



## Zn-Al혼합물 퇴적분체의 최소발화온도

한우섭, 이수희

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 화학물질센터

### Minimum Ignition Temperature of Zn-Al Dust Mixture Layer

Ou-Sup Han, SuHee Lee

Center for Chemicals Safety & Health

Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

#### 요약

본 연구는 Zn-Al혼합물 분진의 화재폭발사고예방을 위한 안전자료 확보를 목적으로 최소발화온도를 실험적으로 조사하였다. Zn-Al혼합물의 최소발화온도 측정은 퇴적두께 10 mm, 직경 100 mm의 원형 형태로 퇴적된 시료를 대상으로 가열판의 승온속도 20 °C/min의 조건에서 실시하였다. 그 결과, 280 °C에서 Zn-Al혼합물 분체는 가열 후 1000 s부터 발열을 통하여 급격히 온도가 상승하여 발화 여부 판단기준이 되는 450 °C를 넘어 600 °C에 다다르며 시간과 함께 감소하였으며 임계 최소발화온도는 280 °C로 나타났다. 퇴적Zn-Al혼합물 분체의 최소발화온도는 문헌에 제시된 Al에 비하여는 낮은 것으로 나타났다.

#### 1. 서론

분진의 화재폭발을 방지하고 이를 예방하기 위한 안전대책을 강구하기 위해서는, 취급 분진이 얼마나 쉽게 착화할 수 있는지 만일 착화가 되어 화재폭발로 이어졌을 경우에는 어느 정도의 위험성을 가지고 있는지를 사전에 조사하는 것이 중요하다. 2010년 6월 국내 사업장에서 알루미늄 재질의 조향장치 제품의 표면을 처리하기 위하여 쇼트기에서 쇼트작업을 하고 있는 과정에서 알루미늄 분진이 폭발하여 6명의 부상자가 발생하였고 집진기 및 내부 시설이 파괴되었다. 알루미늄 제품 가공 사업장에서는 알루미늄 분진의 폭발 위험성을 감소시키기 위하여 아연 재질의 불을 사용하여 알루미늄 제품의 표면 처리를 하는 경우가 증가하고 있다. 그러나 아연 불을 사용하여 알루미늄 제품의 표면 처리를 하는 과정에서 알루미늄 분진과 아연 분진이 섞이어 알루미늄-아연(이후 Zn-Al으로 표기) 혼합물 분진이 발생하는데 이러한 Zn-Al분진도 폭발 위험성을 가지고 있으므로 이에 대한 폭발사고 방지대책을 강구할 필요가 있다.

본 연구에서는 퇴적된 Zn-Al혼합물 분체 자신의 착화하기 쉬운 연소위험성의 지표로서 최소발화온도(MIT ; Minimum Ignition Temperature)를 실험적으로 조사하였다. 최소발화온도는 퇴적분진(dust layer)이 자연발화 할 수 있는 가장 낮은 온도를 측정하는 시험으로서 퇴적분체를 다루는 공정안전을 확보하는데 있어서 안전확보가 가능한 최고 온도설정의 필요 자료로 활용할 수 있다.

## 2. 실험

### 2.1. 시료

실험에 사용한 Zn-Al혼합물 분체는 관련 사업장에서 제공한 것으로서 습식 입도분석기(Beckman Coulter LSI 3320)를 사용하여 측정하였으나 시료 상호간의 강한 흡착력으로 인하여 입도 분포의 측정이 곤란하였다. 그러므로 정확한 입도 분포 정보를 얻기 위해서는 향후에 건식 입도분석기를 사용하여 측정할 필요가 있을 것이다. 또한 Zn-Al혼합물 시료의 혼합 비율에 대한 정보도 불명하기 때문에 본 연구에서 사용한 Zn-Al혼합물 시료의 폭발특성은 해당 사업장의 조업 조건에서 발생하는 분진에 국한된 제한된 상황에서의 위험성 자료로서, Zn-Al혼합물 시료의 화재폭발특성 자료를 효과적으로 활용하기 위해서는 Zn-Al혼합물 구성 성분에 대한 분석과 입도 분포에 대한 자료의 확보가 우선적으로 요구된다.

### 2.2. 실험장치

퇴적 분진의 최소발화온도를 조사하기 위한 시험장치 개요를 [Fig.1]에 나타냈다. 시험장치는 시료를 일정한 두께 조건으로 퇴적시키는 퇴적분진 지지대, 일정한 온도 조건을 갖는 고온 표면을 만들기 위한 온도제어장치, 고온 표면과 퇴적분진의 온도 변화를 기록하는 데이터 온도센서, 그리고 측정 데이터를 수집하기 위한 자료수집장치로 크게 나뉜다. 시험방법은 상온(약 25 °C)에서 두께 10 mm의 Zn-Al혼합물 시료를 시료지지대에 퇴적시키고 가열판(Heated plate)의 온도를 10 °C씩 변화시키면서 퇴적분진 시료의 내부 온도를 관찰한다. 관찰한 시료의 시간-온도 곡선을 검토하고 주어진 온도에서의 발화 여부를 결정하였다. 이러한 방법으로 퇴적 분진이 발화할 수 있는 가장 낮은 가열판(Heated plate)의 온도를 조사하였다.

