

## pH조절이 음식폐기물의 유기산발효에 미치는 영향

조한진 · 성낙창 · 김은호\* · 장성호\* · 손영일\* · 박진식\*\*

동아대학교 환경공학과 · 국립밀양대학교 환경공학과\* · 경운대학교 환경공학과\*\*

### Effect of pH on the VFAs fermentation in the anaerobic treatment of food waste

Han Jin Cho · Nak Chang Sung · Eun Ho Kim\*

Seong Ho Jang\* · Young Il Son\* · Jin Sick Park\*\*

*Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University*

*Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University\**

*Dept. of Environmental Engineering, Kyungwoon University\*\**

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the created liquid post-acid fermentating of usability of denitrification as exterior carbon sources by pH control.

The time of acid fermentation of food waste, the slower loading capacity of organic matter, the faster decomposition rate, but the density of generation Volatile Fermentation Acids(VFAs), was weak and, SBOD<sub>5</sub>:ST-N rate and SBOD<sub>5</sub>/SCOD<sub>Cr</sub> rate was low. Between TS and VS, VS was decreased to 4.5th day fast, and then was decreased slowly. 1.5 days after stating the experiments, SCOD<sub>Cr</sub>, SBOD<sub>5</sub>, STOC and VFAs was decreased or increased slowly, and then increased fast. And after showing the highest density, it was tended to decreased fast.

At the time of SBOD<sub>5</sub> with the highest density, at SBOD<sub>5</sub>:ST-N ratio, R<sub>1</sub> was 303:1, R<sub>2</sub> was 319:1, R<sub>3</sub> was 334:1. All of these were high SBOD<sub>5</sub>:ST-N ratios. And R<sub>3</sub> was the highest. After studying SBOD<sub>5</sub>:ST-N ratio and SBOD<sub>5</sub>/SCOD<sub>Cr</sub> ratio, as a carbon source of biological denitrification it was profitable composition ratio.

#### I. 서 론

음식물폐기물 발생량은 1998년 기준으로 전체 생활쓰레기 발생량(44,583톤/일)의 27.1%(11,230톤/일)을 차지하고 있으며 이들 음식물쓰레기는 수분 함량이 75~85%로 높고, 발열량이 낮아 소각처리(최소 발열량: 1000~1300kcal/kg)가 사실상 불가능하며 유기물함량이 80%이상으로 쉽게 부패 할

수 있으므로 운반 및 매립처리시 악취, 병원균, 지하수 오염등 여러 가지 환경오염 문제를 유발시킨다. 우리나라의 경우 현재 음식물쓰레기의 70.4%가 매립 처리되고 있으며, 재활용되는 양은 하루 2,566톤으로서 전체의 21.7%를 차지한다. 이러한 매립의 경우도 매립지 확보 문제 등으로 인하여 그 처리·처분을 소각이나, 자원화 형태로 전환하지 않으면 안될 상황이다.

외국의 경우 환경오염 방지와 개발이라는 측면에서 유기성 도시 폐기물의 처리 및 처분에 폐기물의 물리·화학적 조성의 특성에 따라 소각에 의한 열회수를 비롯하여, 매립지에서 메탄가스추출, 퇴비화등의 여러 가지 방법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

음식물쓰레기를 안정적으로 자원화 하기 위해서는 안정된 자원화기술의 확보가 무엇보다 중요하다. 음식물쓰레기의 자원화 방안으로는 사료화, 퇴비화, 혐기성 소화 등이 있으며 1998년 현재 사료화(73.1%), 퇴비화방법(26.9%)이 주를 이루고 있다. 음식물쓰레기에 적절한 bulking agent를 첨가하여 퇴비화하면 감량화, 안정화, 재활용이 동시에 이루어질 수 있게 되며 또는 신진도를 유지한 상태에서 건조하거나 발효시켜 동물의 사료로 재활용할 수도 있어 개략적으로 1톤당 약8만원으로 추산되는 재활용 효과를 기대할 수 있다. 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.

