

NaOH 첨가에 따른 음식물찌꺼기 고온 혐기성 산발효

안철우* · 이철승¹⁾ · 서종환¹⁾ · 박진식²⁾ · 문추연²⁾ · 장성호³⁾ · 김수생¹⁾

국립공원관리공단 오대산사무소, ¹⁾동아대학교 환경공학과, ²⁾경운대학교 한방자원학부, ³⁾밀양대학교 환경공학과

(2004년 9월 30일 접수, 2004년 11월 27일 수리)

Thermophilic Anaerobic Acid Fermentation of Food Wastes after NaOH Addition

Chul-Woo Ahn, Chul-Seung Lee¹⁾, Jong-Hwan Seo,¹⁾ Jin-Sik Park²⁾, Choo-Yeon Moon²⁾, Seong-Ho Jang³⁾ and Soo-Seang Kim¹⁾ (Korea National Parks Authority, Pyungchang 232-941, Korea, ¹⁾Dept. of Environmental Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea, ²⁾School of Herb Medicine Resource, Kyungwoon University, Gumi 730-852, Korea, ³⁾Dept. of Environmental Engineering, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea)

ABSTRACT : This study showed that thermophilic anaerobic acid fermentation of food wastes had an enhanced hydrolysis capability and improvement of acidification efficiency. Influence of pH on the anaerobic hydrolysis and acidogenesis was investigated to determine the proper alkalinity in the thermophilic fermentation of food wastes. The results of putting NaOH as alkali to evaluate hydrolysis and acid fermentation efficiency in acid fermentation process of food wastes showed that the food wastes pretreated with 0.05 g NaOH/g TS had the maximum 12,600 mg/L of VFAs concentration during HRT 3 days in 55°C thermophilic condition and the maximum 9,700 mg/L of VFAs concentration during HRT 5 days in 35°C mesophilic condition. The accomplishment of high VFAs concentration resulted from that the main component of food wastes such as cellulose, lignin and etc. is performed active chemical decomposition by alkali in thermophilic condition. The major components of VFAs produced from the thermophilic acid fermentation process of food wastes were the short chain fatty acids such as acetic acid, butyric acid, and propionic acid.

Key words: food wastes, thermophilic anaerobic acid fermentation, alkalinity, volatile fatty acids(VFA).

서 론

음식물찌꺼기는 생활폐기물의 일부로서 발생되는데 1995년 쓰레기 종량제 도입 이후 생활폐기물 발생량은 실시 이전에 비해 급격히 감소하였으나 근래에는 크게 변화하지 않고 있다¹⁾. 생활폐기물 중 음식물찌꺼기는 수집, 운반, 처분 등에서 가장 환경문제를 크게 일으키는 대표적 환경오염 관심 물질로서 생활폐기물의 25% 비율로 배출되고 있으며, 특히 식량 자원의 약 70%를 해외에서 수입하여 공급하고 있는 국내 실정에서 보면 음식물찌꺼기는 소중한 자원으로서 단순 경제적 가치로서 연간 약 8조원에 이르는 것으로 추산된다²⁾.

이와 같이 음식물이 제대로 이용되어질 때는 귀중한 식량 자원이지만 폐기물로서 배출될 때에는 보관시 악취와 전염병 전파, 처분시 침출수에 의한 토양 및 수자원의 오염과 가스발생 등으로 인하여 대표적 환경오염 물질로 지목되면서 막대

한 처리비용과 높은 환경기술력이 소요되고 있어 환경관리 행정당국은 폐기물관리법을 개정하여 2005년도부터 시 단위 이상 지역에서 발생하는 음식물찌꺼기의 직접 매립을 금지하도록 조치하였기 때문에 향후 음식물찌꺼기의 처리는 중요한 폐기물관리 사업으로 지목되고 있다.

음식물찌꺼기의 처리기술로서 현재까지 가장 보편화되고 있는 기술인 사료화, 퇴비화 등은 여러 가지 현실적인 문제점으로 인하여 크게 보급되지 못하고 있는 실정이며 이로 인해 최근에는 음식물찌꺼기를 하수처리장에서 병합처리 하는 방법이 일부 국내 하수처리장에 도입되고 있다. 왜냐 하면 음식물찌꺼기를 별도 처리하는 경우 처리과정에서 발생하는 환경 문제로 입지선정이 어렵고, 부산물 처리 등에서 어려움이 발생하는데 반하여 기존의 하수처리장을 이용할 경우 건설비 절감 등의 경제적 이익 뿐 만 아니라 혐오시설 건설시 야기 되는 주민민원의 최소화, 기존 하수처리장의 경험 있는 전문 인력을 이용한 종합적인 관리 등의 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 또한 국내 하수처리장 대부분은 하수관로의 미정비로 인해 유입수질이 계획시 보다 낮아 탈질처리에 필요한 유입수의 C/N비가 낮을 뿐만 아니라 슬러지 소화조 등의 부하가

*연락처:

Tel: +82-33-332-6417 Fax: +82-33-333-5461
E-mail: start-now@hanmail.net

현저히 낮아 음식물찌꺼기를 추가 투입하더라도 여유가 있는 것으로 판단되고 있다^{3,4)}. ATV⁵⁾에 의하면 대략 하수처리장의 중온소화조에서 유기물 부하는 15일 소화기간에 3~4 kgVS/m³.d 정도가 설계기준인데 국내하수처리장은 거의 1.0 kgVS/m³.d 정도로 운전되고 있는 것으로 파악되고 있다.

이러한 혐기성 소화기술을 이용한 음식물찌꺼기의 자원화 기술의 성공은 우선 효율적인 가수분해 및 산발효에 의존하기 때문에 효율적인 산발효를 위한 발효환경조건에 관한 연구가 우선 요구되어진다. 현재 보고된 음식물찌꺼기의 산발효 연구결과들은 대부분이 중온 영역(35°C)에서 이루어지거나^{6,7)}, 또는 셀룰로오스의 분해능력이 뛰어나다고 알려진 루멘미생물을 이용하여 산발효 효율을 향상시키고자 하였다^{8,9)}.