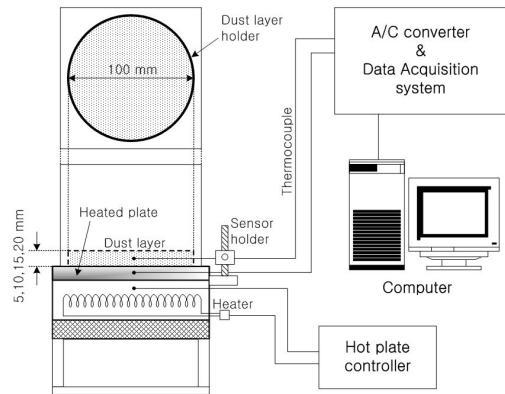


Fig. 1. Schematic of MIT apparatus

## 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 최소발화온도를 조사하기 위한 시험 환경조건은 주위 온도 23±1 °C, 상대 습도는 44~46 % R.H.에서 측정을 하였다. 시료의 퇴적 두께는 10 mm이며 직경이 100 mm의 원형 형태로 퇴적되어 있는 상황을 가정하고, 가열판의 승온속도는 20 °C/min으로 하였으며 가열판의 설정온도는 10 °C씩 변화시키면서 발화 거동을 조사하였다. Zn-Al혼합물 분체의 최소발화온도를 조사한 결과를 [Fig. 2]~[Fig. 3]에 나타냈다. [Fig. 3]은 설정 온도 270 °C에 있어서의 Zn-Al혼합물 분체 및 가열판의 시간-온도 곡선을 나타내고 있

다. 가열판이 270 °C의 일정한 온도 상에서 Zn-Al혼합물 분체는 1000 s의 지점부터 미세하게 발열을 일으키지만 점차 낮아지면서 230 °C의 일정 크기의 온도를 유지하고 있는데, 설정온도 270 °C에서 Zn-Al혼합물 분체는 발열을 나타내고 있지 않는 것을 알 수 있다. 설정온도를 280 °C로 올려 Zn-Al혼합물 분체와 가열판의 시간-온도 곡선을 조사한 경우가 [Fig. 3]이다. 약 1000 s부터 Zn-Al혼합물 분체가 발열을 통하여 급격히 온도가 상승하는 것을 알 수 있다. 이 때 Zn-Al혼합물 퇴적 분체의 온도는 발화 여부의 판단 기준인 450 °C를 넘어 600 °C에 이르며 시간과 함께 감소하고 있다. 이러한 시험 결과를 통하여 Zn-Al혼합물 분체의 발화온도는 270~280 °C의 범위에 존재하는 것을 알 수 있으며 임계 최소발화온도는 280 °C에 해당한다. Zn-Al혼합물 분체의 최소발화온도(280 °C)는 퇴적두께, 퇴적분체의 주위 환경(밀폐 또는 개방) 등의 여러 가지 조건에 따라 변할 수 있다는 점에 유의할 필요가 있다. 예를 들면, 밀폐 공간이나 퇴적 두께가 증가하게 되면 최소발화온도는 보다 더 낮아질 가능성이 있다. 매우 미량의 시료를 사용하여 측정하는 DSC 및 TGA의 시험결과는 많은 양의 분진이 퇴적되어 있는 실제 산업현장의 조건을 충분히 재현할 수 없다는 점과 안전 마진 확보 측면에서 최소발화온도 측정 결과 자료(280 °C)가 보다 활용성이 클 것으로 판단된다. Zn-Al혼합물 분체의 퇴적 상태에서 발화가 일어나는 최소온도로서 퇴적 분진의 최소발화온도는 고온 표면에 쌓여 있는 분진과 같이 주어진 온도 조건에서 스스로 발화할 수 있는 가장 낮은 고온표면의 온도를 의미한다. 산업현장에서 고온 표면이 발생하는 장소로는 온풍 배관, 보일러 룸, 과열된 베어링, 드라이브 폴리와 벨트와의 마찰 부분, 기계적 스파크, 입자 간의 접촉 분리 시에 간헐적으로 발생하는 정전기 스파크 등 다양하게 존재하고 있다. 분진의 발화특성은 이론적으로 연구가 많이 시도되기는 하였지만 실제 분진의 발화온도를 설명하기에는 보다 많은 연구가 필요하다. 그러므로 분진의 발화온도는 열의 발생과 방출의 균형에 의해 결정되는데, 가연성 가스와

