

분진폭발의 예방과 방재

강 석 호*

1. 분진의 폭발성

지름이 1000 μ m보다 작은 고체입자는 모두 분체(粉體)라고 부른다. 그중 75 μ m이하의 고체입자로써 공기중에 떠있는 분체를 분진(粉塵)이라고 부르는데 이러한 분진은 폭발성이 있다. 그러나 분진 폭발에 관련되는 분체의 크기는 대개 <50 μ m 정도이다. 예를들면, 5 μ m 이하의 입자가 1% 포함된 섯가루를 싸일로에 부어 넣으면 1kg의 분진이 공기중에 부유하게 되고 경우에 따라서는 폭발이 일어날수도 있다.

분진폭발은 가연성분진이 공기중에 또는 어떤 가연성 분위기에 부유되어서, 발화원에 노출되었을 때 일어난다. 분진 폭발의 심각한 정도는 분체입자의 크기에 따라 좌우된다. 미세분말을 취급할때 생기는 위험은 분진폭발 이외에도, 가연성, 접촉유독성, 호흡유독성등이 있다.

분진폭발의 위험과 피해에 관한 역사적 기록은 1785년 이태리의 토리노(Torino)에 있었던 밀가루 공장의 폭발사고이다. 한국내에서의 분진폭발사고에 대한 기록이나 조사보고서는 공표된 것이 별로 없다. "손해보험" 잡지등에는 화재일반에 관한 자료가 있으나, 분진폭발사고에 대한 기록은 찾을수가 없다. 토리노의 밀가루 공장 분진사고 이후부터, 탄광에서의 갱내폭발사고도 분진폭발일 것이라고 인식되기 시작하였다. 그러나 당시에는 탄광사고에서 분진이 폭발의 원인인줄을 알지는 못했고, 다만 가연성(메탄) 가스 폭발이 그 원인이라고 인식되었

다.

20세기에 들어와서, 각종 산업체에서 취급되는 다양한 종류의 분체, 분진에 의한 폭발사고가 빈번하게 일어났고, 인명과 재산에 대한 피해가 많았으므로, (1977년 미국 루이지애나주의 곡물저장단지에서 37명사망자를 낸 곡물 분진 폭발이 가장 큰 사고 일 것이다) 이 분야에 관한 연구도 더큰 주목을 끌고 있다. 표1에는 미국, 캐나다, 독일지역에서 1900-1956년 사이에 일어난 분진 폭발사고의 빈도(%)를 산업별로 표시하였다.

표 1. 미국, 캐나다, 독일의 산업별 분진폭발빈도* (1900-1956)

산업별	농산물	입산물	금 속	고무·플라스틱	석 탄 (탄광제외)	기 타	전 체
빈도%	35-36	15-28	7-10	2-13	5-11	3-8	100%

각 산업장에서 발생한 분진폭발의 실례는 문헌상에 상당히 많이 그리고 자세한 사고보고서로써 공표되어 있다. 이러한 분진폭발사고는 산업체의 종류, 사고가 발생한 공정부분, 추정되는 원인, 인명의 사상자수와 재산피해액등으로 보고되는 경우가 많다. 표2에는 분진의 종류와 폭발사고 원인이 된다고 추정되는 공정장치를 유형별로 묶어서 표시한 내용이다

2. 분진폭발의 메카니즘

분진폭발은 미세한 가연성물질(고체입자)가 연소되기에 충분한 량의 산소를 포함하는 대기중에 분산되어 있고, 발화에 적당한 에너지 원천에 노출될때 일어난다. 이 현상은 가스의 폭발의 경우와

