

분진의 위험성 평가

(재)총합안전공학연구소 실험실은 1987년 4월 개설 이래, 각종 물질에 대한 위험성 평가시험을 약 300건 실시해 왔다. 여기서는 분진의 위험성 평가에 대해 실험, 해설한 자료를 정리하여 소개한다.

1. 분진의 위험성평가

1.1 분진폭발

분진폭발이란, 가연성 분체가 공기 중에 부유하고 있는 상태로, 어떠한 착화원으로부터 에너지를 받았을 때 폭발하는 현상으로, 분진폭발을 일으키는 분체의 종류는 금속분, 식품, 곡류, 화학약품류, 염료, 플라스틱분, 목재분류, 석탄분 등 여러 종류가 있다.

1.2 분진폭발이 발생하는 조건

분진폭발이 발생하려면, 다음의 3가지 조건이 필요하다.

- 폭발농도 범위의 가연성 분진운의 존재
- 지연(支燃)가스로서의 공기의 존재
- 착화원의 존재

분진폭발을 방지하기 위해서는, 상기 3가지의 조건 중에 하나 이상에 대해, 제로에 가깝게 하면 된다. 그러나 분체를 다루는 장치 내에서는 분진농도의 연속적인 측정은 쉽지 않고, 또 농도를 폭발범위 외로 제어하는 것은 실용상 매우 곤란하다. 더구나 지연가스로서의 공기를 차단하는 것은 비용적으로도 곤란하다. 따라서, 분진폭

발을 방지하기 위한 수단으로서는 착화원을 최대한 없애는 것이 현실적으로 사용되지만, 완전하지 않다. 그래서 분진 자신이 가진 폭발 위험성을 평가하는 것에 의해, 장치 전체의 위험성을 정량적으로 파악하고, 적절한 예방대책을 강구한 장치, 설비 등의 안전화를 최대한 꾀하는 것이 중요하다.

분진의 폭발 위험성평가로서는

- 폭발하한계농도
- 폭발상한계농도
- 발화온도
- 최소착화에너지
- 폭발한계산소농도

등의 폭발특성을 정량적으로 파악할 필요가 있다.

1.3 위험성 평가시험

폭발특성은 앞에서 기술한 분진폭발 3조건 중 어느 것인가에 맞춰놓고, 폭발발생의 위험성 평가는 이러한 특성값을 사용해 실시한다. 여기서는 폭발특성 중에서 특히 당 실험실에 시험의뢰가 많은 폭발하한계농도, 최소착화에너지, 폭발한계산소농도에 대해서 시험 장치, 측정방법, 시험실시예의 개요 및 입자크기의 차이에 의한 폭발하한계

농도에의 영향을 설명하여, 안전성 평가시험을 이 해하시는데 얼마간의 도움을 주고자 한다.

1) 폭발하한계농도

분진폭발은 어느 농도 범위의 부유분진이 공 기 중에 형성된 경우, 어떠한 착화원의 에너지에 의해 생긴다. 이 농도 범위의 최소농도를 폭발하 한계농도라 하고, 대상 물질의 폭발에 이르는 하한의 농도를 추정하기 위해 실시하는 것이다.

통상 g/m³ 혹은 mg/l 단위로 표시한다.

(1) 시험장치 : 할트만형 흡입식

폭발통은 아크릴제, 내용적은 약 1ℓ 이고, 분 산부는 스테인레스제의 분산그릇과 반사판 및 철구(鐵球)에 의해 구성되고, 폭발통 상부의 덮 개는 통기성이 좋은 종이(JK 와이퍼 3매)를 사 용한다. 공기류(5ℓ), 타이머, 고압 전원, 전자밸 브, 방전전극을 가진다.

(2) 측정방법

분산그릇에 저울로 양을 조절한 시료를 소정 의 압력으로 가압된 공기류의 공기에 의해 폭발 통 속에 넣어놓고, 분산된 상태로 방전전극에 전기불꽃을 놓아 분진운에 점화하여 폭발시킨 다. 폭발에 의한 폭발통 내의 압력상승에 의해 상부의 종이덮개가 파손되던가, 화염의 길이가 10cm 이상이 된 때를 폭발로 판정한다. 이 폭발 로 판정되는 최소의 시료량을 폭발하한계농도 라 한다.

