

KOSHA GUIDE

P - 156 - 2017

하수슬러지 탄화공정의 안전작업에 관한 기술지침

2017. 5.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

o 작성자 : 이근원, 오세천

o 제 · 개정 경과

- 2017년 4월 화학안전분야 기준제정위원회 심의

o 관련규격 및 자료

- 오세천, “하수슬러지 탄화공정의 유해·위험에 대한 연구”,
연구원 2016-연구원-776, 안전보건공단 산업안전보건연구원, 2016.
- 神奈川縣産業技術センター, “廢棄物處理工程における火災・爆發事故解析”, 2008.
- 丸善株式會社, “廢棄物安全處理・リサイクルハンドブック”, 2010.
- 下水道新技術研究所, “汚泥由來の可燃性ガスと汚泥製品の安全對策に關する研究”,
水道新技術研究所年報, 2005.

o 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지(www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 교정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2017년 5월 22일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

하수슬러지 탄화공정의 안전작업에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 하수슬러지 탄화공정에서 발생하는 화재·폭발, 끼임(협착), 떨어짐(추락), 및 화상 등 재해 유형별 유해·위험요소를 파악하여, 발생 가능한 사고를 사전에 예방하기 위해 필요한 사항을 제시하는 데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 하수슬러지의 탄화물을 생산하는 건조로, 탄화로, 열분해가스 연소로, 슬러지의 저장 및 이송설비 등의 설비로 구성되는 하수슬러지 탄화공정에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

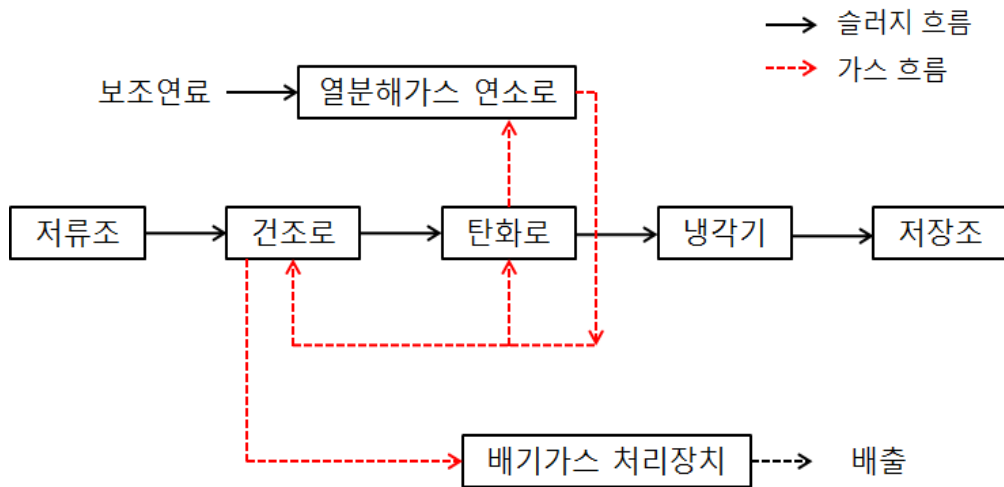
- (가) “건조로 (Dryer)”라 함은 하수슬러지 탈수케이크를 탄화로에 주입하기 이전에 수분을 제거하기 위하여 하수슬러지 탈수케이크를 건조하는 설비를 말한다.
- (나) “탄화로 (Carbonization Furnace)”라 함은 건조된 하수슬러지를 공기가 유입되지 않는 상태에서 가열하여 하수슬러지를 열분해 함으로써 탄화물을 생산하는 설비를 말한다.
- (다) “열분해가스 연소로 (Combustor of Pyrolysis Gas)”라 함은 열분해가스를 탄화로의 열원으로 활용하고자 연소하는 설비를 말한다.
- (라) “열분해가스 (Pyrolysis Gas)”라 함은 탄화로에서 하수슬러지가 열분해되는 과정에서 발생하는 가연성 가스를 말한다.
- (러) “방산구 (Venting Panel)”라 함은 열분해가스 연소로의 내부압력 상승 시 내부압력을 외부로 안전하게 분출시키기 위하여 설치하는 시설을 말한다.

