

분진폭발의 예방대책



목연수

부경대학교 안전공학과

1. 서론

생활양식의 변화와 정밀산업의 발달로 고체 덩어리나 입자를 분쇄하여 분체의 형태로 사용, 취급, 저장하는 빈도가 증가하고 있으며, 이들 중 분체가 가연성인 경우에는 공기 또는 산소와의 접촉면적이 커서 비교적 쉽게 착화할 뿐 아니라 급격한 연소를 일으켜 화재·폭발의 위험성이 항상 존재하고 있다고 할 수 있다. 이와 같은 위험성을 가지는 가연성 분진에는 소맥분, 전분, 사탕 등의 식료품을 비롯하여 가축용 사료분진, 각종금속, 플라스틱 및 화학제품 등의 가공용 분진, 약품, 연료로 사용되는 석탄 뿐 아니라 섬유부스러기, 연마시의 분진 등을 들 수 있다. 특히 최근에는 신소재로서의 기능성 물질과 전자재료의 개발이 활발하게 진행되어 이 분야에서 분체를 취급하는 공정도 증가하고 있는 실정이다.

가연성 분진은 쉽게 어디에서나 볼 수 있으며, 누구나 그렇게 위험한 물질이라고 생각하지 않고 있다. 그러나 가연성 분진을 대량으로 취급하는 사업장에서 폭발이 발생하면 엄청난 인명피해와 물적 손실이 발생한다는 것은 과거의 사고사례에서 잘 알 수 있다.

미국에서는 곡물가공산업에서 많은 폭발사고가 있었으며 1979년에서 1986년의 8년간 곡물취급시설

에서 160건의 폭발사고가 발생하여, 사망 50명부상 224명의 인명 피해가 발생하였고 그 밖에 일본, 영국, 독일을 비롯한 많은 나라에서도 대규모의 분진폭발이 가끔 발생하였다. 우리나라에서도 1989년 ABS수지를 생산하는 화학공장에서 19명의 사망자와 수십명의 부상자를 발생시킨 대규모의 분진폭발사고가 발생하였으며, 산업의 발달로 미세한 분체의 사용공정이 늘어나고 있어 분진폭발의 위험성은 더욱 증가하고 있는 실정이다.

이러한 분진폭발위험을 평가하기 위하여 국제적인 논의를 거쳐 1985년에 국제표준화기구인 ISO에서 실험방법을 처음으로 채택하였고¹⁾, 그후 많은 연구와 논의가 진행되어 왔으며, 이러한 분진폭발의 위험성에 관한 연구와 대규모 분진폭발사고로 인하여 국제적으로 분진폭발재해 방지에 관한 관심도 높아졌다. 여기에서는 분진폭발의 특징과 위험성 평가 방법 및 방지대책을 기술하여 분진폭발 예방에 도움을 주고자 한다.

2. 분진폭발의 특징

분진은 공기중에 부유하는 경우와 구조물 등에 퇴적하는 경우가 있으며, 이들이 폭발을 일으키기 위해서는 어느 정도 크기의 미립자로서 공기중에서 부유하여 분진운(dust cloud)을 형성하여야 한다. 그러므로 분진폭발은 공간폭발의 일종이며, 가스 및

증기폭발에서는 가연성 물질이 가스 또는 증기인데 반해 분진폭발에서는 고체입자라고 할 수 있으며, 분진폭발 발생의 조건은 다음과 같다.

- (1) 공기(지연성 가스) 중 부유, 분산하여 있을 것
- (2) 부유분진농도가 폭발하한계 이상의 농도일 것
- (3) 충분한 energy와 energy 밀도를 가진착화원이 존재할 것

가연성가스는 분자상태에서 공기와 혼합하여 폭발성 혼합가스를 형성하나 분진폭발을 일으키는 분진은 부유·분산하기 위해서 그 입자크기에 제한이 있다. 분진폭발을 일으킬 것인가의 여부는 구체적으로 분진이 형성되는 혼합계의 형상과 크기, 착화원 및 분진-공기 혼합계의 성상에 의존하므로 간단히 규정하기는 어려우나 일반적으로 약 500 μ m 이하의 입자경을 가지는 가연성 분진이 폭발을 일으킬 위험성이 있다고 알려져 있다.²⁾

분진이 공기중에 부유·분산하여 폭발성의 분진-공기 혼합계를 형성하지 않고 구축물 등에 퇴적되어 있는 경우에도 다른 외부 조건의 영향으로 분진운을 형성하여 폭발을 일으키는 2차 폭발이 발생할 수 있으므로 분진이 퇴적되어 있는 것만으로도 폭발발생 조건의 한가지를 만족하게 되는 경우도 있다.