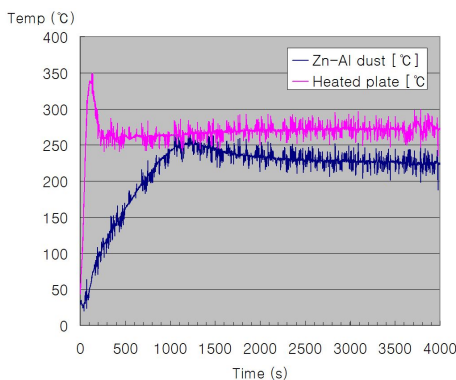


Fig. 2. Characteristics of Zn-Al dust layer at 270 °C

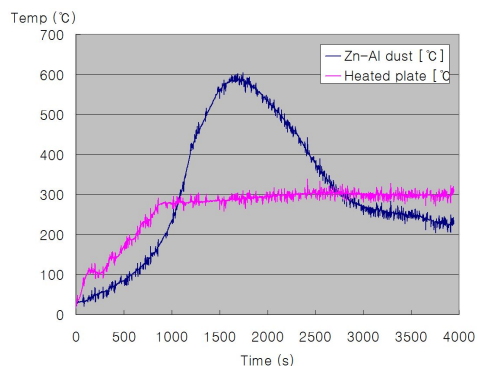


Fig. 3. Characteristics of Zn-Al dust layer at 280 °C

는 달리 분진은 비 균일성, 입도 분포 등의 물리적 특성에 영향을 받으므로 연소 성상이 복잡하고 해석이 쉽지가 않다. 분진의 발화온도는 국제적인 표준 시험장치를 사용하여 측정되고 있는데<sup>1)</sup>, 문헌에 나타난 이러한 발화온도 값은 농도, 입경 크기, 수분 함유량 등의 분진 조건에 따라 변할 수 있다는 점을 고려해야 한다<sup>2)</sup>. 분진이 퇴적되면 부유 분진에 비하여 입자 간의 거리가 작아지므로 발열을 수반하는 산화반응 과정에서의 열손실이 작아진다. 그러므로 퇴적분진의 발화온도는 부유 분진의 경우에 비하여 낮아지는데 퇴적 분진의 두께가 증가할수록 발화온도는 더욱 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 그렇지만 이러한 경향은 발화온도의 정확한 추정이 가능하다는 의미는 아니며, 정확한 발화온도를 알기 위해서는 실제로 일정한 측정 조건을 가지는 퇴적분진을 대상으로 실험을 통하여 측정하는 것이 필요하다. 실제로 사업장에서 발생하는 퇴적분진에 의한 분진폭발은 자연발열에 의한 경우가 적지 않다. 장시간 고온 환경에 놓여 있는 퇴적 분진의 내부에서는 자연발열에 의해 내부온도가 발화온도에 도달하여도 산소 공급이 충분하지 않는 조건에서는 연기가 발생하고 화염이 보이지 않는 훈소(Smouldering)상태로 된다. 이러한 상태에서 퇴적 분진의 일부가 부유 분진의 폭발이나 기계적 유동에 의해 퇴적 분진이 부유가 되면서 분진운을 형성하면 산소가 충분한 분위기 가스 공급이 이루어지므로 분진운의 일부에 발화가 일어나 소규모의 분진폭발이 발생한다. 이러한 폭발에 수반하여 공기 유동이 증가하며 남아 있던 대부분의 퇴적 분진은 분진운으로 바뀌며 연소하므로 대규모의 연속적인 분진폭발이 발생하여 피해가 커지는 사고사례가 적지 않게 발생하고 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Zn-Al혼합물 퇴적 분체의 발화하기 쉬운 정도를 평가하기 위한 연소위험성으로서 최소발화온도를 실험적으로 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 두께 10 mm, 직경 100 mm의 원형 형태로 퇴적된 시료를 대상으로 가열관의 승온속도 20 °C/min에서 조사한 결과, 가열관의 설정온도 280 °C에서 Zn-Al혼합물 분체는 가열 후 1000 s부터 발열을 통하여 급격히 온도가 상승하여 발화 여부 판단기준이 되는 450 °C를 넘어 600 °C에 다다르며 시간과 함께 감소하였으며 임계 최소발화온도는 280 °C로 나타났다.
- (2) Zn-Al혼합물 분체의 최소발화온도(280 °C)는 퇴적두께, 퇴적분체의 주위 환경(밀폐 또는 개방) 등의 조건에 따라 변할 수 있으며, 밀폐 공간이나 퇴적 두께가 증가하게 되면 최소발화온도는 보다 더 낮아질 가능성이 있으므로 유의할 필요가 있다.

#### 참고문헌

1. IEC 61241-2-1 ; Methods for determining the minimum ignition temperatures of dust (1994).
2. Eckhoff, R. K., Dust explosions in the process industries-3rd ed., Gulf professional publishing (2003).