- (마) “파일럿버너 (Pilot Burner)”라 함은 주 버너의 점화를 확실히 하고 쉽게 하기 위한 별도의 보조버너를 말한다.
 - (바) “덕트 (Duct)”라 함은 열분해가스의 연소에 필요한 공기를 공급하거나 연소가스 또는 하수슬러지의 탄화과정에서 발생하는 가스 및 분진 등을 배출하기 위한 도관을 말한다.
 - (사) “슬러지 저류조 (Sludge Storage Tank)”라 함은 유입슬러지를 저장하는 설비를 말한다.
 - (아) “탄화물 저장조 (Carbide Storage Tank)”라 함은 탄화슬러지를 저장하는 설비를 말한다.
- (2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 『산업안전보건법』, 같은 법 시행령, 같은 법 시행 규칙 및 『산업안전보건기준에 관한 규칙』에서 정하는 바에 따른다.

4. 하수슬러지 탄화시설의 공정흐름도와 유해·위험성

4.1. 탄화시설의 공정흐름도

- (1) 하수슬러지 탄화시설로 반입되는 슬러지는 저류조에 저장된 후 탄화로에 유입되기 전에 건조로를 통하여 수분이 제거된다.
- (2) 이후 수분이 제거된 슬러지는 탄화로에 유입되어 탄화과정을 거치게 되며, 이때 탄화과정에서 발생하는 열분해가스는 열분해가스 연소로에서 연소되어 탄화로 및 건조기의 열원으로 활용된 후 배기가스 처리장치를 거쳐 오염물이 제거된 후 대기로 배출된다.
- (3) 탄화로에서 생산된 탄화물은 자연발화를 억제하기 위하여 냉각설비를 거친 후 탄화물 저장조로 유입된다.



<그림 1> 하수슬러지 탄화시설의 주요 공정 흐름도(예)

4.2. 탄화설비의 유해·위험성

(1) 건조로

- (가) 건조로의 기동 및 정지 시, 저 부하 운전 시 등의 경우에 기기의 내부, 기기의 출구에서 건조슬러지가 과 건조되어, 발열 및 발화에 의해 화재·폭발이 일어날 수 있다.
- (나) 건조슬러지가 분말 상태가 되어 점검구의 개방에 의해 산소와 반응하거나 건조기 출구의 슈트 (Shoot)와 컨베이어에서 정전기 등의 불씨와 접촉하여 분진 폭발이 일어날 수 있다.
- (다) 건조기 사이드와 하부 롤러에 대한 그리스 작업 시 작업자가 롤러에 끼일(협착) 위험이 있다.
- (라) 작업자가 건조슬러지 수분 확인을 위한 샘플링 시 이송컨베이어 스크류에 끼일(협착) 위험이 있다.
- (마) 작업자가 천정크레인 운전·정비 등의 작업 시 안전난간 미비로 떨어짐(추락) 위험이 있다.
- (바) 작업자가 건조슬러지 이송배관 등의 막힘 제거 작업 중 이송배관에서 떨어짐(추락) 위험이 있다.

