

대기오염 발생시 긴급조치

::연 재

1. 대기오염 발생시 긴급 조치 사항

- 특정유해물질이 누출되어 비산될 때에는 보건 위생상 위험하므로 관계 관청이나 경찰서 혹은 소방서에 신고하여야 한다.
- 바람이 불어가는 피해지역의 주민은 바람이 불어오는 쪽으로 대피한다.
특히 HCN, PH₃, COCl₂ 등 맹독성 가스는 위험 표시, 출입금지 표시를 설치한다.
- 가스상 휘발성물질 중에서 밀도가 공기보다 큰 것은 빨리 확산조치를 취한다.
- 인화 및 폭발 위험이 있는 물질은 착화원을 멀리하고 폭발성 혼합 기체가 생성되지 않도록 한다.
- 물에 대한 용해도가 큰 물질(HF, HCl, H₂SO₄, NH₃, 페놀)은 수세가 효과적이고, 용해시 발열이 큰 물질(HF, HCl, H₂SO₄)은 대량의 물을 사용하되, 배수에 의한 수질오염도 고려하여야 한다.

- HF, HCl, H₂SO₄, Cl₂, HSO₃Cl 등은 소석회나 소다회로 중화 또는 흡수 처리한다. 또한 HCl, HCN은 NaOH로 중화시킨다.
- 특정물질이 누출되거나 비산 염려가 있는 사업장에는 후드를 설치하여 배출하고 작업시 보호구를 착용한다.
- 물에 대한 용해도가 큰 물질은 수세법으로 처리하고, 산성 물질은 석회유 또는 가성소다 용액에 의한 흡수방법으로 처리한다.

2. 주요 집진장치의 화재, 폭발 대책

현장에서 발생할 수 있는 집진장치의 화재나 폭발현상은 비정상적으로 운전하거나 부적절한 재질의 사용 그리고 평소 집진기의 관리 원칙 및 기준 등을 무시한데서 기인하는 것이 대부분이다. 현재 국내·외에 설치되어 운전되고 있는 집진장치의 종류가 다양하고, 그 특성 또한 각각 다르기 때문에 여기서는 대표적으로 여과집진기(Bag house) 및 전기집진기(Electrostatic precipitator), 세정집진기(Scrubber), 활성탄

흡착탑(Activated carbon adsorption tower)을 중심으로 그 원인 및 대책을 설명하고자 한다.

2-1. 여과 집진기(Bag house)

여과집진장치는 함진 가스를 여재(filter)로 통과시켜 입자를 포집하여 분리하는 장치이다.

여과 방법은 여과포 안쪽에서 먼지를 걸러내는 내면 여과 방법과 비교적 얇은 여과재를 이용하여 표면에 초기 부착된 입자층을 여과층으로 하여 입자를 포집하는 외면 여과 방법으로 구분한다.

여과집진기에서의 화재 및 폭발 현상은 주로 소각 대상 물질이 연소되는 과정 중에서 발생하는 불씨나 미연소된 오염물의 이동과정 중 집진기 내부의 여재에 옮겨 붙어 일어나는 경우인데, 특히 폭발 현상은 내부에 축적된 일산화탄소 등 불완전 연소 물질이 여과 집진기 내부 장치에 축적되어 산소가 부족한 환원성 분위기에서 발생할 수 있다.

따라서 이 현상을 방지하기 위해서는 여과집진기 전단에서 오염물질을 완전히 연소시켜야 함은 물론이고 여과 집진기 내부에 충분한 통기성을 부여하는 한편, 불씨가 가스에 유입되지 않도록 여과 집진기 전단에 전처리기나 스파크 박스를 설치하고 가스상 및 입자상 오염물이 집진기 내부에 장기적으로 축적되지 않도록 해야 한다. 개보수 공사를 할 때에는 작업자가 안전수칙을 철저히 준수할 수 있도록 교육시켜야 하고, 외부 용접 과정 중 불티가 맨홀로 들어가 여재에 옮겨 붙지 않도록 주의하여야 한다.

