

## 음식물쓰레기 세정산발효공정에서 세정율의 영향

권구호 · 이상협 · 민경석<sup>†</sup>

경북대학교 환경공학과

### Effects of Elutriating Rates for Elutriated Acid Fermentation of Food Waste

Koo-Ho Kwon · Sang-Hyub Lee · Kyung-Sok Min<sup>†</sup>

Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University

(Received 7 January 2008, Accepted 27 February 2008)

#### Abstract

The Korean government started to ban the sanitary landfill of food wastes as of 2005. The radical change of policy is primarily due to the limited landfill site, but aimed to promote not only to reduce the food waste production but also to enhance the reuse and recycle. The performance of elutriated acid fermentation to evaluate the effects of elutriating ratios was investigated. The fermenters were operated with elutriating water to food waste volumetric ratio of 2, 1, 0.5 and 0.25. Initial pH of elutriating water was set for 9 based on the pH effects study. The cumulative amounts of SCOD production rate were 0.34 gSCOD/gVS<sub>i</sub>, 0.45 gSCOD/gVS<sub>i</sub>, 0.26 gSCOD/gVS<sub>i</sub> and 0.28 gSCOD/gVS<sub>i</sub> with the ratios of 2, 1, 0.5 and 0.25, respectively. The cumulative productions of VFAs were 0.12 gVFAs as COD/gVS<sub>i</sub>, 0.28 gVFAs as COD/gVS<sub>i</sub>, 0.21 gVFAs as COD/gVS<sub>i</sub> and 0.14 gVFAs as COD/gVS<sub>i</sub> with the ratios of 2, 1, 0.5 and 0.25, respectively. The volume reduction were 58%, 52%, 45% and 47% with the ratios of 2, 1, 0.5 and 0.25, respectively.

**keywords** : Elutriated acid fermentation, Food waste, Solubilization, VS reduction

### 1. 서론

국내 음식물쓰레기의 발생량은 2005년말 약 13,028톤/일로, 앞으로 소득수준의 향상에 따른 음식물 소비 증가와 음식물쓰레기 분리수거 확산으로 음식물쓰레기의 지속적인 증가가 전망된다(환경부, 2006). 우리나라의 음식물쓰레기는 수분함량이 약 80~85% 정도로 외국에 비해 높아 쉽게 부패되며, 악취 및 침출수의 발생으로 수거와 운반이 어렵다.

발생된 음식물쓰레기는 2005년 1월부터 시행된 음식물쓰레기 직매립 금지 조치에 의해 약 93%정도가 사료화, 퇴비화 등의 재활용 원료로 사용되고 있으며, 그 외 매립과 소각으로 각각 3% 및 4%가 처리되고 있다(환경부, 2006). 그러나 음식물쓰레기의 재활용은 사료사용 기피, 토양내 염분 축적, 수요처 확보 등의 문제점이 많다.

또다른 음식물쓰레기 처리방안은 하수처리장에서 연계처리이다. 음식물쓰레기에는 많은 혐잡물과 고형물을 포함하고 있어 하수처리장에서 연계처리를 하기 위해서는 비닐, 조개껍질, 철분 등과 같은 혐잡물을 완벽히 제거하여야 한다. 혐잡물을 제거하기 위해서는 파봉파쇄 선별기, 원심분리기, 분쇄기 등과 같은 많은 혐잡물제거 처리시설들을 필요로 하게 되어 시설비 및 운영비의 상승을 초래한다.

최근에 기존 혐기성소화공정에 비해 짧은 수리학적체류

시간(Hydraulic Retention Time, HRT)로 각종 유기성 폐기물의 감량화 및 자원화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 연구들 중에는 하수슬러지, 가축분뇨, 음식물쓰레기 등과 같은 유기성 폐기물의 가용화 및 산생성 효율을 높이기 위한 세정산발효공정에 대한 다수의 연구 결과가 보고되었다(박소민, 2003; 박소민 등, 2004; 박순주, 2004; 배진연과 민경석, 2005; 이상협과 민경석, 2004; 이원식 등, 2006; Min et al., 2006).