분진폭발은 분진·공기혼합계 중을 연소대가 전파하게 되며 일반적으로 분진의 연소형태에는 기상연소와 이상(異相)표면연소가 있다.

기상연소는 입자표면에 열에너지를 가하면 표면 온도가 상승하여 휘발 또는 증발에 의한 가연성가스 또는 증기를 방출하는 가스화가 진행되고 이것이 공기중에 확산 또는 사전혼합 되어 연소하는 경우를 말하며, 이상표면연소(표면연소)는 고체 표면에서의 산화반응인 연소현상으로 고체와 기체의 반응에 해당한다. 일반적으로 휘발성이 많은 분체에서는 기상연소가 일어나고 휘발분이 거의 없고 입자경이 작은 경우는 표면연소가 발생한다. 일반적인 가연성 유기물(고분자물질 또는 곡물 분체 등)은 가열에 의해 열분해가 발생하여 이 가연성의 열분해 가스 또는 증기가 기상연소를 일으킨다. 한편 금속분진의 경우 Al, Mg의 경금속 분진은 용융, 증발하여 기상연소를 하지만 Fe, Ti, Si 등의 금속분진은 폭발화염 중에서 표면연소를 한다.

또한 분진폭발은 급격한 압력상승이나 통제 불가능한 팽창효과를 초래하는 분진운의 연소로 볼 수 있으며, 이 팽창효과는 연소 시에 발생하는 열 때문

에 발생한다. 분진폭발은 먼저 폭발압력이 나타나고 1/10~2/10초 늦게 화염이 오며, 분진운을 통과하는 화염의 전파속도는 화재시의 화염속도에 비교하여 빠르고 폭연의 상태에서 대체적으로 1~10m/s정도이며, 만약 이런 폭연이 폭굉으로 전이하면 충격파를 동반하면서 음속 이상인 1000m/s의 속도를 나타내게 된다. 폭연에 의한 최대폭발압력은 약 10.5kg/cm²의 크기이나 폭굉압력은 이것보다 수배의 높은 압력으로 되며, 폭굉은 폭연보다 대단히 위험하여 발생시의 피해규모도 엄청나게 크게 된다.

분진폭발은 가스폭발과는 달리 폭발의 최초단계에서 분위기를 통과하여 이동하는 압력파(1차폭발)가 퇴적하고 있는 분진을 부유시키는 원인으로 되는 특성을 가지고 있다. 이때 교란과 진동으로 인하여 분진운이 형성되고 그것이 이미 발생한 폭발화염에 의해 다시 발화하여 폭발을 일으키는 2차폭발이 발생하게 된다. 이 2차폭발의 파괴적 효과는 1차폭발의 경우보다 훨씬 큰 경우가 많으며, 이는 보다 많은 량의 분진이 2차폭발에 휩싸여 들어가므로 방출되는 에너지의 총량이 크기 때문이다.

분진폭발은 연소시간이 길고 불완전연소를 일으키는 특징을 가지고 있으며 가연성 유기분진과 가스폭발의 차이점을 살펴보면 유기분진의 하한계는 열분해 가스량에 상당한다고 할 수 있으며, 분진이 연소하기 위하여는 먼저 열분해하여 발생한 분해가스(휘발분을 포함)가 주위의 공기와 혼합하여 폭발하한계를 형성하여 연소를 시작한다. 분진농도가 상당히 높은 농도에서는 화염면에 다량의 미반응 분진입자가 침강하든지 진입하게 되고 화염은 냉각되어 소염(消炎)을 일으키는 것으로 되어 상한계가 존재하게 되는 것이다. 따라서 이것이 가스폭발의 상한계와 다른 의미를 갖는다고 할 수 있다.