2-2. 전기 집진기(Electrostatic precipitator)

전기집진장치도 마찬가지로 집진기 내부의 불완전 연소 가스의 환원성 분위기로 인해 화재 및 폭발 현상이 발생할 수가 있는데 여과 집진기와의 차이점은 내부의 설비 장치가 대부분 스틸 계통이라는 점과 전기 집진기 내부의 방전극(Discharge electrode)에서의 코로나 방전으로 인해 항상 스파크가 상존하고

있다는 점이다. 따라서 스파크로 인해 화재 및 폭발 현상이 발생하지 않도록 인입 가스의 특성을 철저히 파악하여야 함은 물론 전기 집진기 내부에 불완전 연소 가스가 상존하지 않도록 주의하여야 한다.

특히 소각로 및 저비중 재비산 분진을 처리하는 습식 전기 집진기에서 케이싱의 재질이 카본(C)-FRP인 경우는 내부 처리 가스 온도를 FRP 재질의 내열 온도 이하가 되도록 항상 모니터링 하여 화재의 경우에 철저히 대비하여야 한다. 아울러 큐폴라(cupola)에서 배출되는 오염 물질은 일산화탄소 등 환원성 가스를 포함하는 경우가 많으므로 이 공정에서의 전기 집진기 운전은 신중할 필요가 있겠다.

2-3. 세정 집진기(Scrubber)

세정집진기는 재질이 대부분 FRP인 경우가 많으므로 FRP의 내열 온도 특성 등을 감안할 때 세정 집진기로 유입되는 인입 가스의 온도는 다소 낮아지게 설계해야 한다(대부분 50~80℃ 미만). 따라서 운전 중에는 인입 가스의 온도를 항상 감시할 수 있는 체계를 갖추어야 함은 물론 불씨가 인입 가스에 함께 딸려 오지 않도록 유의하여야 한다. 특히 운전 중 세정집진기 내부에 부착되어 있는 분사 노즐이 막히지 않도록 유지 관리를 철저히 해야 하고, 세정 집진기 전단의 설비 유지 관리에도 만전을 기하여야 한다.

2-4. 활성탄 흡착탑

(A/Carbon Adsorption Tower)

기체분자는 원자가 고체 표면에 부착하는 성질을 이용하여 오염된 기체를 고체 흡착제가 들어 있는 흡착탑을 통과시켜 유해 가스 뿐 아니라 악취도 함께 제거하는 방법이다. 활성탄 흡착탑의 화재 발생 원인과 대책을 살펴보면, 주로 용제를 다량으로 취급하는 업체, 특히 케톤(ketone)류의 용제를 취급하는 흡착탑에서 화재가 빈번히 발생하고 있다. 예를 들면 용제 회수 장치나 라미네이팅 공정, 건조로 및 페인트 부스나 작업장 내 용제 증기를 직접 흡착탑으로



연결하여 냄새를 흡착 제거하는 시설이다. 화재 요인은 크게 두 가지로 대별되는데 활성탄에 의한 원인과 장치 및 운전 조건에 의한 원인이다. 활성탄에 의한 원인으로는 케톤 용제가 분해되면서 생겨난 흡착열이 축적되어 불씨가 형성됨과 동시에 활성탄 입자끼리 서로 부딪혀 정전기가 발생하고 이로 인해 불씨가 형성된다. 케톤류의 용제를 취급하는 경우에 어떠한 활성탄이나 장치라 하더라도 화재가 발생할 가능성은 항상 잠재해 있다. 그러나 원인을 알고 있다면 얼마든지 화재를 예방할 수 있다. 다음은 일반적인 흡착탑 화재 방지법에 관하여 요약하였다.

