.

At the time of SBOD₅ with the highest density, at SBOD₅ : ST-N ratio, R₁ was 243:1, R₂ was 278:1, R₃ was 293:1. All of these were high SBOD₅ : ST-N ratios. And R₃ was the highest. After studying SBOD₅ : ST-N ratio and SBOD₅/SCOD_{Cr} ratio, as a carbon source of biological denitrification it was profitable composition ratio.

key word : denitrification, organic matters, SBOD₅, VFAs, ST-N, SBOD₅/SCOD_{Cr}

I. 서 론

국내 주요하천의 부영양화 및 해양의 적조발생 빈도가 높아짐에 따라 질소·인의 처리가 요구되어 1996년 1월부터 질소·인에 대한 총량규제가 실시되었다. 따라서 기존하수처리장의 공정개선과 신설

하수처리장건설에 질소제거 공정이 추가되었으나, 우리나라 발생하수의 성상이 탈질공정의 적정요구 C/N비율 충족시키지 못하는 실정으로 Alcohol, Acetic acid등의 인위적인 탄소원을 주입해야만 정상적인 탈질공정의 운영이 가능하게 됨으로써 하수처리 비용의 상승을 초래하게 되었다¹⁾.

한편, 음식물폐기물 발생량은 1998년 기준으로 전체 생활쓰레기 발생량(44,583톤/일)의 26.4% (11,774톤/일)를 차지하고 있으며¹⁾ 이들 음식물쓰레기는 수분함량이 75~85%로 높고, 발열량(약 715kcal/kg)이 낮아 소각처리(최소 발열량: 1000~1300kcal/kg)가 사실상 불가능하며 유기물함량이 80%이상으로 쉽게 부패 할 수 있으므로 운반 및 매립처리시 악취, 병원균, 지하수 오염 등 여러 가지 환경오염 문제를 유발시킨다. 우리나라의 경우 현재 음식물쓰레기의 84.0%가 매립 처리되고 있으며, 재활용되는 양은 하루 1,275톤으로서 전체의 9.8%를 차지한다^{2,3)}. 이러한 매립의 경우도 매립지 확보 문제 등으로 인하여 그 처리·처분을 소각이나, 자원화 형태로 전환하지 않으면 안될 상황이다.

음식물쓰레기를 안정적으로 자원화하기 위해서는 안정된 자원화기술의 확보가 무엇보다 중요하다. 음식물쓰레기의 자원화 방안으로는 사료화, 퇴비화, 혐기성 소화 등이 있으며 1998년 현재 사료화(62%), 퇴비화방법(38%)이 주를 이루고 있다⁴⁾.

그러나 퇴비화의 경우에는 음식물쓰레기 자체가 가지고 있는 고농도의 염분과 높은 수분 등의 문제점을 내포하고 있으며, 사료화는 상품의 가치 및 경제성 그리고 수요의 문제등으로 최적의 자원화 방법으로는 볼 수 없다.

이에 본 연구는 음식물폐기물의 적정처분의 새로운 형태로써 혐기성 산발효를 통해 산발효 상정액을 질소제거공정의 대체탄소원으로 사용가능성을

검토하고 또한 유기물부하가 상정액의 특성에 미치는 영향을 살펴보고 이에 따라 혐기성 산발효시 최적조건을 도출하고자 한다.

II. 실험방법

1. 시 료

본 연구에 사용된 시료는 음식물폐기물의 경우 부산 D대학교내 구내식당에서 발생하는 것을 채취하여 자연상태에서 수분간 방치하여 저부의 국물성의 수분을 제거한 후 시료로 사용하였으며, 부산 S하수처리장 소화슬러지를 음식물폐기물에 투입한 발효조에서 20일간 적응을 거치고 난 후의 슬러지를 Seeding 하였고 이후로는 산 발효를 끝낸 슬러지를 이용하여 Seeding 하였다. 실험에 이용된 음식물쓰레기의 성상을 Table. 1에 나타내었다.