또한 국내 주요하천의 부영양화 및 해양의 적조 발생 빈도가 높아짐에 따라 질소·인의 처리가 요구되어 1996년 1월부터 질소·인에 대한 총량규제가 실시되었다. 따라서 기존하수처리장의 공정개선과 신설하수처리장건설에 질소제거 공정이 추가되었으나, 우리나라 발생하수의 성상이 탈질공정의 적정요구 C/N비를 충족시키지 못하는 실정으로 Alcohol, Acetic acid등의 인위적인 탄소원을 주입해야만 정상적인 탈질공정의 운영이 가능하게 됨으로써 하수처리 비용의 상승을 초래하게 되었다.

이에 본 연구는 pH 조절에 의한 음식폐기물의 산발효특성을 고찰하여 산발효 후 상징액을 질소 제거공정의 대체탄소원으로 사용가능성을 검토하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 실험방법

### 1. 시 료

본 연구에 사용된 음식물폐기물의 경우 부산 D

Table 1. Characteristics of Food waste

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

대학교내 구내식당에서 발생하는 것을 채취하여 자연상태에서 수분간 방치하여 저부의 국물성의 수분을 제거한 후 시료로 사용하였으며, 부산 S하수처리장의 소화슬러지를 음식폐기물을 투입한 발효조에서 20일간 적용기간을 거치고 난 후의 슬러지를 접종하였고 이후로는 산 발효를 끝낸 슬러지를 이용하여 접종하였다. 실험에 이용된 음식물쓰레기의 성상을 Table 1에 나타내었다.

Table 1에 나타내었듯이 VS/TS가 93.5%로 대부분이 유기물임을 알 수 있었다. 또한, 음식물쓰레기의 문제점중의 하나인 Cl<sup>-</sup>농도는 2,500mg/ℓ를 나타내어 역시 높은 염분을 함유하고 있음을 나타내었다.

### 2. 실험장치 및 실험방법

Fig. 1은 본 실험에 사용된 회분식 혐기성 산발효조의 모형도이다. 본 실험에 이용된 혐기성 산발효조는 유효용량이 10ℓ(총용량 12ℓ)인 아크릴로 제작된 원형 발효조를 사용하였으며, 발효조의 온도는 실제 하수처리장의 혐기성 소화조에서 이용

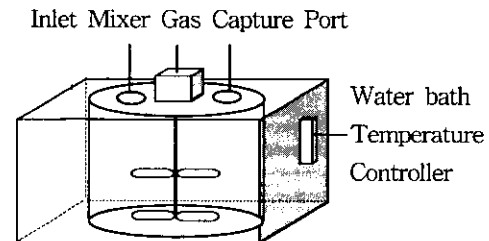


Fig. 1. Schematics of experimental apparatus

하고 있는 중온성 혐기성 소화온도인 35±1℃를 유지하면서, 원활한 혼합을 위해 교반기를 이용하였다. 가스의 포집은 용량이 10ℓ인 Teflon Bag을 사용하였으며 실험은 10일동안 실시하였다. 주입된 시료의 분석은 1일 2회 행하였으며, 분석항목은 TS, VS, pH, SCOD<sub>cr</sub>, SBOD<sub>5</sub>, STOC, VFAs, Cl<sup>-</sup>, ST-N이며 TS, VS의 경우 폐기물공정시험법을, pH는 pH meter로 측정하였고, SCOD<sub>cr</sub>, SBOD<sub>5</sub>, VFAs, Cl<sup>-</sup>, 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 2에 나타낸것 처럼 운전조건을 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>는 10mm이하로 파쇄한 후 유기물부하를 달리한 시료를 NaHCO<sub>3</sub>를 이용하여 Alkalinity를 3,000 mg/l로 조절하고 운전과정에 pH가 6이하로 떨어질 때 NaOH를 사용하여 pH를 7로 조절하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. pH 변화

R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>의 pH 변화를 Fig. 2에 나타내었다.