(3) 시험실시 예

시료 A의 폭발하한계농도 측정결과를 표1에 나타낸다. 폭발하한계농도는 35(mg/l)였다. (사) 일본분체공업기술협회 규격 APS 002에서의 폭 발성 평가 분류로는, 「폭발하한계농도가 100(mg /l)이하의 물질은 폭발성이 높다고 평가한다」

라고 되어 있다. 이것에 의하면, 본 시료는 폭발 위험성이 높은 물질로 분류된다. 분진운의 생성 을 방지하는 것은 곤란하기 때문에, 생성되는 분 진운을 최대한 제거하던가, 분진이 퇴적되지 않 도록 하는 예방대책을 강구할 필요가 있다.

[표1] 시료A의 폭발하한계농도 측정결과

시료농도 (mg/l)	측정결과		
	폭발 : ○ 불폭발 : ×		
80	○	○	○
70	○	○	○
60	○	○	○
50	×	○	○
45	○	×	○
40	○	×	×
* 35	×	○	×
30	×	×	×
25	×	×	×

2) 최소착화에너지

분진운이 극히 일부에 국소적으로 에너지를 주 어, 분진운이 발화·폭발하는데 필요한 최소의 에너지를 추정하는 것으로, 이 값에 의해 방어하 여야 하는 착화원의 에너지의 목표가 주어진다.

(1) 시험장치

발화에너지 공급부와 폭발시험부로 이뤄진다. 폭발시험부는 할트만형 흡입식 분진폭발 측정 장치를 사용한다.

발화에너지 공급부는 고전압 발생부(가변저항 트랜스, 정류기, 정류 콘덴서), 방전회로부(콘텐 서, 정전전압계, 고압분압계, 측정저항) 및 방전 에너지 계산부(디지털·오실로스코프, 컴퓨터,

프린터)로 구성된다

(2) 시험방법

폭발시험부의 분산그릇에, 1)의 시험에서 얻은 폭발하한계농도에 의거한 소정의 시료를 조절한다. 다음에 방전회로부의 콘덴서 용량 및 고전압 발생부의 1차 전압을 소정의 값으로 조절하고, 스위치 조작에 의해 분진을 불어넣으면 불꽃방전을 일으키고, 분진운에 점화하여 폭발하게 한다. 이때의 전압값, 전류값, 방전시간으로부터 컴퓨터로 방전에너지를 계산한다. 콘덴서 용량 및 1차 전압을 조절해서 폭발로 판정되는 최소의 방전 에너지를 구하고, 이것을 최소착화에너지라고 한다.

(3) 시험실시 예

시료 A의 최소착화에너지 측정결과를 표2에 나타낸다. 최소착화에너지는 48.2 (mJ)였다. 일반적으로 장치의 대전에 의한 정전기방전의 에너지는 100(mJ)이상이라고 하는 것으로, 본 시료를 다루는 장치는 엄격한 정전기대책을 강구할 필요가 있다. 또한, 통상의 스파크에서도 그

에너지는 100(mJ)를 초과하는 것이 대부분이기 때문에 착화원이 되는 열, 불꽃을 발생할 우려가 있는 설비에 대해서는, 이들 착화원을 제거하는 적절한 대책을 강구할 필요가 있다.

3) 폭발한계산소농도

분진-공기 혼합물 중의 산소농도를 감소 시켜 가면, 폭발을 일으키지 않게 되는 한계의 산소농도가 존재한다. 이 때의 농도를 폭발한계산소농도라 한다. 장치의 산소농도를 폭발한계산소농도 이하로 하는 것이 기술적으로 가능하다면, 폭발을 방지하는 확실한 안전대책이 된다.

(1) 시험장치

할트만형 흡입식 분진폭발 측정장치를 사용한다.

