

유기물부하에 따른 음식물찌꺼기의 산발효 특성

박진식·안철우·장성호*

경운대학교 보건환경전공, 국립공원관리공단 환경팀,

**부산대학교 지역환경시스템공학전공,

(2006년 4월 24일 접수; 2006년 9월 10일 채택)

Acid Fermentation Characteristic of Food Wastes According to the Organic Loading Rate

Jin-Sik Park, Chul-Woo Ahn* and Seong-Ho Jang**

Department of Health & Environmental, Kyungwoon University, Gumi 730-852, Korea

*Environmental Team, Korea National Parks Authority, Pyungchang 232-941, Korea

**Department of Environmental System Engineering, Pusan National University, Miryang 627-705, Korea

(Manuscript received 24 April, 2006; accepted 10 September, 2006)

This study has been conducted to optimum operating conditions for effective acid fermentation according to OLR(organic loading rate) in the mesophilic and thermophilic acid fermentation process. The results are summarized as follows.

In order to obtain reasonable acid fermentation efficiency in performing acid fermentation of food wastes in thermophilic condition, organic loading rate was required below 20 gVS/L.d. As $SCOD_{C_r}/TKN$, $SCOD_{C_r}/T-P$ of thermophilic acid fermented food wastes in organic loading rate 20 gVS/L.d were 18.9, 73.4 respectively, it was possible to utilize as external carbon source for denitrification in sewage treatment plant after solid-liquid separation as well as co-digestion of fermented food wastes and sewage sludge.

Key Words : Acid fermentation, Food waste, Mesophilic, Thermophilic, OLR(organic loading rate)

1. 서론

음식물찌꺼기란 농·축·수산물 등 식품 취급 및 유통과정에서 폐기되는 잔재물과 가정·식당 등에서 장기 보관 중 변질되어 폐기되는 것, 그리고 조리과정중과 식사 후 그릇에 남아 버려지는 음식물 등을 총칭한다.

음식물찌꺼기는 생활폐기물의 일부로서 발생되는데 1995년 쓰레기 종량제 도입 이후 생활폐기물 발생량은 실시 이전에 비해 급격히 감소하였으나 근래에는 크게 변화하지 않고 있다.

2004년말을 기준으로 국내 음식물찌꺼기의 발생량은 약 11,424톤/일로 쓰레기 종량제 시행 첫해인 1995년의 발생량 15,075톤/일에 비해서 24%가 감

소하였으며, 음식물찌꺼기의 처리현황은 2005년초 잠정 집계한 발생량 11,232톤/일 중 재활용 11,328톤/일(93.4%), 소각 400톤/일(3.3%) 그리고 매립 404톤/일(3.3%)로 매립량은 1995년 95.4%에서 2005년 초에는 약 3.3%정도만 매립하는 것으로 나타났다으나 2005년 1월부터 시단위 이상의 지역에서 음식물찌꺼기의 직매립을 금지하였기에 음식물찌꺼기의 재활용율을 높이는 것이 필요하다¹⁾.

또한 국내 하수처리장 대부분은 하수관로의 미정비로 인해 유입수질이 계획서 보다 낮아 탈질처리에 필요한 유입수의 C/N비가 낮을 뿐만 아니라 슬러지 소화조 등의 부하가 현저히 낮아 음식물찌꺼기를 추가 투입하더라도 여유가 있는 것으로 판단되고 있다.

ATV²⁾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 있다³⁾.

Corresponding Author : Seong-Ho Jang, Department of Environmental System Engineering, Pusan National University, Miryang 627-702, Korea
Phone: +82-55-350-5435
E-mail: jangsh@pusan.ac.kr

이와 같은 배경 이외에도 음식물찌꺼기는 매탄 전환율이 높고⁴⁻⁶⁾, 하수처리장에서 병합처리 되는 동안 염분이 감소되어 퇴비화에 유리하고 동시에 매탄 소화 후 퇴비시에는 슬러지 단독 소화 후 퇴비화보다 퇴비질이 우수한 것으로 알려져 있다.

그러나 일반적으로 음식물찌꺼기를 하수처리장의 중온 혐기성 소화조에 그대로 투입시에는 음식물찌꺼기가 대부분 셀룰로오스 성분이 높아 소화조에 스크 및 비정상적인 산생성물이 크게 발생하여 소화조의 소화효율을 낮추는 등의 부작용을 일으켜 유기물 부하를 충분히 높이지 못하는 단점이 있다.

이러한 문제점을 해결하는 방안으로 제시되고 있는 것이 음식물찌꺼기를 그대로 투입하는 대신 일종의 전처리 단계인 산발효 과정을 거친 후 기존 하수처리장의 하수슬러지와 병합하여 소화하는 방안이다.

