

# 1. 음식물쓰레기의 고율 산발효에 대한 전자수용체의 영향

토목환경공학과 김 미 경  
지도교수 송 영 채

우리 나라에서 음식물쓰레기의 1일 평균 발생량은 1999년도 11,230톤으로 많은 양이 발생하며, 생분해도가 크기 때문에 수거 및 운송 그리고 최종처분과정에서 부폐로 인한 악취, 침출수, 유독가스 등의 여러 가지 심미적 그리고 위생적인 문제를 유발시키고 있다. 그러나, 음식물쓰레기는 탄수화물, 지방 그리고 단백질로서 구성되어 있기 때문에 적절하게 가공 처리할 경우 자원으로 재활용할 수 있는 잠재성이 대단히 큰 것으로 알려지고 있다. 그 동안 국내에서는 음식물쓰레기를 자원화하기 위해 호기성퇴비화, 지렁이퇴비화, 사료화 등의 여러 가지 기술에 대한 연구를 다년간 수행되어 왔다. 최근의 연구 결과들에 의하면 몇 가지 협기성 소화의 응용기술들은 음식물쓰레기의 특수한 성질상의 여러 가지 문제들에도 불구하고 문제해결에 접근이 보다 용이한 것으로 평가되고 있다. 본 논문에서는 음식물쓰레기의 산발효에 있어서 외부 전자수용체를 주입함으로서 가수분해효소의 활성 및 산발효속도, 산발효분율 그리고 산발효물의 농도에 대한 전자수용체로서 황산염의 영향을 평가함으로서 효율적인 산발효조건을 찾고자 하였으며, 생성된 유기산의 질을 평가하였다. 이 연구에서 음식물쓰레기 산발효를 거쳐 생성된 유기산은 고도처리용 외부탄소원으로 사용이 가능하며, 질소와 인 제거에 영향을 미칠 것으로 기대된다.

실험에 사용한 산발효조의 전체용량은 각각 18.7L, 17.6L, 유효용량은 각각 13.15L, 12.6L였으며, 발효조 상부에는 음식물 쓰레기 시료의 주입이 용이하고, 내용물이 충분히 잡길 정도의 길이를 가진 기밀관(Sealing tube)을 부착하여 시료 주입구로부터 공기 유입을 차단 할 수 있도록 하며, n-butyl rubber stopper로 봉하였다. 발효조는 자동온도감지기를 발효조 내부의 내용물에 잠기도록 판을 통하여 연결하고 발효조 외벽에 열전도선을 감은 뒤 단열재를 감싸는 방법으로 자동온도조절장치를 사용하여 외부와 열교환을 차단함으로서  $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 유지시켰다. 발효조 내용물의 효율적인 교반을 위하여 발효조 내부 중심에 구동축을 설치하였으며, 구동축의 하단에 교반기(Blade)를 설치하였다. 음식물쓰레기는 실험목적에 따라 정해진 유기물 부하율에 맞춰 음식물쓰레기를 1일 1회 정해진 시간에 주입하였다. 산발효가 진행되는 동안 알칼리도와 산발효에 필요한 영양염류의 보충 등을 목적으로 소화조 상등액을 모사한 인공 희석수를 중탄산염 등을 이용하여 수도수로 제조한 후 발효조에 미량 연동 펌프를 사용하여 연속 공급하였다. 실험이 진행되는 동안 산발효조 내용물을 1일 1회 채취한 후 pH, VFA, SCOD 등을 분석하여 산발효조의 거동을 평가하였다.

음식물쓰레기의 가수분해 및 산발효반응에 대한 황산염의 영향은 유기물부하 15g VS/L · d, 희석율 0.33/d, 알칼리도 8,000mg/L로 유지되었으며 황산염농도 50mg/L에서 1,250mg/L 범위에서 평가하였다. 산발효조는 초기운전 약 3주 후에 VFA 농도 및 SCOD 그리고 pH 등에 있어서 안정한 상태를 유지하였으며, SCOD의 최대 값은 황산염 350mg/L에서 가장 큰 값을 보였고, VFA의 경우에도 희석수에 주입된 황산염의 농도에 크게 영향을 받았다. 황산염 농도에 따른 가수분해 효율과 산발효 효율은 황산염을 주입하지 않은 Control의 경우 가수분해 효율은

60.1%에 불과하였지만, 황산염 농도 350mg/L를 주입하였을 경우에는 70.6%까지 증가하는 것을 볼 수 있었다. 산발효 효율은 희석수에 황산염을 주입하지 않은 Control에서 19.4%에 불과하였으나, 희석수에 황산염 농도를 150mg/L, 350mg/L, 750mg/L, 1,250mg/L로 변화를 시켰을 경우에는 각각 32.1%, 46.2%, 41.5%, 31.9%로 크게 증가하는 경향을 보였다. 황산염 농도 350mg/L에서 산발효 효율은 46.2%로서 Control보다 26.8% 큰 값을 보였다. 이 결과는 산발효 조에서 황산염환원균의 활성이 큰 저해없이 유지될 수 있으며, 황산염환원균과 산발효균의 상호작용에 의해 산발효율이 크게 개선될 수 있음을 보여주는 결과이다.