그러나 아직 국내에서는 고온(55°C) 영역에서 음식물찌꺼기를 산발효하여 처리하는 방법에 대한 연구나 실용화된 처리 공법이 없는 것으로 알려지고 있다. 고온에서 음식물찌꺼기를 산발효할 경우 고온이 가지는 동력학적인 이점으로 인하여 반응속도의 상승을 가져오게 되고, 이는 반응조 내에서의 수리학적 체류시간을 줄일 수 있으므로 반응조 용적감소의 이점이 있다. 또 고형물질의 함유량이 많은 음식물찌꺼기에 미생물의 활성도가 높은 고온을 적용할 경우 보다 효율적인 산발효가 가능하며, 부패성이 강한 음식물찌꺼기내에 존재하는 병원성 미생물의 사멸에도 보다 효과적인 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 음식물찌꺼기를 기질로 이용한 고온 혐기성 산발효 공법의 타당성 검토 및 산 생성 효율의 최적화를 위한 운전인자를 도출하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 음식물찌꺼기는 부산 D대학교내 구내식당의 음식물찌꺼기 수집통에서 국물성의 수분이 충분히 제거된 것을 채취하였으며, 채취된 음식물찌꺼기는 생선뼈와 같은 불순물을 제거한 후, 음식물찌꺼기의 원활한 분쇄와 상대적으로 높은 염분농도로 인한 영향을 사전에 제거하기 위하여 물과 1:1로 섞어서 가정용 믹서로 파쇄하였다. 파쇄된 시료는 2 mm 체로 거른 후 pH, TS, VS, TCOD_{Cr}, SCOD_{Cr}, Alkalinity, TKN 등의 초기 특성을 분석하였고, 실험에 사용될 때까지 4°C의 냉장고에 최대 1주간 보관하였다. 그리고 본 혐기성 산발효 실험의 초기운전을 위해 식중액으로 사용된 슬러지는 부산시 J하수처리장의 소화슬러지를 채취하여 2 mm 체로 걸러 불순물을 제거한 후 이용하였다. Table 1에 음식물찌꺼기의 초기특성을 항목별로 제시하였다.

실험장치 및 방법

음식물찌꺼기의 회분식 산발효 실험에 이용된 장치는 Fig. 1과 같이 3 L의 삼각플라스크를 이용하였으며, 반응조 상단은 실리콘 마개로 밀봉하여 혐기성 상태를 유지시켰다.

Table 1. Characteristics of food wastes

Item	Unit	Range	Average
pH	-	4.4 ~ 4.9	4.7
TS	%	6.2 ~ 9.8	7.6
VS/TS	%	89.1 ~ 93.8	91.4
TCOD _{Cr}	mg/L	65,300 ~ 120,800	96,500
SCOD _{Cr}	mg/L	23,400 ~ 45,100	32,300
Alkalinity	mg/L	490 ~ 980	760
TKN	mg/L	1,180 ~ 2,560	1,930
T-P	mg/L	390 ~ 710	510
Cl	mg/L	1,420 ~ 4,260	2,940

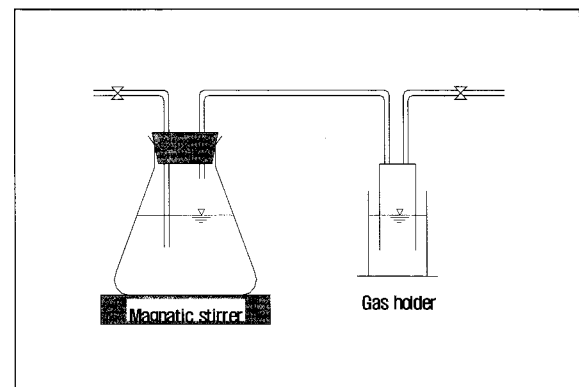


Fig. 1. Schematic diagram of anaerobic batch acid Fermenter.

실험 시작 후 일정기간 경과시마다 시료를 채취하여 분석을 할 수 있도록 상단에는 가스포집 및 시료를 취할 수 있는 장치를 하였으며, 혼합방법은 교반기를 이용하였다.

음식물찌꺼기를 기질로 이용한 혐기성 산발효 공정에 앞서 산발효가 용이하도록 알칼리를 이용한 전처리 실험을 행하고 그에 따른 음식물찌꺼기의 가수분해 및 산발효 효율을 조사하였다. 음식물찌꺼기의 가수분해를 위해 사용된 알칼리 화학약품으로는 가성소다(NaOH)를 이용하였다. 300 mL 플라스크에서 실험이 수행되었으며, 반응조는 시료의 산화에 의한 영향을 피하기 위하여 밀폐하고, 반응이 일어나는 동안 온도는 20°C로 일정하게 유지하였다. 기질이 담긴 각 플라스크에 각각 0 g, 0.001 g, 0.005 g, 0.01 g, 0.05 g, 0.1 g, 0.5 g NaOH/g TS의 NaOH를 투입하여 시간에 따라 변화하는 pH, TCOD, SCOD를 측정하였다.