이 경우 음식물찌꺼기를 직접 투입할 경우 발생하는 국부적인 산발효로 인한 급격한 pH저하, 산발효 속도 차이로 인한 셀룰로오스 성분의 스크 전환, 음식물찌꺼기의 높은 염분함량으로 인한 영향 등의 저해요인을 사전에 제거할 수 있다고 보고하였다⁷⁾.

고온에서 음식물찌꺼기를 산발효할 경우 고온이 가지는 동력학적인 이점으로 인하여 반응속도가 상승하게 되고, 이는 반응조 내에서의 수리학적 체류시간을 줄일 수 있으므로 반응조 용적감소의 이점이 있다.

또 고온에서의 미생물의 활성도 증가는 고형물질의 함유량이 많은 음식물찌꺼기에 적용시 보다 효율적인 산발효가 가능하다.

따라서 본 연구에서는 산발효효율의 최적 운전인자 도출을 위하여 중온 및 고온혐기성산발효공정에서의 유기물부하에 따른 산발효 효율을 비교·검토함으로써 산발효에 적합한 온도 및 유기물질에 대한 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

중온혐기성 산발효실험에 사용된 장치는 Fig.1에 나타낸것과 같이 유효용량이 10ℓ(총용량 12ℓ)인 10mm 두께의 아크릴로 제작되었으며, 반응조 외부에 수조를 설치하여 히터와 온도센서가 부착된 water bath에서 물을 가온시켜 수조에 공급 순환되도록 하여 중온 산발효 조건인 35±1℃로 유지되도록 조정하였다. 반응조내 미생물과 기질의 원활한 접촉을 위하여 교반기를 부착하였으며, 반

응조내 교반은 mechanical sealing이 장착된 motor를 이용하여 gas-tight 상태로 운전하였다. 시료 유입구 및 유출구는 상부에 설치하였으며, 가스포집을 위하여 10ℓ 용적의 gas collector를 설치하였다.

Fig. 2는 음식물찌꺼기 반연속식 고온 산발효 실험에 이용된 장치의 모형도이다. 이 장치는 고온 산발효 조건인 55±1℃로 유지되도록 반응조 외부를 절연체(유리섬유)로 감싸고 그 내부를 열선으로 감아 가열되도록 하였고, 반응조 내부에 온도센서를 설치하여 자동온도 조절장치로 온도를 조정하였다. 유효 용량은 10ℓ(총용량 12ℓ)로 하였고, 나머지 교반, 가스 포집, 시료주입 등을 위한 장치는 모두 중온 산발효조와 동일하게 설치였다.

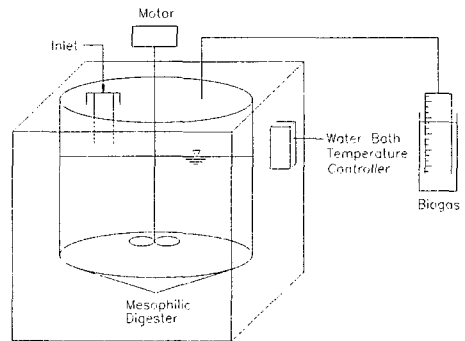


Fig. 1. Schematic diagram of mesophilic acid fermenter.

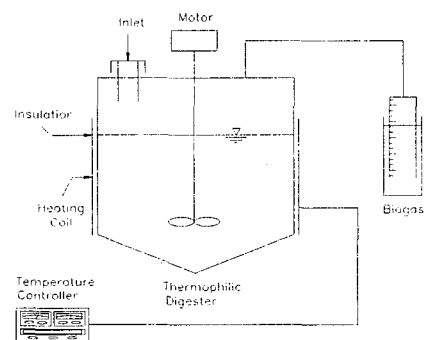


Fig. 2. Schematic diagram of thermophilic acid fermenter.

2.2. 시료

본 실험에 사용된 음식물찌꺼기는 B시에 소재한 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 2mm 체로 거른 후 pH, TS, VS, TCOD_{Cr}, SCOD_{Cr}, Alkalinity, TKN 등의 초기 특성을 분석하였고, 실험에 사용될 때까지 4℃의 냉장고에 최대 1주간 보관하였다. 그리고 혐기성 산발효 실험의 초기운전을 위해 식중액으로 사용된 슬러지는 B시 J하수처리장의 소화슬러지를 채취하여 2mm 체로 걸러 불순물을 제거한 후 이용하였다. Table 1에 음식물찌꺼기의 초기특성을 항목별로 제시하였다.