파쇄와 pH를 조절한 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>의 경우는 pH가 6이하로 나타났을 때 NaOH를 이용하여 pH7로 조

Table 2. Operating conditions of anaerobic digestion

Run. number	Operating condition Temp. (°C)	Operating period(d)	Loading capacity of Organic matter (gVSS/L)	Remark
R <sub>1</sub>	35±1	10	150	cutting & pH control
R <sub>2</sub>	35±1	10	200	cutting & pH control
R <sub>3</sub>	35±1	10	250	cutting & pH control

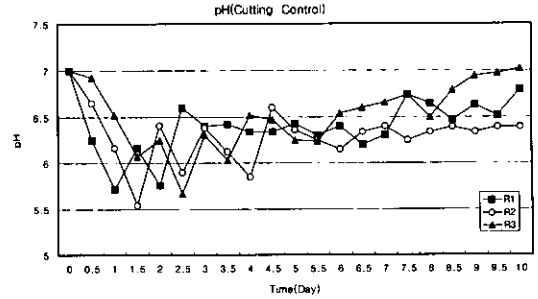


Fig. 2. Variation of pH Depending on Loading by Organic Matters(Cutting Control)

절하였기 때문에 pH의 변화는 크지 않았으나 유기물 부하가 높은 R<sub>3</sub>의 경우 5일째까지 pH가 감소하여 NaOH의 투입이 필요했고 유기물 부하가 낮은 R<sub>1</sub>은 실험개시 후 빠른 pH의 감소를 일어켜 1일째에 NaOH의 투입이 필요했으나 3일째부터는 알카리제 투입은 필요하지 않았다.

#### 2. 고형물 변화

고형물분해 경향을 Fig. 3에 나타내어 그 변화를 살펴보았다.

TS 분해경향은 유기물부하가 가장 낮은 R<sub>1</sub>이 빠르게 분해되고 부하가 높은 R<sub>3</sub>의 경우는 R<sub>1</sub>보다 초기의 분해속도는 완만하였으나 전체적인 TS의 분해율은 R<sub>1</sub>에 비해 높았다. 유기물부하가 낮을수록 분해속도는 빨라 R<sub>1</sub>은 3일째부터 분해속도가 완만해졌고 R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>은 각각 4일, 5일째부터 분해속도가 완만해졌다. 발효개시 부터 빠른 분해경향을 나타내었고 TS중의 VS도 빠른 분해속도 및 높은 분해율을 보였다. 그리고 각각 3.5일, 4일, 4.5일째부터는 감소속도가 완만한 것을 알 수 있다. VS가 90.6%를 차지하고 있는 R<sub>1</sub>은 3.5일째 78.6%로 감소하여 가장 빠른 분해속도를 나타내었고, 93.3%의 R<sub>2</sub>은 4일째 80.2%로 감소하였으며, 96.7%의 R<sub>3</sub>는 4.5일째 79.9%로 감소하여 VS의 분해량은 R<sub>3</sub>가 가장 크게 나타났다. 그러나 계속적인 분해가 일어나는 것을 볼 수 있었고, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>의 10일째 TS 및 TS중 VS의 분해율은 Table 3에 나타내었다.

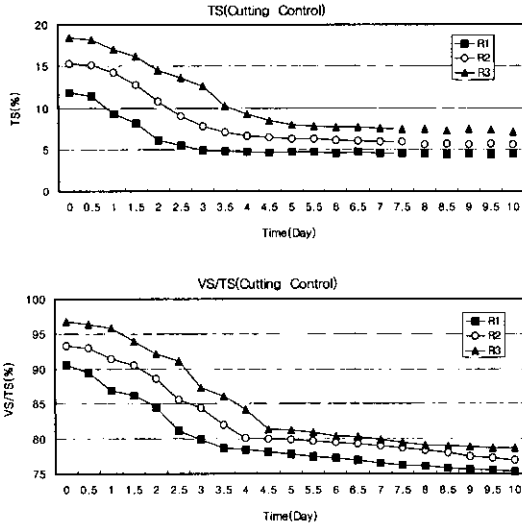


Fig. 3. Variation of TS & VS/TS Depending on Loading(Cutting Control)

Table 3. removal ratio of TS and VS/TS at 10Day(Cutting Control)

Run. number \ Item	TS	VS/TS
R <sub>1</sub>	62.4	16.8
R <sub>2</sub>	63.5	17.5
R <sub>3</sub>	61.7	18.7

### 3. SCOD<sub>Cr</sub>, SBOD<sub>5</sub>, STOC 변화

SCOD<sub>Cr</sub>, SBOD<sub>5</sub>, STOC 변화를 Fig. 4에 나타내었으며, SCOD<sub>Cr</sub>은 유기물부하가 낮은 R<sub>1</sub>이 초기의 감소기간이 짧고 유기물의 빠른 분해속도와 더불어 4일째 가장 높은 179,500mg/l를 나타내었으나 그 이후로 다소 빠른 감소를 보였으며, 유기물부하가 가장 높은 R<sub>3</sub>는 R<sub>1</sub>에 비해 유기물분해가 느리게 진행됨에 따라 5일째 가장 높은 224,800mg/l를 나타내었다.