NaOH를 투입하여 전처리 과정을 거친 음식물찌꺼기를 기질(COD 78,000 mg/L 기준)로 하여 중온(35±1°C)과 고온(55±1°C)에서 각각 산발효 효율을 측정하였다. 3L의 플라스크에 음식물찌꺼기 2.1 L와 소화슬러지 0.9 L를 혼합한 후 플라스크 상단을 밀봉하여 혐기성 상태를 유지시켰다. 시료는 Table 2에 나타난 바와 같이 NaOH 주입량에 따라 0 g, 0.005 g, 0.01 g, 0.0 g, 0.1 g NaOH/g TS로 변화시켜 실험을 수행하였으며, 식중슬러지는 부산시 J하수처리장에서 채취한 소화슬러지를 중온(35°C) 및 고온(55°C)에서 100시간 동안 적용시

Table 2. Operating conditions of batch acid fermenters

Thermophilic condition	R1	R2	R3	R4	R5
Mesophilic condition	R6	R7	R8	R9	R10
Alkaline pretreatment (gNaOH/gTS)	0	0.005	0.01	0.05	0.1
Seeding rate(%)	30	30	30	30	30

Table 3. The condition of Gas Chromatography for VFAs

column	Supelco 4% carbowax 20 M (2 m × 2 mm ID glass)
sample size	1 μL
temperature	Oven temp. 175°C injection port temp. 200°C detector port temp. 220°C
gas flow rate	carrier gas : N ₂ 24 mL/min fuel gas : H ₂ 35 mL/min, Air 340 mL/min

킨 후 각 반응조에 동일하게 30%를 주입하였다. 또한 반응조의 교반 및 온도는 magnetic hot plate를 이용하여 35와 55°C로 유지하였고, 반응조 내에 온도계를 꽂아 매일 온도를 확인하였다.

분석방법

분석을 위한 시료 Sample은 1일 1회 채취하여 TS, VS, pH, COD_{Cr}, SCOD_{Cr}, Alkalinity, VFA 등의 분석에 이용하였다.

TS, VS의 경우는 폐기물공정시험법에 준하여 105°C dry oven에서 건조 후, 전·후 무게 차를 이용하여 TS를 측정하였고, VS는 시료를 550°C에서 강열 감량하여 측정하였다. pH는 pH meter로 측정하였으며 COD_{Cr}, SCOD_{Cr}, Alkalinity는 standard method와 수질오염공정시험법에 준하였다.

SCOD_{Cr}, Alkalinity는 원심분리기를 이용하여 3,000 rpm의 속도로 10분간 원심 분리한 여액을 시료로 사용하였으며, SCOD_{Cr}는 분리한 여액을 유리섬유 여과지(Whatman GF/C Φ 4.7 cm)에 여과시킨 액을 사용하였다. 그리고 발생 가스 조성 및 휘발성유기산(VFA)의 분석은 FID가 부착된 Gas Chromatography HP-5890II)를 이용하여 분석하였으며 VFA분석조건은 Table 3과 같다.

결과 및 고찰

알칼리(NaOH)를 이용한 가수분해 전처리 효과

최근 혐기성 소화에서 가수분해단계가 율속 단계로 보고 되고 있는데¹⁰⁾, 음식물찌꺼기와 같이 유기성 고형물 농도가 높을 경우 가수분해반응이 원활히 이루어지지 않아 메탄생성 반응이 제대로 진행되지 않는다. 따라서 음식물찌꺼기의 혐기성 산발효시 산생성 효율을 높이기 위해서는 음식물찌꺼기

가용화가 우선적으로 요구되어짐에 따라 산발효 과정의 전처리 단계로 음식물찌꺼기에 알칼리(NaOH)를 투입하여 가수분해 효율 파악하고자 하였다.

Fig. 2는 NaOH투입에 따른 각 반응조의 SCOD변화 추이를 나타내고 있는데, SCOD는 알칼리 전처리가 진행됨에 따라 증가하는 경향을 보였다. 반응초기 0.05 g NaOH/g TS이상의 알칼리를 투입한 반응조의 경우 반응시간 8시간까지 SCOD가 급격하게 증가하였다가 일정수준을 유지하거나 조금 감소하였다.

pH의 변화추이를 나타낸 Fig. 3을 살펴보면 0.05 g NaOH/g TS의 알칼리를 투입하였을 때는 SCOD가 증가함에 따라 알칼리 가수분해가 이루어져 pH의 감소가 함께 이루어졌으나, 0.1 g NaOH/g TS이상의 알칼리가 주입되었을 때는 pH가 거의 12이하로 떨어지지 않았다.

이것은 0.1 g NaOH/g TS이상 투입되었을 경우 알칼리에 의한 가수분해가 이루어지고도 NaOH가 잔존함으로써 높은 pH를 나타낸 것으로 판단되며, NaOH가 잔존한다는 것은 음

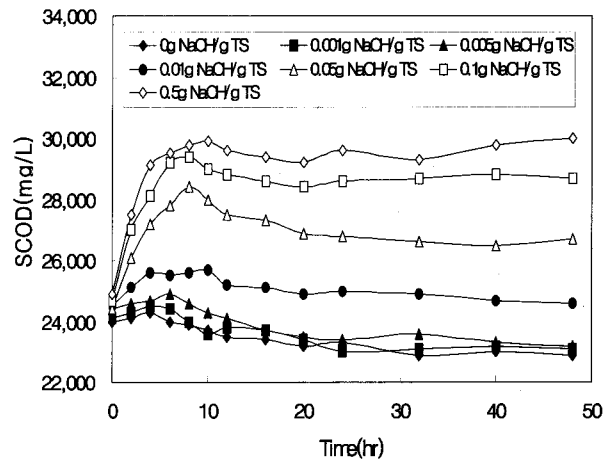


Fig. 2. SCOD variation during alkaline pretreatment

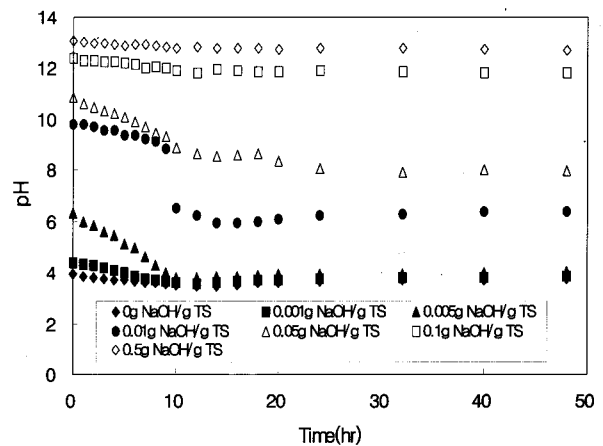


Fig. 3. pH variation during alkaline pretreatment.