* 영남대 화공과 교수·공학박사

표 2. 분진의 종류와 추정되는 사고원인 공정*

분진의 종류	사고원인으로 추정되는 공정	폭 발 원 인
알미늄, 마그네슘, 스테아르알미늄 등 유기금속화합물, 페로망간합금, 유탄	싸이클론, 백필터, 컨베어, 집진기, 분말, 분쇄기, 체선별기, 모터, 혼합기, 공기수송건조기, 싸일로, 작업장	쇠불이의 마찰열 용접불꽃 스크류 마찰열
옥수수, 전분, 보리, 밀가루, 땅콩, 엿기름, 사탕, 동물 및 어류먹이	회전건조기, 버켓엘리베이터, 싸일로, 싸이클론, 백필터, 정전기집진기, 분쇄기, 미분쇄기, 체선별기	베어링 과열, 윤활유부족 정전기 분쇄 마찰열
플라스틱류(PS, 페놀수지, 노소수지) 고무, 레코드판재료, 셀룰로이드 셀룰로즈 아세테이트	사출기, 공기수송건조기, 성형기, 분무건조기, 싸이클론, 백필터, 저장빈, 집진기, 분쇄기, 체선별기, 혼합기, 기타작업장	바닥청소 먼지 시운전때 트랩프메탈
코크르, 톱밥, 목재분말 석탄, 찌꺼기	분쇄기, 킬른건조기, 싸이클론, 백필터 체선별기, 저장빈, 버켓엘리베이터	* 안전벨트 작동불량

같다. 특히 분진입도가 5 μ m 정도 또는 그 이하일 때는 꼭 같다.

분진폭발은 1차폭발과 2차폭발로 분류할 수가 있다. 1차폭발과정은 장치나 장치내의 밀폐된 한부분에서 처음 폭발이 일어나는 과정인데, 이 단계에서 연소하는 분진입자, 불꽃 그리고 더운개스가 팽창하여 밀폐부분을 파괴하면서 장치내의 넓은 범위로 전파되어가서 대단위 공정전체의 폭발, 즉 2차폭발로 진행된다. 따라서 1차폭발에 대응하는 조치가 신속히 취해질수 있다면 분진폭발사고는 방지가 가능하게 된다. 불꽃의 전파현상은 분진과 기체의 광론적 혼합물 조성비율보다 더큰 분진농도가 형성되어 있을때 더욱 빨라진다.

불꽃의 전파속도는 일정하지 않고, 분진의 화학 성분조성, 분진입도, 형상, 비표면적, 분진농도, 습도, 산소량 및 기체의 난류현상에 크게 영향을 받는다. 따라서, 이와같이 많은 변수들이 불꽃전파 속도에 영향을 주기 때문에, 각각의 변수로부터 초래되는 영향을 정량적으로 거론할수가 없으며, 다만 총괄적인 메카니즘의 설명이 가능할뿐이다. 흔히 폭발현상을 두가지 용어로 설명하는데, 폭발 연소(deflagration)라고 부르는 용어는 연소개스중에서 불꽃속도가 소리의 속도보다 작을때 쓰이고, 분진폭발의 주된 현상이기도 하다. 반대로, 보통의 폭발(detonation)은 연소개스중에서 불꽃속도가 소리의 속도보다 클때 사용하는 용어이다.

분진폭발의 메카니즘은 분진의 연소현상으로써 설명될 수 있는데, 몇가지 제안된 메카니즘을 표3에 요약하였다.

분진폭발의 메카니즘을 결정하는 많은 연구들이

표 3. 분진폭발에 관한 몇가지 메카니즘의 요약

발표자	문헌	메카니즘	실험분진의 예
Carpenter	(3)	입자표면에서 정전기 스파크	석 탄
Cassel 등	(4)	복사열전달 효과에 의한 열적이론	알미늄
Essenhigh 등	(5)	율속단계 이론	1-2mm 폴리머
Clague	(6)	1차 대류열전달후 복사열전달 과정	석탄, 마그네시움
Mitsui	(7)	산화와 열전달과정의 복합이론	

단일입자자료에 대하여 수행됐기 때문에, 입자의 충돌, 응집등이 있는 실제조건과는 상당한 차이가 있음은 물론이다. 어쨌던, 분진폭발 메카니즘에 영향을 주는 인자들은 다음의 여러가지가 있다. 즉, 1) 분진의 화학성분 조성 2) 분진과 산소의 반응 활성화에너지(이것은 점화근원 및 점화온도에 관계된다) 3) 분진의 표준 연소열, 4) 분진의 분산상태 5) 분진의 입도와 형상, 6) 비표면적, 7) 분진의 수분 함량(보통 30% 이하), 8) 존재하는 산소의 양, 9) 기체중 분진의 농도등이 주요한 변수이다. 특히 5)항과 9)항사이에는 중요한 관계가 있다.