Table. 1 Characteristics of Food waste

Items	Units	Range	Average
Sample			
TS	%	9.5~20.3	15.6
VS/TS	%	90.5~96.7	93.5
SCODcr	mg/ℓ	42,300~91,100	64,270
Cl-	mg/ℓ	2,340~2,630	2,500
ST-N	mg/ℓ	525~727	622

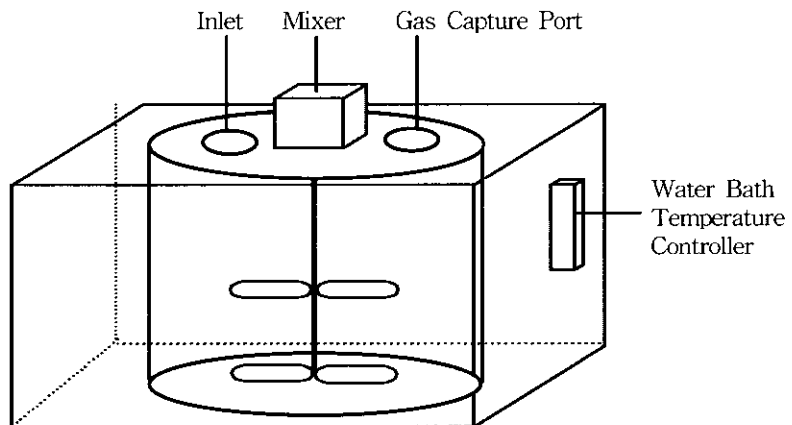


Fig. 1. Schematic of experimental apparatus

Table. 1에 나타내었듯이 VS/TS가 93.5%로 대부분이 유기물임을 알 수 있었다. 또한, 음식물쓰레기의 문제집중의 하나인 Cl^- 농도는 2,500mg/l를 나타내어 다소 높은 염분을 함유하고 있는 것으로 나타났다.

2. 실험장치 및 실험방법

Fig. 1은 본 실험에 사용된 회분식 혐기성 산발효조의 모형도이다. 본 실험에 이용된 혐기성 산발효조는 유효용량이 10 l(총용량 12 l)인 아크릴로 제작된 원형 발효조를 사용하였으며, 발효조의 온도는 실제 하수처리장의 혐기성 소화조에서 이용하고 있는 중온성 혐기성 소화온도인 $35\pm 1^\circ C$ 를 유지하면서, 원활한 혼합을 위해 교반기를 이용하였다. 가스의 포집은 용량이 10 l인 Teflon Bag을 사용하였으며 실험은 10일동안 실시하였다. 주입된 시료의 분석은 1일 2회 행하였으며, 분석항목은 TS, VS, pH, $SCOD_{cr}$, $SBOD_5$, STOC, VFAs, Cl^- , ST-N이며 TS, VS의 경우 폐기물공정시험법을, pH는 pH meter로 측정하였고, $SCOD_{cr}$, $SBOD_5$, VFAs, Cl^- , ST-N은 standard method와 수질오염공정시험법에 준하였고 가스 분석은 GC의 TCD를 이용하였으며, STOC는 HP TOC-5로 분석하였다. Table. 2는 본 실험에 대한 운전조건을 나타낸 것이다.

Table 2. Operating conditions of anaerobic digestion

Operating condition Run. number	Temp. ($^\circ C$)	Operating period (d)	Loading capacity of Organic matter (gVSS/L)	Remark
R1	35 ± 1	10	200	-
R2	35 ± 1	10	240	-
R3	35 ± 1	10	280	-

Table. 2에 나타낸 것처럼 운전조건을 R₁, R₂, R₃는 전처리를 하지 않고 유기물부하를 달리한 원시료를 사용하여 혐기성 액화분해를 실시하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. pH 변화

R₁, R₂, R₃의 실험기간 동안의 pH변화를 Fig. 2에서 나타내었다.

Fig. 2에서와 같이 유기물부하가 낮은 R₁가 빠르게 분해가 이루어져, pH가 급격히 하락하였고 유기물부하가 높은 R₃는 분해속도가 R₁보다 완만하여 pH저하는 완만히 이루어졌으나 pH가 가장 낮은 수치를 보였다. 유기산 생성의 증가에 의한 유기산이 축적되어 pH가 저하되고 유기물 부하에 따