또 BOD<sub>5</sub> 농도변화를 살펴보면 SBOD<sub>5</sub>도 역시 SCOD<sub>Cr</sub>과 같이 초기에 감소하는 경향을 나타내고 또 유기물부하에 따라 부하가 낮은 R<sub>1</sub>이 4일째에 최고치 161,400mg/l를 나타내었고, 부하가 가장 높은 R<sub>3</sub>가 5일째 최고치 181,300mg/l를 나타내었다. STOC의 변화는 거의 SCOD<sub>Cr</sub>, SBOD<sub>5</sub>의 변화와 유사하여 유기물부하가 높을수록 최고치를 나타낸

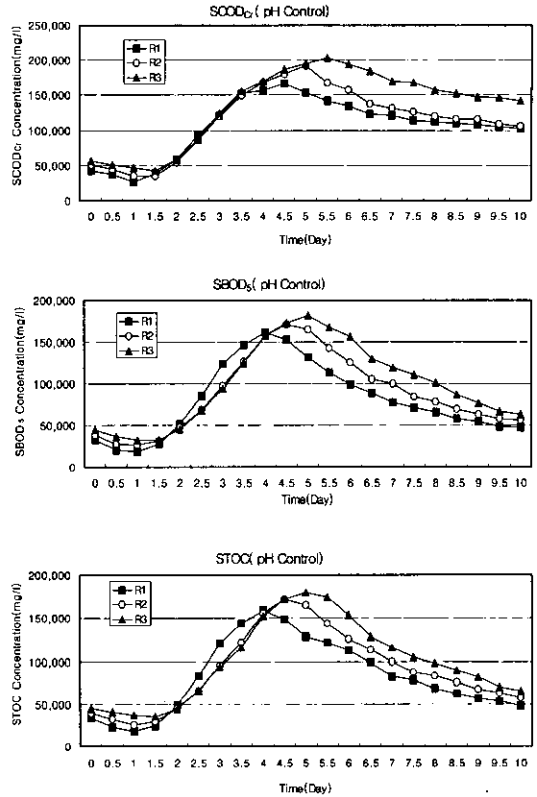


Fig. 4. Variation of SCOD<sub>Cr</sub>, SBOD<sub>5</sub> & STOC Concentrations Depending on Loading by Organic Matters(pH Control)

시간이 늦고, 최고농도가 높게 나타난 것을 알 수 있으며, SCOD<sub>Cr</sub>, SBOD<sub>5</sub>, STOC 모두 최고점 도달 시간이 빨라졌다. 그리고 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>의 최고점 도달 시간대의 SCOD<sub>Cr</sub>중 SBOD<sub>5</sub>의 비는 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Ratio of SBOD<sub>5</sub>/SCOD<sub>Cr</sub> at Peak Time(pH Control)

Run. number \ Item	SBOD <sub>5</sub> /SCOD <sub>Cr</sub> (%)	Time (Day)
R <sub>1</sub>	89.9	4
R <sub>2</sub>	86.5	4.5
R <sub>3</sub>	80.6	5

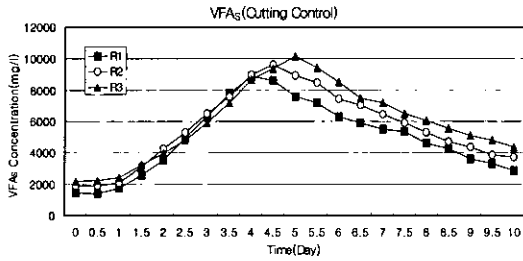


Fig. 5. Variation of VFAs Concentrations Depending on Loading by Organic Matters (Cutting Control)

#### 4. VFAs 변화

Fig. 5에 Total VFAs 변화를 나타내었으며, VFAs는 실험시작시 부터 빠른 속도로 증가하여 유기물부하가 낮은 R<sub>1</sub>은 4일째 가장 높은 농도 8,900mg/l를 나타내었고 그 이후로 다시 빠른 속도로 감소하였으며, 유기물부하가 가장 높은 R<sub>3</sub>의 경우는 R<sub>1</sub>과 마찬가지로 5일까지 빠른 속도로 증가하여 최고치 10,150mg/l를 정점으로 급속히 감소하여 VFAs의 농도변화는 유기물의 분해속도 및 농도와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

#### 5. ST-N 및 Cl<sup>-</sup> 변화

Fig. 6에 실험중 ST-N농도와 Cl<sup>-</sup>농도를 나타내었다.