분진입도가 작으면 낮은 농도에서도 폭발이 일어나고, 분진입도가 크면 폭발에 필요한 최저 분진농도도 커야한다. 예를들면 알미늄 분말의 경우에, 평균 입도가 20, 35, 40, 90 μ m일때 폭발이 일어날수 있는 입도가 20, 25, 35, 45 g/m³등으로 달라지며 이 최저농도보다 높은 농도에서 폭발이 일어나지만, 한편으로 분진농도가 아주 높으면 폭발이 억제되기 시작하는 최고 농도도 입도와 관련지워서 결정된다. 그러나 폭발이 일어날 수 있는 최고 농도

를 결정하기는 어렵다. 왜냐하면 시험장치내에서 균일한 농도를 얻기가 매우 어렵기 때문이다.

PE분진의 평균입도와 폭발가능한 최저 농도 및 점화에 필요한 최저 에너지의 관계를 그림1에 예시하였고, 그림2에는 각종 지방산과 그 금속치환 화합물에 대한 분진 농도와 압력상승 최대속도를 표시하였다. 이 그림에서 압력상승 최대속도라함은 불꽃전파속도를 측정하는 수단으로 대응되는 폭발 실험용 측정변수이다. 그림3에는 옥수수 전분분진

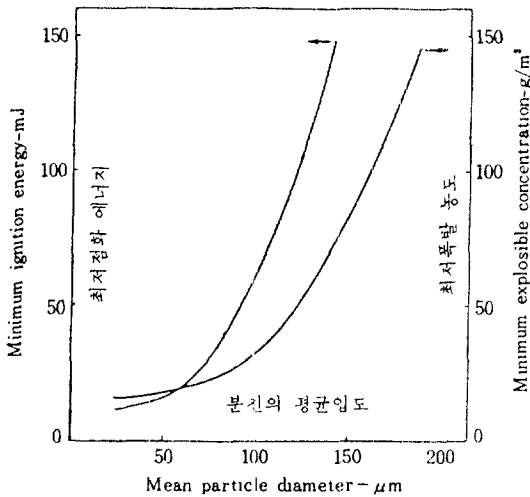


그림 1. 폴리에틸렌분진의 폭발시험⁹⁾

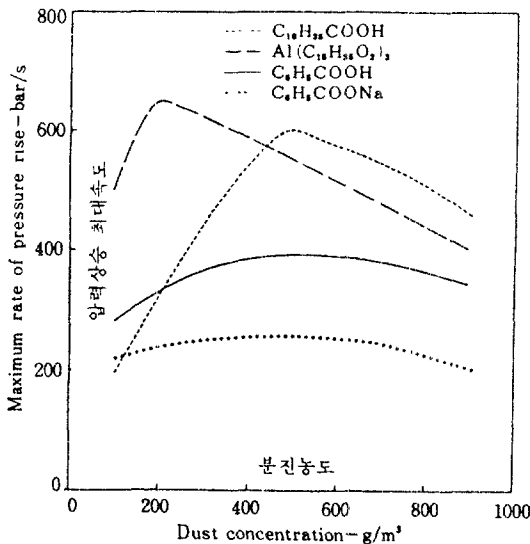


그림 2. 고급지방산과 그 금속화합물의 분진폭발⁹⁾

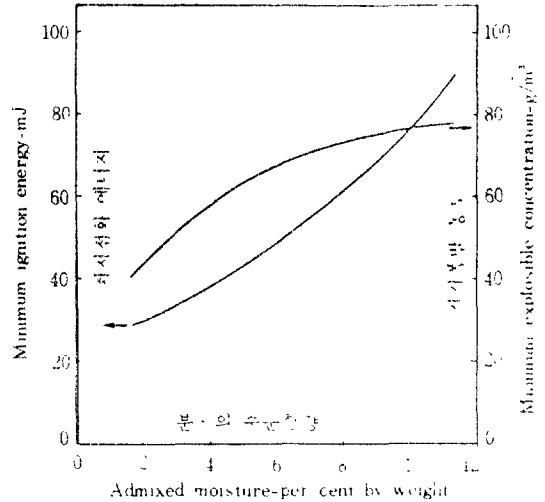


그림 3. 옥수수 전분의 분진폭발과 수분함량의 관계¹⁰⁾

의 수분함량이 폭발 농도와 폭발에 필요한 최저 점화에너지에 미치는 영향을 조사한 결과를 예시하였다.