황산염 농도 350mg/L, 희석율 0.33/d, 알칼리도 8,000mg/L 조건에서 유기물부하율을 5g VS/L·d, 10g VS/L·d, 15g VS/L·d로 변화시키면서 가수분해 및 산발효 효율에 대한 유기물 부하율의 영향을 평가하였다. 유기물부하가 높을수록 VFA와 SCOD 농도가 증가하였으며, 이는 높은 유기물부하에 따른 많은 양의 용해성 물질들이 SCOD와 VFA로 전환되었기 때문으로 사료된다. 유기물부하 변화에 대한 가수분해 효율은 5g VS/L·day, 10g VS/L·day, 15g VS/L·day에 따라 각각 58.4%, 57.5%, 70.6%로 나타났으며, 산발효 효율은 각각 42.8%, 43.3%, 46.2%로 계산되었다. 이와 같은 결과는 황산염의 주입에 의하여 수소분압을 조절할 경우 유기물부하율 15g VS/L·d까지는 산생성 반응이 연속적으로 증가하며, 이에 따라 가수분해 효소의 생성량이 증가하여 가수분해 및 산생성반응이 모두 촉진될 수 있음을 보여주는 것이다.

앞에서 전자수용체가 존재하는 조건에서 가수분해와 산발효가 개선될 수 있음을 언급한 바 있다. 입자상 고형물의 가수분해 및 산발효가 진행될 때 생성되는 산물인 여러 가지 유기산의 농도, 수소의 분압 등이 높아지면 열역학적으로 평형에 도달하게 되어 연속적인 산생성반응이 불가능하게 된다. 따라서, 산생성반응의 생성물인 수소분압을 인위적으로 감소시키기 위하여 사용될 수 있는 외부 전자수용체로서 황산염의 효용성을 질산염, 철 등과 비교 평가하였다. 유기물부하 5g VS/L·d, 희석율 0.33/d, 알칼리도 8,000mg/L로 운전되었으며, 황산염 농도 350mg/L와 같은 농도의 질산염과 철을 주입시켰다. 여러 가지 전자수용체, 즉 황산염, 철, 질산염에 대한 가수분해 효율은 각각 58.4%, 55.1%, 53.0%로 거의 변화가 없었지만, 산발효 효율은 42.8%, 27.7%, 28.4%로 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 이상의 결과로부터 가수분해 효율과 산발효 효율에 외부 전자수용체가 영향을 미친다는 것을 알 수 있었으며, 질산염, 철, 황산염의 세 가지 전자수용체 중에서 황산염이 가장 효율적인 외부전자수용체로서 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

혐기성 소화공정에서 대상 시료의 탄소와 질소의 비는 대단히 중요한 요소로서 100/6 이상이 가장 적절하다고 문헌에서는 보고되고 있다. 그러나, 탈질을 위한 이론적인 VFAs 요구량은 COD/NO<sub>3</sub>-N비가 2.87:1이라고 보고되고 있다. 외부탄소원을 이용하여 효율적인 질소 및 인의 제거를 위해서는 탄소원의 질은 대단히 중요한 요소로서, 지금까지 외부 탄소원의 질은 주로 C/N비, C/P비등으로 평가하여 왔다. 그러나, 고도처리공정에서 미생물에 의해 활용되는 성분은 SCOD, PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>3</sub> 등의 용해성 물질들이므로, 본 연구에서는 SCOD/PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>비, SCOD/NH<sub>3</sub> 비등의 용해성 물질 비로 음식물쓰레기 산발효 액의 고도처리용 탄소원으로서의 가치를 평가하였다. 이 때 음식물쓰레기 산발효물들의 SCOD/NH<sub>3</sub>비는 산발효조의 유기물부하율, 전자수용체 등에 의해 영향을 받았으나 대체적으로 72.3 - 240.3으로 나타났다. 이 결과로부터 하폐수의 생물학적인 질소 및 인 제거 공정에 있어서 음식물쓰레기의 산발효 액이 효율적인 외부 탄소원으로서 사용될 수 있음을 알 수 있었다.