Table 1. Characteristics of Food Wastes

Item	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

2.3. 운전

유기물 부하(OLR)에 따른 산발효 효율을 비교하기 위하여 OLR 5 gVS/L.d, 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 40 gVS/L.d로 변화시켜 운전하였으며, 또 반응온도가 혐기성 산발효에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 혐기성 소화의 적정온도로 널리 알려진 중온의 35℃와 고온의 55℃에서 각각 실험을 수행하였다. 산발효반응이 진행되는 동안 급격한 산 생성물의 축적현상으로 인한 pH저하를 방지하기 위하여 음식물찌꺼기 시료에 회분식 산발효실험에서 나타난 결과에 따라 0.05 g NaOH/g TS로 전처리를 행하였으며, 전처리된 시료는 1일을 주기로 1회 시료주입구를 통하여 수작업으로 주입하였다. 실험이 진행되는 동안 산발효조의 운전상태를 평가하기 위하여 1일 1회 산발효조 내용물을 채취하여 pH, VFA, TS, VS, TCOD, SCOD 등의 성분을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. pH 및 VFA 농도

산발효조에서 VFA의 발생량은 SCOD가 VFA로 전환되는 양에 의해 결정되는데, 여기에는 pH,

Temperature, 그리고 OLR(Organic Loading Rate) 등이 영향인자로 작용하게 된다.

특히 VFA의 농도와 pH값은 산발효조에서 중요한 상관관계를 가지며, pH 조건에 따라 최종 생성물로서 생성되는 유기산의 수율에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

Zoetemeyer 등⁸⁾은 글루코스를 이용한 산발효 실험에서 pH 5.0~6.0인 경우에 VFA의 축적량이 증가하는 것으로 보고하였으며, Kisaalita 등⁹⁾은 산형성 반응에서 최적 pH 조건은 6.0~6.5로 보고하면서 이러한 최적값을 유지하기 위해서는 상당량의 NaOH가 필요하다는 단점을 지적하였다.

본 실험에서는 유기물 농도 부하(OLR)에 따른 pH와 VFA의 농도변화를 살펴보고자 유기물 부하를 5 gVS/L.d, 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 40 gVS/L.d로 나누어 각각 실험을 실시하였다.

또한 반응온도가 산발효에 미치는 영향을 파악하기 위하여 혐기성 산발효 특성이 뛰어난 것으로 알려져 있는 중온 영역(35℃)과 고온 영역(55℃)에서 각각의 부하율에 따라 실험을 실시하여 그 결과를 비교하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 고온(55℃)에서 유기물 농도부하에 따른 VFA 농도와 pH 변화를 나타낸 것이다.

반응초기 급격한 VFA 생성으로 인한 pH의 저하를 억제하기 위해서 회분식 산발효 과정에서 나타난 결과에 따라 0.05 gNaOH/g TS를 주입한 후 10시간 후에 반응조에 투입하였다.1)

알칼리 전처리 과정을 거치지 않은 음식물찌꺼기를 주입해 본 결과 반응초기에 pH가 3.5까지 감소되어 충분한 가수분해가 이루어지지 않았고, 또 이에 따라 VFA 생성이 억제되었다.

본 실험결과를 살펴보면 고온 영역에서 유기물 부하를 5 gVS/L.d, 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 40 gVS/L.d로 증가시켰을 때 생성된 VFA 농도는 8,560 mg/L, 11,280 mg/L, 17,330 mg/L, 14,350 mg/L로 나타났다.

가장 높은 VFA 생성을 나타낸 유기물 부하 20 gVS/L.d까지는 유기물 부하가 증가함에 따라 VFA 농도도 증가하는 경향을 나타내었으나, 유기물 부하 40 gVS/L.d에서는 유기물 부하 20 gVS/L.d보다 낮은 VFA 농도를 나타내었다.

한편, 유기물 부하가 5 gVS/L.d, 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 40 gVS/L.d로 증가할 때 반응기간 동안의 평균 pH는 각각 6.2, 5.9, 5.6, 4.8를 나타내었다.

결과적으로 고온 조건에서는 유기물 부하가 증가함에 따라 VFA의 생성은 증가하였으나, pH는

감소한 것으로 나타났다.

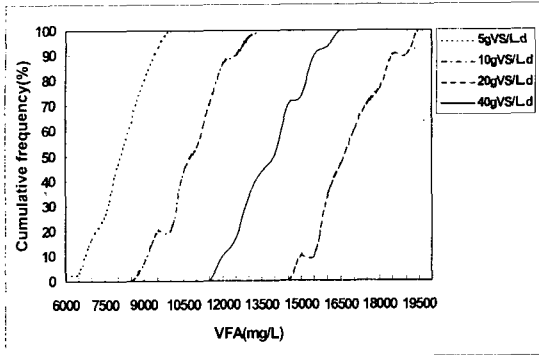


Fig. 3. VFA concentration cumulative frequency for organic loading rate in thermophilic reactor.