분진이 공기중에 부유되어 있으면서 폭발이 일어나도록 점화가 될려면, 충분한 량의 가연성 분진이 앞에 열거한 적당한 조건에서 점화원로부터 점화에 필요한 에너지를 공급 받아야 한다. 점화원의 에너지는 폭발반응을 일으키고 유지하는데 충분한 공급량과 공급속도를 가져야 한다. 따라서 모든 가연성 분진은 점화에 필요한 최저 에너지량이 필요하다. 이 최저 에너지량은 최저 점화온도로도 정의되는

표 4. 몇가지 분진의 최저점화 온도와 최저 폭발농도⁹⁾ 및 폭발성¹¹⁾

분진	최저점 최저폭 점 화폭 발				
	최저점화 온도 (°C)	최저폭발농도 (mg/m³)	민감도	가속도	폭발성지수
알루미늄	420	30	1.0	5.0	>10.0
인식향산	600	10			
키프로락탐	430	70			
핏츠버그석탄	390	55	1.0	1.0	1.0
에폭시 수지	490	10	6.0	2.0	1.9→10.0
밀가루	390	50	2.1	1.8	3.8
폐놀포름					
알테히드수지	450	15			
폴리에틸렌	400	10	8.0	1.5	3.5→10.10
설탕	330	15	5.5	2.4	13.2
지르코늄(10μm)	300	10			

데, 몇가지 분진의 최저 점화온도를 표4에 실었다. 아울러 폭발에 필요한 최저 농도도 함께 표시하였다. 분진의 최저 점화온도는 폭발이 일어나고 불꽃 전파가 일어날 수 있는 최저 온도인데 상온에서부터 900℃ 이상의 온도범위까지 물질에 따라서 다양하게 달라진다.

분진폭발의 메카니즘에 영향을 주는 기타의 인자들으로써는 개스와 분진의 유통상태, 즉, 난류현상, 혼합물의 압력과 온도의 영향, 불활성 기체나 불연성 분체의 함유량등이 있다. 이들의 영향에 대한 연구를 앞서 설명한 다른 인자들에 관한 연구와 비교하면 광적으로 충분하지 못한 실정이다.

3. 분진폭발실험-폭발요인의 결정과 해석

분진폭발에 대한 자료가 없거나 부족한 경우에 폭발로 인한 위해가 있는가, 또 있으면 그 위해는 어느 정도인가를 실험적으로 결정할 필요가 있고, 시험을 통하여 얻어진 자료를 해석하여 폭발을 예방하고, 폭발이 일어나더라도 그 피해를 줄이는 조치를 취할수 있을뿐만아니라 예방의 효과와 재해의 량이 어느 정도인가도 미리 판단할 수 있으면 좋을 것이다. 이러한 목적을 위해서는 어떤 종류의 시험으로 그 폭발요인들을 찾아낼것인가가 매우 중요하다. 따라서 분진 폭발시험에서는 1) 폭발이 일어날 농도의 분진이 정상으로 균일하게 시험장치내에 부유되어야 하고, 2) 공기역학적 실험조건이 재생가능해야하며, 3) 재현성이 우수한 시험장치가 있는가등을 결정해야 한다. 현재까지 이러한 시험 목적에 전통적으로 사용되어온 시험장치에는 두가지가 있다. 하나는 Hartmann 봄베이고 다른 한가지는 20리터 구형 폭발장치(100리터 장치도 있다)이다. 이들 장치는 분진의 폭발성 특징을 측정할수 있는 장치인데, 그림4에는 20리터 구형 폭발 시험장치의 열개를 나타냈다. 이들 장치는 봄베 열량계와 같이 고압용기로 설계되어 있는데, 열량계의 구조와 다른점은 분진을 분산시키는 장치와 압력측정 장치가 부착되어 있는 것이라고 간단히 설명할수 있다. Hartmann 봄베는 역사적으로 더 오래된 장치로서, 초기에는 수직 또는 수평의 원형 유리관이 사용되었으나, 차츰 강철제 압력 용기로