- 발화 온도는 산화물인 K 함량이 높은 야자 각 활성탄이 약 300℃, 석탄계 활성탄이 약 350℃이므로 석탄계 활성탄이 유리하며 축열에 의한 발열을 피할 수 있도록 형상이 균일한 조립상 활성탄을 사용한다.
- 사영역(dead zone)이 있으면 축열이 일어나므로 활성탄 층의 구조를 수직 또는 경사지게 하거나 활성탄 층의 두께(높이)를 0.5m 이하로 설치한다.
- 접촉 시간을 2초 이하로 한다. 즉 선속도를 0.2m~0.4m/sec로 한다. 선속도가 0.2m/sec 미만이면 유속이 낮아 축열 가능성이 있다.
- 흡착탑 전단에 습식 세정기나 열교환기를 설치하거나 또는 공기와 희석하여 온도를 70℃ 이하로 내려가게 한다. 물론 질소와 같은 불활성 기체를 주입하는 방법이 가장 간단하나 대용량에서는 현실적으로 불합리하다.
- 운전 초기에 흡착열이 발생하여 15~30분 후에는 점차 낮아지므로 물을 충분히 뿌려 주어 30분 정도 공기를 공회전 시킨 다음

정상 가동한다. 활성탄은 소수성이고 유기 용매의 분자량은 물 분자량보다 크기 때문에 초기에 첨가된 물은 가동 중 자연히 탈착되며 활성탄의 흡착 능력을 전혀 감소시키지 않는다.

- 흡착탑에 열전대 및 온도 감지 경보시스템(상한선 100℃ 또는 사업장의 환경에 따라 조정)을 설치하여 온도상승 시 물이 분사되도록 안전장치를 설치해야 한다.
- 가스 배출구에 CO 또는 CO₂ 검지미터를 설치하여 발화 초기에 물이 분사되도록 안전장치를 설치할 수 있다.
- 운전 정지 시 유입가스를 온도가 낮은 공기로 전환시키고 송풍기를 30분 정도 공회전시켜 흡착탑 내부 온도를 50℃ 이하로 낮춘 다음 운전을 종료한다.

3. 사례 연구(Case study)

사례 1. 집진설비의 정전기에 의한 폭발 화재

3-1-1. 사고 발생 시의 운전 현황

P 사업장에서는 당일 집진기가 정상적으로 가동되고 있었으며 운전 조건이나 배합 처방의 변경은 없었다. 집진된 분진은 약 10일마다 용기를 빼내어 처리하고 있었다. 용기 내에는 분진이 조금 있었고 집진 닥트 내에는 국소적으로 분진이 퇴적되어 있었다. 집진 설비는 분진이 발생하기 쉬운 장소에 국소배기 형태로 설치되어 있었으며, 발화원이 없으므로 집진기 내에는 화재 경보 설비가 별도로 없었다.

3-1-2. 화재 발생 상황

2번의 폭발음이 들렸고, 당일 작업자 중 일부는 닥트에서의 화재를 목격하고 진화 작업을 하

기 시작하였다. 작업자 중 1명은 1층에서 천정에 붙은 불을 발견하고 소화 작업을 하였다.

나머지 작업자는 폭발음을 듣고 달려와 제품 호퍼실의 화재를 소화하였다. 2층과 3층의 화재를 진압하고 옥상에 올라갔을 때 일부에서 또 화재가 발생하였고 도착한 소방차와 함께 옥상의 화재를 소화하기 시작하였다.

인적 및 물적인 피해를 추산한 결과, 인적인 피해는 없었고 물적인 피해로는 집진기 2대가 소손되고 변형되었으며 배관, 계기, 전기 기계 기구가 일부 소손되고 보관 중인 원재료도 다소 소손되었음을 확인할 수 있었다.

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.

- ① 집진 닥트 내 건물의 분진 퇴적소의 청소 및 이후의 정기 검사
- ② 집진 닥트 내 청소용 점검 구멍 설치
- ③ 집진 닥트 플랜지부에 Earth bond 설치
- ④ 집진 여과포, 슈트(chute) 등에 도전성의 것들 사용
- ⑤ 집진 닥트의 간소화, 벤트(vent) 류의 감소
- ⑥ 집진 설비에 대한 점검 기준서 재작성
- ⑦ 닥트, 집진기 접근 용이한 소화용 스팀 배관 설치

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

- ① 프로세스의 보조적 설비의 충분한 운전 점검이 필요하다.
- ② 취급 물질이 고압가스나 위험물 등이 아니라고 해서 스파크를 방지하기 위한 접지시설의 중요성을 간과해서는 안된다.