세정산발효는 혐기성 소화과정 중 고형물내 유기물의 가용화 및 산발효단계에서 생성되는 물질을 별도의 세정수를 사용하여 세정 유출시키는 산발효 공정이다.

음식물쓰레기를 세정산발효공정으로 처리하는 경우 조개껍질 등의 작은 입자를 완벽히 제거해야 하는 혐기성소화나 활성슬러지공법 등과 달리 음식물쓰레기의 혐잡물을 완벽히 제거할 필요가 없어 혐잡물 처리시설을 단순화시킬 수 있다. 세정산발효공정을 거친 세정유출수는 생물학적 영양염류제거(Biological Nutrients Removal, BNR)공정의 외부탄소원으로 이용될 수 있을 뿐만 아니라, 수소와 메탄과 같은 바이오가스(biogas)를 생산하는 혐기성발효공정의 유입기질로 이용될 수 있다(권구호 등, 2007). 또한 세정산발효공정에서 발생하는 폐슬러지는 세정수의 영향으로 염분의 농도가 낮아 퇴비화시 발생하는 염분문제를 해결할 수 있다. 권구호 등(2006)은 음식물쓰레기의 세정산발효액을 SBR 공정의 외부탄소원으로 이용하여 탈질효율을 증가시킬 수 있었으며, 음식물쓰레기의 높은 염분함량으로 인한

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
ksmin@knu.ac.kr

영향 등을 세정산발효를 통해 사전에 제거할 수 있었다고 보고하였다.

본 연구에서는 음식물쓰레기의 감량화 및 자원화를 위한 회분식 세정산발효공정에서 세정수의 변화에 따른 가용화 및 산생성 효율을 비교·검토하여 최적의 설계 및 운전 인자를 도출하기 위한 기초연구를 수행하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 실험장치 및 운전방법

본 실험에 사용된 세정산발효 반응조의 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 세정산발효 반응조는 유효용량이 10 L(총 용량 12 L)인 아크릴로 제작된 원통형 반응조를 사용하였다. 또한 세정수의 주입과 세정유출수의 저류를 위한 저류조가 설치되었다.

각 운전조건에 따라 일정량의 음식물쓰레기(3 L, 5 L, 6 L 및 8 L)를 반응조에 주입하고 매일 일정량의 세정수(6 L, 5 L, 3 L 및 2 L)를 반응조 상부로 주입하였다. 주입된 세정수가 반응조 내부의 음식물쓰레기층을 통과하는 동안에 가용화 및 산발효 반응이 일어나며, 반응조를 통과한 세정유출수는 저류조에 차집했다가 반응조로 순환시켰다. 하루동안 순환과정을 되풀이한 세정유출수는 모두 배출시키며, 다음날 새로운 세정수로 교체된다. 세정수로는 수도물을 사용하였으며, 반응조내 산발효과정에서 생산된 유기산의 축적을 막고 세정수와 음식물쓰레기의 원활한 혼합을 위해서 1일 1회정도 간헐적인 교반을 실시하였다. 세정산발효 반응조는  $35\pm 1^\circ\text{C}$ 로 유지되는 항온실에 설치되었다.

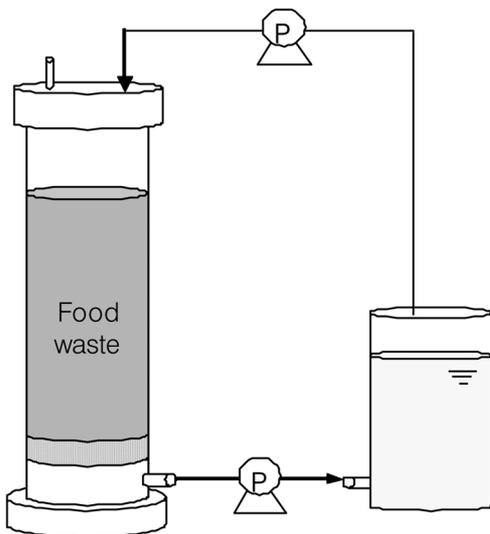


Fig. 1. Schematic diagram of elutriated acid fermentation reactor.