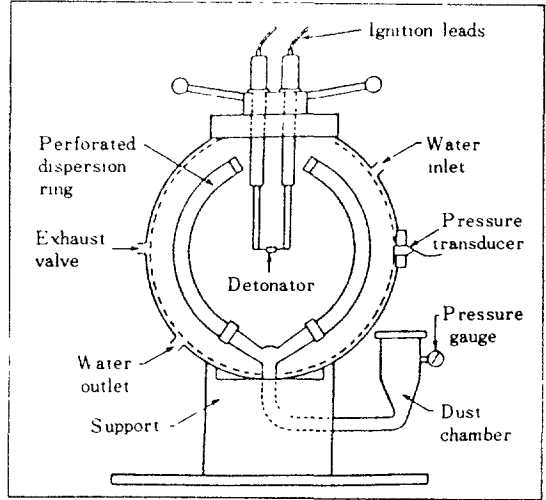


그림 4. 20-L 구형 폭발시험장치¹²⁾

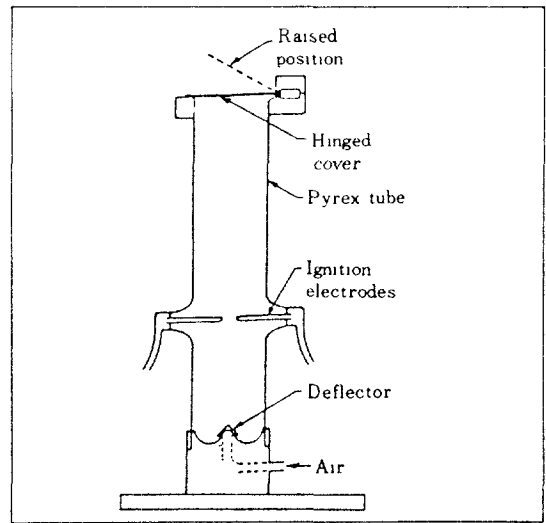


그림 5. Hartmann식 분진폭발 시험장치¹³⁾

개량되었다. 이 장치의 열개는 그림5에 나타냈다. 이들 분진폭발 시험장치는 그 설계 구조가 나라마다 또는 전문시험 연구기관마다 조금씩 다를뿐만 아니라, 시험방법이나, 시험항목들도 조금씩 달라서, 말하자면, 아직까지 규격화된 시험방법으로 통일되어 있지 못하다. 영국에서는 다음의 7개항목을 시험한다. 즉, 1) 분진의 폭발성(explosibility) 분류 (3개의 시험장치를 사용하여 폭발성분진 A, 비폭발성분진 B로 구분한다.

2) 최저점화온도(min. ignition temp.—순간 점화가 일어나고 불꽃이 전파되는 최저온도)

3) 최소폭발농도(min. explosible concentration—폭발이 일어날 수 있는 분진의 최소량)

4) 최소점화에너지(min. ignition energy, E,—공기중에 현탁된 분진을 점화시키는 최저 스파크 에너지량인데, 정전기 방전량에도 관계된다. 측정은 식 $E=0.5 CV^2$ 을 이용한다. C는 컨덴서 용량, V는 컨덴서 전위차인데, E는 보통 3mJ-2J의 범위에 있다)

5) 점화를 일으킬 만큼의 최대 산소농도 (max. permissible oxygen concentration—O₂의 농도에 따라서 불활성 기체농도가 상대적으로 변한다. 특히 폭발예방에 중요하다.)

6) 최대폭발압력(max. explosion pressure—방폭 설계 자료)

7) 압력상승 최대속도(max. rate of pressure rise—이것은 방폭설계등에 더 중요한데,

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max} = \frac{p'}{t'} \text{ 로 결정된다. 그림6참조}$$

압력상승최대속도 dp/dt 는 그림6에서 처럼 결정된다. 시험용기의 부피를 V 라고 하면,

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max} V^{1/3} = K_{st} \text{의 관계가 있는데, } K_{st} \text{는 분진의}$$