또한 분진폭발의 중요한 인자는 분진의 입자경으로 물질을 미세화 하면 할수록 입자표면적이 증대한다. 미세화의 과정은 새로운 표면상태를 형성하고 입자경이 작을수록 분산하기 쉽게 되며, 표면적의 증가는 열전달을 용이하게 하여 산화반응이나 열분해 반응을 촉진하므로 입자경이 커서 폭발을 일으키지 않던 분진도 미분화하면 격렬한 연소반응을 일으키는 경우가 많다.

3. 분진의 폭발 위험특성치

어떤 분진이 폭발성을 가지고 있는 것으로 밝혀지

면, 그 분진을 안전하게 취급하기 위하여 적절한 예방대책을 고려하여야하며, 폭발위험성이 어느정도인가에 대한 더욱 상세한 자료를 필요로 하게 된다.

분진폭발의 위험성을 파악하기 위한 특성치는 일반적으로 다음과 같이 구분하며, 이들은 예방대책(Prevention measure) 및 방호대책(Protection measure)에 대단히 중요하다.

(1) 폭발의 용이도를 나타내는 위험 특성치

- ① 발화온도(최저발화온도, Minimum Ignition Temperature)
- ② 폭발한계(폭발하한계, 폭발상한계, Explosive Limit)
- ③ 최소발화에너지(Minimum Ignition Energy)
- ④ 폭발한계산소농도(Limiting Oxygen Concentration)

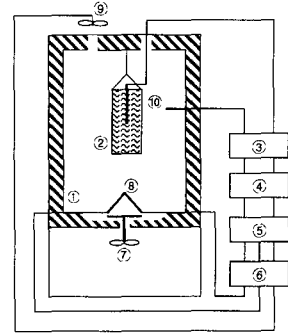
(2) 폭발의 격렬도를 나타내는 위험 특성치

- ① 최대폭발압력(Maximum Explosion Overpressure)
- ② 최대압력상승속도(Maximum Rate of Pressure Rise)

3.1. 발화온도(최저발화온도, Minimum Ignition Temperature)

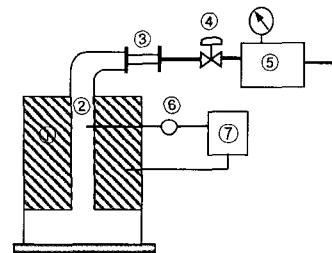
발화온도는 분진-공기 혼합계 내의 산화·분해 등의 화학반응에 의해 발생하는 열이 내부에 축적되어 반응의 가속을 초래하고 더욱 내부온도를 상승시켜 발화가 일어나게 되는 최저온도를 말한다. 즉 분진-공기 혼합계를 가열했을 때, 스스로 발화하는 최저온도를 그 분진의 발화온도(최저발화온도)라고 한다. 발화온도는 가열하는 용기와 측정방법에 의해 다소의 차이를 나타내나 발화위험성을 파악하는 데에는 대단히 효과적이며, silo 등의 제품의 저장, 제품 포장 후의 저장 및 수송에서의 국부가열에 의한 발화예방 대책에 중요한 특성치이다.

분체를 silo에 저장하든지, 분체를 포장하여 저장하는 경우의 안전대책을 수립하기 위해 발화온도를 측정할 때는 Fig. 1과 같은 장치를 사용하며³⁾, 분체 수송에서 열에 의한 발화 위험을 파악하기 위해서는 분진운의 발화온도 측정이 효과적이며, Fig. 2에 나타난 Godber-Greenwald Furnace를 사용하여 측정한다.⁴⁾ Fig. 1은 분진시료를 시료용기속에 담아 일정온도로 유지했을 때 시료가 발화하는 로내 분위기의 최저온도를 측정하고, Fig. 2는 전기로 중의 glass관 내가 일정온도가 되도록 전기로를 가열하여 일정온도에 도달하면 관내에 일정량의 분진을 분산시켜 발화에 의한 화염을 관찰하여 발화가 일어나는 최저온



① Electric furnace ⑦ Sirocco fan
 ② Sample ⑧ Heater
 ③ Cold junction ⑨ Fan
 ④ Program controller ⑩ Chromel-Alumel thermocouple
 ⑤ Temperature recorder
 ⑥ Relay switch

Fig. 1. 자연발화 실험장치



① Electric Furnace ⑤ O₂ / N₂ Chamber
 ② Combustion Tube ⑥ Temperature Sensor
 ③ Sample Tube ⑦ Heater Controller
 ④ Solenoid valve

Fig. 2. Godber-Greenwald Furnace 자연 발화 실험장치

도를 발화온도로 한다.