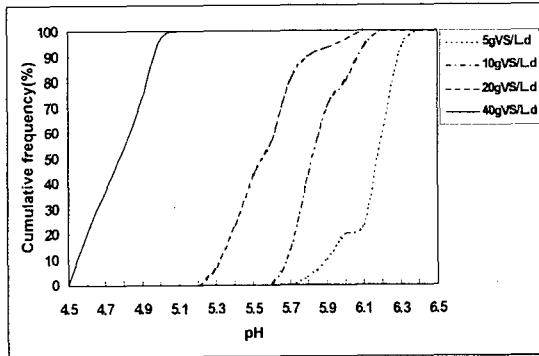


Fig. 4. pH cumulative frequency for organic loading rate in thermophilic reactor.

Fig. 5와 Fig. 6은 중온(35°C) 영역에서 유기물 농도부하에 따른 VFA 농도와 pH 변화를 나타낸 것이다.

중온에서 실시된 산발효 실험에서도 고온에서와 동일하게 산생성물의 축적으로 인한 pH 저하를 막기 위하여 전처리 과정을 거친 음식물찌꺼기를 반응조에 투입하였다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 고온조건에서 유기물 부하를 5 gVS/L.d, 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 40 gVS/L.d로 증가시켰을 때 생성된 VFA 농도는 7,280 mg/L, 10,210 mg/L, 12,670 mg/L, 13,580 mg/L로 유기물 부하가 20 gVS/L.d일 때 가장 높은 VFA 생성을 나타내었다.

pH는 부하 유기물 부하가 가장 낮은 5 gVS/L.d에서 6.7로 가장 높게 나타났으며, 유기물 부하 40 gVS/L.d에서 가장 낮은 5.8을 나타내었다.

중온 조건에서는 고온과는 달리 유기물 부하 40 gVS/L.d까지 지속적으로 VFA의 생성이 증가하여

40 gVS/L.d에서 가장 높은 VFA 농도를 나타내었다. 동일한 기질을 이용하여 유기물 부하별로 고온과 중온 조건에서 실험을 진행했을 때 VFA 생성과 pH변화를 비교했을 때, 고온 조건이 중온 조건보다 더 높은 부하율에서 운전이 가능한 것으로 나타났으며, 생성되는 VFA의 농도도 더 높은 것으로 나타났다.

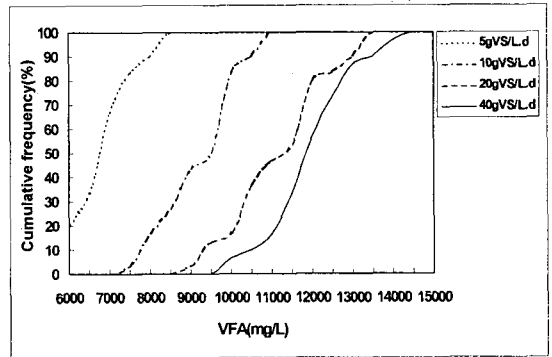


Fig. 5. VFA concentration cumulative frequency for organic loading rate in mesophilic reactor.

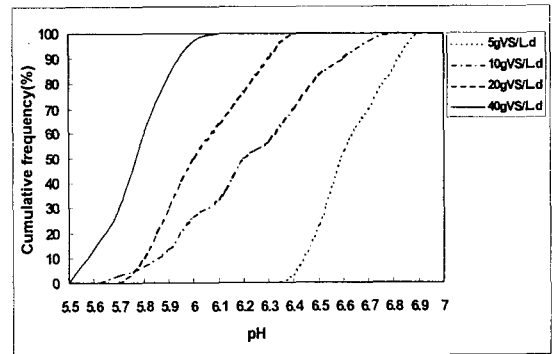


Fig. 6. pH cumulative frequency for organic loading rate in mesophilic reactor.

운전기간 동안 pH의 변화는 고온 조건에서 4.8~6.2, 중온 조건에서 5.8~6.7로 고온에서 중온보다 pH가 낮게 나타났다.

유기물 부하 40 gVS/L.d일 때 고온에서 pH가 4.8을 나타내었는데, 이것은 VFA의 급격한 축적으로 인하여 야기되었고, VFA의 생성에도 영향을 미친 것으로 판단된다.

그 외, 유기물 부하 40 gVS/L.d에서 실시된 중온 산발효, 그리고 나머지 부하율에서의 고온 및 중온 산발효에서는 모두 적합한 pH 범위에 있었다. pH가 이러한 수준을 유지할 수 있었던 것은 전처리 과정에서 투입된 NaOH에 의한 영향이 큰

것으로 판단되어 진다.

3.2. VFA의 구성

유기물 부하에 따른 산발효조의 거동에 있어서 각 유기산의 조성변화와 온도 즉 고온과 중온조건에서 실시된 산발효 실험에서 생성된 유기산의 조성은 차이를 비교하였다.

