

음식물 쓰레기의 산발효에 대한 희석율과 부하율의 영향

송영채⁽¹⁾, 우정희⁽¹⁾, 백병천⁽²⁾, 신항식⁽³⁾

한국해양대학교 토목환경공학부⁽¹⁾, 여수대학교 건설환경공학과⁽²⁾

한국과학기술원 토목공학과⁽³⁾

I. 서론

우리 나라에서는 음식물쓰레기가 하루에 약 12,000톤씩 발생하고 있으며, 수거/운반 및 최종처분에 있어서 악취, 침출수, 유독가스 및 공중보건상의 여러 가지 문제의 근원이 되고 있다⁽¹⁾. 따라서, 지금까지 국내에서는 음식물 쓰레기의 효율적인 처리/처분 및 재활용을 위하여 소각, 퇴비화, 사료화 등의 다양한 자원화 기술에 대한 연구가 진행되어 왔다. 그러나, 음식물쓰레기는 큰 생분해도와 높은 염분 및 수분함량, 그리고 낮은 발열량으로 특징지어지는 고유한 특성에 의해 상기한 자원화 기술들에 의한 처리/처분에 한계를 이미 여러 차례 경험하였다. 그러나, 혐기성소화기술을 이용한 처리 및 자원화는 상기한 음식물 쓰레기 특성에 기인한 문제들을 쉽게 극복할 수 있는 것으로 평가되고 있다. 또한, 최근의 연구결과들은 하수슬러지와 음식물쓰레기의 합병소화에 의한 메탄가스 회수법과 혐기성 산발효 공정을 이용한 음식폐기물로부터 고도처리용 유기탄소원을 개발하는 방법들이 대단히 가능성이 있는 방법으로 보고되고 있다⁽²⁾. 일반적으로 음식물쓰레기와 같은 입자성 유기물의 산발효에 있어서 가수분해 단계가 혐기성전체공정을 지배하는 율속단계로 알려져 있으며, 이것은 입자성 유기물의 가수분해와 산생성 단계가 개선된다면 효율적인 음식물 쓰레기의 혐기성 소화가 가능함을 의미한다^(3, 4). 최근에 본 연구실에서 제안한 입자성 유기물의 혐기성소화모델에 의하면 효율적인 가수분해 반응은 산생성균에 의해 생성되는 가수분해효소의 농도나 활성에 의해서 결정된다⁽²⁾. 그러나, 가수분해효소의 생성반응은 산생성반응에 의해서 진행되며, 산생성반응에 직접 비례하지만 가수분해산물에 의해 저해된다. 이와 같은 사실은 가수분해 반응이 효율적인 산생성반응과 직접적으로 관련되어짐을 의미한다. 산생성 반응의 속도는 산생성 반응의 생성물의 농도와 구성에 의해 열역학적으로 영향을 받는다. 그러나, 생성물의 농도와 구성은 산발효조의 고형물 체류시간과 수리학적 체류시간을 달리한 반응조를 이용할 경우 희석율에 의해 쉽게 조절 가능하다.

따라서, 본 연구에서는 실험실규모의 산발효조 2기를 이용하여 음식물쓰레기의 산발효 반응에 있어서 상기한 가수분해 및 산발효 모델에서 제시한 가수분해효소 및 산발효에 영향을 미치는 인자를 보다 구체적으로 평가 및 검증하기 위하여 희석율과 유기물 부하율에 대한 가수분해 및 산발효속도, 산발효분율 그리고 산발효물의 조성과 농도에 대한 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 음식물 쓰레기 및 식중슬러지

[연락처] (우)606-791 부산시 영도구 동삼동 1번지 한국해양대학교 토목환경공학부

송영채 Tel : 051-410-4417, Fax : 051-410-4415, E-mail : soyc@hanara.kmaritime.ac.kr

본 연구에서는 한국해양대학교 구내 기숙사식당에서 수거한 음식물 쓰레기를 이용하였으며, 전처리 과정으로 음식물 외의 협잡물을 선별하여 제거한 후 파쇄하였다. 파쇄된 시료는 4mm 체로 거른 후 pH, TS, VS, TCOD, SCOD, alkalinity, TKN 등의 초기시료 특성을 분석하였고, -5℃의 냉동고에 최대 1주간 보관하였다. 산발효조의 초기 운전에 사용된 식종균은 부산광역시 S 하수종말처리장 소화조에서 채취하였다. 음식물 쓰레기와 식종슬러지의 평균 특성은 Table 1과 같다. 실험에 사용된 음식물쓰레기의 주요성분 습윤 중량비는 일변화가 컸으나 대체적으로 곡류 38.8%, 채소류 40.2% 및 어육류 21.0% 내에서 유지되었다.