3.2. 폭발한계(Explosive Limit)

폭발하한계는 화염의 전파를 유지하는데 필요한 분진운의 최저 농도로 정의하며, 그 값은 통상 공기 또는 가스의 단위체적당에 함유되어 있는 분진의 질량(g/m³)으로 나타낸다. 분진의 폭발 하한계는 실험에 의해 쉽게 구할 수 있으나, 폭발상한계는 앞에서 설명한 바와 같이 측정이 곤란한 경우가 많다. 폭발하한계와 상한계는 가연성 가스의 경우와 달리 분진의 조성에 좌우 될 뿐 아니라, 시험에 사용하는 착화원의 형식과 입자의 크기 및 시료에 함유된 수분량 등에 의해 좌우되며, 이들 인자들의 영향으로 분진에서는 폭발한계 농도의 결정은 보다 어렵다고 할 수 있다.

분진의 폭발하한계에 미치는 입자경의 영향은 어

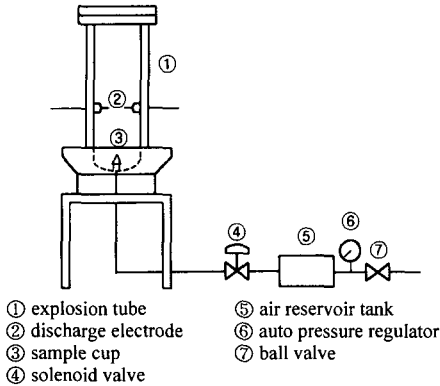


Fig. 3. Hartmann식 분진폭발 실험장치

는 크기 이하의 입자경에서는 폭발하한계는 입자경에 의존하지 않으나 그 입자경 이상으로 되면 하한계는 급격하게 증가하고, 어느 입자경 이상에서는 폭발을 일으키지 않게 되는 것이 일반적이다.

폭발하한계 측정에는 Fig. 3에 나타낸 Hartmann식 분진폭발시험장치가 실험실적으로 많이 사용되고 있으며 ASTM-E-789⁵⁾에 표준시험방법으로 채용되어 있다. 이 장치는 폭발하한계 뿐만 아니라 폭발압력, 최소착화에너지 등의 분진폭발 특성치를 측정하는데 사용된다.

그러나 분진폭발의 특성치를 소규모 실험장치보다 정확한 평가가 이루어지도록 하기 위한 연구가 각국의 연구자들에 의해 활발히 진행되어 왔으며, 표준체를 이용한 낙하분진운으로 행하는 石濱式분진폭발 실험장치⁶⁾, 노르웨이의 15 l 표준시험(Nordtest) 장치⁷⁾, 미국광산국의 20 l 가스·분진 폭발시험장치⁸⁾, 스위스 Adolf Kuhner사에서 판매하는 20 l 구형폭발장치⁹⁾ 및 ISO-6184에 규정된 1m³ 원통형 폭발시험장치 등이 있다. 이들 실험장치를 이용한 연구결과에서 분진의 폭발특성을 정확하게 측정하기 위하여는 폭발통의 용기용적이 최저 20 l가 필요하다고 기술하고 있다.

폭발하한계는 화염전파를 일으키는 시험장치나 방법에 따라 차이가 발생할 수 있으므로 그 data를 인용하는 경우에는 측정조건을 반드시 고려하여야 한다.