식물찌꺼기를 알칼리(NaOH)로 가수분해하는데 그 한계가 있음을 보여주는 증거라 할 수 있겠다.

음식물찌꺼기에 0.005 g NaOH/g TS이하로 투입하였을 경우 반응초기 pH 감소와 함께 SCOD의 증가가 잠시 이루어졌다가 곧 감소하였는데, 이러한 점으로 미루어 알칼리에 의한 가수분해는 반응초기 잠시 이루어졌다 멈춘 것으로 판단되었다.

Fig. 4는 음식물찌꺼기의 총 COD중 SCOD의 함량을 나타낸 그림으로 반응초기 지속적으로 증가하다가 실험 시작 후 8시간에서 가장 높은 값을 나타낸 후 일정한 값을 유지하거나 감소하는 경향을 보였으며, NaOH의 투입량이 많을 수록 TCOD에 대한 SCOD의 비율이 높게 나타났다. 음식물찌꺼기에 0.05 g NaOH/g TS이상 투입할 경우 SCOD/TCOD값이 최대 36.4%이상을 나타내었으며, 0.005 g NaOH/g TS이하로 투입한 경우는 최대 32.8%이하로 투입하지 않았을 때의 최대 SCOD/TCOD값 31.2%와 비교하여 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

가수분해효율은 가용화 정도(Solubilization)로 표현될 수 있으며 SCOD의 생성으로 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Solubilization} = \frac{\text{mgSCOD}_{\text{prod.}} (= \text{SCOD}_{\text{eff}} - \text{SCOD}_{\text{inf}})}{\text{mgTCOD}_{\text{inf.}} (= \text{TCOD}_{\text{inf.}} - \text{SCOD}_{\text{inf.}})}$$

Fig. 5는 g TS당 주입된 알칼리(NaOH)에 따른 가수분해효율을 나타내고 있는데, NaOH 투입량이 증가할수록 가수분해효율도 높아지는 경향을 나타내었다. 그림에서도 나타난 바와 같이 0.01 g NaOH/g TS이하로 투입된 경우 0.01 mgSCOD_{prod.}/mgTCOD_{inf.} 이하를 나타내었으나, 0.05 g NaOH/g TS이상을 투입했을 때는 0.07~0.09 mgSCOD_{prod.}/mgTCOD_{inf.}로 나타났다.

따라서 음식물찌꺼기에 알칼리(NaOH)를 투입하여 효율적인 가수분해가 이루어지기 위해서는 g TS당 0.05 g 이상의 NaOH가 투입되어야 할 것으로 판단된다.

음식물찌꺼기의 가용화

NaOH를 투입하여 전처리 과정을 거친 음식물찌꺼기를 기질로 하여 고온(55°C)과 중온(35°C)에서 산발효를 실시하여 그 효율을 측정하였다. 앞의 전처리 과정으로 실시된 가수분해 실험에서 NaOH를 투입하지 않은 것과 비슷한 효과를 나타내었던 0.001 g NaOH/g TS와 NaOH 투입시 pH가 12이상을 유지하였던 0.5 g NaOH/g TS를 제외하고 0 g NaOH/g TS, 0.005 g NaOH/g TS, 0.01 g NaOH/g TS, 0.05 g NaOH/g TS, 0.1 g NaOH/g TS로 나누어 혐기성 회분식 산발효 실험을 실시하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 고온(55°C)과 중온(35°C)에서 전처리된 음식물찌꺼기를 회분식 반응조를 이용하여 산발효 했을 때 시간에 따라 변화하는 SCOD의 농도를 나타내고 있다. 전처리 과정에서 음식물찌꺼기에 0.1 g NaOH/g TS를 투입한 R5, R10 반응조의 경우 고온과 중온 모두 반응초기에 급격한 SCOD의 증가를 나타내었으나, 산발효 과정에 따른 pH

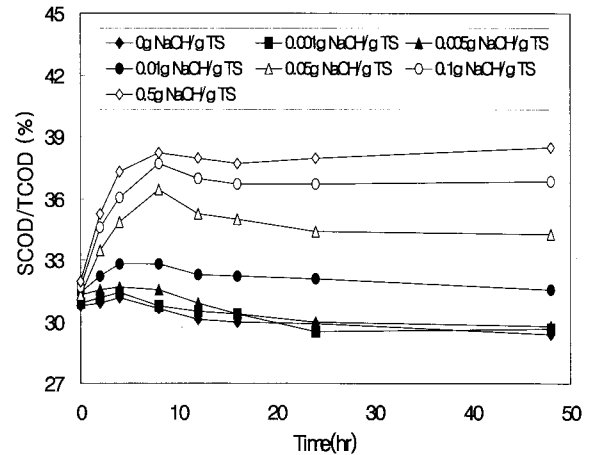


Fig. 4. SCOD/TCOD variation during alkaline pretreatment.

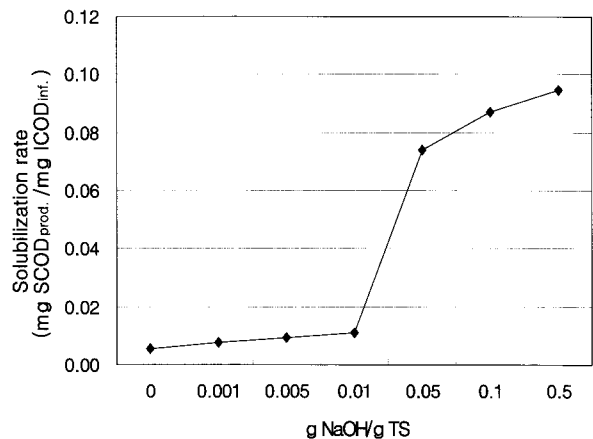


Fig. 5. Comparison of solubilization rate during alkaline pretreatment.