### 2.2. 운전조건

박소민(2003)은 운전온도( $20^\circ\text{C}$ ,  $35^\circ\text{C}$  및  $55^\circ\text{C}$ )와 pH 조건(7, 9, 11)의 변화에 따른 각종 유기성 슬러지의 회분식 세정 산발효 실험을 수행하였는데,  $35^\circ\text{C}$  및 pH 9에서 최

적의 가용화율 및 산생성율을 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 이전의 연구결과에 따라 반응조의 pH 및 운전온도를 각각 9 및  $35^\circ\text{C}$ 로 하였다.

세정산발효 공정에서 세정수의 영향을 조사하기 위하여 음식물쓰레기량과 세정수량의 비를 각각 달리하여 운전하였다. 음식물쓰레기량은 각각 3 L, 5 L, 6 L 및 8 L, 세정수량은 6 L, 5 L, 3 L 및 2 L로 세정수(세정수량/음식물쓰레기량)는 2, 1, 0.5 및 0.25였다. 운전초기에는 유입되는 음식물쓰레기의 pH가 너무 낮아 가용화율을 높이기 위해 세정수의 pH를 12로 조정하였으며, 안정화된 후에는 pH 9로 조정하였다. pH조절을 위해 희석된  $\text{NaHCO}_3$  및 NaOH 용액을 이용하였다.

### 2.3. 분석방법

모든 시료의 분석은 Standard methods(APHA, 2005)에 준하여 실험하였으며, 음식물쓰레기의 회분식 세정산발효 특성을 평가하기 위하여, 매일 발생하는 세정유출수에 대해 pH, TKN,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , CODcr(total, soluble), T-P,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , TS, VS, VFAs 등의 항목을 분석하였다. VFAs는 UV 검출기와 유기산 분석 컬럼(Aminex HPX-87H, Bio-Tad, Inc., U.S.A)이 장착된 HPLC(Shimadzu Model LC-10AD, Japan)로 측정하였다. HPLC 측정을 위한 전처리로 4,000 rpm으로 15분 동안 원심분리 시킨 후, 상등수를 채취하여  $0.45\ \mu\text{m}$  여과지(Micron Separations, Inc.)로 여과한 후 측정하였다.

### 2.4. 음식물쓰레기 성상

본 실험에 사용한 음식물쓰레기는 대구광역시 S 하수처리장내의 음식물쓰레기 하수병합처리시설에서 협잡물만 제거된 것을 채취한 것으로, 실험실에서 입자크기를 5 cm 정도로 파쇄하여 사용하였다. Table 1은 유입기질로 사용된 음식물쓰레기의 성상을 나타내고 있다. 본 연구에 사용된 음식물쓰레기는 주로 주거지역에서 발생한 것이며, 시료채취 시기는 7월 중순경의 여름철로 다른 계절에 비해 생물학적 분해속도가 비교적 느린 과일껍질이나 채소류 등이 많았다. 따라서 타 계절에 비하여 가용화율이나 부피감량이 비교적 낮을 것으로 예상되었다.

Table 1. Characteristics of food waste

Item	Range	Mean
pH	3.6~5.2	4.60
TCOD	318,270~369,670	349,990
SCOD	68,810~76,930	73,700
TKN	8,900~17,430	12,500
$\text{NH}_4^+\text{-N}$	590~806	790
TP	2,585~3,930	3,230
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	544~806	700
TS	225,000~287,450	259,270
VS	190,860~250,410	222,210
VS/TS	0.85~0.87	0.85
Cl <sup>-</sup>	4,190~5,220	4,580

