KEITI
CEB Vol.35 수록내용
2020년 4월 5주차

# 중국환경산업 주간기술동향

## 수처리

### ❍ 중국 슬러지 건조화 기술 소개

#### ▶ 개요

중국의 슬러지 함수율(moisture content, 含水率)* 요구사항은 <도농오수처리장 슬러지 처리, 원림녹화용 점토질**(城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质, GBT 23486-2009)>에서 40%미만으로 규정되어 있다. 이는 기존의 <도농오수처리장 슬러지 처리, 혼합 매립 점토질(城镇污水处理厂污泥处置混合填埋泥质, CJT-2007)>에 명시된 함수율 요구사항 대비 5% 상향 조절하였지만 현재 대부분의 슬러지 탈수는 여전히 요구사항을 충족하지 못하고 있는 상황이다.

* 함수율(moisture content, 含水率) : 수분이 들어 있는 비율*(네이버 지식백과, 2020.4.27.검색)*

** 점토질(argillaceous, 泥质) : 대부분 점토 크기의 입자나 점토광물로 이루어진 퇴적물 또는 퇴적암을 형용하는 용어를 뜻한다.*(네이버 지식백과, 2020.4.27.검색)*

슬러지 건조는 슬러지가 탈수 후, 열에너지를 이용하여 함수율을 더욱 감소시키는 방법이다. 건조화 처리를 통해 슬러지의 함수율을 10~40%까지 낮출 수 있으며, 슬러지의 부피도 효과적으로 축소할 수 있다.

이미 1980년대부터 선진국에서 슬러지 처리(농업용·매립·바다로 투기 등)에 관련한 각종 규제가 부각되면서 슬러지 건조화 기술이 빠르게 확산되었다. 그리고 슬러지 건조화 기술의 장점(처리효율 高, 안정성 强, 조작간단 등)으로 개도국 환경공정(发展中国家环境工程界)에서도 갈수록 중요시 되고 있다. 이에 중국도 슬러지 건조화를 위해 다양한 방법을 적용되고 있다.

#### ▶ 슬러지 건조화 공정방식

슬러지 건조는 ▲가열방식(직접가열, 간접가열, 직·간접가열), ▲공정방식(드럼식, 유동층식, 디스크식, 컨베이어 벨트식, 튜브식, 막식, 진공여과식 등)으로 분류할 수 있으며, 중국에서 일반적으로 사용되고 있는 슬러지 건조화 공정 방법은 다음과 같다.

① 드럼식 건조공정(Drum drying process, 转鼓式干化工艺) : 직접가열과 간접가열 모두 사용 가능하다. 에너지원은 천연가스·메탄가스이며, 공기를 열 매개체로 전환한다. 이때, 젖은 슬러지와 건조화 된 일부 슬러지의 입자가 혼합하도록 섞은 후, 기류(气流)에 의해 드럼 건조기로 유입된다. 유입된 슬러지는 드럼 안에서 기류를 따라 일정한 속도로 회전하여 내부 통에서 외부 통으로 이동하면서 슬러지가 점차적으로 건조되어 입자가 변한다.


ⓒ2020, KEITI. All Rights Reserved.

② 디스크식 건조공정(Disc drying process, 盘式干化工艺) : 와식 원형 디스크 건조(卧式圆盘干化)와 입식 다량 디스크 건조(立式多盘干化)로 분류할 수 있다. 외부 열원으로 기름버너(oil-burning boiler, 油炉) 하나를 먼저 가열한다. 그 다음 유체(oil body, 油体)*의 열에너지를 크레인 구조로 된 디스크에 하나의 고정체로 전달하여 수평을 형성하면서 내부가 회전한다. 내부의 회전부는 관 모양의 중공축(hollow shaft, 空心轴)** 형태이며, 그 축에는 빈 디스크가 고정되어 있다.

* 유체(oil body, 油体) : 식물세포 후형질(세포질 속에 있는 비교적 비활동적인 물질)의 일종이다.*(네이버 지식백과, 2020.4.27.검색)*

** 중공축(hollow shaft, 空心轴) : 축단면의 중심부에 구멍이 뚫린 축을 뜻한다.*(네이버 백과사전, 2020.4.27.검색)*

③ 원심 건조공정(Centrifugal drying process, 离心干化工艺) : 기계의 원심력을 이용하여 탈수시킨 후, 슬러지는 미세한 분말형태로 원심 분리기(centrifuger, 离心机)*에서 고속으로 배출된다. 고열 상태의 뜨거운 공기는 원심 건조기 내부로 유입되어 미세입자 형태로 슬러지를 만나 최단 시간에 고형질 백분율(solid content percentage, 含固率)**을 80%까지 건조시킨다.