먼저 ST-N의 농도변화를 살펴보면, 실험시작부터 다소 빠른 속도로 감소하며, 유기물부하가 낮은 R<sub>1</sub>의 경우는 3.5일째부터 감소 속도가 완만해지고 유기물부하가 가장 높은 R<sub>3</sub>는 5일째까지 빠른 속도로 감소하여 ST-N의 변화도 유기물부하와 밀접한 관계를 보였으며, ST-N농도의 감소는 미생물의 성장과 증식에 사용되었기 때문으로 생각된다. 그리고 Cl<sup>-</sup>의 농도변화를 보면 실험시작부터 완만히 증가하고 유기물부하에 상관없이 비슷한 속도와 농도로 증가하였으며, 4일경부터는 거의 비슷한 농도를 유지하였다. Table. 5에 SBOD<sub>5</sub>가 최고점에 도달시의 SBOD<sub>5</sub>:ST-N 비를 나타내었다.

#### 6. 발생Gas 농도변화

실험진행동안의 발생Gas의 농도변화를 Fig. 7에

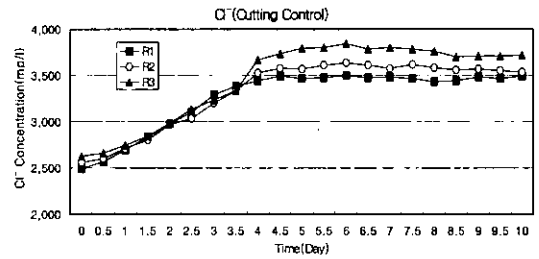
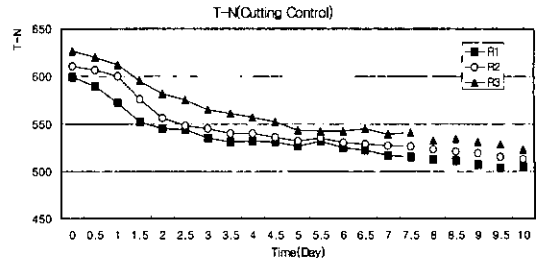


Fig. 6. Variation of ST-N & Cl<sup>-</sup> Concentrations Depending on Loading by Organic Matters(Cutting Control)

Table 5. Ratio of SBOD<sub>5</sub>:ST-N at SBOD<sub>5</sub> Peak Time(Cutting Control)

Run. number	Item	SBOD <sub>5</sub> :ST-N	Time (Day)
R <sub>1</sub>		303 : 1	4
R <sub>2</sub>		319 : 1	4.5
R <sub>3</sub>		334 : 1	5

CH<sub>4</sub>농도, CO<sub>2</sub>농도를 나타내었다. 먼저 CH<sub>4</sub>농도 변화를 보면 전체적으로 큰 폭으로 농도증가 한 것을 알 수 있으며, 유기물부하 낮아 분해가 빠른 R<sub>1</sub>이 R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>에 비해 농도의 증가가 빨랐고 농도의 감소가 일어나지 않고 지속적인 증가를 볼 수 있는데 이는 pH가 저하 될 때마다 NaOH를 주입함으로써 CH<sub>4</sub>생성 미생물의 활동이 원활하게 이루어져 CH<sub>4</sub>농도가 지속적인 증가가 지속된 것으로 생각된다. 그리고 CO<sub>2</sub>의 농도변화를 살펴보면 CH<sub>4</sub>와는 달리 시작부터 빠른 속도로 증가하는 경향을 나타내었고 역시 유기물부하에 따라 농도 증가속도와 농도의 차이를 나타내었으며 최고농도를 나타내고 빠른 속도로 농도의 감소가 나타났고 약 5일 부터는 감소속도가 완만해지는 것을 알 수 있다.