unit : mg/L, except pH, VS/TS ratio

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. pH변화

세정산발효공정에서 pH의 변화는 반응조 내의 운전상태를 평가할 수 있는 중요한 화학적 인자이다. 권미경(2002)의 음식물쓰레기 가용화 연구에 의하면, 알칼리 주입 농도가 0.1, 0.15 및 0.2 g NaOH/g TS인 경우 가용화율이 각각 65.1%, 67.4% 및 76%로 나타나, 알칼리 주입농도가 증가함에 따라 가용화율도 증가한다고 보고하였다. 가용화는 pH가 높을수록 크게 나타나는 반면 산생성율은 pH 5.5 정도에서 최적의 효율을 나타낸다. 즉, 높은 가용화율을 얻기 위해 반응조내 pH를 높게 유지한다면, 산생성이 저해를 받게 된다. 따라서 높은 가용화율과 산생성율을 동시에 달성하기 위해서는 세정수의 pH 조절이 매우 중요하다. 박소민(2003)은 유기성슬러지를 이용한 세정산발효공정에서 세정수의 최적 pH를 9로 보고하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 실험에서도 세정산발효공정의 세정수 pH를 9로 조정하여 실험하였다.

Fig. 2에 세정산발효를 거친 세정유출수의 pH변화를 나타내었다. 운전초기에 기질로 사용된 음식물쓰레기의 낮은 pH로 인해 세정유출수의 pH가 4.0~6.0로 낮게 나타났다. 가용화율을 높이기 위해서 일시적으로 세정수의 pH를 12로 조정하여 운전한 후 점차적으로 세정수의 pH를 9로 조정하였다. 그 결과 운전시작 후 3일부터는 세정유출수의 pH가 6.2~7.8로 나타나 안정적이었다. 운전시작 후 10일부터는 대부분의 가용화와 산생성이 완료되어 세정유출수의 pH가 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

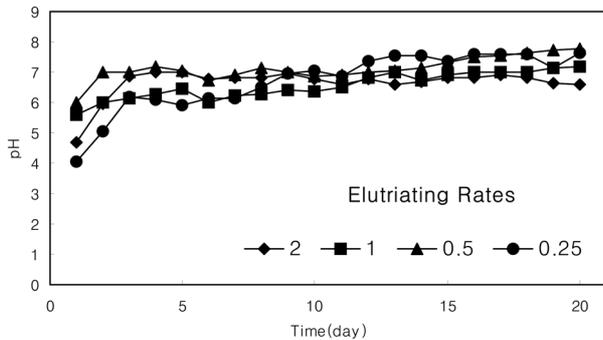


Fig. 2. Variation of pH with operating time.

#### 3.2. 가용화

혐기성 소화 공정은 최종적으로 유기물을 메탄으로 전환시켜 생물학적으로 안정화시키는 것이다. 이에 반해서 산발효 공정은 VS를 가용화하고 생분해가 가능한 유기물을 VFAs로 전환시킨다. 세정산발효공정은 생성된 많은 유기산을 메탄으로 전환되기 이전에 세정유출시키므로 VFAs생산에 보다 효율적이다.

Fig. 3에 각 반응조건에서 유입된 음식물쓰레기의 VS당 유출되는 세정유출수의 SCOD 누적량을 나타내었다. 가용화율은 VS주입량당 SCOD생산량으로 나타내었는데, 세정율이 2, 1, 0.5 및 0.25일때 가용화율은 각각 0.34, 0.45,

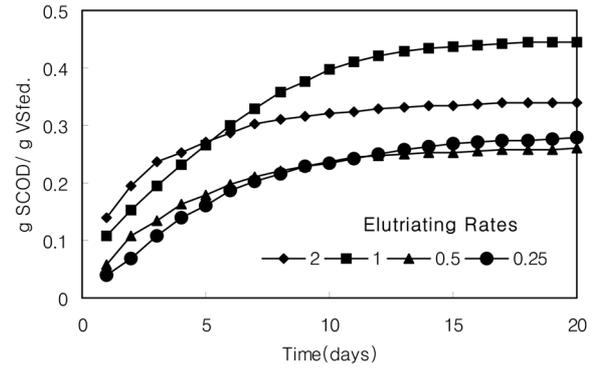


Fig. 3. Accumulated SCOD with operation time.