* 원심 분리기(centrifuger, 离心机) : 원심력을 이용하여 성분이나 비중이 다른 물질들을 분리·정제·농축하는 기계를 뜻한다.*(네이버 지식백과, 2020.4.27.검색)*

** 고형질 백분율(solid content percentage, 含固率) : 어떤 혼합물에 포함된 고형질 함량의 비율을 뜻한다. 측정방법은 일정한 중량의 슬러지를 취하여 105℃에서 2시간 건조시킨 후, 남은 것을 고형질 백분율이라 한다. *(바이두 백과, 2020.4.27.검색)*

④ 유동층 건조공정(fluidized bed drying process, 流化床污泥干化工艺) : 슬러지의 전처리 과정 없이 유동층(fluidized bed, 流化床)* 건조기로 바로 전달된다. 유동층 건조기의 바닥 전체 단면에 유동화(fluidization, 流化)** 기체를 균일하게 불어넣어 그 내부가 유동층을 형성하도록 한다. 이때, 슬러지가 점차 건조되면서 그 밀도는 감소하여 상단부로 올라간다. 그러면 다시 상단부에서 뽑아낸 가스를 따라 유동층으로 전달된다.

* 유동층(fluidized bed, 流化床) : 용기 속의 미립자가 액체·기체의 일정한 유속에 따라 형성되어 이동하는 층으로 유동층에서는 용기 내의 입자가 거의 균일하게 혼합되어 있다. 입자와 액체·기체의 접촉과 온도 조절이 쉬워 간단한 장치로 다량의 미립자를 연속적으로 처리하거나 그 일부를 빼내거나 공급할 수가 있다. *(네이버 지식백과, 2020.4.27.검색)*

** 유동화(fluidization, 流化) : 고체입자가 유체(流体, 액체와 기체를 합쳐 부르는 용어)의 작용에 의해 액체와 유사한 거동을 보이는 현상을 뜻한다.*(바이두 백과, 2020.4.27.검색)*


ⓒ2020, KEITI. All Rights Reserved.

<슬러지의 건조화 주요 공정>

| 기술명 | 특징 |
|---|---|
| 직접가열 드럼식 건조기술 | · 무산소 환경에서 조작하면 슬러지의 입자형태가 건조되어 입경의 크기 조절 가능<br>· 기체 순환방식의 설계를 통해 처리원가 절감 |
| 간접가열 드럼식 건조기술 | · 공정 간단, 슬러지의 건조 상태 제어가능<br>· 건조기 말단에서 배출되는 산물(일정한 곳에서 생산되어 나오는 물건)은 분말형태 |
| 간접식 다량 디스크 건조기술 | · 건조와 과립 과정에서 산소농도가 2% 미만으로 폭발의 위험성을 피할 수 있음<br>· 과립은 둥글고 단단하며, 먼지가 없어 발열량이 비교적 높음<br>· 폐기가스의 응축·세척을 통해 악취를 발생시키는 화합물을 분해할 수 있고, 폐기가스 배출기준을 충족할 수 있음 |
| 원심 건조기술 | · 공정 간단, 슬러지 탈수기에서 건조기까지 저장, 운송장치 등 제거가능 |
| 유동층 건조기술 | · 간접가열, 건조기 자체에 동력이 없어 추가 유지보수 필요 없음<br>· 건조된 과립의 입자크기 제어할 수 없음 |

자료 출처 : 북극성 수처리망(北极星水处理网), 2020

## ▶ 슬러지 건조화 주요 설비 특징

① 드럼식(转鼓式) 건조기 : 규모가 큰 프로젝트에 적용, 채널(channel, 信道)* 수에 따라 단일 채널 및 3채널 드럼식 건조기로 분류된다. 전체 건조된 슬러지 입자의 크기는 평균 1~4mm이다.

* 채널(channel, 信道) : 통신의 통로를 가리키는 것으로, 신호가 전송되는 것을 의미한다.*(바이두 백과, 2020.4.27.검색)*

② 벨트형(带式) 건조기 : 벨트형은 저온(65°C 미만), 중온(110~130°C)에서 건조하며, 시스템에서 함수량은 10% 미만이다. 슬러지 반송이 필요 없고 슬러지의 완전 건조 및 반건조에 모두 사용된다. 완전 건조 후, 분쇄된 슬러지 입자의 크기 3~5mm이다.

③ 프로펠러식(桨叶式) 건조기 : 간접가열 방식으로로 열매(heat medium, 热媒)*는 스팀(steam, 蒸汽)·열전달유(Heat transfer oil, 导热油)** 등이다. 건조된 슬러지는 반송이 필요 없고 완전 건조와 반건조에 모두 사용된다. 반건조된 슬러지는 덩어리 형태가 되고 완전 건조된 슬러지 입자의 크기는 10mm미만이다.