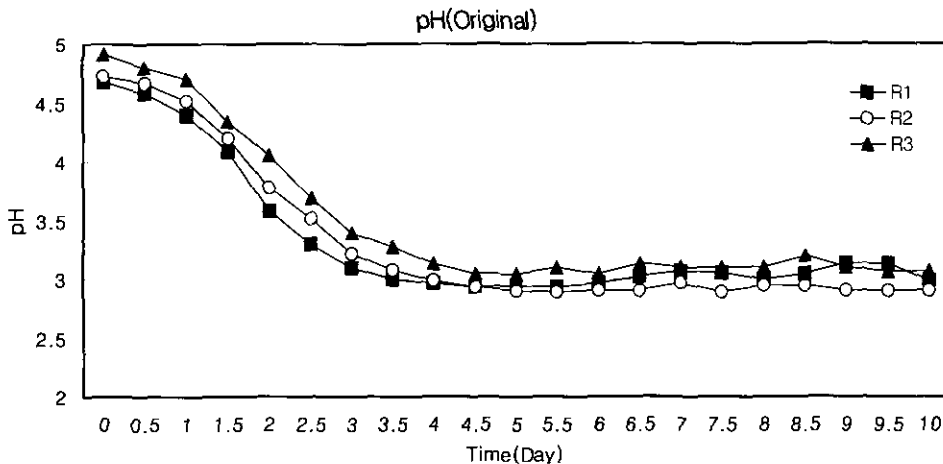


Fig. 2. Variation of pH Depending on Loading by Organic Matters(Original)

라 다소 시간적인 차이를 보이거나 5일경부터는 pH의 변화가 거의 없었다.

2. 고형물 변화

고형물 분해경향을 Fig. 3에서 TS 및 TS중 VS의 변화경향을 살펴보면 우선 TS의 분해경향은 유기물부하가 가장 낮은 R₁이 빠르게 분해되고 부하가 높은 R₃의 경우 R₁보다 초기의 분해속도는 완만하였으나 전체적인 TS의 분해율은 R₁에 비해 높았다. 또한 유기물부하가 낮을수록 분해속도는 빨라 R₁은 5일째부터 분해속도가 완만해졌고 R₂, R₃는 각각 5.5일, 6일째부터 분해속도가 완만해졌다.

TS중의 VS분해 경향은 TS분해와 유사한 형태를 나타내며 역시 각각 5일, 5.5일, 6.5일째부터는 감소속도가 완만한 것을 알 수 있다. TS중 VS가 92.0%를 차지하고 있는 R₁은 5일째 79.8%로 감소

하여 빠른 분해속도를 나타내었고, 93.3%의 R₂는 5.5일째 81.3%로 감소하였으며, 95.7%의 R₃는 6일째 82.7%로 감소하여 VS의 분해량은 R₃가 가장 크게 나타났다. TS와 TS중 VS의 분해는 유기물 부하와 밀접한 관련이 있는 것을 볼 수 있다. R₁, R₂, R₃의 10일째 TS 및 TS중 VS의 분해율은 Table. 3에 나타내었다.

Table 3. Removal ratio of TS and VS/TS at 10Day(Original)