변화를 나타낸 Fig. 8과 Fig. 9에 보이는 바와 같이 R5, R10 반응조의 pH가 9를 초과하여 혐기성 반응조에서 미생물의 활성을 기대하기 어려운 환경이기 때문에 이러한 결과는 전처리 과정에서 소모되지 않고 남아 있던 NaOH에 의해서 주로 가수분해가 이루어진 것으로 판단된다. 전처리 과정에서 0.05 g NaOH/g TS가 투입되고 고온과 중온에서 발효실험이 각각 실시된 R4, R9반응조의 경우 반응이 진행됨에 따라 SCOD가 증가하였다가 약간 감소하였고, pH는 반대로 SCOD 증가에 따라 감소하다가 일정수준을 유지하는 경향을 나타내었다.

반응종료시 R4, R9반응조가 나타낸 SCOD의 농도는 R5, R10반응조보다 낮았으나, pH가 5.95와 6.44로 중온 및 고온 영역에서 산생성 반응은 pH 6이 최적이라고 보고한 Henry¹¹⁾와 유사한 결과를 나타내었다. 전처리 과정에서 음식물찌꺼기에 0.01 g NaOH/g TS이하로 투입된 반응조들의 경우 고온에서 실험을 실시한 R1, R2, R3반응조는 반응종료 후 SCOD의 증가는 일부 이루어졌으나, pH가 4 아래로 떨어져 산생성에 적절치 못한 것으로 나타났다.

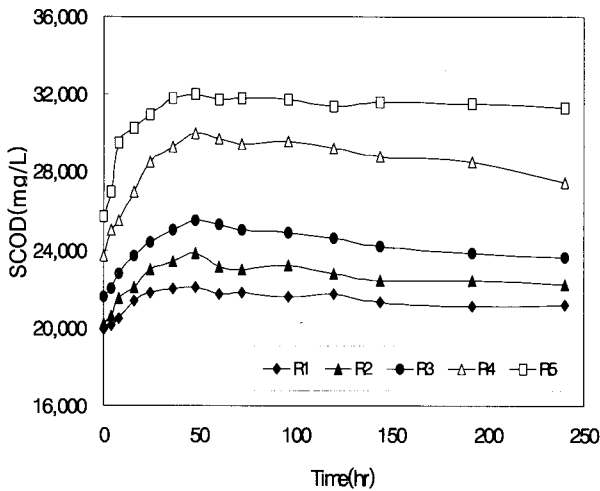


Fig. 6. Soluble COD variation in thermophilic batch fermenters.

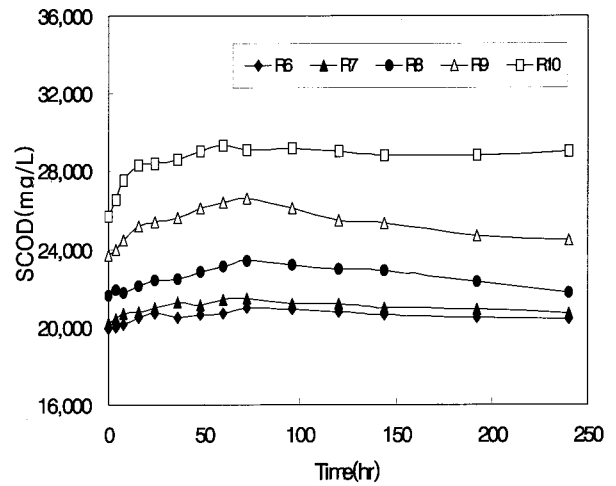


Fig. 7. Soluble COD variation in mesophilic batch fermenters.

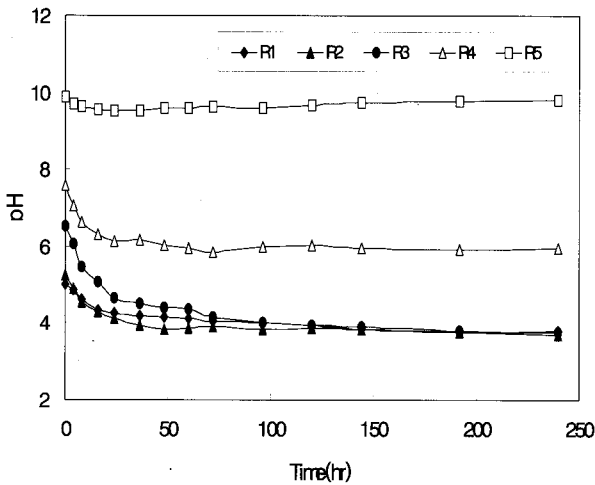


Fig. 8. pH variation in thermophilic batch fermenters.

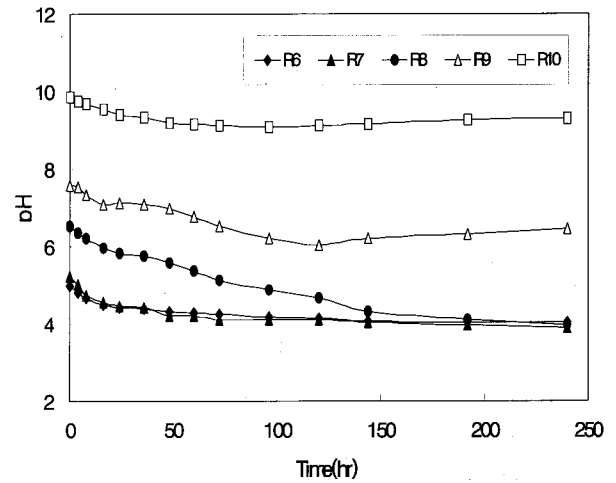


Fig. 9. pH variation in mesophilic batch fermenters.