* 열매(heat medium, 热媒) : 열에너지를 이용해서 가열 또는 동력을 발생시킬 때, 그 열에너지를 전달하기 위한 매체가 되는 물질로, 스팀·온수·온풍·오일 등이 열매로 이용된다.*(네이버 백과사전, 2020.4.27.검색)*

** 열전달유(Heat transfer oil, 导热油) : 열을 간접적으로 전달하는데 사용되는 열 안정성이 좋은 전용 오일이다. *(바이두 백과, 2020.4.27.검색)*

④ 와식 회전 디크스식(卧式转盘式) 건조기 : 간접가열 방식이며, 열매는 스팀·열전달유 등이다. 건조된 슬러지는 반송이 필요하며, 완전 건조 및 반건조에 모두 사용된다. 반건조된 슬러지는 덩어리 형태이고 완전 건조된 슬러지 입자의 크기는 균일하지 않다.


ⓒ2020, KEITI. All Rights Reserved.

⑤ 입식 원형 디스크식(立式圆盘式) 건조기 : 간접가열 방식이며, 열매는 일반적으로 열전달유이다. 건조된 슬러지의 반송이 필요하며 완전 건조에 사용된다. 완전 건조된 슬러지 입자의 크기는 평균 1~5mm 사이로 균일하다.

⑥ 유동층식(流化床式) 건조기 : 직접가열, 직·간접가열 혼합 방식이며, 열매는 스팀·열전달유이다. 건조된 슬러지의 반송은 필요 없고, 완전 건조 및 반건조에 모두 사용할 수 있다. 반건조된 슬러지의 과립 입경은 균일하지 않지만 완전 건조된 슬러지 입자의 크기는 1~5mm로 균일하다.

⑦ 분무식(喷雾式) 건조기 : 직접가열 방식이며, 열매질은 연기(烟气)·뜨거운 공기(热空气) 등이다. 건조된 슬러지의 반송은 필요 없고 완전 건조 및 반건조에 모두 사용된다. 분무 액체 입자의 크기는 30~150um*이다.

* 마이크로미터(um) : 미터의 백만분의 일에 해당되는 길이의 단위이며, 표기법은 1*10□□이다.*(네이버 백과사전, 2020.4.27.검색)*

<슬러지 건조화 주요 설비 특징>

| 형태 | 열매 | 온도(℃) | 특징 |
|---|---|---|---|
| 드럼식 | 공기 | 700 (직접가열)<br>370·340·85 (간접가열) | · **(입자크기)** 1~3mm(완전 건조)<br>· **(처리효율)** 8% 이하로 처리 가능(슬러지 함수량 60~70% 기준)<br>· **(특징)** 큰 규모의 건조화 프로젝트 및 단일채널·3채널의 드럼식 건조기에 적합 |
| 벨트식 | 스팀 | 60 미만 (저온)<br>110~130 (중온) | · **(입자크기)** 3~5mm(완전 건조)<br>· **(처리효율)** 10~40%로 처리 가능(슬러지 함수량 80% 기준)<br>· **(특징)** 건조 슬러지 반송 필요 없음, 완전 건조·반건조에 모두 적합 |
| 프로펠러식 | 스팀·열전달유 | 105~300 | · **(입자크기)** 덩어리 형태(반건조) / 크기 불균형(완전 건조)<br>· **(처리효율)** 10~30%로 처리 가능(슬러지 함수량 75~85% 기준)<br>· **(특징)** 건조 슬러지 반송 필요 없음, 완전 건조·반건조에 모두 적합 |
| 와식 회전 디스크식 | 스팀·열전달유 | 105~300 | · **(입자크기)** 덩어리 형태(반건조) / 10mm 미만(완전 건조)<br>· **(처리효율)** 10~40%로 처리 가능(슬러지 함수량 80% 기준)<br>· **(특징)** 건조된 슬러지 반송 필요 없음, 완전 건조·반건조에 모두 적합 |
| 입식 원형 디스크식 | 열전달유 | 105~300 | · **(입자크기)** 1~5mm(완전 건조)<br>· **(처리효율)** 5~10%로 처리 가능(슬러지 함수량 70~80% 기준)<br>· **(특징)** 완전 건조에 적합 |
| 유동상식 | 스팀·열전달유 | 105~300 | · **(입자크기)** 크기 불균형(반건조) / 1~5mm(완전 건조)<br>· **(처리효율)** 10%로 처리 가능(슬러지 함수량 70% 기준)<br>· **(특징)** 완전 건조·반건조에 모두 적합 |
| 분무식 | 연기·뜨거운 공기 | 200~450 | · **(입자크기)** 덩어리 형태(반건조) / 10mm 미만(완전 건조)<br>· **(처리효율)** 10~40%로 처리 가능(슬러지 함수량 80% 기준)<br>· **(특징)** 건조된 슬러지 반송 필요 없음, 완전 건조·반건조에 모두 적합 |

자료 출처 : 북극성 수처리망(北极星水处理网), 2020


ⓒ2020, KEITI. All Rights Reserved.