0.26 및 0.28 gSCOD<sub>prod</sub>/gVS<sub>i</sub>로 나타나, 세정율이 1인 경우 가장 높은 가용화율을 나타내었다. 운전초기에는 세정율 차이에 의한 물리적인 세정효과로 세정율이 큰 조건에서 많은 양의 SCOD가 유출되었다. 그러나 운전기간이 경과함에 따라 물리적 세정효과 이외에 생물학적 가용화인 가수분해가 복합적으로 작용하여 세정율에 따라 가용화율이 다르게 나타났다. 즉 세정율 2에 비해 세정율 1에서 더 높은 가용화율을 나타내었다. 세정율이 큰 경우는 반응조내 미생물이 많이 유실하게 되어 생물학적 가용화 작용이 낮아져서 가용화율이 낮아진 것으로 사료된다.

전체 SCOD 유출량의 약 90%가 세정 유출되는 기간은 세정율이 2, 1, 0.5 및 0.25일 때 각각 8일, 10일, 10일 및 12일로 나타났다. 이러한 결과는 하수슬러지 및 가축분뇨를 기질로 이용한 회분식 세정산발효공정에서 대부분의 SCOD가 약 5일 동안에 유출되었던 박소민(2003)의 연구결과와 비교하여 긴 가용화 기간을 나타내었다. 일반적으로 음식물쓰레기의 고형물 중에는 미생물에 의해 분해되는데 비교적 긴 체류시간이 필요한 셀룰로오스가 많이 포함되어 있다. 특히 본 실험에서 사용한 음식물쓰레기는 여름철에 발생된 것으로, 셀룰로오스의 함량이 높은 과일껍질이나 채소류 등이 많은 부분을 차지하였다. 음식물쓰레기에 포함된 셀룰로오스의 영향으로 다른 기질에 비해 음식물쓰레기의 가용화 기간이 길게 나타난 것으로 사료된다.

음식물쓰레기의 적정 가용화를 위한 반응조의 체류시간은 계절적 변화가 있고 음식물쓰레기 성상에 따라 달라져야 할 것으로 사료된다.

#### 3.3. 산생성

음식물쓰레기내의 고분자 유기성물질은 가용화 과정을 통해 당당류, 아미노산 및 LCFAs(Long Chain Fatty Acids) 등의 용해성 물질로 분해되고, 산생성과정을 거쳐 저급의 휘발성 유기산으로 분해된다.

Fig. 4에 유입된 음식물쓰레기의 VS량에 대한 VFAs의 누적 생산량을 나타내었다. 세정율이 2, 1, 0.5 및 0.25일 때 산생성율은 각각 0.12, 0.28, 0.21 및 0.14 gVFAs/gVS<sub>i</sub>로 나타나, 가용화율이 가장 높았던 세정율 1인 조건에서 가장 많은 VFAs가 생산되었다. 세정율 2의 조건에서는 높은 세정율로 인한 산생성 미생물의 유실로 비교적 높은 가용

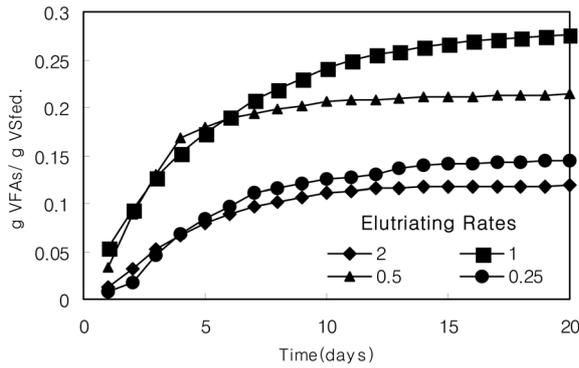


Fig. 4. VFAs production.