Table 1. Characteristics of food waste and seed sludge

Contents	pH	TS(mg/l)	VS(%)	TCOD(SCOD) (mg/l)	alkalinity (mg/l)	TKN (mg/l)
Food waste	5.28	80,595.3	94.8	204,575.3 (91,500.8)	3,900	2,800
		Grain(39.1%), Vegetable(40.1%), Meat and fish (20.8%)				
Seed sludge	7.46	30,046	43.9	21,320 (14,573)	2,187	130.8

2. 실험장치 및 방법

Fig.1은 본 연구에서 사용한 실험실 규모의 산발효조의 개략도이다. 아크릴 수지로 제작된 산발효조 2기의 유효용량은 각각 13.15L, 12.6L였다. 발효조 상부에는 음식물 쓰레기 시료의 주입이 용이하고 공기 유입을 최소화할 수 있도록 시료 주입구를 설치하였으며, 발효가 진행되는 동안 발효조 내용물의 온도가 35℃에서 유지되도록 하였다. 전처리된 음식물 쓰레기 시료는 1일 1회 정해진 시간에 시료 주입구를 통하여 주입하고, 정량펌프를 이용하여 실험목적에 따른 희석율에 대한 희석수를 연속 주입하였다.

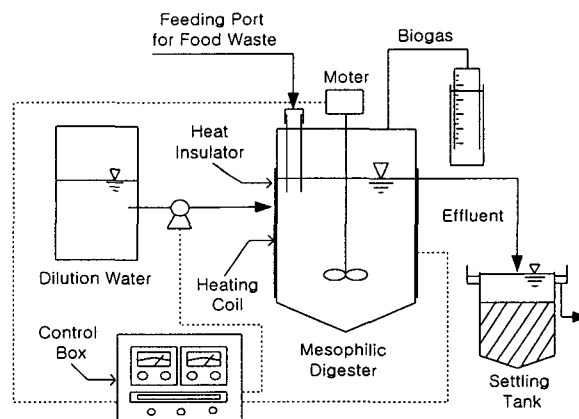


Fig. 1 Schematic diagram of a lab scale acidogenic digester

이때 희석수의 알카리도는 8,000mg/L였으며, 전자수용체로써 황산염의 농도를 350mg/L를 함께 넣어 주입하였다. 실험이 진행되는 동안 발효조 내용물은 1일 1회 채취하여 pH, VFA 및 COD 등을 분석하여 평가함으로써 소화조의 운전상태를 평가하였다. 산발효조가 정상상태에 도달하였을 때 1 주기 동안 정해진 간격으로 내용물을 채취하여 TS, VS, COD, VFA, Alkalinity, pH, TKN 등을 Standard Methods에 준하여 분석하였다. 산발효분율(%)은 1주기 동안 주입된 음식물쓰레기의 총 COD(gr)에 대한 생성된 VFA-COD(gr)의 백분율로서 그리고 가수분해율(%)은 1 주기동안 주입된 음식물쓰레기의 PCOD 총량(gr)에 대해 산발효과정동안 생성된 SCOD 총량(gr)의 백분율로서 결정하였다.

III. 실험결과 및 결론

가수분해 및 산발효에 대한 유기물 부하 및 희석율의 영향을 평가하기 위하여 산발효조 음식물 쓰레기 시료 주입 후 1주기 동안 소화조 내용물의 경시변화를 비교하였다. 운전을 시작한 뒤 약 21 일 후 pH, VFA 및 SCOD로 평가한 산발효조가 정상상태에 도달하였다.

Fig. 2는 유기물 부하에 따른 산발효 공정의 1 주기 동안 발효조 유출수의 VFA(a) 및 SCOD(b) 농도 변화를 보여주고 있다. 15g VS/L/d의 유기물 부하에서 VFA는 음식물 쓰레기 주입 약 4시간만에 약 14,000mg/L as HAc의 피크 값을 보인 뒤 약 8,000mg/L as HAc까지 완만하게 감소하였다. 그러나, 유기물 부하 10g VS/L/d 및 5g VS/L/d에서는 뚜렷한 피크를 보이지 않았으며, 각각 약 6,000-6,500mg/L 및 3,900-4,200mg/L as HAc 값을 유지하였다. 유기물부하에 따른 SCOD는 VFA의 경우와 같이 유기물부하 15g VS/L/d에서 음식물쓰레기 주입 후 1시간만에 약 55,000mg/L의 피크 값을 보였으나 유기물 부하 10 및 5g VS/L/d에서는 각각 18,000-22,000mg/L 및 10,000-12,000mg/L를 유지하였다.