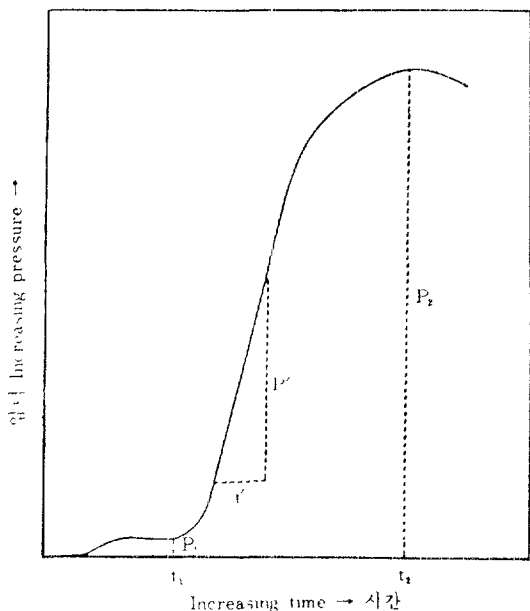


그림 6. 분진폭발 시험에서 측정되는 압력의 경시 변화의 예¹²⁾

종류에 따라서 달라지는 상수이며 그 단위는 bar.m/s 로 표시된다.¹²⁾

스위스에서는 20-l 시험장치가 사용되고 있으며 1), 2), 4), 5), 6) 및 7)항을 측정하는데, 독일에서는 1), 2)항만 시험한다. 미국에서는 영국의 시험항목과 같으나, 특별히 1) 항의 내용에 차이가 있다. 즉, 미국 내무성의 광무국(U.S. Bureau of Mines)에서는 폭발성지수(explosibility index)를 점화민감도(ignition sensitivity)와 폭발 가혹도(explosion severity)의 곱으로 표시하고, 여러가지 분체의 폭발성을 폭발성 지수로 표시하고 분류한다(약폭발성 분진<0.1, 0.1<보통<1.0, 1.0<강폭발성<10.0, 가혹폭발>10.0등). 그런데 폭발성 지수를 결정하는 점화민감도와 폭발 가혹도는 다음식에 의하여 실험적으로 결정된다.¹³⁾

점화민감도 =

$$\frac{\text{멧츠버그 석탄의}(610^{\circ}\text{C} \times 10\text{mJ} \times 55\text{g/m}^3)}{\text{시료분진의(최저점화온도} \times \text{최소점화에너지} \times \text{최소폭발농도)}}$$

폭발가혹도 =

$$\frac{\text{시료분진의(최대폭발압력} \times \text{압력상승최대속도)}}{\text{멧츠버그 석탄의}(5.7\text{bar} \times 159\text{bar/s})}$$

폭발가혹도는 폭발 예방 및 재난 축소를 위한 설계 자료가 되겠고, 점화 민감도는 폭발가능성 또는 난이도를 표시한다고 해석할 수 있다. 표4에 점화민감도, 폭발가혹도, 폭발성 지수를 함께 예시하였다.

이러한 분진 폭발 시험결과로 얻어지는 자료들은 분진의 폭발 특성을 예측하는데도 중요하고 폭발사고의 예방과 사고가 발생하는 경우에 그 재해를 극소화하는데 매우 중요하다. 그러나 이러한 시험 데이터를 그대로 믿어서는 매우 위험한 결과를 초래할 가능성이 큼을 염두에 두어야 한다. 또, 분진폭발시험에 착수 하기전에 반드시 시료분진의 물성등에 관한 기초조사, 예를들면, 구성 성분의 조성(래디컬기의 존재여부), 입도, 수분함량등을 미리 조사하여야겠고, 시료의 선택, 채취방법에도 주의가 필요하다.¹³⁾

4. 분진폭발의 예방(prevention), 방재(protection) 및 억제방법(suppression)

분진폭발사고를 방지 또는 예방하기 위해서는 먼저 어떤조건이 폭발에 필수적인가를 알아야 한다. 즉, 앞에서도 부분적으로 거론하였지만, 1) 분진은 연소될수 있어야 하고, 2) 공기중에 떨수 있어야 하며, 3) 불꽃전파가 가능한 입도 분포를 가져야하며 4) 분유된 분진은 폭발가능한 농도범위에 있어야 하고 5) 불꽃전파를 유발할수 있는 충분한 에너지의 점화원에 인접해 있어서, 이것이 분진현탁제와 접촉되어야하며 6) 분진이 현탁될 기류내에는 분진이 연소 및 연소가 지속되기에 충분한 산소가 있어야 한다. 다시 말하면, 위의 6가지 사항을 막으면 폭발은 방지된다고 볼 수 있다. 그러나 폭발방지의 원리는 상식과 경험에 크게 좌우된다.⁸⁾