Fig. 7은 고온 조건하에서 유기물 부하에 따라 생성된 유기산의 조성변화를 나타내고 있다. 고온 조건하에서 유기물 부하를 5 gVS/L.d로 하였을 때 acetic acid 46.2%, propionic acid 23.6%, butyric acid가 18.8%, 유기물 부하가 10 gVS/L.d 일 때 acetic acid 43.4%, propionic acid 21.4%, butyric acid가 20.8%, 유기물 부하가 20 gVS/L.d 일 때 acetic acid 39.7%, propionic acid 17.6%, butyric acid가 24.2%, 그리고 유기물 부하가 40 gVS/L.d일 때 acetic acid 32.3%, propionic acid 13.1%, butyric acid가 29.8%로 생성되어 유기물 부하가 20 gVS/L.d 미만일 경우 acetic acid의 비율이 40%를 넘어서는 것으로 나타났다.

Noike 등¹⁰⁾은 전분의 분해시 짝수개의 탄소를 가진 유기산(acetic acid, butyric acid)이 주로 발생하며, 특히 야채류에 많이 함유되어 있는 셀룰로오스의 분해시에는 acetic acid의 발생이 두드러진다고 보고하였다.

또, Breure 등¹¹⁾은 단백질이 분해될 경우 propionic acid, valeric acid 그리고 acetic acid이 유기산의 주를 이룬다고 하였다.

위 결과들을 살펴보면 유기물 부하가 감소할수록 acetic acid의 비율이 증가하였는데, 유기물 부하가 감소할수록 상대적으로 체류시간이 증가하는 점을 감안하면 Noike 등¹⁰⁾이 보고한 셀룰로오스 성분은 체류시간이 증가할수록 그 분해가 증가한다는 내용과 일치하였다.

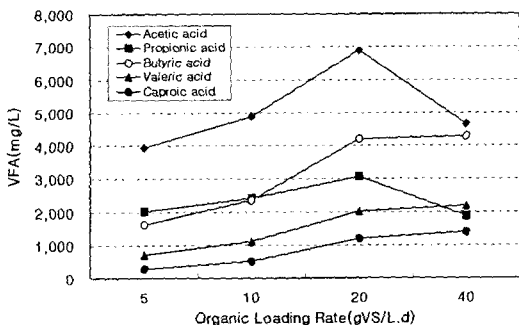


Fig. 7. Variation of VFA composition for organic loading rate in thermophilic reactor.

또한 유기물 부하율이 5 gVS/L.d에서 propionic acid가 23.6%로 유기물 부하율 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 40 gVS/L.d일때의 21.4%, 17.6%, 13.1% 보다 높은 비중을 차지하였으며, butyric acid의 경우 부하율이 증가함에 따라 그 비율도 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 8은 중온 조건에서 산발효시 유기물 부하에 따라 생성된 유기산의 조성변화를 나타내고 있다.

중온 조건에서 유기물 부하를 5 gVS/L.d로 하였을 때 acetic acid 40.2%, propionic acid 28.6%, butyric acid가 16.2%, 유기물 부하가 10 gVS/L.d 일 때 acetic acid 38.5%, propionic acid 23.6%, butyric acid가 20.5%, 유기물 부하가 20 gVS/L.d 일 때 acetic acid 34.1%, propionic acid 21.0%, butyric acid가 23.1%로 나타났다.

생성된 유기산중에서 acetic acid가 가장 높은 비중을 차지한 점과 유기물 부하율이 증가할수록 acetic acid의 비율이 줄어든 점은 고온 조건과 동일하였다.

유기물 부하가 5 gVS/L.d, 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 40 gVS/L.d로 증가함에 따라 propionic acid의 비중이 28.6%, 23.6%, 21.0%, 17.4%로 감소하였으나 반대로 butyric acid의 비중은 16.2%, 20.5%, 23.1%, 29.6%로 증가하였다.

이러한 결과는 산발효시 반응조내 pH와 연관되어 질 수 있는데, 유기물 부하율이 5 gVS/L.d에서 pH 6.7, 10 gVS/L.d에서 pH6.3, 20 gVS/L.d에서 6.1, 40 gVS/L.d에서 5.8을 나타내어, pH가 산성에 가까울수록 propionic acid의 생성이 감소하며, 알칼리 조건에서 butyric acid의 구성비가 상대적으로 감소한다고 보고한 Horiuchi 등¹²⁾의 연구결과와 일치하였다.

또한 고온에서 생성된 VFA의 조성도 이러한 연구결과와 일치하였다.