또 증온에서 산발효가 실시된 R6, R7, R8반응조들은 SCOD의 증가도 미미한 수준이며, pH도 고온에서 실험이 실시된 조들과 비슷한 pH 4정도를 나타내어 산생성에 필요한 적절한 가용화효율을 얻을 수 없었다.

따라서 음식물찌꺼기를 알칼리 전처리 하여 산발효를 실시했을 때 최대의 가용화와 산생성에 효과적인 pH를 얻기 위해서는 NaOH주입량이 0.05 g NaOH/g TS가 적절한 것으로 나타났다.

0.05 g NaOH/g TS를 투입하여 고온과 증온에서 실험을 실시한 R4와 R9반응조를 비교해 보면 R4반응조의 SCOD 증가치가 3,800 mg/L로 R9반응조의 800 mg/L에 비하여 약 5배 정도 높게 나타났고, 최대 가용화 농도에 이르는 시간도 R4의 경우 48시간인데 반하여 R9는 72시간이 걸린 것으로 나타나 결과적으로 음식물찌꺼기의 가용화에는 증온(35°C)에서 보다는 고온(55°C)이 효과적인 것으로 나타났다.

음식물찌꺼기의 VFA 생성

알칼리(NaOH)를 투입하는 전처리 과정을 거친 음식물찌꺼기를 고온과 증온에서 각각 산발효할 때 시간에 따른 각 반응조별 산(VFA) 생성량의 변화를 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 전처리 과정에서 소모되지 않은 NaOH에 의해서 높은 pH를 나타낸 R5, R10반응조는 산생성 미생물의 활동 억제로 인하여 원활한 산 생성이 이루어지지 않았다.

고온에서 산생성 반응이 이루어진 R1~R4반응조의 경우 NaOH 주입량이 0.05 g NaOH/g TS인 R4반응조에서 반응 시작 후 72시간에서 가장 높은 12,600 mg/L의 VFA농도를 나타내었는데, 이 값은 전처리 과정에서 NaOH를 주입하지 않은 R1반응조의 5,700 mg/L에 비교하여 2배 이상의 높은 수치였다. NaOH 주입량이 0.05 g NaOH/g TS 이하의 R1~R4반응조에서는 NaOH 주입량이 많을수록 VFA 생성량이 높은 것으로 나타났다.

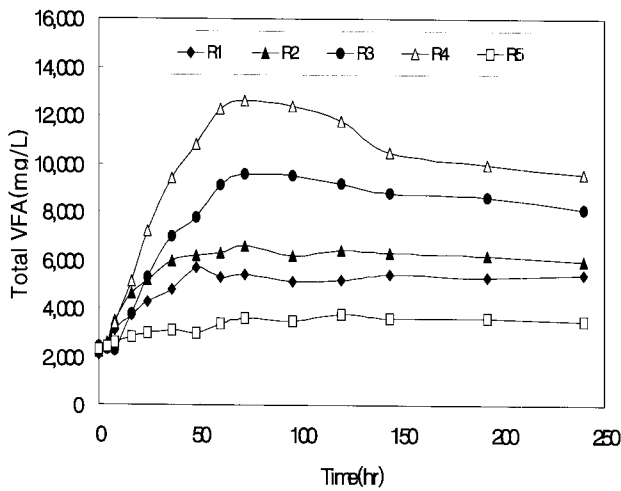


Fig. 10. Total VFA variation in thermophilic batch fermenters.

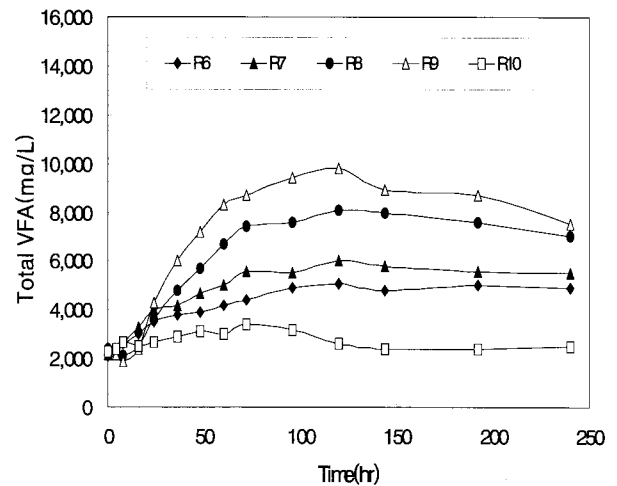


Fig. 11. Total VFA variation in mesophilic batch fermenters.

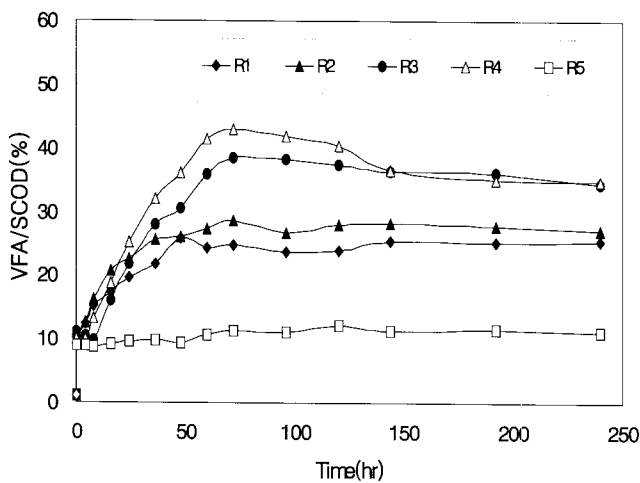


Fig. 12. VFA/SCOD variation in thermophilic batch fermenters.