Run. number \ Item	TS (%)	VS/TS (%)
R ₁	44.9	14.0
R ₂	45.9	14.3
R ₃	46.3	14.7

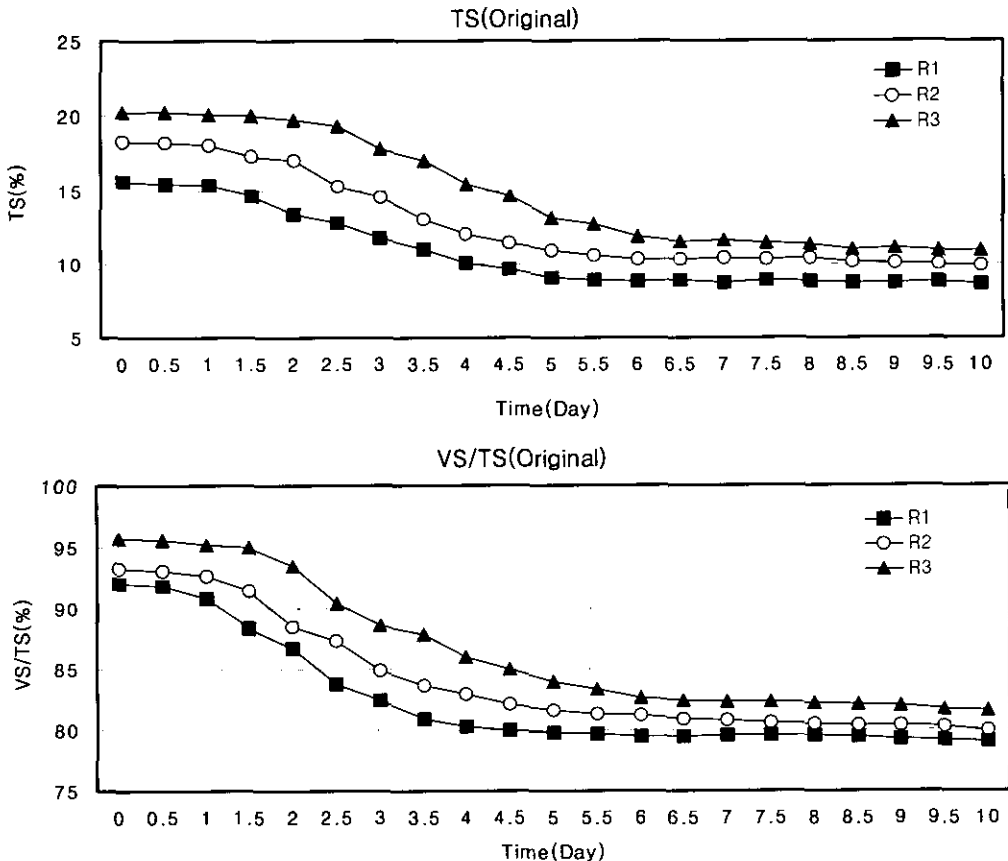


Fig. 3 Variation of TS & VS/TS Depending on Loading by Organic Matters(Original)

3. SCOD_{Cr}, SBOD₅, STOC 변화

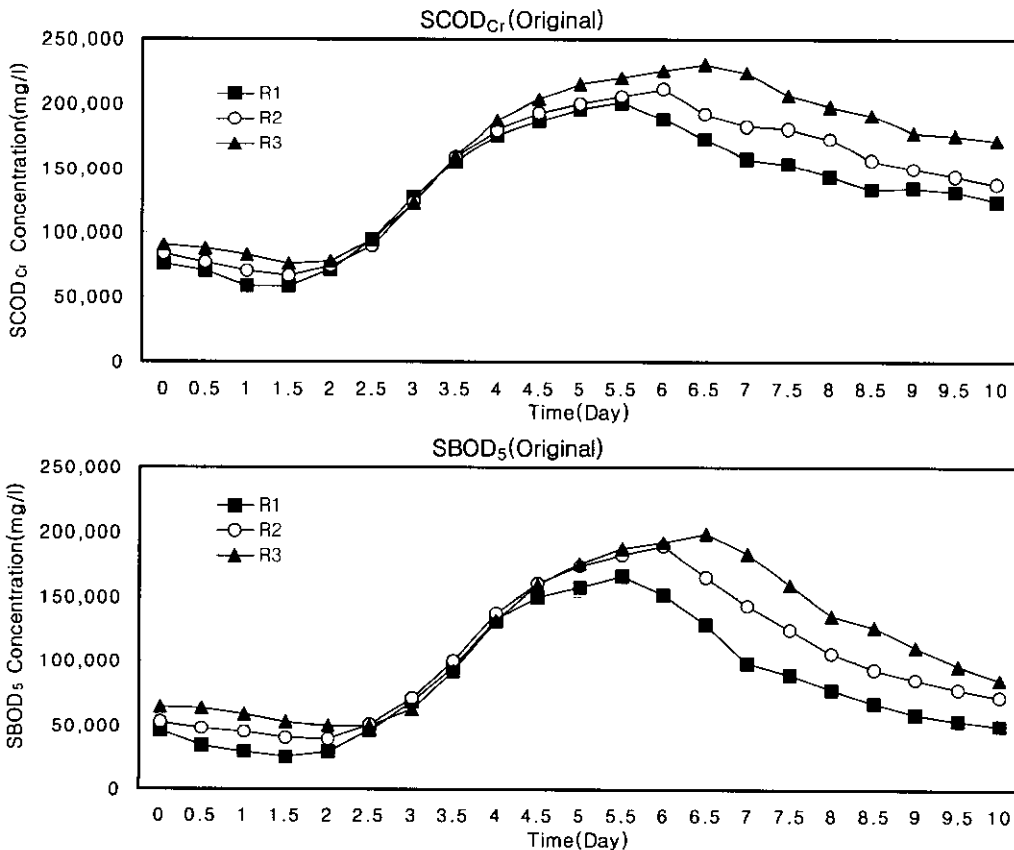
SCOD_{Cr}, SBOD₅, STOC 변화를 Fig. 4에 나타내었으며, 먼저 R₁, R₂, R₃의 실험기간 동안의 SCOD_{Cr}의 변화는 유기물부하에 따라 유기물부하가 낮은 R₁은 초기의 감소기간이 짧고 유기물의 빠른 분해속도와 더불어 5.5일째 가장 높은 201,000mg/ℓ를 나타내고 그 이후로 다소 완만히 감소하였으며, 유기물부하가 가장 높은 R₃는 유기물분해가 느리게 진행됨에 따라 6.5일째 가장 높은 231,000mg/ℓ를 나타내었다.

