

오염물질 배출특성 및 입자상오염물질

| 연재 |



V. 대기오염 발생 시 긴급 조치

3. 사례연구(Case study)

사례 1. 집진설비의 정전기에 의한 폭발 화재

3-1-3. 사고 원인 및 대책 수립

사고 원인을 분석한 결과 대전 접지 불량 때문에 발생한 정전기에 의한 착화였음이 확인되었고, 사고 이후 개선 조치 사항을 소개하면 다음과 같다.

- ❶ 집진 덕트 내 건물의 분진 퇴적개소의 청소 및 이후의 정기 검사
- ❷ 집진 덕트 내 청소용 점검 구멍 설치
- ❸ 집진 덕트 플랜지부에 Earth bond 설치
- ❹ 집진 여과포, 슈트(Chute) 등에 도전성의 것을 사용
- ❺ 집진 덕트의 간소화, 벤트(Vent) 류의 감소
- ❻ 집진 설비에 대한 점검 기준서 재작성
- ❼ 덕트, 집진기 접근 용이한 소화용 스팀 배관 설치

어느 사업장이든지 안전사고는 항상 잠재하고 있으며 특히 이 사고로 인해 얻은 교훈은 다음과 같다.

- ❶ 프로세스의 보조적 설비의 충분한 운전 점검이 필요
- ❷ 취급 물질이 고압가스나 위험물 등이 아니라고 해서 스파크를 방지하기 위한 접지시설의 중요성을 간과해서는 안됨
- ❸ 가연성 분체의 퇴적에 따른 위험성 및 주기적인 청소의 필요성 인식

사례 2. 여과 집진기(Bag Filter) 교체 작업 중 화재 발생

3-2-1. 사고 발생 시의 운전 현황

S 사업장에서는 여과 집진기의 여과포(Filter bag) 교체 및 세정을 위해 반제품 저장 사이로(Silo)에 설치되어 있는 여과 집진기를 분리하여 인근 작업 장소로 이동하였다.

이때 작업을 용이하게 하기 위하여 여과 집진기를 높혀야 하나 크레인 와이어로프(Wire rope) 결착 고리가 없어 고리 부착의 필요성이 대두되었다. 크레인 와이어로프 결착 고리 설치를 위하여 볼트 고정 용접 작업을 하던 중 불티가 여과포에 인화되어 화재가 발생하였다.

3-2-2. 화재 발생 상황

화재가 발생하자마자 작업 중이던 작업자는 소화기 및 소화전을 이용하여 화재를 초기 진압할 수 있었다. 인적 피해는 없었고, 물적 피해로는 초기 진압 덕분에 슬레노이드 밸브 3개가 훼손되었으나 재생 가능한 것으로 판명되었고, 화재 진압을 위해 소화기 3대가 소모되었다.

3-2-3. 사고 원인 및 대책 수립

대상 사업장의 프로세스 및 설비의 개요를 살펴보면 여과 집진기의 여포의 성분은 합성수지이며 필터 자체에 반제품인 테레프탈산(CTA) 분말이 다량 존재했다. 여과 집진기의 여포 교체 및 세정 작업의 목적은 설비의 효율 및 안전 운전을 위한 것이다. 사고 원인을 몇 가지로 요약하면 다음과 같다.

- ❶ 여과 집진기의 여포 성분이 합성수지이며, 필터 자체에 가연성 물질인 테레프탈산(CTA) 분말이 다량

존재하고 있어 화기 작업에 대한 유의 절차에 미숙

- ㉒ 안전 작업 허가서 발행 시 화기 작업 사항을 기재하지 않았음에도 불구하고 촉박한 작업 일정만을 감안하여 안전상의 준수 절차가 간과
- ㉓ 작업 현장에 작업 감독자가 상주하지 않아 화기 통제 작업이 제대로 이루어지지 않음

본 사고로 인해 후속 개선 조치 사항으로서는 여과 집진기 교체 작업 시 화기 작업에 대한 절차 및 유의 사항을 반드시 준수하고 모든 작업 시 작업 감독자가 반드시 상주하여 감독해야 한다는 점이다. 이후 본 사업장은 환경 안전사고에 대한 원칙을 철저히 준수하고 화기 사용 작업에 대한 관리 감독을 철저히 하여 환경 안전 우수 사업장으로 인정을 받게 되었다.