고온과 중온에서 유기물 부하별로 산발효시 생성된 유기산의 구성성분을 비교했을 때, 고온에서 생성된 유기산이 중온보다 acetic acid의 비율이 높은 것으로 나타났다.

acetic acid는 셀룰로오스의 분해로 두드러지게 생성되고, 또 국내 음식물찌꺼기의 경우 구성성분에 있어 셀룰로오스가 상당부분을 차지하고 있기 때문에 고온 산발효시에 acetic acid의 비율이 높다는 결과는 Golueke 등¹³⁾이 고온 조건하에서 셀룰로오스 등의 분해가 촉진된다고 한 주장과 일치하는 것으로 나타났다.

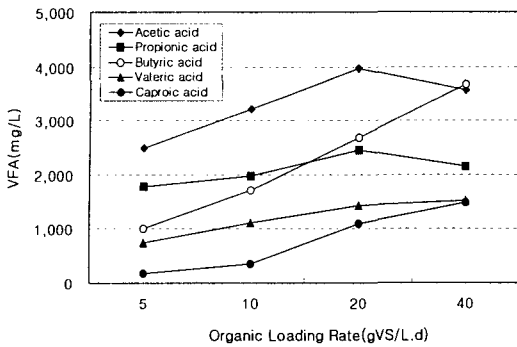


Fig. 8. Variation of VFA composition for organic loading rate in mesophilic reactor.

3.3. VFA 생성효율 비교

산(VFA) 생성효율은 1주기 동안 주입된 음식물 찌꺼기의 총 COD(gr)에 대한 생성된 VFA-COD(gr)의 백분율로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Acidification}(\%) = \frac{\text{VFA} - \text{COD}_{\text{prod.}}(\text{gr})}{\text{TCOD}_{\text{add.}}(\text{gr})}$$

Fig. 9는 고온과 중온 조건에서 유기물 부하에 따른 산 생성 효율의 변화를 나타내고 있는데, 그림에 나타난 바와 같이 유기물 부하가 산(VFA) 생성 효율에 미치는 영향은 큰 것으로 나타났다.

Fig. 9에 나타난 바와 같이 고온 조건에서 유기물 부하를 5 gVS/L.d, 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 그리고 40 gVS/L.d로 증가시켰을 때 산(VFA) 생성효율은 45.7%, 42.1%, 35.7%, 13.8%로 나타나 유기물 부하가 증가할수록 산 생성효율이 감소하는 것으로 나타났다.

특히, 유기물 부하 20 gVS/L.d를 초과할 경우 산 생성 효율이 감소폭이 증가하는 경향을 나타내어 음식물찌꺼기를 고온에서 산발효할 경우 유기물 부하를 20 gVS/L.d 이하로 하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

중온에서 산발효시 유기물 부하에 따른 산(VFA) 생성효율은 유기물 부하가 5 gVS/L.d, 10 gVS/L.d, 20 gVS/L.d, 40 gVS/L.d로 증가함에 따라 43.8%, 36.8%, 21.6%, 11.7%로 감소하여 고온에서와 동일한 경향을 나타내었다.

중온에서는 유기물 부하율이 10 gVS/L.d를 넘어서자 산 생성 효율이 급격하게 떨어져 고온보다 한계 부하율이 더 낮은 것으로 나타났다.

중온조건에서 유기물 부하를 10 gVS/L.d로 하였을 때 나타난 산 생성 효율 36.8%는 백 등¹⁴⁾의 유기물 부하 7gVS/L.d에서 중온 산발효를 하였을

경우 산 생성효율이 32%이었다는 보고와 유사한 것으로 나타났다.

Fig. 9에서는 고온과 중온에서 이루어진 산(VFA) 생성효율을 비교하고 있는데, 유기물 부하율이 5 gVS/L.d에서 20 gVS/L.d로 증가함에 따라 산 생성효율이 고온에서는 약 10% 정도, 중온에서는 약 22% 정도 감소하여 고온조건에 비하여 중온조건에서 유기물 부하의 증가에 따른 산 생성효율의 저하가 2배 정도 큰 것으로 나타났다.

따라서 고온에서 산발효를 실시하는 것이 중온에서 보다 높은 산 생성효율을 얻을 수 있을 뿐 아니라 상대적으로 높은 유기물 부하에서도 안정된 산발효를 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

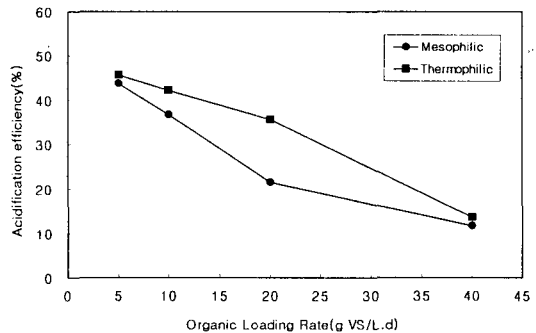


Fig. 9. Variation of acidification efficiency for organic loading rate in thermophilic and mesophilic reactor.

