

알루미늄 粉塵 爆發

금속의 표면처리를 위한 연마기는, 연마기의 연삭 스톨 대신 형깊 버프(Buff)를 사용하고, 흔히 하나의 공정중에 다수의 자동연마기가 병렬로 설치되어 있다. 연마공정에서 발생하는 금속 분진은 그 양이 많기 때문에 우선 작업원의 건강관리 입장에서 집진기가 설치되고, 발생분진은 덕트를 통하여 회수되고 있다. 그러나, 알루미늄과 같은 경금속의 분진은 소방법의 위험물에 해당하며, 충격마찰불꽃, 정전기의 스파크, 자연발화 등에 의한 점화원으로 폭발화재가 될 위험이 있다.

■ AI분진의 위험성 실험 데이터

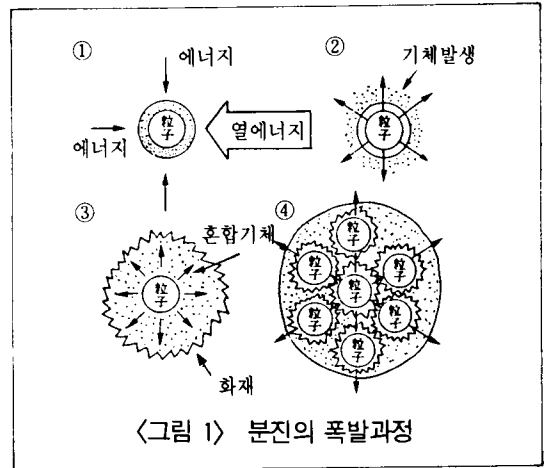
□ 분진폭발에 대하여

피상으로는 쉽게 연소하지 않는 금속 등의 고체가 미분화하여 공기와 일정한 비율로 혼합된 상태에서는, 발화원이 있으면 순간적으로 격렬하게 폭발을 일으키게 되는데 이를 일반적으로 분진폭발이라고 한다.

이 폭발현상은 분진의 입도와 관계가 깊어서, 일반적으로 $10^3\text{cm} \sim 10^5\text{cm}$ 입경의 것이 이에 해당될 수 있다. 또, 분진 입경이 작을수록 공기중에 부유하기 쉬워서 위험도가 크지만, 퇴적된 상태에서는 폭발하기 어렵다.

분진폭발의 조건은 ① 가연물, ② 미분상태, ③ 조연성가스(공기) 가운데에서의 교반과 유동, ④ 발화원의 존재 등을 들 수 있으며 그 메카니즘은 그림 1과 같다.

- ① 입자 표면이 열에너지를 받아 표면온도가 상승한다.
- ② 입자 표면의 분자가 열분해 또는 기화하여 기체 상태로 입자 주위에 방출된다.



〈그림 1〉 분진의 폭발과정

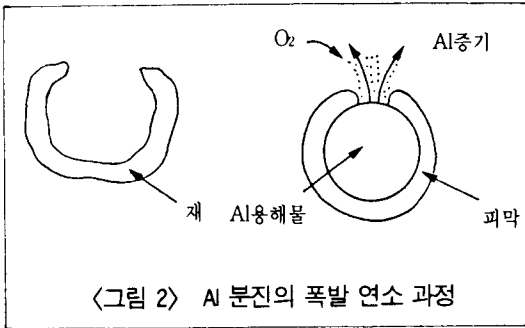
- ③ 이 기체가 공기와 혼합하여 폭발성 혼합기체를 생성하고, 연소한다.
- ④ ①~③을 반복하여 확대하여 간다. 이 속도는 도시가스 등과 비교하여 늦다고 할 수 있다.

분진폭발의 특징으로써는

1. 연소속도와 폭발압력은 일반적인 가스폭발과 비교하여 작지만, 연소시간은 비교적 길고, 발생 에너지가 크기 때문에 연소규모가 크다.
2. 분진폭발시에는, 분진이 연소하면서 비산하기 때문에 부근의 가연물에 국부적인 탄화를 일으키게 하거나, 작업자 등이 화상을 입기 쉽다.
3. 일단 폭발이 일어나면, 그 폭발력으로 주변의 분진을 비산시키게 되어 2차, 3차 폭발로 진전된다.
4. 가스와 비교하여 불완전 연소를 일으키기 쉽기 때문에 일산화탄소가 다량 발생하게 된다. 따라서 가스 중독의 위험이 있다.

□ AI분진의 폭발연소

알루미늄 분진의 폭발연소 과정은 그림 2와 같다.