본 사고가 주는 교훈으로서는 작업 요청자와 작업자와의 의사소통 수단인 안전작업 허가서 발행 시 작업에 대한 철저한 의사 교환이 되어야 하며, 작업 수행 중 작업 내용이 변경되었을 때 허가서를 재발행 하도록 하는 시스템이 철저히 보완되어야 한다는 점과 작업자의 직무에 환경 안전 교육이 계속 이루어져야 한다는 점이다.

사례 3. 불완전 연소가스에 의한 폭발 화재 사고

3-3-1. 사고 발생 시의 운전 현황

K 사업장에서는 1호기 보일러의 시운전을 위해 보일러 유로 점화를 한 후 온도를 높이기 위해 벵커-C유로 교체하여 운전하던 도중에 벵커-C유로부터 불완전 연소된 가스(오일 또는 하이드로카본 미스트)가 전기 집진 장치 내로 흡입되어 폭발 가능한 상태가 조성되었고, 정전기 스파크(코로나 방전)에 의해 착화되어 폭발하였다.

3-3-2. 화재 발생 상황

다행히 인적 피해는 없었고 물적 피해로는 집진판이 파손되었고 손잡이 등 구축물이 변형되고 보일러 연돌 내부의 내화 벽돌이 심하게 균열되었으며 맨홀 뚜껑이 파손되었다.

3-3-3. 사고 원인 및 대책 수립

보일러 내부에 스파크로 인한 전기 집진기 폭발 사고였으며, 이는 불완전 연소 가스 때문인 것으로 추정되었다.

개선 조치사항으로는 시운전 방법의 검토와 함께 보일러를 가동하기 전에 위험 요소를 철저히 점검하고, 전기 집진기 맨홀은 방폭 도어(Explosion door)로 교체하며 아울러 운전원에 대한 안전절차 교육이 필요하였다.

본 사고가 주는 교훈은 시운전을 할 때 운전 절차서(Procedure for Start-up)를 반드시 숙지한 후 운전 에 임하는 철저함을 가져야 한다는 점이다.

사례 4. 유기용제에 의한 활성탄 흡착탑에서의 화재 발생

3-4-1. 사고 발생 시의 운전 현황

B 사업장에서는 케톤(Ketone)류의 유기용제를 주로 사용하고 있으며 방지시설로서 활성탄 흡착탑을 정상 가동하고 있었으나 늦은 오후에 흡착탑에서 화재가 발생하였다. 다행히 운전자가 통제실에 설치된 감시 카메라(CCTV)를 통해 발견하여 신속히 조치함에 따라 큰 피해는 없었다.

이는 사업장에서 사용하고 있는 케톤이 활성탄상에서 화학반응(산화 및 중합반응)을 일으키고, 이때 이 반응 열이 활성탄을 이상 가열시킴으로 인하여 활성탄이 착화되어 화재가 발생하게 된 것으로 추정하였다.

3-4-2. 화재 발생 상황

초기 화재 진압으로 인해 인적 및 물적 피해는 거의 없었으며 화재 후 활성탄은 일부 교체하여 재사용할 수 있었다.

3-4-3. 사고 원인 및 대책 수립

활성탄 중의 케톤 농도(흡착량)가 높아지면 활성탄의 착화 온도는 낮아지게 되는데 이는 활성탄이 케톤을 많이 흡착할수록 착화하기 쉬워지며 이 상태로 공기 중에서 가열되면 화재가 일어날 가능성이 높아진다는 것이다.

또한 활성탄의 사용한 상태도 활성탄의 화재에 영향을 준다. 일반적으로 활성탄에 수분이 흡착된 경우에 냉각

효과에 의해 화재가 발생하기 어렵다. 또한 마이크로 (Micro) 세공이 발달된 활성탄의 경우 케톤 흡착 시 축열된 열의 발산이 쉽지 않기 때문에 일반적으로 케톤류 취급 시에는 중간 세공이 잘 발달된 활성탄을 사용해야 한다.

본 사업장에서는 화재 이후 다음과 같이 활성탄의 선정 및 장치의 구조적 취약점을 보완하여 화재 재발을 방지할 수 있었다.

