

수처리

□ 슬러지 혐기성 소화(무산화 소화)에 영향을 미치는 요인 및 전처리 기술 소개

▶ 슬러지 혐기성 소화 기술개요

현재, 슬러지의 주요 처리공정으로는 혐기성 소화, 호기성(생물이 공기 속이나 산소가 존재하는 곳에서 정상적으로 생활하거나 생장할 수 있는 성질) 퇴비, 건조소각, 3차 탈수 등이 있다. 슬러지 처리 기술은 다양한 방법으로, 슬러지의 감량화, 무해화, 안정화를 위한 목적으로 사용된다.

따라서 이러한 목적 달성과 사회적·경제적·친환경적 효익과 결합하여, 슬러지 내 함유된 유기질을 최대한으로 이용하는 방법이 향후 슬러지 처리기술의 중점 방향이다. 그중, 혐기성 소화산 메탄가스는 슬러지 처리의 중요한 기술로 생성량이 긴 슬러지로 인한 환경문제를 해결할 수 있을 뿐 아니라, 에너지 수급의 갈등 문제도 완화할 수 있다.

일찍이 '11.5'규획부터 중국은 혐기성 소화산 메탄가스를 슬러지 처리의 중요한 공정기술로 제시하고 널리 보급하는 것을 장려하였다. 하지만 슬러지 혐기성 소화에 대한 고(高)투자비용, 복잡한 처리기술, 긴 처리시간과 특히 북방지역의 낮은 온도 등 문제로 인해 높은 요구사항으로 사용이 제한되었다. 따라서 혐기성 소화의 이점 강화, 소화 속도 향상, 자원화 활용 여부 등이 향후 혐기성 소화 처리기술 발전에 중요한 사항이다.

▶ 슬러지 혐기성 소화의 원리

혐기성 소화산 메탄가스(氧发酵产沼气)란, 혐기성 균을 이용해 슬러지를 발효시켜 슬러지 속에 풍부한 분자 유기물(단백질·탄수화물·지방 등)을 소 분자 물질(메탄·이산화탄소 등)로 단계를 낮추는 과정을 말한다. 현재, 혐기성 소화는 ▲1단계 가수분해 발효 단계, ▲2단계 수소화 아세트산 생성 단계, ▲3단계 메탄 생성 단계로 나뉜다.

- ① 1단계 : 슬러지 속의 복잡한 유기물들을 간단한 유기물로 분해한다. 지방질 물질과 단백질은 지방산·글리세린 및 아미노산으로 발효하고, 섬유질은 당류로 분해하는 산화 등의 과정을 거친다.
- ② 2단계 : 수소화 아세트산균이 가수분해 단계에서 발생하는 중간 생성물질인 아세트산 및 지방산과 같은 간단한 유기물(메탄, 메탄올, 아세트산 제외)을 아세트산과 수소로 전환한다.
- ③ 3단계 : 메탄균이 1, 2단계에서 발생하는 아세트산, 수소 및 이산화탄소와 같은 소 분자 물질을 메탄으로 변환시킨다.

▶ 슬러지 혐기성 소화에 영향을 미치는 요인

- ① 온도 : 혐기성 발효과정의 주요 영향 요인이며, 적절한 온도는 슬러지에서 유기물을 충분히 분해하여 산기량(aerogenesis, 产气量 : 가스의 발생량)을 증가시킨다. 온도에 따라 상온 소화(10~30°C), 중온 소화(30~35°C), 고온 소화(50~55°C)로 분류할 수 있으며, 현재 일반적인 소화 온도는 약 35°C의 중온 소화이다. 특히, 이 온도에서는 유기물의 반응속도가 빠르고 다량의 산기량으로 인해 부유물이 적다. 따라서 반응 후 슬러지 혼합액에 의해 고체 액화로 쉽게 분리된다.
 - ② 슬러지 바닥의 영양구성 : 슬러지 바닥은 주로 C/N비*로 나타나며, 혐기성 세균(anaerobic bacteria, 산소가 없는 환경에서 생활하는 세균)에 필요한 영양물은 슬러지에서 제공된다. 영양 배치를 측정하는 가장 중요한 지표로 C/N비가 너무 높으면, 세균에 필요한 질소 함량이 줄어들어, 소화액과 pH 값이 감소한다. 반대로 C/N비가 너무 낮으면, 질소 함량이 증가하여, pH 값과 암모니아 농도가 높아진다.
- * C/N비 : 처리를 필요로 하는 오수 속에 함유하는 탄소 대 질소의 비율(네이버 지식백과, 2020.4.9.검색)
- ③ pH 값 : 가수분해 과정과 발효균 및 수산화 아세트산균의 pH 값에 대한 적응범위는 약 5~6.5인 반면, 메탄균의 pH 값 범위는 6.6~7.5이다. 따라서 혐기성 세균이 번식하기에 적합한 pH 값을 초과하면, 세포 내 생화학 과정에 영향을 미친다.
 - ④ 기타 요소 : 혼합조·소화조 내 슬러지가 잘 섞이도록 하는 동시에, 슬러지가 엉겨 붙지 않도록 한다. 또한 소화물이 제때 분리되도록 하여, 소화 효율을 높이고 산기량을 증가시킬 수 있다. 슬러지 체류시간과 투여율은 각각 소화조에 머무는 시간과 소화조의 유효 부피에 투입되는 새 슬러지 비율을 의미하고, 이때 투여율이 높고 소화 속도가 느려지면 산기가 발생한다.