또 실험기간 동안의 SBOD₅ 변화를 살펴보면 SBOD₅도 역시 SCOD_{Cr}과 같이 초기에 감소하는 경향을 나타내고 또 유기물부하에 따라 부하가 낮은 R₁이 5.5일째에 최고치 166,000mg/ℓ를 나타내었고, 부하가 가장 높은 R₃가 6.5일째 최고치 199,000mg/ℓ를 나타내었다. 하지만 SBOD₅의 경우 최고농도를 나타낸 후 시간이 경과함에 따라 급격한 감소를 보였다. 마지막으로 R₁, R₂,

R₃의 STOC변화를 살펴보면 대체로 SBOD₅의 변화와 비슷한 즉 유기물부하가 높을수록 최고치를 나타낸 시간이 늦고, 최고농도가 높게 나타났고 여기에 비추어 보면 SCOD_{Cr}, SBOD₅, STOC의 농도는 VS의 생물학적으로 분해속도와 분해량에 따라 좌우됨을 알 수 있다. 그리고 R₁, R₂, R₃의 최고점 도달시간대의 SCOD_{Cr}중 SBOD₅의 비는 Table. 4에 나타내었다.

Table 4. Ratio of SBOD₅/SCOD_{Cr} at Peak Time (Original)

Run. number	Item	SBOD ₅ /SCOD _{Cr} (%)	Time (Day)
R ₁		82.5	5.5
R ₂		89.5	6
R ₃		86.1	6.5



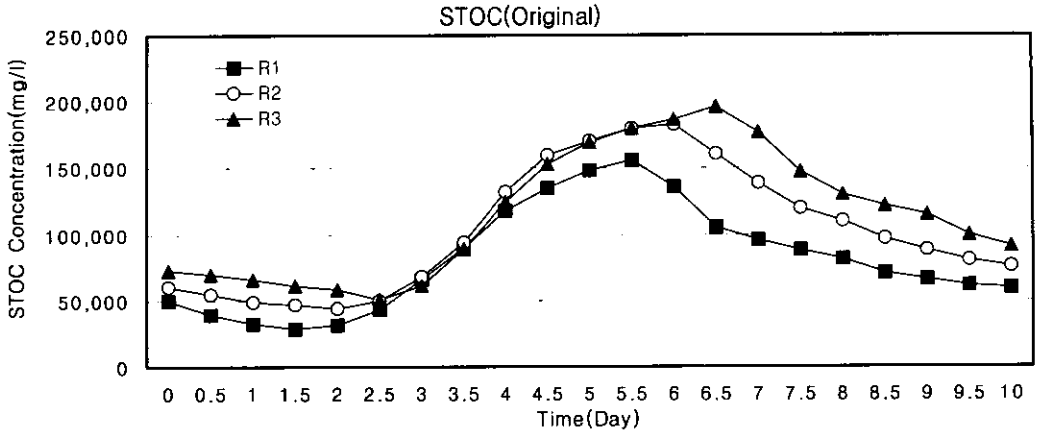


Fig. 4. Variation of SCOD_{Cr}, SBOD₅ & STOC Concentrations Depending on Loading by Organic Matters(Original)

4. VFAs 변화

Fig. 5에서 Total VFAs 변화를 나타내었으며, VFAs는 실험시작시부터 완만히 증가하다가 유기물부하가 낮은 R₁은 실험2일째부터 급속히 증가하여 5일째 가장 높은 농도 10,120mg/ℓ를 나타내었고 그 이후로 다시 빠른 속도로 감소하는 것을 알 수 있으며, 유기물부하가 가장 높은 R₃의 경우는 3일째까지는 완만히 축적되고 그 후 R₁과 마찬가지로 6.5일까지 빠른 속도로 증가하여 최고치 13,720 mg/ℓ를 정점으로 급속히 감소하여 VFAs의 농도 변화는 유기물의 분해속도 및 농도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

5. ST-N 및 Cl⁻ 변화

Fig. 6에서 실험중 ST-N농도와 Cl⁻농도를 나타내었다.