3.4. 산발효 생성물의 이용

기존 하수처리장의 시설을 이용하여 음식물찌꺼기를 병합처리를 하는 경우 일반적으로 Fig. 10에 제시되어 있는 바와 같이 우선 음식물찌꺼기를 산발효한 후 하수슬러지와 혼합소화를 실시하거나, 또는 산발효액을 고액분리한 후 그 상등액을 하수 고도처리의 탄소원으로 이용하는 방법이 있다.

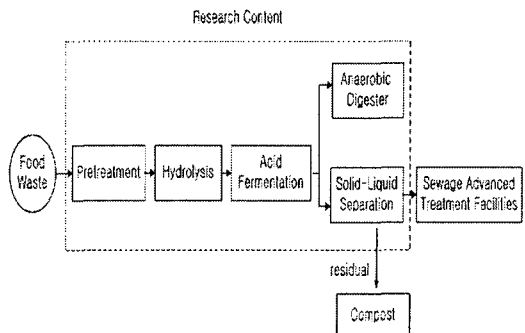


Fig. 10. Food wastes and sewage sludge connection treatment in sewage treatment plants.

두 가지 방법을 실시하는데 있어 우선 효율적인 가수분해 및 산발효가 효율적으로 이루어지는 것이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 음식물찌꺼기를 이용하여 고농도의 VFA를 생산하기 위하여 고온 및 중온에서 산발효를 실험하였고, 또 유기물 부하율에 5, 10, 20, 40 gVS/L.d로 변화시키면서 산발효를 실시한 결과 Table 19와 같이 나타났다.

음식물찌꺼기의 산발효의 경우 Table 2에 나타난 바와 같이 고온조건이 중온보다 높은 부하에서 운전이 가능하며, 산발효 생성물의 VFA 농도도 중온보다 높은 것으로 나타나 결과적으로 음식물찌꺼기 산발효시에는 고온을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

고온에서 생성된 음식물찌꺼기 산발효액은 기존 하수처리장에서 위에서 언급한 바와 같이 두 가지 방법으로 이용되어질 수 있다.

첫 번째로 본 연구방향과 동일하게 하수슬러지와 혼합소화되어 기존 하수처리장 소화조의 유기물 부하를 높임으로써 소화 효율증대 및 메탄가스 생산을 높이고, 또 발생된 메탄가스는 에너지원으로 이용될 수 있다.

음식물찌꺼기를 산발효하지 않고 바로 하수슬러지와 혼합소화를 실시할 경우 초기 다량의 유기산 생성으로 인하여 pH가 저하되어 일반적으로 혼합비 2:8(음식물찌꺼기:하수슬러지)이하로 소화가 가능한 형편이며, 또 음식물찌꺼기와 하수슬러지의 소화속도 차이로 인하여 스크발생 등 문제점을 야기할 수 있기 때문에 이러한 것들을 해결하는 방안으로 음식물찌꺼기의 산발효한 후 하수슬러지와 혼합소화를 실시하는 방법이 제시될 수 있다.

두 번째로 하수처리장의 고도처리시 탄소원으로 이용하는 방안인데, 국내 기존 하수처리장 유입수질의 BOD/T-N이 평균 3.7로 일반적으로 탈질이 가능한 BOD/T-N인 5 이하의 낮은 유기물 농도를 나타내고 있어 탈질을 위한 탄소원의 추가공급이 필요하다고 고¹⁵⁾가 보고하고 있다.

Table 19에서 보이는 바와 같이 음식물찌꺼기 고온 산발효액의 성상에서 SCOD_{Cr}/TKN, SCOD_{Cr}/T-P이 각각 18.9, 73.4로 나타나 하수처리장에서 저부하 유기물 유입시에 추가 연구를 통하여 하수중의 질소제거를 위한 외부탄소원으로 충분히 활용 가능한 것으로 판단되며, 음식물찌꺼기 고온 산발효액을 하수 고도처리시 유기탄소원으로 이용할 경우 메탄올 등 약품 공급비용을 줄이고 음식물찌꺼기를 자원화 할 수 있을 것으로 여겨진다.