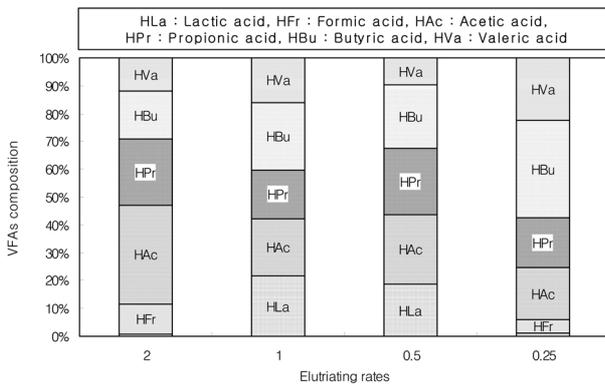


Fig. 5. Distribution of VFAs composition.

화율에도 불구하고 산생성율은 가장 낮은 값을 나타내었다. 반면 세정율 0.25의 경우는 낮은 세정율로 인해 생성된 유기산이 세정유출되지 않고 오래 체류하여 메탄발효에 이용된 것으로 추정된다. 또한 생성된 VFAs의 조성 중 가장 낮은 acetate의 비율을 나타내었는데, 오래 체류하게된 acetate가 메탄으로 전환된 것으로 추정된다. 그러나 이를 증명할 수 있는 메탄생산량은 측정하지 못하였다.

Fig. 5에는 생성된 VFAs의 조성 분포도를 나타내었다. Noike 등(1985)은 전분의 분해시에는 짝수개의 탄소를 가진 유기산(acetate and n-butyrate)이 주로 생산되며, 특히 야채류에 많이 함유되어 있는 셀룰로오스의 분해시에는 acetate의 생산이 주를 이룬다고 보고하였다. 또한 Breure 등(1986)은 단백질의 분해시에는 propionate, n-valerate, acetate가 유기산의 주를 이룬다고 보고하였다. 세정율 2인 조건에서 acetate와 propionate가 가장 많은 양을 차지하였으며, 세정율 1과 0.5인 조건에서는 lactate, acetate, propionate, butyrate 및 valerate 모두 비슷한 분포로 나타났다. 세정율 0.25의 조건에서는 butyrate와 valerate가 가장 많은 양을 차지하였으며, formic acid는 모든 조건에서 거의 나타나지 않았다.

VFAs의 생성 양상은 유입기질에 따라 변화되는 것으로 사료되며, 음식물쓰레기의 경우는 세정율에 다른 VFAs의 생성 양상에 큰 변화를 찾기 어려웠다.

3.4. 감량화

세정산발효 반응조로 유입된 음식물쓰레기는 VS 성분이

SCOD로 가용화되는 과정에서 VS감량과 농축현상으로 부피가 감소하게 된다. 유입된 음식물쓰레기에 대한 VS감량 및 부피감소율은 세정율 2인 조건에서 각각 79% 및 58%, 세정율 1인 조건에서는 각각 75% 및 52%, 세정율 0.5인 조건에서는 각각 74% 및 45% 그리고 세정율 0.25인 조건에서는 각각 59% 및 47% 정도로 나타났다. VS감량 및 부피감소율은 비교적 세정율이 높은 조건에서 보다 효과적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 VS성분의 가용화와 세정수에 의한 미세고형물의 세정효과가 동시에 작용한 결과로 판단된다.

부피감소율은 모든 세정율 조건에서 45~58% 정도로 다른 유기성폐기물의 연구결과에 비해 낮은 값으로 나타났다. 또한 실험이 종료된 후 남은 음식물쓰레기의 함수율이 약 70% 정도로 나타났다. 이것은 실험시기가 여름철이라 분해속도가 느린 채소류, 과일 등이 많이 포함되었기 때문인 것으로 판단된다. 여름철을 제외한 타 계절에는 이보다 높은 부피감소율을 나타낼 것이며, 폐기되는 음식물쓰레기를 탈수, 건조 등의 방법으로 함수율을 낮출 경우 더 높은 부피감소율을 얻을 수 있을 것이다.