(2) 측정방법

분산그릇에, 1)의 시험으로 얻어진 폭발하한계농도에 의거한 소정의 시료를 조절한다. 공기류에 소정의 분압에 따라서 공기를 압입하고, 나머지의 분압을 질소가스로 소정의 게이지압(1kgf/cm²)에 맞춘다. 맞춰진 산소농도의 공기를 공기류의 게이지압이 0.5kgf/cm²가 될 때까지 폭발통 내에 주입하고, 폭발통 내의 공기와 치환한다. 1)과 같은 시험을 하고, 폭발로 판정되지 않는 최대의 산소농도를 구하여, 이것을 폭발한계산소농도라고 한다.

(3) 시험실시 예

시료 A의 폭발한계산소농도 측정결과를 표3에 나타낸다. 폭발한계산소농도는 8%였다. 많은 유기성 분진의 폭발한계산소농도는 13~16%의 범위이기 때문에, 본 시료는 꽤 낮아 폭발한계산소농도의 물질, 즉 폭발 위험성이 높은 물질이다. 따라서, 불활성 가스의 첨가에 의해 산소농도를 폭발한계산소농도 이하로 하도록 예방대책

[표2] 시료A의 최소착화에너지 측정결과

방전에너지 (mJ)	측정결과			
	폭발 : ○	불폭발 : ×		
102~104	○	○	○	○
95~ 97	○	○	○	○
88~ 90	○	○	○	○
81~ 83	○	○	○	○
74~ 76	○	○	○	○
64~ 67	○	○	○	○
54~ 57	○	○	○	○
* 48~ 50	○	×	○	○
43~ 45	×	×	×	×
38~ 40	×	×	×	×

을 강구할 필요가 있다.

[표3] 시료A의 폭발하한계산소농도 측정결과

산소농도 (%)	측정결과		
	폭발 : ○ 불폭발 : X		
12	○	○	○
11	X	○	○
10	○	X	○
9	X	X	○
* 8	X	X	X
7	X	X	X

2. 입자크기의 차이에 의한 폭발하한계 농도에의 영향

각종 분진폭발 특성의 기초가 되는 폭발하한계농도는 시료의 입자크기에 의해 동일 물질의 분진에서도 전혀 다른 값을 나타낸다. 그래서, 시료로서 pentaerythritol을 사용하여 입자크기와 폭발하한계농도의 관계에 대해서 조사했다. 시료로서는 표4에 나타내는 입자크기를 사용하고, 시험 결과를 mg/l 단위표시로 나타내었다.

[시험 결과]

- 200mesh pass의 것은 원료 pentaerythritol 1/ 10이하의 폭발하한계

농도였다.

- 50mesh on의 것은 원료pentaerythritol 5배 이상의 폭발하한계농도였다.

분상(粉狀)의 화학제품은 입자크기가 일정한 것은 적고, 통상 거친 알갱이에서 미세한 분체에 이르는 입도 분포를 가진 것이 대부분이고, 이와 같은 경우의 폭발하한계농도는 입자크기가 다른 입자의 혼합물에 대한 값이다. 입자의 입도 분포가 다르면, 전혀 다른 폭발 특성값을 나타낼 우려가 있다. 따라서, 위험성 평가에 주는 입자의 입도 분포 및 입자크기의 폭발 특성값의 정도에 대해서도 주의해 놓는 것이, 안전확보를 위해 위험성 평가시험을 활용하는 경우에는 중요하다.

3. 맺는 말

분진폭발이 생긴 경우는 가스폭발과 같이 높은 압력과 고온의 연소물의 발생에 의해 설비 파괴나 화염의 분출이 생기고, 주변 작업자의 사상, 화재발생 등의 재해로 발전할 가능성이 크다. 따라서, 취급하는 물질에 대해서 폭발위험성 평가를 하고, 그 결과를 활용한 재해방지 대책을 사전에 강구해 놓는 것이 안전에 있어서 매우 중요하다고 생각한다. ㉞

— Safety Engineering(2003. 8)

[표4] 입자크기와 폭발하한계농도의 관계

시 료	원료 pentaerythritol		체로 친 후의 pentaerythritol		
	항 목	50mesh on	37.1%	200mesh pass	50~200mesh
	50~200mesh	51.6%			
	200mesh pass	11.3%			
폭발하한계농도	1,000mg/l		70mg/l	800mg/l	>5,000mg/l