Table 2. Characteristics of fermented food wastes

Item	Thermophilic (OLR:20gVS/ℓ.d)	Mesophilic (OLR:10gVS/ℓ.d)
SCOD _{Cr} (mg/l)	36,550~41,260 (Ave. : 38,910)	30,780~34,910 (Ave. : 32,840)
VFA (mg/l)	17,330	11,280
TKN (mg/l)	1,870~2,240 (Ave. : 2,055)	1,770~2,180 (Ave. : 1,975)
T-P (mg/l)	450~610 (Ave. : 530)	390~570 (Ave. : 480)
SCOD _{Cr} / TKN	18.9	16.6
SCOD _{Cr} / T-P	73.4	68.4

4. 결 론

본 연구에서는 산생성효율의 최적 운전인자 도출을 위하여 중온 및 고온혐기성산발효공정에서의 유기물부하에 따른 산발효 효율을 비교·검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

유기물 부하별로 고온과 중온 조건에서 실험을 진행했을 때 VFA생성과 pH변화를 비교했을 때, 고온 조건이 중온조건보다 더 높은 부하율에서 운전이 가능한 것으로 나타났으며, 생성되는 VFA의 농도도 더 높은 것으로 나타났으며, pH의 변화는 고온 조건에서 4.8~6.2, 중온 조건에서 5.8~6.7로 고온에서 중온보다 pH가 낮게 나타났다.

고온과 중온에서 유기물 부하별로 산발효시 생성된 유기산의 구성성분을 비교했을 때, 고온에서 생성된 유기산이 중온보다 acetic acid의 비율이 높은 것으로 나타났다.

유기물 부하율이 5 gVS/L.d에서 20 gVS/L.d로 증가함에 따라 산 생성효율이 고온에서는 약 10% 정도, 중온에서는 약 22% 정도 감소하여 고온조건에 비하여 중온조건에서 유기물 부하의 증가에 따른 산 생성효율의 저하가 2배 정도 큰 것으로 나타나 고온에서 산발효를 실시하는 것이 중온에서 보다 높은 산 생성효율을 얻을 수 있을 뿐 아니라 상대적으로 높은 유기물 부하에서도 안정된 산발효를 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

음식물찌꺼기 고온 산발효액의 성상에서 SCOD_{Cr}/TKN, SCOD_{Cr}/T-P이 각각 18.9, 73.4로 나타나 하수처리장에서 저부하 유기물 유입시에 추가 연구를 통하여 하수중의 질소제거를 위한 외부탄소원으로 충분히 활용 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 경북환경기술개발센터의 연구개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 윤종수, 2005, 음식물류폐기물 관리대책 현재와 미래, 첨단환경기술, 35-39.
- 2) ATV(독일하수도협회), 1970, Lehr-und Handbuch der ABWASSER TECHNIK Band III Zweite Auflage, 155-156.
- 3) 김수생, 2003, 액상폐기물처리 강의록, 동아대학교, 1-20.
- 4) 최동원, 1998, 우리나라 주방 폐기물의 혐기성 소화와 모델링에 관한 연구, 한국과학기술연구원 석사학위 논문, 1-4.
- 5) 신항식, 한선기, 송영채, 이채영, 2001, MUSTAC 공정을 이용한 음식물쓰레기의 처리, 한국폐기물학회지, 18(1), 43-50.
- 6) 김도희, 김인수, 1998, 고온 혐기성 소화에서의 동력학 상수의 결정 및 VFA 의 분해 경향에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 15(3), 184-190.
- 7) 효성에바라 환경엔지니어링 주식회사, 1998, 하수처리장을 이용한 음식물쓰레기의 병합처리, 폐기물 자원화 학회지, 8(2), 21-27.
- 8) Zoetemeyer, R. J., J. C. Heuvel and A. Cohen, 1982, pH influence on acidogenic dissimilation of glucose in an anaerobic digester, Wat. Res., 16, 303-311.
- 9) Kisaalita, W. S. and H. Siegrist, 1987, Acidogenic fermentation of lactose, Biotechnology and Bioengineering, 30, 88-95.
- 10) Noike, T., G. Endo, J. Chang, J. Yaguchi and J. Matsumoto, 1985, Characteristics of carbohydrate degradation and the rate limiting step in anaerobic digestion, Biotech. Bioeng., 27, 1482-1489.
- 11) Breure, A. M., K. A. Mooijman and J. C. Andel, 1986, Protein degradation in anaerobic digestion : influence of volatile fatty acids and carbohydrates on hydrolysis and acidogenic fermentation of gelatin, Appl. Microbiol. Biotechnol., 24, 426-431.
- 12) Horiuchi, J. I., T. Shimizu, K. Tada, T. Kanno and M. Kobayashi, 2002, Selective Production of Organic Acids in Acid reactor by pH Control, Bioresource Technology, 82, 209-213.
- 13) Gluoke, C. G., 1973, Bioconversion of energy studies at the University of California (Berkeley), Proceedings of the Bioconversion Energy Research Conference, 58-78.
- 14) 백병천, 이창기, 송영채, 신항식, 채소룡, 오세은, 2002, 음식물쓰레기의 혐기성 산발효에 대한 유기물 부하 및 회석을 영향, 한국 폐기물 학회지, 19(6), 722-729.
- 15) 고경숙, 1999, 유기물부하가 낮은 하수처리장의 처리효율 개선과 탈질, 동아대학교 대학원 박사 논문, 23-35.