(2) 탄화로

- (가) 하수슬러지 탄화설비의 폭주적인 진행으로 탄화로 내 온도가 급격히 상승하여 배기가스 처리계통과 밀봉부분이 소손되어 열분해가스의 누설이 발생할 수 있다.
 - (나) 탄화로에서 발생하는 열분해가스의 성분은 일산화탄소와 메탄 등을 다량 함유하고 있어, 열분해가스의 누출로 인하여 폭발과 화재가 일어날 수 있다.
 - (다) 탄화로의 점검구에서 기밀성 저하와 투시창 유리의 파손부에서 열분해가스가 누설될 경우 작업자의 일산화탄소 중독사고가 발생할 수 있다.
 - (라) 정비작업 중 탄화로 출입 시 작업자가 탄화로에서 떨어질(추락) 위험이 있다.
 - (마) 작업자가 탄화로나 재연소로의 비산 재 청소시 발생하는 분진에 의해 진폐증 등의 건강장해가 발생할 위험이 있다.
- (3) 열분해가스 연소로
- (가) 열분해가스의 질적 또는 양적 변동에 의해 연소가 중단되어 불꽃이 꺼진 상태에서 계속적으로 새로운 열분해가스가 공급되는 경우, 연소실의 가연성 가스가 축만한 상태가 되며, 이때 불씨가 유입되면 폭발이 발생할 수 있다.
 - (나) 작업자가 연소공기에열기 비산재 청소 시 발생하는 분진에 의해 진폐증 등의 건강장해가 발생할 위험이 있다.
 - (다) 작업자가 열분해가스 연소로에서 발생하는 연소가스의 처리시설에서 수산화나트륨에 노출되어 호흡기나 피부 질환이 발생할 위험이 있다.
 - (라) 작업자가 집진기의 백필터 맨홀 개방 시 백필터 상부에서 떨어질(추락) 위험이 있다.
- (4) 슬러지 저류조
- (가) 하수슬러지 탈수케이크 저장 시 악취가 발생하여 작업자의 건강장애를 일으킬 위험이 있다.
 - (나) 하수슬러지 탈수케이크 저장설비에 슬러지를 장시간 저장할 경우 슬러지가 부패하여 가스가 발생할 수 있다.
- (5) 탄화물 저장조
- (가) 하수슬러지 탄화물 저장설비에 탄화물을 장시간 저장할 경우 자기발열에 의하여 발화하여 화재가 발생할 수 있다.

(나) 하수슬러지 탄화물의 저장 시 과잉 압축이 될 경우 탄화물이 파쇄되어 분진이 발생할 수 있다.

(6) 이송설비

(가) 열분해가스가 이동하는 덕트의 경우, 타르 고착과 분진 퇴적 등이 발생하기 쉬워 덕트 막힘이 발생할 가능성이 높으며, 이로 인하여 국부 과열과 화재 등이 발생할 수 있다.

(나) 하수슬러지 탈수케이크가 이동하는 이송배관의 경우, 탄화설비의 운전이 중단되는 기간 중 이송배관 내 잔류하는 슬러지가 밀폐상태에서 부패하여 가스가 발생할 수 있다.

(다) 하수슬러지 탄화물이 이동하는 과정에서 충분히 냉각되지 않는 경우 자기발열에 의하여 이송 중 화재가 발생할 수 있다.

5. 하수슬러지 탄화설비의 안전조치

(1) 건조로

(가) 하수슬러지 탈수케이크의 건조과정에서 발생할 수 있는 화재 위험을 방지하기 위하여 물 분무 소화장치 등을 설치하여야 한다.

(나) 분진 폭발을 방지하기 위하여 접지 등에 의한 정전기 발생 방지조치와 분진에 의한 폭발 위험성이 큰 경우는 전기설비를 방폭구조로 하여야 한다.

(다) 건조로의 공기유입을 차단하기 위하여 하수슬러지 케이크의 정량공급설비를 불활성가스로 주기적으로 퍼지하여야 한다.

(라) 건조로의 점검을 위하여 점검구를 개방할 필요성이 있는 경우, 건조로의 운전을 완전히 정지하고 온도가 충분히 내려갈 때까지 점검구를 개방하지 않도록 하여야 한다.

(마) 건조로는 불연성 재료로써 최대운전 온도에서의 열팽창에 의한 응력을 충분히 견딜 수 있도록 설계·제작되어야 한다.

(바) 건조로의 내부는 청소하기 쉬운 구조로 하여야 한다.