① 활성탄 선정 조건

- 활성탄의 원료로는 아자(Coconut)보다 유연탄(Coal)이 좋다. 흡착된 용제의 탈착 성능이 아자가 훨씬 우수하기 때문이다.
- 입상 활성탄(예 : #4 ~ 8mesh)보다 조립 활성탄(ϕ 5mm)을 이용하도록 한다. 활성탄층 내의 열 방출성은 조립 활성탄이 우수하기 때문이다.
- 알칼리 금속 함유가 적은 활성탄을 사용한다. 촉매 작용을 하는 알칼리 금속 등 불순물이 적을수록(예 : 7% 이하) 화재 발생 소지는 적어진다.

② 장치 구조적 측면

탈착성이 나쁜 활성탄을 사용한 장치에는 주의가 필요하다. 더구나 탈착중 활성탄층 내에서 부분적으로 탈착 부족이 생기는 장치, 즉 활성탄층에 사점(Dead spot)이 있는 장치, 활성탄층 내에서 편류가 생기기 쉬운 구조의 장치 및 편류가 생기기 쉬운 활성탄을 사용한 장치 등은 활성탄의 착화 위험성이 높아지므로 주의가 필요하다.

장치의 운전 정지 시에는 활성탄층 내의 통기가 끊어지기 때문에 통기에 의한 활성탄의 냉각이 행해지지 않는다. 이 때문에 정지시의 활성탄은 극히 위험한 상태가 되며 활성탄의 착화가 일어나기 쉽다.

활성탄의 착화를 막는 데는 활성탄을 충분히 냉각한 후 장치를 정지할 필요가 있다. 열 방출성이 나쁜 활성탄을 사용하고 있는 경우는 특히 정지전 활성탄의 냉각에 주의가 필요하다. 촉매성이 높은 활성탄을 사용한 장치도 활성탄의 착화 위험성이 높아진다.

화재를 방지하려면 활성탄층 내의 열을 어느 정도 방출할 수 있느냐, 즉 탱크를 냉각시킬 수 있느냐가 중요하다. 따라서 아래와 같은 장치 구조 및 가동 조건을 제시하고자 한다.

- 활성탄의 평면층보다 수직 층 또는 경사 층이 열을 방출시키기 쉽다.
- 흡착탑 전단에 습식 세정기를 설치할 경우 인입 가스의 냉각 효과를 기대할 수 있다. 또한 아세톤 용제는 수용성이므로 인입 가스 농도를 줄일 수 있어 흡착에 의한 발열량을 제거할 수 있다.
- 운전 조건
 - L.V(유속) : 0.2 ~ 0.4m/sec
 - 흡착능 : 0.5m 이하
 - 접촉시간 : 1초 이하
- (부반응(Side reaction) 방지 위함)
- 고정온도(Setting temp.) : 70 ~ 90°C 이하
- 인입온도 : 40°C 이하, 40°C 이상에서는 부반응이 급격히 발생함
- 운전 정지시 : N₂, CO₂ 분석계를 탑 출구에 설치
- 센서 설치위치 : 활성탄층 높이별, 120° 각도로 각 1개씩 총 6개 설치
- 분석계 설치 : CO 또는 CO₂ 분석계를 탑 출구에 설치

VI. 활성탄 재생설비

1. 개요

흡착은 원래 발열과정이며 흡착질, 활성탄 및 매체 3자 사이에서 친화 차이에 의해 흡착 평형관계가 성립하고 있다. 활성탄 재생이란 일반적으로 말해서 폐활성탄에 물리적, 화학적 및 생물학적 처리를 가하여 활성탄 표면이나 세공에 흡착되어 있는 흡착질을 제거하여 원래의 흡착 능력을 회복하는 것을 말하는데 영문으로 표시하면 '리제너레이션(Re-generation)' 과 '리엑티베이션(Re-activation)'으로 구분할 수 있다.

❶ 리제너레이션(Re-generation)

가역적으로 물리 흡착하고 있는 물질을 흡착 에너지 보다 큰 에너지를 사용하여 제거하는 가열 탈착 또는 폐놀을 흡착된 활성탄에 알칼리 용액을 통과시켜 폐놀을 소다염으로 탈착시키는 약품 탈착과 미생물 발효같이 비교적 완만한 처리 방법을 말한다.

❷ 리액티베이션(Re-activation)

주로 비가역적 흡착이 많은 액상 흡착의 경우나 기상 흡착 Cycle을 수회 반복하여 흡착 성능이 급격히 열화되어 Regeneration 방법으로 재생이 안 되는 경우에는 다단로 (Multi-hearth Furnace)나 로타리 킬른(Rotary Kiln)으로 고온 활성화하는 재생 방법을 말한다.

