

수행되어 환자들을 아주 짧은 시간에 안전하게 대피할 수 있도록 해야 된다.

방재자료

분진폭발의 위험 및 대책

우리들이 매일 접하는 차와 커피가루, 밀가루와 설탕같은 물질들이 공기 중에서 분산될 때 폭발할 수 있다는 사실에 일반인들은 놀라와 하고 있다.

폭발성이 있는 물질은 농예화학, 제약, 금속가루에서부터 섬유, 플라스틱, 식품, 세제, 안료 및 석탄가루 등에 이르기까지 다양하다. 오늘날 보다 큰 공장 건물을 세워 설비가 가동되므로써 많은 분진을 발생시키고 있으며 이러한 분진이 퇴적되기 때문에 위험은 증가하고 있다.

가연성 분진의 위험이 가연성 가스와 솔벤트를 취급하는데 따르는 위험보다 적다고 생각하고 있으나 이런 분진은 가스나 기체 폭발과 같이 아주 강력한 폭발을 일으킬 수 있다는 사실을 명심해야 한다.

각종 산업이 갖고 있는 다양한 위험에 대한 지식이 부족한 상태이므로 사고의 근본 원인을 조사해서 폭발의 위험, 영향, 결과등을 유사한 산업체에 제공할 수 있도록 해야 할 것이다.

1. 1차폭발(Primary explosion)

Strehlow와 Baker는 분진폭발이란 「압력파가 발생지로부터 다른 곳으로 이동할 때 사람이 소리를 들을 수 있을 정도의 일정한 진폭을 가진 압력파를 매우 짧은 시간에 발생시키는 것, 즉 급격한 에너지 방출」이라고 정의하고 있다. 이 정의는 우리로 하여

금 모든 폭발과 관련된 역학적 효과에 대해 생각하게 한다.

가연성 분진의 경우에 있어서 폭발은 고온, 고압 하에서 열과 가스를 발생하면서 인위적으로 조절할 수 없을 정도의 순간적인 미립자의 연소라 할 수 있다.

어떤 일정한 물질에 있어서 입자 크기가 감소하면 표면적은 증가하고, 산화작용과 열의 발생은 표면적에 따라 좌우되므로 입자의 크기가 폭발의 위험과 폭발의 강도를 증가시켜주는 가장 중요한 요인중의 하나가 될 것이다.

입자의 크기가 작을수록 공중에 오래 머물러 있으며, 이들이 오랜 시간 경과하여 퇴적되면, 말화하는데 더욱 유리한 조건이 되어 결과적으로 위험이 증가할 것이다. 그 먼지가 엔진 외부나 뜨거운 표면 등에 쌓여 열을 받으면 연소가 시작될 가능성이 높다. 어떤 연소는 심지어 사람이 알아볼 수 없을 정도로 천천히 일어나며, 그 다음에 떨림이나 진동등과 같은 어떤 동기가 부여되어 분진운을 형성하면 폭발은 갑자기 일어난다.

국부적인 장소가 폭발하기에 적당한 조건이 되면 그 부분에 조그마한 분진운이 형성되어 분진폭발을 일으키는데 이것을 1차폭발이라 한다. 이 폭발은 원칙적으로 국부적인 곳에만 영향을 미치기 때문에 그다지 심각하지 않으나 압력파를 발생시켜 대기를

소용돌이치게 하는 난류를 증가시키고, 퇴적되어 있는 일정한 양의 분진을 구름처럼 흩어지게 할 것이다. 그리하여 다시 폭발하기 위한 조건에 이르면 새로운 폭발을 일으키는데 이것을 2차폭발이라 한다. 한편 2차폭발은 설비의 다른 부분으로 연속적인 폭발을 일으키며 무시 못할 막대한 에너지를 방출할 수 있는 능력이 있기 때문에 큰 재해를 일으킨다.

2. 위험의 평가

연구소 등에서는 부피가 큰 가루의 열분해 및 연소, 분진운을 형성하거나 퇴적되어 있는 분진의 연소등 여러가지 시험을 통하여 화재와 폭발위험을 제거하거나 감소시키는데 중요한 자료를 제공하고 있다. 따라서 주어진 분진에 대한 화재위험을 파악할 수 있고, 또한 어떤 열원에서도 화재의 크기와 속도를 측정할 수 있어 폭발의 영향이 설비에 미치지 않도록 설계하는데 큰 도움을 주고 있다.

미세한 먼지 입자가 마찰을 일으켜 공중에 분진운을 형성하며 떠있을 때 특수한 경우를 제외하고는 분진폭발시험 결과가 매우 잘 적용된다.

분무시 건조기 벽체에 가루가 쌓여 층을 형성하는 Spray dryer나, 층(Plate) 또는 부피가 큰(bulk) 상태로 건조하는 건조기 등의 안전에 시험결과를 응용할 수도 있다.

영국에서는 엄밀한 시험을 통해 분진을 2개 그룹으로 분류한다. 즉 A그룹 분진은 미세한 분진이 발화되어 화염을 전파시키는 것이고, B그룹 분진은 발화되어 연소는 하나 화염을 전파시키지 않는 것이다.