(사) 건조로는 내부의 온도가 국부적으로 상승하지 아니하는 구조로 설치되어야 한다.

(아) 건조로 내부의 온도를 수시로 측정할 수 있는 장치를 설치하거나 내부의 온도가

자동으로 조정되는 장치를 설치하여야 한다.

- (자) 건조로의 감시창·출입구 및 배기구 등과 같은 개구부는 발화 시에 불이 다른 곳으로 번지지 아니하는 위치에 설치하고 필요한 경우에는 즉시 밀폐할 수 있는 구조로 하여야 한다.
- (차) 기타 그 밖의 사항은 산업안전보건기준에 관한 규칙 “건조설비”에 따라 폭발이나 화재가 발생하지 않도록 안전조치를 하여야 한다.

(2) 탄화로

- (가) 하수슬러지의 탄화과정에서 발생하는 열분해가스의 누출을 방지하기 위하여 부압 제어장치를 설치하여야 한다.
- (나) 탄화로 내부의 온도를 수시로 측정할 수 있는 장치를 설치하여야 한다.
- (다) 열분해 탄화과정에서의 비 이상적인 급격한 온도 상승을 방지하기 위하여 온도 제어장치를 설치하여야 한다.
- (라) 탄화로의 공기유입을 차단하기 위하여 건조슬러지의 정량공급설비를 불활성가스로 주기적으로 퍼지하여야 한다.
- (마) 열분해가스로 인한 폭발 위험성이 큰 경우는 전기설비를 해당 열분해가스에 대해 방폭성능을 가진 구조로 하여야 한다.
- (바) 탄화로의 경우 열분해가스의 누설 및 공기의 유입 관리가 매우 중요하며, 탄화로 회전부의 밀봉부분과 공급장치에서의 기밀상태를 주기적으로 점검하여야 한다.
- (사) 탄화로의 내압이 정상적으로 운전되는 압력 일지라도 점검구 등의 기밀성을 유지하여야 한다.
- (아) 탄화로의 감시창·출입구 및 배기구 등과 같은 개구부는 발화 시에 불이 다른 곳으로 번지지 아니하는 위치에 설치하고 필요한 경우에는 즉시 밀폐할 수 있는 구조로 하여야 한다.

(3) 열분해가스 연소로

- (가) 연소장치의 이상 연소 방지를 위하여 항상 불꽃이 꺼지지 않도록 파일렛 버너를 설치하여야 한다.
- (나) 열분해가스 연소로의 이상 연소 발생 시 신속하게 연소로 내의 압력을 감지하여 대기 중으로 안전하게 방출하기 위한 방산구를 설치하여야 한다.