- ③ 가연성 분체의 퇴적에 따른 위험성 및 주기적인 청소의 필요성이 인식되었다.

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

3-2-1. 사고 발생 시의 운전 현황

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

이 때 작업을 용이하게 하기 위하여 여과 집진기를 눕혀야 하나 크레인 와이어로프(Wire rope) 결착 고리가 없어 고리 부착의 필요성이 대두되었다. 크레인 와이어로프 결착 고리 설치를 위해 볼트 고정 용접 작업을 하던 중 불씨가 여과포에 인화되어 화재가 발생하였다.

3-2-2. 화재 발생 상황

화재가 발생되자마자 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.

- ① 여과 집진기의 여포 성분이 합성수지이며 필터 자체에 가연성 물질인 테레프탈산(CTA) 분말이 다량 존재하고 있어 화기 작업에 대한 유의절차에 미숙하였다.



② 안전 작업 허가서 발행시 화기 작업 사항을 기재하지 않았음에도 불구하고 촉박한 작업 일정만을 감안하여 안전상의 준수 절차가 간과되었다.

③ 작업 현장에 작업 감독자가 상주하지 않아 화기 통제 작업이 제대로 이루어지지 않았다.

본 사고로 인해 후속 개선 조치 사항으로서는 여과 집진기 교체 작업 시 화기 작업에 대한 절차 및 유의 사항을 반드시 준수하고 모든 작업시 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 발행시 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 연소 가스에 의한 폭발 화재 사고

3-3-1. 사고 발생 시의 운전 현황

K사업장에서는 1호기 보일러의 시운전을 위해 보일러유로 점화를 한 후 온도를 높이기 위해 병커-C유로 교체하여 운전하던 도중에 병커-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 변형되

고 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, 전기집진기 맨홀은 방폭 도어(Explosion door)로 교체하며 아울러 운전원에 대한 안전절차 교육이 필요하였다.

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

사례 4. 유기용제에 의한 활성탄 흡착탑에 서의 화재 발생

3-4-1. 사고 발생 시의 운전 현황

B사업장에서는 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 활성탄 상에서 화학반응(산화 및 중합반응)을 일으키고, 이 때 이 반응열이 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 사용 상태도 활성탄의 화재에 영향을 준다. 일반적으로 활성탄에 수분이 흡착된 경우에 냉각 효과에 의해 화재가 발생하기 어렵다. 또한 마이크로(micro) 세공이 발달된 활성탄의 경우 케톤 흡착시 축열된 열의 발산이 쉽지 않기 때문에 일반적으로 케톤류 취급시에는 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 야자(coconut)보다 유연탄(coal)이 좋다. 흡착된 용제의 탈착 성능이 야자가 훨씬 우수하기 때문이다.
- ▷ 입상 활성탄(예 : #4 ~ 8mesh)보다 조립 활성탄(Φ 5mm)을 이용하도록 한다. 활성탄층내의 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 정지시에는 활성탄층 내의 통기가 끊

어지기 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 수직층 또는 경사층이 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 위함임)
 - 고정온도(Setting temp.) : 70~90 ℃ 이하
 - 인입 온도 : 40℃이하, 40℃이상에서는 부반응이 급격히 발생함
 - 운전 정지시 : N₂, CO₂ 분석계를 탑 출구에 설치
 - 센서 설치 위치 : 활성탄층 높이별, 120° 각도로 각 1개씩 총 6개 설치
 - 분석계 설치 : CO 또는 CO₂ 분석계를 탑 출구에 설치

자료제공 : 환경보전협회 환경연수부
다음호에 계속...