3.3. 최소착화에너지(Minimum Ignition Energy)

최소착화에너지는 가연성 분진-공기 혼합물을 방전에 의해 착화시켰을 때 화염이 전파하는 전기적 스파크에너지의 최소치로서, MIE측정 실험은 Hartmann

식 분진폭발 시험 장치를 이용하여 최적분진농도의 분진운으로서 행하여져야하며, 이 값은 분체를 취급하는 공정에서 발생할 수 있는 착화위험성의 지표를 제공하는 중요한 특성치이다.

분체 취급 공정에서 발생할 수 있는 전기불꽃과 정전기 대전에 의한 방전불꽃 등이 최소착화에너지 이상으로 되면, 분진폭발을 야기시킬수 있는 착화원이 되므로, 전기설비를 방폭구조로 함과 동시에 정전기 대전이 발생하지 않도록 하는 방폭대책을 반드시 강구하여야 한다.

3.4. 폭발한계산소농도

(Limiting Oxygen Concentration)

가연성 가스-공기 혼합계에 불활성가스를 첨가하여 산소농도를 어느 한계치 이하로 유지하면 폭발발생을 예방할 수 있다는 원리에 바탕을 둔 예방대책으로 폭발한계 산소농도를 사용하여 왔다.

가연성 분진-공기 혼합계에서도 가스-공기 혼합계와 동일한 원리에 따라 분체를 이송, 저장, 취급하는 공정에서 산소농도를 어느 한계치 이하로 유지하면 폭발발생을 예방할 수 있으며, 산업현장에서는 불활성 분위기에서 플랜트를 운전하는데 이용하고 있다.

분진폭발한계 산소농도는 실험에 의하여 측정하지 않으면 안되며 측정 방법으로는 Hartmann장치를 이용하여 분위기 가스 및 분산가스를 임의의 농도의 불활성가스-산소 혼합가스로서 치환하여 측정하는 방법과 Godbert-Greenwald Furnace를 사용하여 측정하는 방법이 있다. Hartmann장치를 이용하면 상온에서 측정이 가능하므로, 이 방법에 의한 data가 실제 산업체에서 많이 활용하고 있다.

공정의 안전운전을 위해서는 폭발한계산소농도의 안전율을 고려하여 한계산소농도의 1/2 이하에서 관리농도를 결정하는 것이 바람직하다.

3.5. 최대폭발압력 및 최대압력상승속도

최대폭발압력 및 최대폭발압력상승속도는 폭발의 격렬한 정도를 나타내는 위험특성치로서 Hartmann 장치의 폭발통을 내압형 수직관으로 바꾸어 상부에 pressure transducer를 부착하여 증폭기를 통하여 시간에 따른 압력 변화를 Fig. 4와 같이 얻을 수 있으며, 이로부터 최대폭발압력 및 최대폭발압력상승속도를 구한다.

최근에는 Hartmann장치가 폭발용적이 작아서 화염

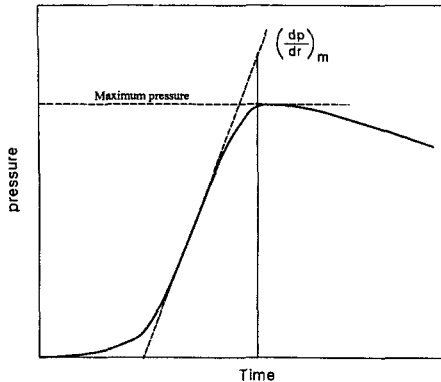


Fig. 4. 폭발에 의한 시간에 따른 압력변화 곡선

이 관점에서 냉각되어 측정치가 작게 되는 결점과 분진의 폭발 특성치(Kst치)를 측정하는데는 부적당하다는 연구결과에 따라 20 l 또는 1m³의 폭발장치를 사용하여 측정하는 방법으로 바뀌고 있으며, 현재는 20 l 구형용기에 의한 측정방법이 가장 많이 사용되고 있으며, 표준장치로 되어 있다.

최대폭발압력은 설비의 내압구조강도 설계에 이용되며, 최대압력상승속도는 분진폭발시의 설비의 안전확보를 위한 폭발방산공의 설계에 유효하게 이용된다.