먼저 ST-N의 농도변화를 살펴보면, 실험시작부터 다소 빠른 속도로 감소하며, 유기물부하가 낮은 R₁의 경우는 2일째부터 감소 속도가 완만해지고 유기물부하가 가장 높은 R₃는 3일째까지 빠른 속도로 감소하여 ST-N의 변화도 유기물부하와 밀접한 관계를 보였는데 이는 ST-N은 미생물의 성장과 증식에 사용되어 농도가 감소된 것으로 생각된다. 그리고 Cl⁻의 농도변화를 보면 대체로 ST-N의 감소경향과 상반되게 실험시작부터 완만히 증

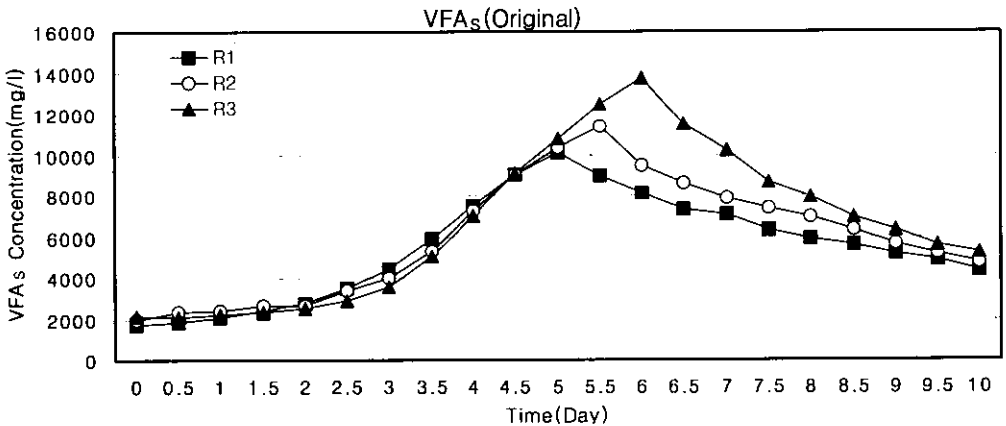


Fig. 5. Variation of VFAs & Ethyl alcohol Concentrations Depending on Loading by Organic Matters(Original)

가하고 유기물부하에 상관없이 비슷한 속도와 농도로 증가하였으며 이는 고형물에 포함되어 있는 Cl^- 이 고형물이 분해됨에 따라 그 농도가 증가한 것으로 사료되며, 6.5일경부터는 거의 비슷한 농도를 유지하였다. 그리고 $SBOD_5$ 가 최고농도를 나타낼 때의 $SBOD_5 : ST-N$ 비는 Table. 5와 같다.

Table 5. Ratio of $SBOD_5 : ST-N$ at $SBOD_5$ Peak Time(Original)

Run. number	Item	$SBOD_5 : ST-N$	Time (Day)
R ₁		243 : 1	5.5
R ₂		278 : 1	6
R ₃		293 : 1	6.5

6. 발생Gas 농도변화

실험진행동안의 발생Gas의 농도변화폭 Fig. 7에 CH_4 농도, CO_2 농도를 나타내었다. 먼저 CH_4 농도 변화폭 보면 2.5일까지는 농도증가가 미약했으며, 유기물부하 낮아 분해가 빠른 R₁은 3일째부터 큰 폭으로 증가하여 6일을 정점으로 다시 아주 완만히 감소하였고, R₃는 R₁에 비해 다소 완만히 증가하여 7.5일에 최고농도를 나타내었다. 이는 유기산의 축적으로 CH_4 생성미생물의 활동이 장애를 일으켜 CH_4 농도가 지속적인 증가가 이루어지지 못한 것으로 생각된다. 그리고 CO_2 의 농도변화를 살펴보면 CH_4 와는 달리 시작부터 빠른 속도로 증가하는 경향을 나타내었고 역시 유기물부하에 따라 농도 증가속도와 농도의 차이를 나타내었으며 5.5일부터 다소 빠른 속도로 감소하였다가 CH_4 의 농도증가가