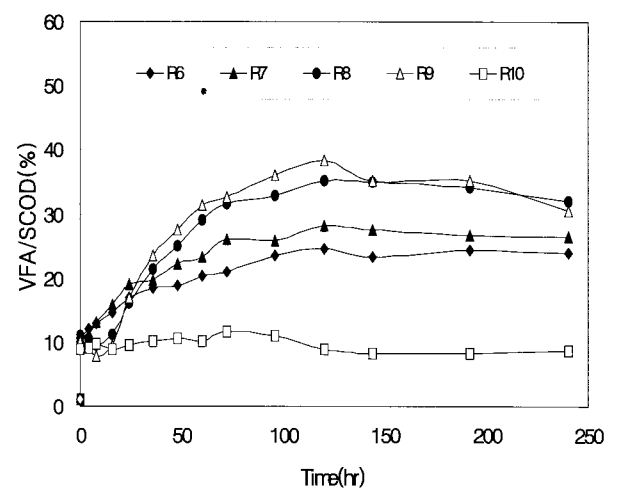


Fig. 13. VFA/SCOD variation in mesophilic batch fermenters.

한편, 중온에서 산발효가 이루어진 R6~R9반응조의 경우도 NaOH 주입량이 0.05 g NaOH/g TS인 R9반응조가 반응 시작 후 120시간에서 9,800 mg/L로 가장 높은 VFA농도를 나타내었으며, NaOH주입량에 따른 VFA생성량은 고온발효와 동일한 경향을 나타내었다. 따라서 고온에서 실험이 진행된 반응조들이 중온조건의 반응조들보다 짧은 반응시간 안에 높은 VFA 생성량을 나타내었다.

Fig. 12와 Fig. 13은 고온과 중온에서 산(VFA)생성 반응이 이루어지는 동안 VFA/SCOD의 변화를 나타내고 있다. NaOH가 0.1 g NaOH/g TS주입된 R5, R10반응조의 경우 각각의 VFA/SCOD의 값이 최대 12.1%, 10.6%으로 높은 가용화(SCOD)에 비하여 상대적으로 낮은 VFA 생성으로 인하여 낮은 값을 나타내었다. 운전기간 동안 가장 높은 VFA/SCOD의 값을 나타낸 것은 0.05 g NaOH/g TS주입된 R4, R9반응조에서 VFA농도가 가장 높았던 반응 시작후 72시간, 120시간에

보여진 42.9%와 38.4%로 고온에서 산발효된 R4반응조가 중온에서 산발효된 R9보다 SCOD에 대한 VFA의 함량이 높은 것으로 나타났다.

Fig. 12와 13에 나타난 바와 같이 중온에서 산발효 실험이 진행된 R8, R9반응조와 고온에서 실험이 진행된 R3, R4반응조에서 반응초기에 VFA/SCOD값이 일시 감소하였다가 증가하였는데, 이것은 반응초기 pH가 6.5~7.5를 유지하면서 일부 VFA가 가스로 전환되면서 발생한 것으로 판단된다.

동일 기질을 이용하여 산발효를 실시할 때 중온보다는 고온에서 VFA 생성에 효율적인 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 중온 조건보다는 고온조건하에서 미생물 활성의 증대와 유기물의 가수분해촉진에 의한 것으로 판단된다.

특히, 국내 음식물찌꺼기의 경우 셀룰로오스, 리그닌등이 주를 이루고 있으며, Whistler 등¹³⁾은 식물성 물질들은 고온 조건하에서 알칼리에 의한 화학적 분해가 잘 일어난다고 보고하였다.

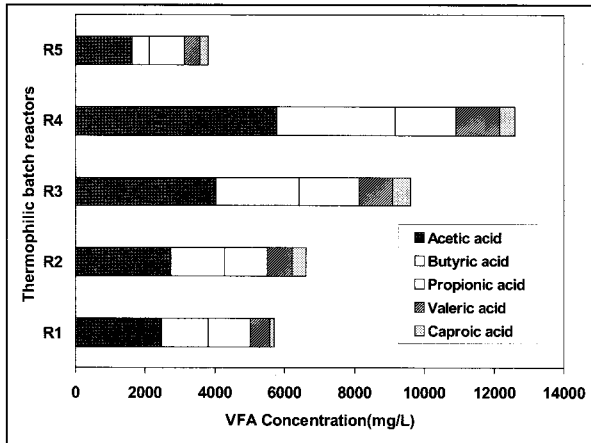


Fig. 14. VFA composition of the thermophilic fermenters at the time of maximum VFA concentration.

Fig. 14와 Fig. 15는 알칼리(NaOH)로 전처리된 음식물찌꺼기를 산발효시켰을 때 각 반응조별로 TVFA농도가 가장 높았던 시점을 기준으로 VFA의 조성을 나타낸 그림이다. Fig. 14는 고온조건에서 실험이 진행된 반응조들의 VFA 조성을 나타내고 있는데, 주요 발생 유기산은 acetic acid, butyric acid, propionic acid 등으로 총 발생량의 80% 이상을 차지하였다.

최적의 VFA 생성을 나타낸 R4반응조의 경우 acetic acid가 45.9%, butyric acid가 26.7%, propionic acid가 13.9%로 모두 발생 유기산의 86.5%를 차지하였다.

한편, 중온에서 산발효 실험이 진행된 R6~R10반응조의 경우도 고온조건과 비슷한 경향을 나타내었는데, 중온조건에서 가장 많은 VFA 생성을 보인 R9반응조에서는 acetic acid 44.4%, butyric acid 29.0%, propionic acid 15.3%를 나타내었다. 회분식 산발효 실험결과 고온 및 중온 모두 발생 유기산의 조성에 있어 acetic acid가 가장 높은 비중을 차지하고 있음을 알 수 있었다.