4. 방지대책

분진폭발을 예방하기 위하여는 가스폭발 예방의 경우와 같이 연소의 3요소 중 한가지를 확실히 제거하는 것이 필요하다. 즉,

- 폭발성 혼합물(가연성 분진, 인화성 가스)의 형성을 피할 것
- 공기중 산소를 불활성 가스로 치환하든지, 진공하에서 작업하든지 또는 불활성 분진을 사용할 것
- 착화원이 될 수 있는 것을 제거 할 것

이 세가지 방법을 소위 폭발방지 대책이라고 할 수 있으므로, 기술자들은 안전확보를 위해 세가지 조건 중 적어도 한가지를 완전히 제거하든지 또는 폭발이 발생하지 않도록 적극적으로 줄일 수 있는 대책을 강구하지 않으면 안된다.

앞에서 열거한 분진폭발 특성치로부터 분진폭발의 위험성을 평가하기 위하여는 폭발특성치를 정확하게 측정할 필요가 있고, 측정자체가 평가라 할 수 있으며, 이들 특성치는 분진폭발 방지대책을 강구하

표 1. 예방 및 방호 대책과 분진폭발 특성치와의 관계

방지대책		분진폭발 특성치
예방대책	농도한계 (량의 제한)	폭발한계
	불활성화 (불활성가스)	폭발한계 산소농도
	착화원의 제거	발화온도, 최소착화에너지
방호대책	최대폭발압력에 대한 내폭구조	최대폭발압력
	폭발압력의 경감 (폭발방산공)	최대폭발압력 및 K _{st} 치
	폭발억제 (자동폭발억제장치)	최대폭발압력 및 K _{st} 치

는 기술적인 근거가 된다.

방지대책을 예방(Prevention)과 방호(Protection)대책으로 나누어 특성치와의 관계를 정리하면 표1과 같다.

4.1. 분진운의 형성 억제

분체를 취급하는 공정에서는 어느 정도의 분진의 분산을 피하기는 어려우나 어떤 경우라도 분진의 분산을 예상하지 않으면 안되므로, 공장을 설계하고 배치를 결정할 때 불필요한 분진운 형성의 가능성을 적극적으로 억제할 수 있도록 하지 않으면 안된다.

부유분진이 형성되는 장소에서는 될 수 있는 한 빨리 분진을 제거하도록 공정을 설계하여야 하며, 부유분진이 공정내에서 침강하여 퇴적하는 장소에서는 정기적으로 퇴적 분진을 제거하지 않으면 안된다.

일반적으로 가연성 분체를 취급하는 공정에서는 폭발범위내의 부유분진이 형성될 위험성이 상존하나, 부유분진의 평균농도가 어떠한 경우에도 폭발한계의 1/2 이상을 초과하지 않도록 하며, 하한계를 모르는 경우에는 5~15g/m³ 이하로 떨어뜨리도록 하는 것이 바람직하다.

4.2. 공정의 불활성화

분진폭발은 불활성 가스 또는 불활성 분진에 의해 방지 될 수 있으며, 광산 등의 특별한 상황에서는 암분(岩分) 같은 불활성 분진을 사용하나, 일반 산업의 경우 질소, 이산화탄소 또는 연소배기gas와 같은 불활성 가스를 사용하여 공정내의 산소농도를 떨어 뜨려 착화원이 존재하여도 분진운 중의 화염전파를 불가능하게 한다.

불활성화의 잇점은 폭발이 발생한 후에 제어하는 것보다 폭발이 발생하지 않도록 하는 것이며, 분체

중에서 진행되는 화재를 제어하든지, 소화하기 위해서도 이용된다.

이 방법은 폭발 특성치인 폭발한계 산소농도를 이용하는 것으로 공업적으로 적용하는 경우는 예방대책으로 가장 우수하나, 밀폐형 또는 순환계통으로 되지 않으면 비용이 많이 들고, 가스조성을 엄격하게 제어하기 위한 유지·관리가 필요하다는 결점이 있다.

이 방법을 적용하기 위해서는 공정내 분진의 폭발한계산소농도를 실험적으로 측정하여 자료를 확보하고 있어야 한다.