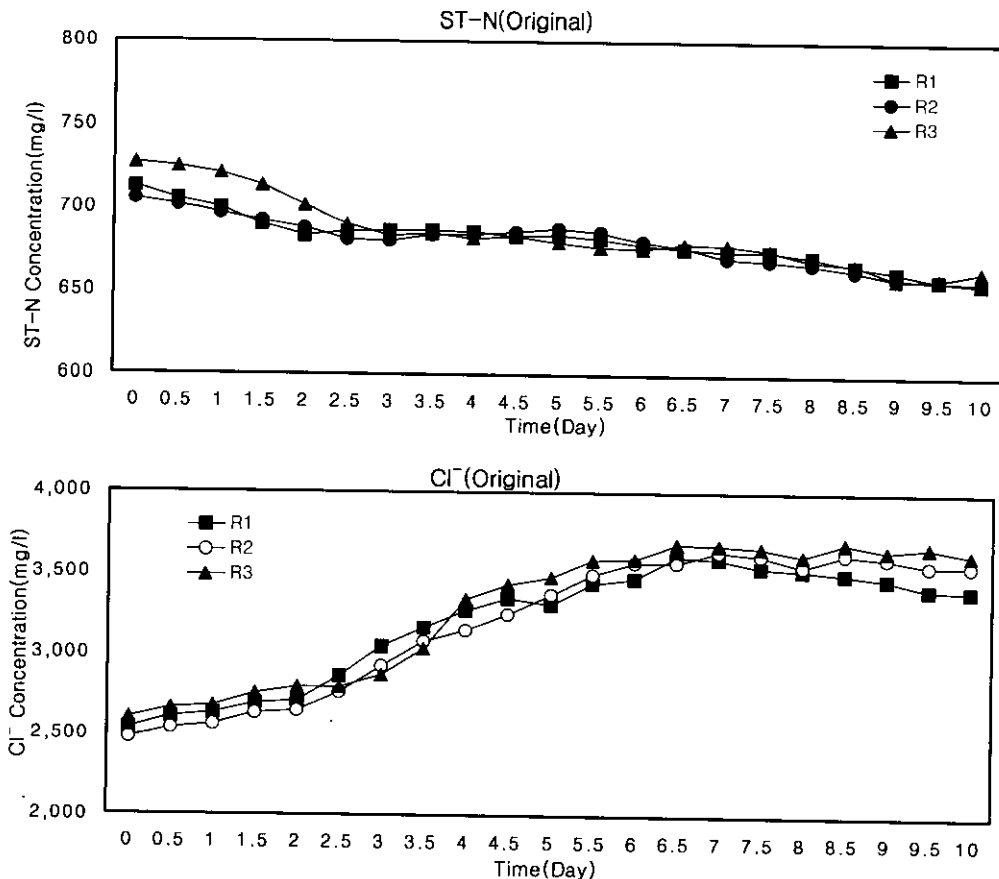


Fig. 6. Variation of $ST-N$ & Cl^- Concentrations Depending on Loading by Organic Matters(Original)