▶ 슬러지 혐기성 소화 기술, 전처리 기술

슬러지 혐기성 소화과정에서 세포 구조를 파괴하여, 유기질 방출·슬러지 가수분해율 증가·혐기성 소화의 성능개선·소화기술의 경제성 제고를 위해 일정한 전처리 기술을 채택하고 있다.

- ① 고압 분사 전처리 기술(高压喷射预处理技术) : 고압 펌프를 이용해 슬러지를 순환 분사하여, 하나의 고정된 충돌 판에 가해지는 기계적 힘은 슬러지에서 미생물의 세포구조를 파괴한다. 세포에서 나오는 물질을 방출하여 슬러지의 단백질 함량을 높이고 가수분해를 촉진시킨다.
- 3MPa(메가파스칼)* 고압 분사로 전처리된 슬러지는 혐기성 소화를 거쳐 슬러지 휘발성 고형물 제거율이 13~50%로 향상되었다. 이에 고압 분사 방법을 이용하여 혐기성 소화를 촉진할 수 있음을 의미한다.

* 파스칼(Pa) : 압력단위이며, 1MPa=1백만 Pa(네이버 지식백과, 2020.4.9.검색)

- ② 초음파 전처리 기술(超声波预处理技术) : 초음파 처리법, 파쇄 세포 등 초음파 기술을 이용하여, 슬러지의 전처리를 실시한다. 주로 미생물 세포를 파괴하는 세포벽으로 세포의 유기질을 방출하고, 슬러지의 가수분해와 소화를 촉진시킨다.

이미 많은 연구를 통해 저주파 초음파를 이용하여 가장 효과적인 기계적 힘을 얻을 수 있다는 것을 밝혀냈으며, 초음파가 슬러지를 처리하는 시간을 30분 이내로 억제해야 한다. 이는 처리 시간이 증가함에 따라 슬러지의 산기량 또한 증가하기 때문이다. 초음파 기술은 오염을 유발하지 않으면서도 분해 속도가 빨라, 세포 속의 물질을 짧은 시간 안에 방출할 수 있으며, 대규모 공정에 적용되고 있다.

- ③ 열처리 기술(热处理技术) : 열처리법은 주로 열을 가하는 방식으로 슬러지 중 일부 세포체가 열을 받아 팽창하고 나중에 파열되어 단백질과 콜로이드(colloid)* 등으로 방출된다. 또한 고온에 영향을 받으며, 뜨거운 물에 분해되면서 암모니아를 형성한다. 슬러지 가수분해의 최적 온도는 165°C~180°C이다.

* 콜로이드(colloid) : 보통의 분자나 이온보다 크고 지름이 1nm~1,000nm 정도의 미립자가 기체 또는 액체 중에 분산된 상태 (네이버 지식백과, 2020.4.9.검색)

- ④ 알칼리 처리법(碱处理法) : 알칼리 성분은 상온 조건에서 슬러지가 자신의 섬유 성분을 용해하도록 촉진시킨다. 알칼리 전처리를 이용하면 슬러지에서 나이트로셀룰로스(nitrocellulose, 硝化纤维)*를 효과적으로 용해할 수 있으며, 나이트로셀룰로스는 유기 탄소화합물로 전환되어 가용성 (물질이 액체에 잘 녹는 성질)의 특성을 보인다. 알칼리 처리법을 이용하면, 슬러지에서 화학적 산소요구량(COD)**과 휘발성 고형물(VS)**의 분해율을 향상시켜 산기량을 증가시킨다. 또한 산기에서 메탄 함량을 높여 혐기성 소화 주기를 단축시킬 수 있다.

* 나이트로셀룰로스(nitrocellulose, 硝化纤维) : 셀룰로스(cellulose, 가장 흔한 유기화합물)의 하이드록시기(hydroxy group, 한 개의 수소 원자와 한 개의 산소 원자로 이루어진 원자가 1개인 원자단이며, 수산기라고도 함)를 질산 에스터(nitric ester, 알코올, 탄수화물과 같이 수산기를 갖는 화합물과 질산에서 물을 분리하여 생성하는 화합물)로 변화시킨 화합물이다. 건조한 상태에서는 폭발하기 쉬우나, 수분을 함유하면 폭발성이 없어져 저장이나 운반이 용이하므로, 보통의 경우 20% 이상의 수분을 첨가하여 보존한다. (네이버 지식백과, 2020.4.9.검색)

** ①화학적 산소요구량(COD, Chemical Oxygen Demand) : 화학적으로 분해 가능한 유기물을 산화시키기 위해 필요한 산소의 양, ②휘발성 고형물(VS, Volatile Solid) : 시료를 550°C의 전기로에서 15~20분간 작열하여 생긴 감량 (네이버 지식백과, 2020.4.9.검색)

▶ 결론

슬러지 혐기성 소화 처리과정에서 과학적이고 합리적인 전처리 기술의 장점을 통해 중국 內 기술보급과 응용을 촉진시켜, 순환 경제발전 및 에너지절약에 도움이 될 것으로 전망된다.

중국수망, <http://www.h2o-china.com/news/view?id=306279&page=1>, 2020.4.9.접속

※ 기술용어 번역·해석이 일부 상이할 수 있으니 반드시 중문본을 확인하시기 바랍니다.



중국 환경산업 주간기술동향

발행

2020년 4월 9일 KEITI 중국사무소

기획총괄

▶ 박재현 소장(korea@keiti.re.kr)

주저자

▷ 차목승(cms0522@keiti.re.kr)

자료제작

▷ 김종균(jaykim@keiti.re.kr)



중국 환경산업 주간기술동향은 매주 목요일 발행됩니다.

문의 : +86-10-8591-0997~8