3.5. CI의 용출

음식물쓰레기의 높은 염분농도는 음식물쓰레기를 하수처리시설에서 연계처리하거나 바이오가스 생산을 위한 혐기성소화를 적용시킬 경우 큰 저해요인으로 작용한다. Fig. 6에는 운전기간중 발생하는 세정유출수의 CI 농도를 나타내었다. 운전초기에 비교적 고농도의 CI을 함유한 세정유출수가 발생되며, 운전 시작 후 5일내에 대부분의 CI가 용출되는 것으로 나타났다. VS감량 및 부피감소율과 마찬가지로 세정유출수의 CI농도는 세정수량이 상대적으로 많은 높은 세정율 조건에서 낮게 나타났다.

염분에 의한 음식물쓰레기 혐기성소화의 저해를 규명한 오기양과 장덕진(2006)의 연구결과에 의하면, 음식물쓰레기 내의 CI농도가 0, 10 및 35 g/L일 때, 메탄생성율은 각각 83.02, 41.65 및 10.56 mL CH<sub>4</sub>/g COD<sub>added</sub>로 나타나, 고농도의 CI은 메탄 생성에 큰 저해를 준다고 보고하였다. 송창수와 오준성(2002)은 SBR공정에서 영양염류 제거에 대한 염분의 영향을 조사하였는데, 유기물 제거의 경우 CI농도가 8,000 mg/L까지는 제거효율의 완만한 감소를 보여주지만, 10,000 mg/L이상에서는 급격한 감소를 보였으며, 질

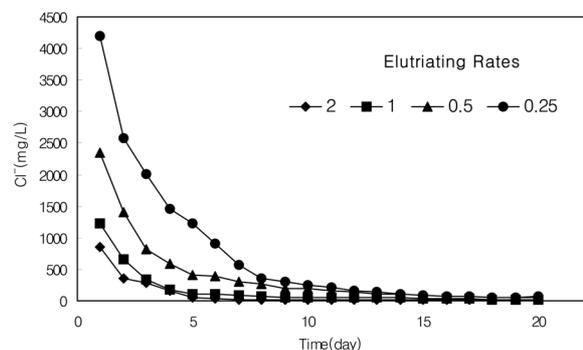


Fig. 6. Variation of CI with operation time.

산화의 경우 CI농도가 20,000 mg/L까지 증가하여도 질산화에 영향을 주지 않는 것으로 보고하였다.

본 연구에서 발생하는 세정유출수의 CI농도는 모두 8,000 mg/L이하이며, 유입된 전체 CI의 양에 대한 유출된 CI의 비는 세정율 2, 1, 0.5 및 0.25일 때 각각 96%, 78%, 64% 및 71%로 상대적으로 세정율이 높은 조건에서 높은 유출율을 나타내었다. 따라서 음식물쓰레기 세정산발효액을 하수연계 처리 및 혐기성 소화와 같은 생물학적 공정에 적용할 경우 CI에 의한 저해작용은 없을 것으로 사료된다. 또한 발생하는 폐슬러지는 퇴비화시 문제가 되는 염분이 대부분 제거되어, 재이용에도 매우 유리할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