몇가지 구체적인 방지대책을 열거하면

1) 분진을 합리적으로 control하는일 :

분체취급 공장의 건물은 먼지가 묻지 않도록 하고, 먼지를 잘 모아서 제거한다. 비질을 하는일이 절대로 없어야 한다(정전기를 유발하니까). 모터등의 장비는 dust-tight해야하고, 싸이클론, 백필터는 주의가 요구되나, wet scrubber는 안정성이 있는 설비이다. 그러나 정전기 집진 설비는 가연성 분진이 있는 경우에 매우 위험함을 명심해야 한다.

2) 잠재적인 점화원천을 없애는 일 :

불꽃, 뜨거운 표면(공기수송장치 부분, 건조기부분), 발광물질(전동), 자연발화성 분진(발생열량과 제거열량 사이의 평형문제임), 용접-절단작업, 마찰(nut등의 기계부품이 큰 마찰열을 발생시킨다)과 충격에 의한 발열, 전기스파크, 정전기 스파크등은 절대로 위험하다.

3) 점화원을 찾아서 제거하는 일 :

폭발이 일어날 위험성이 있는 장치부위와 점화원천 사이에 약간의 거리(3m)를 두고, 거기에 스파크 감지장치와 불꽃차단장치(자동소화시설)를 설치하거나, 불연성 기체 또는 분체를 혼입하는 방법을 채용할수도 있다.

아무리 예방조치가 완벽하더라도 사고의 발생을 막을수가 없으므로, 일단 분진 폭발 사고가 발생하였을때 생길 인적, 물적 피해를 최소화 하기 위한

조치는 분체취급 공장의 설계 또는 건설에 있어서 필수적이다. 방재 대책으로서는 대개 다음의 4항목을 열거할 수 있다.

1) 분체취급장치나 그 장치가 수용되는 건물은 폭발에 견딜수 있는 격납건물로 설계한다. 보통의 건물은 0.2bar정도에 견딜수 있으나, 폭발의 가능성이 있는 분체취급 시설은 7-10bar의 압력에 견디는 설비 또는 건물에 장치를 격납한다.

2) 플랜트의 각 process를 rotary valve 나 screw conveyor등으로 choke(조리개)를 삼아서 격리한다.

3) 폭발에 대비한 안전 vent를 설치한다. 그러나 이 시설은 폭발을 방지하는 기능이 전혀 없으므로 일단 일어나는 재해의 정도를 최소로 줄이는 기능을 명시해야 한다. 더욱 분진이 유독성일때는 전혀 사용할수가 없다. 안전 vent의 크기는 장치설계시에 고려해야 한다(이 분야의 연구결과는 많고, 제조업자도 많음은 다행이다).

안전 vent의 종류로는 파열식 격막(bursting diaphragm), 파열식원판(rupture disc), 안전문(relief door)등이 적당하다. 안전 vent의 크기(면적)와 설치장소를 결정하는 일은 중요하다. 특히 크기를 결정할때는 장치부피와 관계있음을 참고해야 한다.²⁾

14) 일반적으로 vent ratio = $V. r. = \frac{\text{vent area}}{\text{vessel volume}}$ 으로 정의되는 V.r.은 압력상승 최대속도 $(dp/dt)_{max}$ 에 의하여 결정된다. $(dp/dt)_{max}$ 이 <345 bar/s, 345-690, >690에 대하여, V.r.는 각각 $1/6m^{-1}$, $1/4.6$, $1/3.1$ 이 채택되는데, 용기의 부피가 30m³ 이하이면 $V.r=1/3.1m^{-1}$, 70m³ 이상이면 $V.r.=1/25$, 그 중 중간의 부피에서는 $V.r.=1/(9.2-15)$.

3) 이 채택된다.²⁾ 안전 vent의 설치 장소문제를 결정하는 것도 중요한 고려사항이다.