- (다) 열분해가스로 인한 폭발 위험성이 큰 경우는 전기설비를 해당 열분해가스에 대해 방폭성능을 가진 방폭구조로 하여야 한다.
 - (라) 연소로에는 각 버너 마다 연료의 연소상태를 확인할 수 있도록 관찰구 등을 설치하여야 한다.
 - (마) 보조연료로 기체연료 및 액체연료를 사용하는 경우 연소용 공기 공급웬 또는 배기웬이 작동하지 않으면 보조연료가 공급되지 않도록 연동되어야 한다.
 - (바) 다음 각호와 같은 연소로의 이상 시 자동으로 보조연료의 공급을 차단할 수 있는 긴급차단밸브를 설치하여야 한다.
 - 1) 공기 공급웬, 배기웬 또는 순환웬의 고장
 - 2) 탄화로내의 온도이상 상승
 - 3) 전기공급 중단
 - 4) 불꽃감지기 (Flame Detector) 작동
 - (사) 긴급차단밸브는 가능한 버너와 가까운 곳에 설치하여야 한다.
 - (자) 기체연료 배관에 설치한 긴급차단밸브는 연료의 누설시험을 위하여 긴급차단 밸브 다음에 차단밸브를 설치하고, 사이에 시험 콕 등을 설치하여야 한다.
- (4) 슬러지 저류조
- (가) 탈수케이크 저류설비에는 가스를 제거하는 관을 설치하여 설비의 휴지 시에는 반드시 정기적으로 가스를 제거하여야 한다.
 - (나) 탈수케이크 저류설비에는 가스농도의 상승을 방지하기 위하여 급기용 흡인구를 설치하여야 한다.
 - (다) 탈수케이크 저류설비내의 공기를 열분해가스 연소로의 연소공기로 이용할 경우 가연성 가스농도의 관리를 위한 환기시설을 설치하여야 한다.
- (5) 탄화물 저장조
- (가) 하수슬러지 탄화물의 자연발화에 의한 화재위험을 방지하기 위하여 저장 탄화물 시설 내 온도상승을 감지하기 위한 온도측정 장치를 설치하여야 한다.
 - (나) 저장설비의 온도 상승 시 화재발생을 방지하기 위하여 질소 퍼지 또는 살수시설을 설치하여야 한다.
 - (다) 탄화물의 저장설비의 경우 저장설비의 높이와 쓸모없는 공간(dead space)를 제한하여 탄화물의 과잉 압축과 장기간 체류를 방지하여야 한다.

(6) 이송설비

- (가) 하수슬러지 탄화물이 저장설비에 유입되지 이전에 충분히 냉각될 수 있도록 탄화로에서 저장설비로의 탄화물 이송설비에 냉각설비를 설치하여야 한다.
- (나) 탈수케이크 이송배관은 완전한 밀폐부분을 피하기 위하여 게이트 밸브 등을 항상 열어두어야 한다.
- (다) 탈수케이크 이송배관에 압력계 및 가스를 밖으로 배출할 수 있는 배기장치를 설치한다.
- (라) 열분해가스 이송덕트는 탄화로의 기밀상태를 점검할 때 함께 주기적으로 청소를 하여야 한다.
- (마) 열분해가스 이송덕트는 가스온도의 유지를 위한 보온설계와 청소 및 점검을 하기 쉬운 구조로 설계되어야 한다.

6. 하수슬러지 탄화설비의 작업자 안전대책

- (1) 천정크레인, 이송배관, 탄화로 백필터 등 고소작업이 실시되는 설비에는 작업발판이나 안전난간을 설치하여야 한다.
- (2) (1)의 작업발판이나 안전난간의 설치가 곤란한 경우에는, 안전대 부착설비를 설치하고 근로자에게 안전대를 착용하게 하는 등의 안전조치를 하여야 한다.
- (3) 건조기 사이드나 하부 롤러 및 이송컨베이어 스크류 등 근로자가 점검 및 정비 등의 작업 시 끼임(협착) 위험이 있는 경우에는 반드시 운전을 정지한 후 작업을 실시하여야 한다.
- (4) 설비 가동 중 작업이 불가피한 경우는 근로자가 위험 부분에 직접 접촉하지 않도록 근로자가 위험에 처할 우려가 있는 부위에 덮개·울·슬리브 및 건널다리 등을 설치하여야 한다.
- (5) 유해가스나 분진 등의 유해물질을 취급하고 있는 공정 및 설비는 유해물질의 가스·증기 또는 분진의 발산원을 밀폐하는 설비 또는 국소배기장치를 설치하여야 한다.
- (6) 환기나 배기가 원활하지 않아 근로자가 유해물질에 노출될 우려가 있는 경우에는, 반드시 방독마스크나 송기마스크 등의 적절한 호흡용 보호구와 눈과 피부 보호용 보호구를 착용하도록 한다.
- (7) 기타 그 밖의 사항은 KOSHA GUIDE “연소 소각법에 의한 휘발성 유기화합물

(VOC) 처리설비의 기술지침“의 4에서 규정하는 소각설비의 안전·방호조치를
참조하도록 한다.