요 약

본 연구는 음식물찌꺼기의 혐기성 산발효에 있어 여러 조건들 중 온도가 효율적인 가수분해와 산발효에 미치는 영향을 검토하기 위해 고온(55°C)과 중온(35°C)에서 각각 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

음식물찌꺼기의 혐기성 산발효시 산생성 효율을 높이기 위한 전처리 과정으로 음식물찌꺼기에 NaOH를 투입한 결과 가수분해효율을 표현한 가용화 정도(Solubilization)가 0.01 g NaOH/g TS이하로 투입된 경우 0.01 mgSCOD_{prod}/mgICOD_{inf} 이하를 나타내었으나, 0.05 g NaOH/g TS이상을 투입했을 때는 0.07~0.09 mgSCOD_{prod}/mgICOD_{inf}로 나타났다.

따라서 음식물찌꺼기에 NaOH를 투입하여 효율적인 가수분해가 이루어지기 위해서는 g TS당 0.05 g이상의 NaOH가 투입되어야 할 것으로 판단된다.

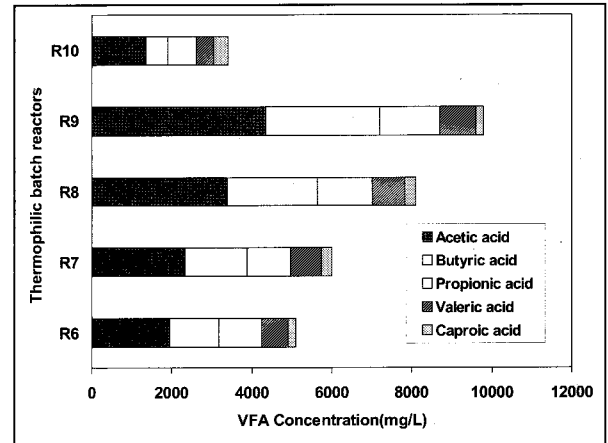


Fig. 15. VFA composition of the mesophilic fermenters at the time of maximum VFA concentration.

음식물찌꺼기를 NaOH로 전처리 한 후 고온(55°C) 산발효를 실시했을 때 0.05 g NaOH/g TS 투입시 SCOD의 증가치 3,800 mg/L로 최대의 가용화와 산생성에 효과적인 pH 5.95를 얻을 수 있었다. 0.05 g NaOH/g TS를 투입하여 중온(35°C)에서 산발효를 실시한 경우와 비교하여 SCOD 증가치가 약 5배 정도 높았고, 최대 가용화에 이르는 시간도 중온의 2/3 정도로 짧아 음식물찌꺼기의 가용화에는 고온이 효과적인 것으로 나타났다.

NaOH 0.05 g NaOH/g TS로 전처리된 음식물찌꺼기의 산발효 결과 고온(55°C) 및 중온(35°C)에서 각각 반응시작 후 72시간에 12,600 mg/L, 120시간에 9,800 mg/L의 VFA농도를 나타내어 동일기질을 이용하여 산발효를 실시했을 때 중온보다는 고온에서 미생물의 활성증대와 유기물의 가수분해가 촉진되어 VFA생성이 효율적인 것으로 판단되었다.

고온에서 NaOH에 전처리된 음식물찌꺼기를 산발효 시켰을 때 VFA가 가장 높았던 시점을 기준으로 VFA의 조성을 조사한 결과 acetic acid가 45.9%, butyric acid가 26.7%, propionic acid가 13.9% 등으로 총 유기산 발생량의 86.5%를 차지하였다.

참고문헌

1. 환경부 (2002) 2001 전국 폐기물 발생 및 처리현황.
2. 환경부 (2002) 음식물쓰레기 줄이기 실무자료집.
3. 이재우 (2000) "음식물쓰레기를 외부탄소원으로 활용한 생물학적 질소 인 제거 공정 개발, 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
4. Kapp, H. (1985) Anaerob-Mesophile und Anaerob thermophile Schlammbehandlung bei hoher Feststoffgehalten. 3. Bochum Workshop, Neue Lösungsansätze zur Schlammbehandlung, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, TU Muehchen, Heft Nr. 53.
5. ATV(독일하수도협회) (1970) Lehr-und Handbuch der

- ABWASSER TECHNIK Band III Zweite Auflage, p. 155-156.
6. Han, S. K., Shin, H. S., Kim, S. H. and Kim, H. W. (2002) Effect of waste components on performance of acidogenic fermenter, *J. of KOWREC* 10(2), 65-70.
 7. 송영채, 우정희, 백병천 (2002) 음식물쓰레기의 혐기성 가수분해 및 산발효에 대한 pH의 영향, 대한 토목학회 논문집, 22, (6-B) p.851-857.
 8. Shin, H. S., Han, S. K., Song, Y. C. and Lee, C. Y. (2000) Enhanced acidogenic fermentation of food waste (I): Effect of seed inoculation, *J. of KOWREC* 8(3), 112-117.
 9. 김희조 (2001) 음식물쓰레기 에너지화를 위한 발효단계의 최적 VFA 생성에 관한 연구, 강원대학교 대학원 석사학위 논문.
 10. Li, Y. Y. and Noike, T. (1992) Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by thermal pretreatment, *Water Sci. Tech.* 26, 857-866.
 11. Henry, M. P. et al, (1987) The effects of environmental factors on acid-phase digestion of sewage sludge, Proceeding of the 42nd Purdue Industrial Waste Conference, p.727-737.
 12. Whistler, R. K. and BeMiller, H. N. (1958) Alkaline degradation of Polysaccharides, *Advances in Carbohydrate Chemistry* 13, 289-329.