- 1) 음식물쓰레기의 세정산발효시 대체로 세정율이 증가함에 따라 가용화율이 증가하는 것으로 나타났으며, 과도한 세정은 오히려 가용화를 저해시키는 것으로 나타났다. 가용화율은 세정율이 1일 때 0.45 gSCODprod./gVS<sub>i</sub>로 가장 높았다.
- 2) 운전시작후 약 10일 동안에 전체 SCOD 용출량의 90%가 세정 유출되는 것으로 나타나, 음식물쓰레기를 이용한 세정산발효공정 설계시 적정 SRT는 10일 정도가 타당할 것이다.
- 3) 유입된 VS량에 대한 VFAs 생성량은 가용화율이 가장 높았던 세정율 1일때 0.28 gVFAs/gVS<sub>i</sub>로 가장 높았으며, VFAs의 조성비는 세정율이 높은 경우 acetate의 비율이 높게 나타난 반면 세정율이 낮은 경우는 butyrate의 비율이 높게 나타났다.
- 4) VS감량 및 부피감소율은 세정율이 2일 때 각각 79% 및 58%로 가장 높은 값을 나타내어 비교적 세정율이 높은 조건에서 효과적인 것으로 나타났다. 특히 부피감소율의 경우 계절적인 요인으로 인하여 다소 낮은 값을 나타내었는데 타 계절의 경우 이보다 높은 부피감소율을 나타낼 것으로 판단된다.
- 5) 세정산발효를 통해 유입 음식물쓰레기에 포함된 64~96%의 CI이 세정 용출되었다. 따라서 세정산발효로부터 발생하는 폐슬러지는 퇴비화시 문제가 되는 염분의 농도가 크게 낮아져, 토지적용시 염분축적 문제를 해결할 수 있을 것이다. 또한 세정유출수의 CI농도는 8,000 mg CI/L이하로 생물학적 처리에 문제가 없을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 권구호, 김시원, 이민재, 민경석(2006). 음식물쓰레기 세정산 발효액을 외부탄소원으로 주입한 SBR 공정에서 질소 및 인 제거. *한국물환경학회지*, **22**(3), pp. 462-467.
- 권구호, 이원식, 민경석(2007). 하수 일차슬러지의 세정산발효 특성에 대한 Microwave 전처리의 영향. *한국물환경학회지*, **23**(4), pp. 498-503.
- 권미경(2002). 음식물쓰레기와 하수일차슬러지의 혼합산발효 및 가수분해 특성연구. 석사학위논문, 경북대학교.
- 박소민(2003). 유기성 슬러리의 가수분해 및 산발효. 석사학위논문, 경북대학교.
- 박소민, 민경석, 안영호, 박종복(2004). 하수일차슬러지의 세정 산발효. *대한환경공학학회지*, **26**(2), pp. 219-225.
- 박순주(2004). Pilot scale 세정산발효와 MAP공정을 이용한 하수 일차슬러지의 탄소원 회수특성. 석사학위논문, 경북대학교.
- 배진연, 민경석(2005). 돈사폐수의 세정산발효시 온도와 전처리의 영향. *한국물환경학회지*, **21**(1), pp. 34-39.
- 송창수, 오준성(2002). SBR공정에서 영양염류 제거에 대한 염분의 영향. *한국물환경학회지*, **18**(3), pp. 237-243.
- 오기양, 장덕진(2006). 염분을 함유한 음식물쓰레기의 혐기성소화에 대한 내염제의 영향. *공동추계 학술발표회 논문집, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회*, pp. 166-173.
- 이상협, 민경석(2004). 하수 연계처리를 위한 음식물쓰레기 세정산발효에서 운전조건의 영향. *공동추계 학술발표회 논문집, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회*, pp. 15-19.
- 이원식, 홍승모, 민경석(2006). Microwave를 이용한 하수슬러지의 전처리 특성 및 회분식 세정산발효를 이용한 슬러지 가용화. *한국물환경학회지*, **22**(6), pp. 920-926.
- 환경부(2006). *2005 전국 폐기물 발생 및 처리현황*.
- APHA, AWWA, WEF. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th ed.*, Washington D.C.
- Breure, A. M., Mooijman, K. A. and Van Andel, J. G. (1986). Protein degradation in anaerobic digestion: influence of volatile fatty acids and carbohydrates an hydrolysis and acidogenic fermentation of gelatin. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **24**, pp. 426-431.
- Min, K. S., Lee, M. J., Lee, J. Y., Zuwhan Yun, and Euiso Choi (2006). Energy Recovery with Combined Elutriated Acid Fermentation and UASB from Food Waste. *Proceedings of the IWA 7th specialised conference Small Water and Wastewater Systems*, Mexico.
- Noike, T., Endo, G., Chang, J., Yaguchi, J. and Matsumoto, J. (1985). Characteristics of carbohydrate degradation and the rate limiting step in anaerobic digestion. *Biotech. Bioeng.*, **27**, pp. 1482-1489.