- ① 가열된 AI분진은 공기중에서 표면이 산화되어 산화피막을 형성한다.

$$4Al + 3O_2 \rightarrow 2Al_2O_3 + 400.48(kcal/mol)$$
- ② 그때 발생하는 반응열이 크기 때문에 분진의 가열이 가속된다.
- ③ 산화물은 용해 또는 기화하여 새로운 표면으로 노출함과 동시에, 내부에서 금속 원자의 증발이 시작된다.
- ④ 기상의 금속 증기는 즉시 연소하여 높은 열을 발생하고, 계속하여 금속의 증발을 촉진한다.

□ AI분진의 폭발특성

- 입도(粒度)

분진은 미세할수록 단위중량에 대한 표면적이 크게되어 공기와의 접촉 면적이 증가하기 때문에 위험도 증가한다. 입도 이외에 분진의 형상, 표면상태 등도 연소속도에 큰 영향을 미칠 수

있다.

- 부유성(浮遊性)

일반적으로 입자가 작고 가벼운 것은 공기중에서 산란, 부유하기 쉽고, 공기중에 체류하는 시간도 길기 때문에 위험이 크다.

- 수분

보통 수분은 분진의 부유성을 억제하고, 친수성 분진은 표면에서 수분을 흡수하여 대전성을 감소시킨다. 그러나 AI분진에 있어서는 물과 반응하기 쉽기 때문에 위험하다.

- 폭발하한계

분진폭발의 경우 기체(가스)폭발과 달리 입도에 크게 좌우되지만, 분진 혼합농도의 균일화가 불가능하고, 폭발하한 농도도 기체처럼 일정하지 않다. 또 온도(열)나 발화원의 종류 및 강약에 의하여서도 변화한다. 예를 들면, AI분진의 경우 전기 스파크에 의한 폭발 하한농도는 $50g/m^3$ 이지만 면화약을 사용하여 점화하면 $25g/m^3$ 으로 폭발한다.

- 발화온도

일정 시간 내에 부유한 분진이 발화하는 최저온도는 입도가 작을수록 낮아진다.

- 최소발화에너지

분진의 최소 발화에너지는 10~80mJ로 기체

〈표 1〉 금속분진의 특성

분진의 종류	발화온도 (°C)	폭발하한계 (g/l)	최소발화에너지 (mJ)	최대폭발압력 (kg/cm ²)	최대승압속도 (kg/cm ² /S)
알루미늄	650	0.045	50	5.9	>1,406
Al-Mg 합금	430	0.020	80	6.0	703
주석	630	0.190	80	3.4	120
마그네슘	560	0.030	40	8.2	1,055
황화린	280	0.050	15	4.5	>703
바나듐	500	0.220	60	4.0	70
철	430	-	-	-	-

(가스)보다 크다.

- 최대 폭발압력 및 압력 상승속도

파괴력을 나타내는 것으로서, 폭발압력과 압력 상승속도 모두가 큰 분진은 파괴위험이 크다고 할 수 있다.

□ 위험성지수

분진의 폭발성에 의한 지수화 방법이 미국 광산국에서 개발되었다. 이는 각 분진에 대한 「발화도」

와 「폭발강도」의 비율을 계산하여 폭발성 지수를 구하는 방법이다.

$$\bullet \text{ 발화도} = \frac{(\text{표준석탄분진의}) \text{최소발화에너지} \times \text{폭발하한농도} \times \text{발화농도}}{(\text{측정분진의}) \text{최소발화에너지} \times \text{폭발하한농도} \times \text{발화농도}}$$

$$\bullet \text{ 폭발강도} = \frac{(\text{측정분진의}) \text{ 최대폭발압력} \times \text{최대압력상승}}{(\text{표준석탄분진의}) \text{ 최대폭발압력} \times \text{최대압력상승속도}}$$

$$\bullet \text{ 폭발성지수} = \text{발화도} \times \text{폭발강도}$$

<표 2> 금속분진의 폭발위험성 지수

위험등급	발 화 도		폭 발 강 도		폭 발 성 지 수	
	수치범위	분진명	수치범위	분진명	수치범위	분진명
약함	<0.2	아연·크롬	<0.5	주석	<0.1	아연·주석
중간	0.2~1.0	주석	0.5~1.0	아연	0.1~1.0	크롬
강함	1.0~5.0	알루미늄, 밀가루	1.0~2.0	크롬, 밀가루	1.0~10	밀가루
아주강함	>5.0	황화린	>2.0	황화린, 알루미늄	>10	황화린, 알루미늄

※ 표준석탄분진(피츠버그탄진)을 1로 한 경우임.