여러 종류의 분진에 대해 폭발위험을 판단하는데에는 다음과 같은 측정 가능 요소들이 있다.

가. 최저발화온도(MIT : Minimum ignition temperature) 분진이 일정한 온도를 가진 열원과 접촉하거나 주위 온도가 발화하는데 적합한 온도가 되면 가스화 기체를 발생하여 자연적으로 불이 붙는데 이 온도를 최저발화온도라 한다.

최저발화온도는 1000℃까지 도달하는 수직 가열로에서 측정된다. 이 측정 결과는 건조기처럼 비교적

넓은 면적을 가열해야 하는 설비에도 응용될 수 있다. 즉 건조설비 내부온도를 어떤 분진에 대한 최저발화온도로 유지할 수 있기 때문이다.

나. 최저폭발농도(MEC : Minimum explosible concentration)

모든 가연성 분진에는 폭발을 일으키는데 필요한 농도의 범위가 각각 일정하게 정해져 있는데 이때 폭발을 일으키기 시작하는 최저 농도를 최저폭발농도라 한다.

최저폭발농도는 연구소에서 측정되고 그 결과를 이용하여 설비를 폭발농도 범위 안에서 운전되지 않도록 설계해야 한다.

특수한 경우로, 가연성 분진에 불활성 분진을 혼합해서 불활성 혼합물을 만들거나 폭발의 잠재력을 줄이는 방법이 있다. 이러한 경우에는 가연성 분진이 연소할 수 없도록 불활성 물질의 혼합 비율을 결정하는 것이 중요하다.

다. 최소발화에너지(MIE : Minimum ignition energy) 분진이 발화원에 의해 발화하기 위해서는 충분한 에너지를 가지고 있어야 하는데 이때 발화에 필요한 최소한의 에너지를 최소발화에너지라 한다.

어떤 분진가루는 솔벤트와 가스만큼이나 낮은 발화에너지를 가지고 있다. 예를들면 발화에너지가 낮은 분진가루를 플라스틱 자루나 저장통에 넣어 사용함으로써 정전기 발화를 일으킬 수 있다. 그래서 영국에서는 발화에너지가 낮은 분진가루에는 아예 플라스틱을 사용할 수 없도록 법으로 정해 놓고 있다.

라. 최대산소농도(MOC : Maximum oxygen concentration) 분진이 폭발하기 위해서는 일정한 범위의 산소량이 필요하다. 따라서 연소가 일어나기 바로 전의 산소농도를 최대산소농도라 한다.

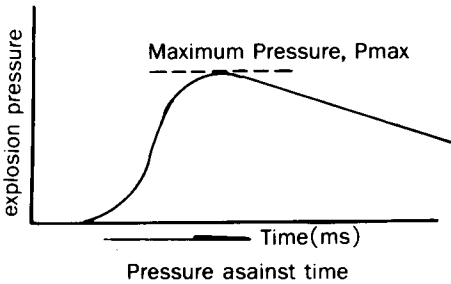
질소나 다른 불활성 가스 등이 분진가루를 취급하는 설비에 이따끔씩 사용하는 데 이것은 산소농도를 줄여 폭발이 일어나지 않도록 하기 위한 것이다.

최대산소농도의 시험결과는 산소경보장치의 경보

범위를 조절하거나, 산소농도가 일정한 범위내에 도달하면 공정을 자동적으로 정지시키는데 응용된다.

마. 최대폭발압력(MEP : Maximum explosion pressure)과 최대압력증가속도(MPIS : Maximum pressure increase speed)

밀폐된 지역에서의 폭발 압력은 다음의 변수에 의해 나타나는 곡선에 따라 변화한다.



MEP : MaxP

$$MPIS : tg = \frac{dp}{dt}$$

$$APIS : tg = \frac{MaxP}{t}$$

평균압력증가속도(APIS : Average pressure increase speed)

이런 변수들은 가연성 분진이 발생하는 장치에 다음과 같은 조절기능을 갖추도록 하고 있다.

- 가) 공정과 뜨거운 표면에 대한 온도 조절
- 나) 분진의 퇴적 및 분진운을 형성하는가에 대한 조절
- 다) 일부 또는 전체 공정에 대한 불활성화
- 라) 발화원을 제거하기 위한 접지 및 정전기 방지 물질에 대한 조절

3. 예방대책(Protection measures)

예방대책은 다음과 같은 세 부분으로 분류할 수 있다.

가. 발화예방(Ignition prevention)

이것은 앞에서 언급했듯이 분진폭발의 발생 요인을 근본적으로 제거하는 것이다.

나. 화염의 억제 또는 제한

불꽃이 형성되자마자 제거하고 화염이 확대되기 전에 억제하는 것이다.

화염을 억제하는 기술은 불꽃을 감지해서 불꽃이 설비의 다른 부분으로 확산되는 것을 방지하기 위한 장치(방화문, 파이프내 밸브, 편향장치 판넬, 소화약제 방출등)를 작동시키는 것이다.

다. 안전폭발(Safe explosion)

이것은 사람 및 장치에 대해 안전하도록 다음과 같은 조건 하에서 폭발을 허용하는 것이다.