흡착질을 활성탄으로부터 탈리시키는 방법에는 감압 재생, 가열 탈착, 화학 재생, 용매 재생, 치환 재생, 산화 분해 재생 등이 있으나 여기서는 외부에서 열을 가해 온도를 높이는 방법을 이용해 평형 관계 그 자체를 바꾸는 방법인 가열 탈착에 대해서 설명하고자 한다. 참고로 본 방법은 국내에서 활발하게 적용하고 있는 대표적인 활성탄 재생 설비 프로세스의 일환으로 적용되고 있다. 가열 탈착법에 의한 활성탄 재생 시 크게 3가지 단계 즉 건조, 탄화, 활성화 단계를 거치게 되는데 여기서 공정 단계별 원리를 설명하면 다음과 같다.

1-1. 건조

활성탄 재생로에는 수분을 포함한 폐탄이 투입된다. 이것을 100℃ 정도의 온도에서 건조하여 일부 유기물을 탈착한다.

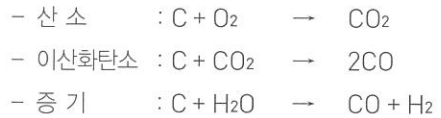
1-2. 탄 화

사용완료 탄은 세공 중에 많은 유기물을 흡착하고 있다. 이 활성탄을 사용하여 저비점 유기물을 탈착한다. 또한 고비점 유기물은 열분해에 의해 일부가 저분자화하여 탈리되고, 나머지는 세공 내에서 탄화된다.

1-3. 활성화

활성화 공정에서는 재생로 측벽 아래 단(Stage)에 설치된 버너로부터 열원을 공급받아 800~1,000℃

정도로 가열하고, 탄화하여 세공 중에 남은 유기물을 수증기, 이산화탄소, 산소 등의 산화성가스에 의해 가스화하여 탈착한다. 활성화 가스로는 대기방지 시설 공정에 설치된 폐열 회수 보일러(Waste heat boiler)로부터 발생한 수증기를 사용한다. 일반적으로 온도가 높을수록 세공용적은 증가하며 활성화 정도는 높아지지만 활성탄의 기질이 손상되고 강도가 저하할 우려가 있으므로 엄격한 운전 통제(Operation Control)가 강구된다. 재활성화 공정은 다음과 같은 식으로 표시된다.



여기서 산소는 활성탄 자체를 산화시킬 우려도 있고 산소농도를 1% 이하로 유지하기 때문에 반응에는 이용하지 않는다. CO₂는 수증기보다 반응이 약하여 중요시하지 않으며, 스팀은 활성화 반응과 동시에 수성 가스가 발생하는 특성을 갖고 있다. 고온 활성화하는 재생 방법으로 적용될 수 있는 다단로와 로타리 킬른을 비교하면 다음 <표 14>와 같다.

< 표 14. 다단로와 회전로의 비교표 >

구 분	다단로 [Multi-hearth Furnace]	회전로 [Rotary Kiln]
온도 유지	여러 개의 버너로 구분된 반응영역에서 온도 분포 조절이 가능하고 열효율이 높음	단 1개의 버너로 열 공급 영역 별 온도유지가 불가능하고 열효율이 낮음.
수증기 공급	반응영역에서 일정하게 분사	입구에서만 공급하므로 일정치 못함
입도 분포	입도분포에 관계없이 체류시간을 동일하게 유지 가능	입도에 비례하여 큰 입자가 빨리 배출
균일성	온도제어 및 충분한 체류시간으로 균일한 품질의 재생 가능	온도제어 불가능으로 균일한 재생 불가능
품질	고품질 입상재생설비로 적합	고품질 입상 재생설비로 부적합
재생 원가	초기투자비가 높아 재생원가 비교적 높음	초기 투자비가 낮아 재생원가 낮음
기타	수처리 활성탄 재생장치로 가장 많이 사용되고 운전관리가 용이하며 대량 재생규모에 적합	영세위탁 재생업체에서 많이 사용하고 운전관리가 비교적 어려우며 소량의 재생규모에 적합

자료제공 : 환경보전협회 환경연구수처
 다음호에 계속 ...