<표 3> 화재사례와 사후조치

출화일자 및 장소	불량사항	개선조치사항
■ 1차 화재 - 1981. 9. - 집진설비 내	<input type="checkbox"/> SI분진이 소방법상의 위험물이라는 사실을 종업원들이 모르고 있었다.	<input type="checkbox"/> SI분진의 위험성을 전 종업원에게 주지시켰다.
	<input type="checkbox"/> 덕트 내부에 팬이 설치되었다.	<input type="checkbox"/> 팬을 덕트 외부로 이동 설치하였다.
	<input type="checkbox"/> 6열의 연마라인을 3개의 덕트로 집진하고 있었다.	<input type="checkbox"/> 각 열마다 덕트를 설치하였다.
	<input type="checkbox"/> 폭발에 의하여 덕트가 바닥으로 떨어졌다.	<input type="checkbox"/> 폭발벤트를 설치하여 폭발시 피해의 극소화를 도모하였다. <input type="checkbox"/> 덕트 아래쪽에 네트를 설치하여 낙하시 인명피해를 방지할 수 있도록 하였다.
■ 2차 화재 - 1983. 4. 자동연마기	<input type="checkbox"/> 3개라인의 덕트가 동시에 파열되었다.	<input type="checkbox"/> 라인의 구분을 명확히 하고, 특히 호퍼부를 라인 별로 내화구획을 하였다.
	<input type="checkbox"/> 폭발벤트의 기능이 기대대로 되지 않았다.	<input type="checkbox"/> 덕트의 곡선부분을 최소화 하였다. <input type="checkbox"/> 호퍼내 분진 회수 횡수를 늘렸다.

□ AI분진의 물과의 접촉위험

AI분진이 물과 반응하면 수소가스를 발생한다. AI은 물과 공기의 존재하에서 시간의 경과와 더불어 산화피막이 파괴되어

$2Al+6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3H_2 \uparrow$ 와 같이 발열현상을 일으키고 수소를 발생하게 된다. 실험에 의하면 수온이 50℃일때, 2시간 후에 수소를 발생하기 시작하여 4시간 34분 후에 최대 발생 23%(V)를 나타내었다. 또, 수온이 70℃인 경우에는 10분 후에 수소를 발생하기 시작하여 14분 후에는 52%(V)에 달하였다.

■ 화재사례와 사후 조치

어느 AI부품제조 공장에서 AI분진에 의한 폭발 화재가 두차례 발생하였다. 폭발화재가 발생한 장소와 공장측의 개선 조치내용을 정리하면 표 3과

같다.

■ 맺는말

건축물에 덕트를 설치할 경우, 방화구획선을 관통하는 곳 이외에는 의무사항이 아니다. 따라서, 공장 등에 집진용 덕트를 설치할 때 법적인 규제는 없는 셈이다. 분진폭발이 자주 발생하는 덕트설비의 보호를 위하여서는 차후 다음과 같은 점이 보완되어야 할 것이다.

1. 분진의 퇴적을 자동으로 감지할 수 있는 용적감지기(Level sensor)설치
2. 사이클론 내의 온도를 감지할 수 있는 센서 등의 설치
3. 집진장치의 트러블에 의한 진동을 감지하여 팬을 자동 정지시킬 수 있는 감진(感振)장치의 설치. ㉞

분진 폭발

□ 가연성의 물질은 그것이 분진형태로 공기중에 부유하게 되면 발화원에 의해 쉽게 발화하고 격렬한 폭발을 일으킨다.

분진폭발을 일으키는 물질로서는 밀가루, 쌀가루와 같은 곡물가루 외에 석탄가루, 금속분, 목분, 분유, 설탕, 코코아, 유황분말, 플라스틱 분말, 유기약품분말, 고무분말 등이 대표적이지만, 가연성 물질이면 대부분 폭발한다고 보아도 좋다. 이런 종류의 재해방지에는 우선 현상을 이해하여 충분한 관리 를 하는 것이 필요하다.

□ 일반적으로 분진폭발은 가스의 폭발과 비교하여 고체의 분해라든가 증발과 같은 과정이 발화에 앞서 필요하기 때문에 발화에 필요한 에너지가 크고, 또 발화온도도 고온가스 발화온도에 근사치가 된다. 그러나 일단 폭발하게 되면 고체로부터 기체로 변화하기 때문에 압력이 높고, 게다가 불완전연소를 하기 쉬우므로 생성물 중에 일산화탄소를 다량 함유하는 특징이 있다. 이런일은 탄광(坑)에 있어서 석탄분진 폭발시 중 폭발에 의한 피해보다도 일산화탄소의 중독에 의한 피해가 많은 것으로 알 수 있다.

□ 분진폭발의 위험이 있는 곳은 될수 있는대로 개방구조로 하고, 폭발 Relief장치의 설치 등을 검토해 야 한다.

습도가 높은 곳에서는 미세한 분진이 바람 등으로 인하여 공기중에 부유할 가능성이 적고, 또 주요 발화원이 되는 정전기의 발생도 적으나 가연성의 분말을 다량으로 취급하는 장소에서는 입자구경의 크고 작음에 관계없이 주의를 기울여야 한다.