4.3. 착화원의 제거

가연성 분진을 취급하는 공정에서는 착화원을 완전히 제거하도록 하여야 하나, 실제로는 불가능한 경우가 많으므로 착화원 제거가 공정방호의 유일한 방법으로 신뢰할 수는 없는 실정이다. 그러나 착화원 제거를 위한 적극적인 노력과 본질적으로 안전을 확보하기 위한 모든 방법을 강구하지 않으면 안된다. 일반적으로 착화원은 화염, 무염 연소 및 훈소, 고온표면, 용접·용단의 불티, 마찰·충격, 전기불꽃, 자연발열 등을 들 수 있다.

무염연소 및 훈소는 화염으로 전이되기가 쉬우므로 이것은 화염에 필적하는 유효한 착화원이라고 할 수 있으므로, 이의 발생을 최소한으로 억제시키기 위해서는 다른 착화원의 제거, 고온표면상의 분진 퇴적의 방지, 고온 입자의 제거 등을 들 수 있으며, 공정내 불필요한 분진이 축적되는 것을 방지하여야 한다. 일반적인 착화원은 관리적 활동으로 제거하지 않으면 안된다.

전기에 의한 착화원은 전기 설비에서 발생하는 것과 정전기 대전에 의한 방전으로 구분되며, 전자는 방폭설비를 사용하는 것만이 대책이 될 수 있다.

분진의 정전기 대전에 의한 방전불꽃의 위험성은 잘 알려져 있는 사실로서, 분진 처리·수송·취급에 있어서 정전기가 발생하는 것은 상식이다. 특히 분체의 filling and emptying operation, loading operation, mixing, dust separation(dust collector etc.) 등의 공정에서 정전기 대전은 피할 수 없으며 이들이 방전시에 충분한 착화에너지를 제공하게 된다. 특히 대전하기 쉬운 분진과 최소착화에너지가 낮은 분진에서는 충분한 정전기 대책이 필요하다. 최소착화에너지

가 25mJ 이하의 분진은 정전기에 의하여도 착화하기 쉬운 분진으로 볼 수 있으므로 작업자의 방전에 의해서도 착화할 위험성이 있다.

따라서 분진 취급 공정에서 가장 주의하여야 하는 착화원은 눈에 보이지 않는 정전기 대전이라는 사실을 확실히 인식하고 대전방지를 위한 정확한 대책을 전문가의 자문으로 해결하여야 한다.

5. 맺는말

우리나라도 식품산업과 반도체산업을 비롯한 각 산업의 발달로 가연성 분진을 제조·사용·취급하는 공정이 증가하고 있어 분진폭발의 위험성이 증대되고 있는 실정이다. 그러나 일반적으로 가스·증기폭발의 경우 보다 분진폭발의 위험성에 대한 인식이 부족하며, 분진폭발에 대한 연구도 선진국에 비해 활발하지 못하므로 앞으로 이 분야에 대한 연구 활성화와 안전확보를 위한 설비 투자가 절실하다고 하겠다.

참고문헌

- 1) ISO-6184-1 : Explosion Protection Systems, International Organization for standardization, Geneva, 1985.
- 2) 松田東榮, 가연성분진의 폭발위험성 평가기술, RIIS-SD-90-1, 1990.
- 3) 최재욱, 목연수, 주위온도 변화에 따른 입상활성탄의 자연발화에 관한 연구, 한국산업안전학회, Vol. 7. No. 4. pp. 45~53. 1992.
- 4) Norbert Jaeger, Richard Siwek, Prevent Explosions of Combustible Dust, Chem. Eng. Prog. pp. 25~37. June, 1999.
- 5) ASTM E 789-88, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.02(1988), American National Standards Institute, New York.
- 6) 石濱淑, 岡田壽德, 吉田儀一, 北海道 鑛山學會誌, 14, 1(1958).
- 7) Nordtest Method NT FIRE011, Dust Clouds; Minimum Explosive Concentration, Nordtest, Stockholm, 1986.
- 8) K. L. Cashdollar and M. Hertzberg, Rev. Sci. Instrum, 56(4), 596(1985).
- 9) R. Siwek and C. Cesana, Operating Instructions for the 20-L Apparatus, Adolf Kuhner AG, CH-4052, Brisfel-dem, Switzerland, 1986.