- 1) 설비의 각 부분이 폭발에 의해 발생하는 높은 압력에 견딜 수 있도록 충분히 강하게 설계되어야 한다.
- 2) 폭발시 생기는 높은 압력을 줄이기 위하여 안전판(Relief valve), 안전덕트(Relief duct) 등을 설치해야 한다.
- 3) 폭발시 생기는 높은 압력을 안전한 장소인 외부로 방출하기 위하여 접문, 깨지기 쉬운 판넬, 개방된 배출구 등을 설치해야 한다.

이런 보호장치는 내부 압력이 미리 설계된 압력을 초과하지 못하도록 하는 것이다.

서유럽 지역과 미국등에서는 20리터 구형(sphere) 장치 등에서 시험한 폭발압을 초과하지 못하도록 보호장치의 설치를 법으로 규정하고 있다.

분진이 폭발할 때의 압력 증가율은 폭발압 배출을 위한 배출구 면적의 계산과 폭발압 감소장치의 세부 사항을 결정하는 중요한 요소가 된다.

폭발압 배출구 면적은 Kst 시험자료로부터 구할 수 있다.

여기서 Kst 값은 시험에서 얻어진 압력증가율과 분진의 폭발강도와 밀접한 관계가 있다. Kst는 어떤 분진의 특성치가 아니고 시험조건에 따라 달라지며 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} \cdot (V)^{1/3} = Kst$$

여기서 P : 압력(bar)

t : 시간(sec)

V : 구형시험체 부피(m³)

최대압력증가율 $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max}$ 은 압력—시간 곡선의

기울기로 부터 구할 수 있다.

Kst 값이 크면 클수록 폭발의 강도가 커진다.

Kst 값	비 고
200 이하	약한 폭발
201이상~300이하	강한 폭발
301 이상	아주 강한 폭발

4. 현재의 위치(The present situation)

영국에서는 평균하여 거의 매주 분진폭발이 일어나며 서독에서는 거의 매일 분진폭발이 일어난다.

1977년 미국의 대형곡물창고에서 대규모 분진폭발이 일어나 54명의 생명을 앗아갔다.

아일랜드, 네덜란드, 서독에서는 분무건조기(Spray dryer)에서 우유가루에 의해 폭발이 일어났으며, 영국에서는 1984년까지 대부분의 사고가 밀링기, 그라인딩기, 싸이로, 건조기, 콘베이어, 대형곡물창고에 설치된 양곡기, 여과기, 집진장치 및 혼합기 등에서 폭발이 일어났다.

이와같이 세계 여러나라에서 분진폭발이 다양하게 발생하고 있어 이들에 대한 연구를 계속 진행하고 있으며, 몇몇 연구소와 일부 대학에서 가연성 분진에 대해 폭발 요인을 연구하고 있다.

[표]

분진	구분	최소폭발농도 g / m ³	최대압력 P _{max} bar ga	최대압력증가율 ($\frac{dp}{dt}$) _{max} bar / sec	Kst bar-m / sec
Milk Powder		60	5.8	28	28
활 성 탄		60	7.7	44	44
P . V . C		200	7.6	46	46
밀 가 루		30	9.9	115	115
아 연		250	6.7	125	125
P . V . A		60	8.9	128	128
유 연 탄		60	9.2	129	129
에 폭 시 수 지		30	7.9	129	129
설 탕		200	8.5	138	138
유 황		30	6.8	151	151
옥 수 수 가 루		—	10.3	202	202
C e l l u l o s e		60	9.7	229	229
A l u m i n i u m		30	12.4	415	415
M a g n e s i u m		30	17.5	508	508

* Kst 값은 1m³ Vessel에서 시험한 값임.

* 상기 표는 NFPA Code에서 일부만 발췌한 것임.

세계 각국의 전문가들로 구성된 국제위원회가 있는데 여기서는 주로 폭발의 평가 방법을 논의하고, 현장의 광범위한 분야에 적용할 수 있는 안전 규칙을 제정하고 있다.

스페인에서는 몇년전 가연성분진폭발이 일어났는데 현재까지도 외국 연구소와 합동 조사를 하고 있다.

1979년 11월 27일에 출범한 MOL(The Madariage Official Laboratory)는 현재 국제적인 명성을 얻고 있다. MOL은 국내·외에서 설계한 장치의 성능에 대한 연구와 시험을 한후 승인하는 임무를 가지고 있으며, 또한 폭발하기 쉬운 환경내에 설치된 장치나 전기적 특성의 위험을 야기시키는 장치에 대한 시험을 실시하고, 여러종류의 가연성 분진에 대한 특성을 밝히는 임무도 갖고 있다.

분진폭발의 위험을 밝힌다는 것은 끝이 없으며 폭발위험을 최소화하기 위한 규칙이나 표준을 제정한다는 것도 매우 어렵다. 이에 대한 연구, 시험의 결과를 토대로 합리적인 기준이 제정되어 대형사고로 인한 인명 및 재산상의 손실을 방지할 수 있게 되길 희망한다.