끝으로 폭발의 억제 방법에 대하여 간단히 서술 하겠다. 분진 폭발은 1차, 2차에 나누어 일어나는 것이 보통이므로, 두 연쇄 폭발사이엔 짧으나마 일정한 시간 간격이 존재한다(dp/dt항), 따라서, 이시간 간격사이에 적당한 폭발억제수단을 쓰면 2차폭발, 즉, 대규모 폭발 사고를 막을수가 있다.

폭발억제설비는^{15),16)}검출기(detector) 제어기(control unit) 및 억제제 살포기(suppressant spray) 등으로 구성된다. 검출기는 압력 검출식이 온도검

출식(응답이 너무 늦다)보다 적당하고 제어기와 억제제 살포기는 신속히 작동하는 자동제어 장치이다. 폭발억제제로서는 할로겐화합물, 물, 불연성 고체분말등이 쓰인다. 그러나 폭발억제 방법은 분진 취급 장치의 모양(구형, 비구형등) 그리고 1, 2차 폭발사이의 시간 간격등으로 인하여 제한을 받기 때문에 자동제어 기술의 발전과 크게 관련되어 있다. 또 분진 폭발억제기술에 대한 국제 표준화 작업도 기술 개발과 함께 매우 활발히 추진되고 있다.¹⁷⁾

5. 결론

분체의 취급량과 취급업종이 대단히 크고 넓기 때문에, 분진 폭발의 메카니즘의 연구, 예방방법의 개선을 위하여 많은 노력이 기울어져야 하겠다. 그러나 분진 폭발사고를 완전히 배제할수 없기 때문에 방재방법도 함께 연구되어야 하겠고 공장설비의 설계때나 운전시에 항상 관심을 가지고 다루어야 하겠다.^{18),19)} 분진 폭발에 대한 현재까지의 연구 상황, 기술상황을 개괄적으로 설명하였고 새로운 연구의 필요성은 자연적인 추세이므로, 이 문제를 모든 기술인들이 함께 생각하는 기회가 있기를 바란다. 분진폭발에 관한 지식, 특히 다량의 분진을 취급하는 건조시설, 수송시설, 저장시설등으로 구별되는 장치별 방호방법에 대한 자세한 지식들을 서로 나누어 갖는 기회가 가까운 장래에 있기를 바란다.

참 고 문 헌

1. -, Report of of Important Dust Explosions, National Fire Protection Association, Boston, 1957.
2. Dust explosionis in Factories, Health and Safety at Work, No.22, HMSO, London, 1975.
3. Carpenter, D.L., *Comb. and Flame*, 1, 63, (1957).
4. Cassel, H.M., U.S. Bureau of Mines, R I 655 1, Washington, 1964.
5. Essenhigh, R.H. *Fuel*, 48, 330(1969).
6. Clague, T.E., *Chemical Engineering Birmingham Univ.*, 23, 45, (1972).
7. Mitsui, R. and T. Tanaka, *I & EC Process Des. Develop.*, 12, 384, (1973).
8. Field. F., "Dust Explosions", Elsevier Sci. Pub., Amsterdam, 1982.
9. Dorsett, H.G. and J. Nagy, U.S. Bureau of Mines, RI7132, Washington, 1968.
10. Hartmann, I., A.R. Cooper and M. Jacobson, U.S. B.M., RI4725, Washington, 1950.
11. Marchello, J.M. and A. Gomezplata, "Gas-Solids Handling in the Process Industries", Marcel Dekker, New York, 1976.
12. Bartknecht, W., "Explosions", 2nd. ed., Springer-Verlag, Berlin, 1981.
13. 강석호, "분체입자의 물리적 분석방법", 화학공학, 8(4), 178(1970)
14. Palmer, K.N., "Dust Explosions and Fires", Chapman & Hall, London, 1973.
15. Bartknecht, W., *Staubg-Reinhaltung der Luft*, 31, 28, (1971).
16. Singh, J., *J. of Occupational Accidents*, 2, 113, (1979).
17. Burtknecht, I., Safe handling of flammable dusts and gases, Literature survey(1970-1977), Verein Deutscher Ingineur, Duesseldorf, 1977.
18. Lai, F.S., et al., *AICHE Journal*, 32(2), 505(1986)
19. Lunn, G., and F. Cairns, *Staub-Reinhaltung d. Luft*, 46(2), 97(1986).