## ▶ 슬러지 건조화 기술 발전 전망

산업용·시정용 구분 없이 슬러지 처리 목표는 원료로 재사용하도록 하는 것이다. 현재, 국가에서 슬러지 감량화·안정화·무해화·자원화를 장려하는 여러 정책이 추진되고 있다. 이는 슬러지의 함수율을 낮추는 것이 감량화·자원화 이용 등의 전제 조건이며, 이를 해결하기 위해 다음과 같은 기술 발전 추세가 전망된다.

① 에너지 절약화 : 중국 정부는 CO2 출량을배 2015년 대비 40~45% 감소시킬 것이라 밝혔다. 또한 <'13.5' 에너지 절약·배출감소 업무방안("十三五"节能减排工作方案)>의 요구에 따라, 단위 GDP당 에너지 소모(Energy Consumption per Unit of GDP, 单位国内生产总值能耗)* 비율을 2015년 대비 15% 감소하고, 2020년까지 석탄사용 총량을 50억 톤 이내로 억제할 것을 목표로 하였다.

* 단위 GDP당 에너지 소모(Energy Consumption per Unit of GDP, 单位国内生产总值能耗) : 에너지 소비 수준과 에너지 절약을 나타내는 주요 지표로, 1회 에너지 소비총량 대비 국내총생산(GDP) 비율을 나타내는 에너지 이용 효율 지표이다. 이 지표는 한 국가의 경제활동에서 에너지 이용에 대한 정도를 설명하고 경제구조와 에너지 이용 효율의 변화를 반영한다.*(바이두 백과, 2020.4.28.검색)*

또한 화학적 산소요구량(COD, 化学需氧量), 암모니아성 질소(NH3-N, 氨氮), 이산화황(SO2, 二氧化硫), 질소산화물(NOx, 氮氧化物), 휘발성 유기물(VOCs, 挥发性有机物)의 배출량을 2015년 대비 각각 10%, 10%, 15%, 15%, 10% 이상 절감을 목표로 하고 있다.

슬러지 건조화 기술은 에너지의 소비과정으로 시스템 운영원가의 80%를 초과하는 만큼, 에너지 절약 및 저탄소 슬러지 건조화 기술을 발전시키는 것이 중요하다.

② 저온 건조화 : 슬러지의 건조화 과정에서 60°C를 초과하면 암모니아가 휘발되면서 슬러지 건조화 설비에 영향을 미쳐 부식될 수 있다. 또한 250°C를 초과하면 슬러지에서 휘발성 유기물이 휘발되어 발열량(heating value, 热值)*이 낮아진다.

* 발열량(heating value, 热值) : 단위질량의 연료가 완전연소 하였을 때, 방출하는 열량으로 연소열이라고 한다. 발열량이 클수록 효율이 좋은 연료로서 연료의 성능을 나타내는 기준이 된다.*(네이버 지식백과, 2020.4.28.검색)*

저온 건조화는 전기 에너지만을 소비할 뿐, 다른 보조 에너지가 필요하지 않다. 에너지 소모는 일반적인 건조기의 1/3이며, 전체 건조온도 또한 60°C 이내로 유지한다. 따라서 건조과정 중 외부 가열 설비가 별도로 필요하지 않고 에너지 소모를 감소하면서 악취가스 배출 등을 효과적으로 저하시킨다. 따라서 온도가 높지 않기 때문에 슬러지에서의 유기질 휘발 손실이 적어 발열량을 높일 수 있다.

그러므로 저온 건조기술은 폐온수·저압 스팀(low steam, 低压蒸汽)·태양열·연기(烟气) 등 보조 에너지원으로 에너지 감소할 뿐 아니라 국가의 에너지 관련 정책과 부합할 수 있는 기술이 발전할 것으로 전망된다.

*북극성 수처리망(北极星水处理网), http://huanbao.bjx.com.cn/news/20200407/1061241.shtml, 2020.4.28.접속*

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


ⓒ2020, KEITI. All Rights Reserved.

# 중국 환경산업 주간기술동향

**발행**

2020년 4월 30일 KEITI 중국사무소

**기획총괄**

▶ 박재현 소장(korea@keiti.re.kr)

**주저자**

▷ 차목숭(cms0522@keiti.re.kr)

**자료제작**

▷ 김종균(jaykim@keiti.re.kr)

KEITI 미래를 여는 환경솔루션

중국 환경산업 주간기술동향은 매주 목요일 발행됩니다.
문의 : +86-10-8591-0997~8


ⓒ2020, KEITI. All Rights Reserved.