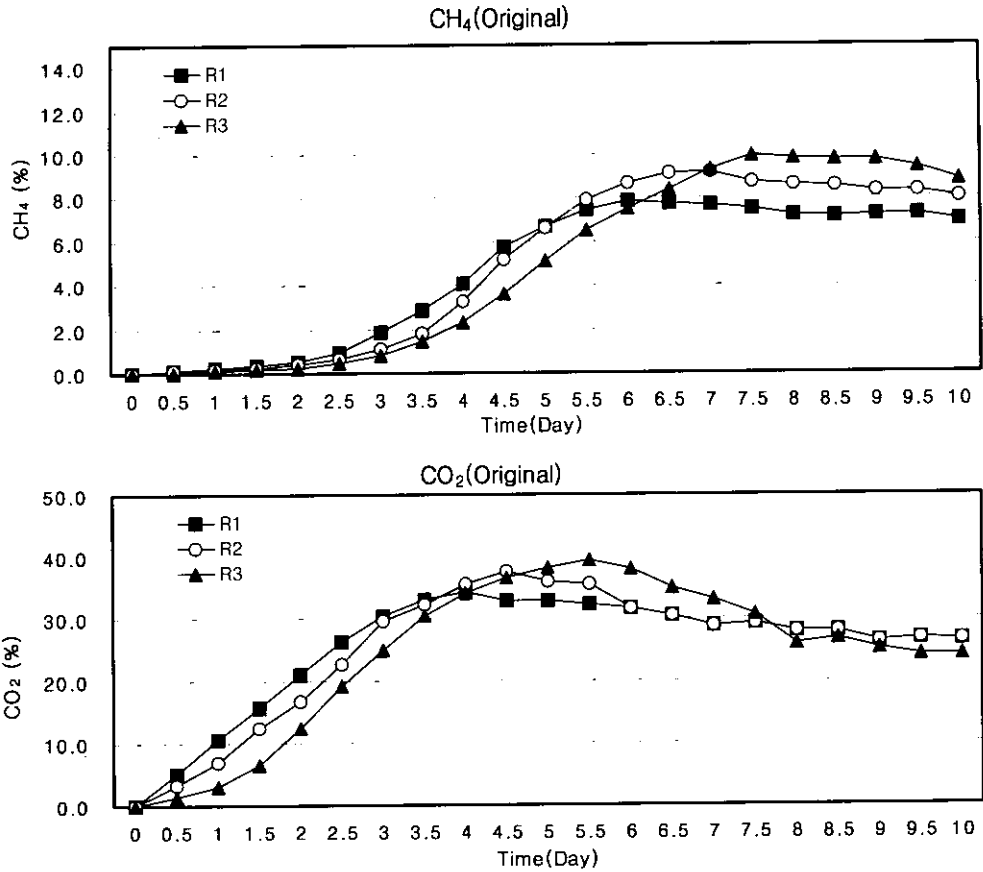


Fig. 7. Variation of CH₄ & CO₂ Concentrations Depending on Loading by Organic Matters(Original)

감소하는 시점에서는 CO₂농도의 감소가 완만해지는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

생물학적 질소제거공정의 탄소원 대체를 위한 음식폐기물의 산발효 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 음식폐기물의 산발효시 유기물부하가 낮을수록 분해속도가 빨랐으나, 생성유기산의 농도가 낮고, SBOD₅ : ST-N비 그리고 SBOD₅/SCOD_{Cr}비가 낮았다.
- 2) TS 및 TS중 VS는 약 6일경까지는 빠른 감소를 보였고 이후 완만한 감소를 보였고, SCOD_{Cr}, SBOD₅, STOC 및 VFA_s는 실험시

작후 약 2일째까지는 완만한 증가 또는 감소하였다가 큰 폭의 농도 증가를 보이며, 최고농도를 나타낸 후 다시 빠른 속도로 감소하는 경향을 보였다.

- 3) 약 5일이 경과 한 후부터 유기산의 축적에 기인한 CH₄생성 미생물의 활동이 제한되어 CH₄농도의 감소가 일어났다.
- 4) 최고농도를 나타낼 때의 VFA_s의 농도는 R₁이 10,120mg/l, R₂가 11,380mg/l, R₃가 13,720 mg/l로 유기물부하가 가장 높은 R₃가 가장 높은 농도를 보였다.
- 5) SBOD₅가 최고 농도일 때의 SBOD₅ : ST-N비는 R₁이 243:1, R₂가 278:1, R₃이 293:1로 나타나 모두 높은 SBOD₅ : ST-N비를 보였으며, 이중 R₃가 가장 높은 비율 보였다.

6) $SBOD_5/SCOD_Cr$ 비와 $SBOD_5 : ST-N$ 비를 살
 펌바 생물학적 질소제거공정의 탄소원으로
 적정한 구성비를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 심재곤 : 음식물쓰레기 관리 정책 추진 방향, 국
 립환경연구원 주최 음식물쓰레기줄이기 연구결
 과 공동 발표회, pp.5-19, 1998.
2. 신항식, 황용주, 지재성 : 한국의 음식물찌꺼기
 관리 현황 및 전망, 한국유기성폐자원학회지, 제
 6권2호 pp.1-5, 1998.
3. 엄원탁, 엄태규, 라원식 : 폐 sludge와 분뇨의 혼
 합처리에 있어서 저온 혐기성 소화에 관한 연구,
 한국폐기물학회지, 제8권2호 pp.163-174, 1991.
4. 조재경, 이준표, 이진석 : 주방폐기물의 고상 혐
 기성 소화에 관한 연구, 한국 폐기물학회지, 제
 11권4호 pp.556-568, 1994.
5. 성일화, 유명진, 김동민 : 유기질 고형 폐기물과
 하수 슬러지의 혼합 혐기성 소화에 관한 연구,
 한국 폐기물 학회지, 제3권1호 pp.1-14, 1986.
6. 강정구, 박후원 : 혐기성 처리공법에 의한 분뇨와
 주방폐기물의 혼합처리에 관한 연구, 한국폐기
 물 학회지, 제7권1호 pp. 20-24, 1991.
7. 환경관리연구소 : 98환경산업총람, pp. 242-243,
 1998.