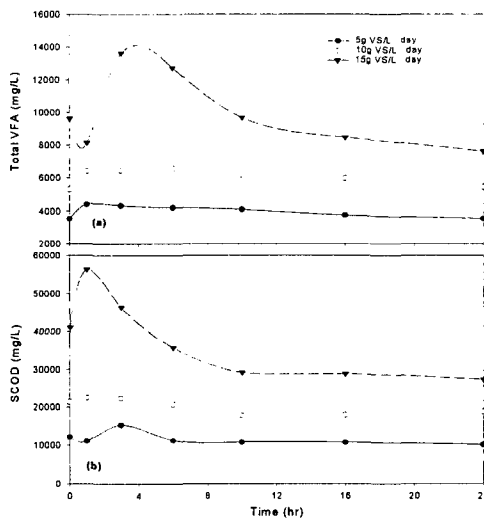


Fig. 2 Influence of OLR on the VFA(a) and SCOD(b)

다. 산발효분율은 유기물 부하 15g VS/L/d 일 때 31%에서 유기물부하가 5g VS/L/d까지 감소하였을 때 37.5%로 가수분해율과 같이 약 6.4% 정도 증가하였다. 이와 같은 결과는 Fig.2에서 발효조

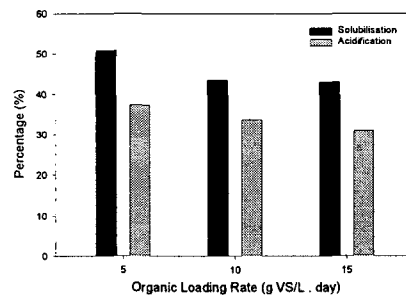


Fig. 3 Percentages of Hydrolysis and acidification according to OLR

Fig. 3은 정상상태에서 음식물 쓰레기의 부하율에 따른 산발효 공정의 가수분해율(%) 및 산발효분율(%)을 보여준다. 가수분해율은 유기물 부하 15gVS/L/d 일 때 42.9%에 불과하였으나 유기물 부하율이 5g/Vs/L/d 까지 감소함에 따라 약 8% 이상 증가하였

내의 SCOD 및 VFA 값이 유기물부하율에 비례하여 증가한 것으로 보아 산발효균에 의한 가수분해 효소의 합성이 가수분해 생성물인 용해성 유기물의 농도에 의해 그리고 산발효반응이 생성물에 의해 열역학적으로 저해되었기 때문인 것으로 평가할 수 있다. 따라서, 이 결과는 서론에서 언급한 가수분해 및 산발효반응에 대한 모델의 가설과 부합되는 결과이다. 음식물쓰레기의 가수분해 및 산발효반응에 대한 회석율 실험은 회석율 0.25 - 1.0/d의 범위에서 수행되었다. 회석율 실험에서 산발효조는 약 30일 후 정상상태에 도달하였다. 가수분해율은 회석율 0.33일 때 50.9%에 불과하였으나 회석율이 0.5로 증가하였을 때 65.1%로 약 15% 증가하였다. 그러나 산발효분율은 회석율을 0.33에서 0.5로 증가함에 따라 각각 37.4%에서 26.2%로 약 11% 감소하였다. 이와 같은 결과는 회석율 0.5에서 용해성 유기물의 농도가 낮게 유지되기 때문에 산생성균에 의한 가수분해효소의 생성이 촉진되는 반면 산생성균의 일부가 유실되기 때문인 것으로 평가되었으며, 효율적인 산발효를 위한 최적의 회석율을 결정하기 위해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 평가되었다.

IV. 참고문헌

1. 환경부, "2000 전국폐기물 발생 및 처리현황", (2001).
2. Y. C. Song, M. K. Kim, B. C. Paik and H. S. Shin, "Effect of Electron Acceptor on Enhanced Acidogenesis of Food Waste", Proceeding of the 7th Korea-Thailand Conference on Environmental Engineering, 22-28 (2001).
3. Goel, R., Mino, T., Satoh, H., and Matsuo, T., "Effect of Electron Acceptor Conditions on Hydrolytic Enzyme Synthesis in Bacteria Cultures", Wat. Res. 31(10), 2597-2603 (1997).
4. Valerie Penaud, Jean Philippe Delgenes.. "Definition of optimal conditions for the hydrolysis and acidogenesis of a pharmaceutical microbial biomass", Process Biochemistry Vol. 32. No. 6,515-521 (1997).