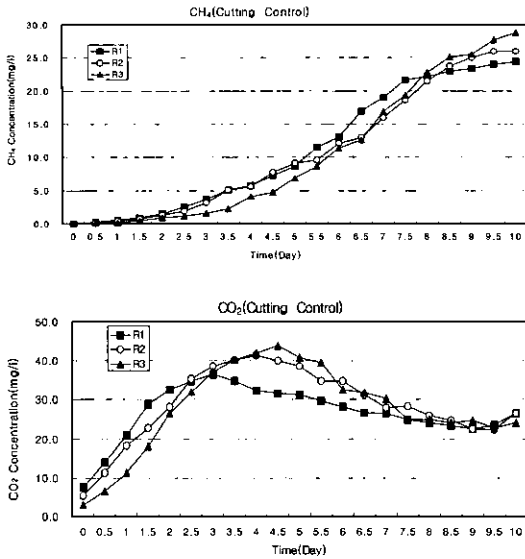


Fig. 7. Variation of CH<sub>4</sub> & CO<sub>2</sub> Concentrations Depending on Loading by Organic Matters (Cutting Control)

#### IV. 결 론

pH조절이 음식폐기물의 산발효에 미치는 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 음식폐기물의 산발효시 유기물부하가 낮을수록 분해속도가 빨랐으나, 생성유기산의 농도가 낮고, SBOD<sub>5</sub>:ST-N비 그리고 SBOD<sub>5</sub>/SCOD<sub>Cr</sub>비가 낮았다.
2. TS 및 TS중 VS는 전처리가 없는 경우에 비하여 다소 빠른 약 4.5일경까지는 빠른 감소를 보였고 이후 완만한 감소를 보였고, SCOD<sub>Cr</sub>, SBOD<sub>5</sub>, STOC 및 VFAs는 실험시작후 약1.5일 쯤까지는 완만한 증가 또는 감소하였다가 큰 폭의 농도 증가를 보이며, 최고농도를 나타낸 후 다시 빠른 속도로 감소하는 경향을 보였다.

3. pH조절을 실행하였기 때문에 충분한 알칼리도로 인해 CH<sub>4</sub>농도의 증가가 지속적으로 이루어졌다.
4. 최고농도를 나타낼 때의 VFAs의 농도는 R<sub>1</sub>이 8,900mg/l, R<sub>2</sub>가 9,600mg/l, R<sub>3</sub>가 10,150mg/l로 유기물부하가 가장 높은 R<sub>3</sub>가 가장 높은 농도를 보였다.

#### 참 고 문 헌

1. 환경부, 2000. 환경백서
2. 심재곤: 음식물쓰레기 관리 정책 추진 방향, 국립환경연구원 주최 음식물쓰레기 줄이기 연구결과 공동 발표회, pp.5~19(1998)
3. 신항식, 황응주, 지재성: 한국의 음식물찌꺼기 관리 현황 및 전망, 한국유기성폐자원학회지 제 6권 제 2호 pp.1~5(1998)
4. 장성호, 조한진, 손영일: 탈질화의 외부 탄소원 제공을 위한 음식폐기물의 유기산발효, 대한위생학회지 제15권 제 3호, pp.15~23(2000)
5. 장성호, 박진식: 소도시 생활쓰레기의 밀도조사에 관한 연구, 밀양대학교 산업과학기술연구소보 Vol. 10., pp.29~34(2000. 7)
6. 장성호, 김은호: 혐기성처리를 위한 탄소원의 최적혼합비율결정에 관한 연구, 대한위생학회지 Vol. 14, No. 3, pp.15~22(1999. 9)
7. 박진식, 장성호, 김수생: 철덩굴을 이용한 남은 음식물의 발효사료화, 대한위생학회지 Vol. 14, No. 2, pp.90~95(1999. 6)
8. 조재경, 이준표, 이진식: 주방폐기물의 고상 혐기성 소화에 관한 연구, 한국 폐기물학회지 제 11권 4호 pp.556~568(1994)
9. 강정구, 박후원: 혐기성 처리공법에 의한 분뇨와 주방폐기물의 혼합처리에 관한 연구, 한국폐기물 학회지, 제 7권 1호, pp. 20~24(1991)