

소나무 분진의 폭발특성에 관한 연구

조일건, 목연수*, 장성록*, 최재욱*
 부경대학교 산업대학원, 부경대학교 안전공학과*

1. 서론

가연성 분진이 존재하는 곳에서는 업종과 취급상태를 불구하고 분진에 의한 화재 및 폭발의 가능성이 존재하며, 폭발이 발생하면 작업자 뿐만아니라 주위에 큰 피해를 입힐 수 있는 잠재적 위험성을 가지고 있다.

분진에 의한 화재·폭발사고 사례를 보면 탱크, 혼합기, 사일로, 집진기 등의 시설에서 알루미늄, 마그네슘 등의 금속류와 플라스틱, 프탈산 등의 화학제품류 및 합성수지류, 고무·천연수지류, 농산물 섬유류, 목분류 등의 가연성 분진에 의한 다종다양한 중대 재해가 발생하였다¹⁾. 따라서 이들 분진을 취급하고 있는 산업현장에서의 화재·폭발사고를 방지하기 위해서는 분진폭발에 대한 잠재적 위험성을 파악하는 것이 대단히 중요하다²⁾.

최근에는 신소재로서의 기능성 물질과 전자재료 개발이 진행됨에 따라 분체는 뛰어난 특성과 분체기술의 진전에 의해 다방면에 응용분야가 확대되고 있다^{3,4,5)}. 이것은 새로운 분체를 취급하게 되는 업종, 사업장, 작업자가 증가해서 분진에 의한 화재·폭발의 잠재적인 위험성이 확대되는 경향을 나타내고 있는 것이다. 새로운 분진을 다루게 되는 사업장에서는 다루는 분진, 시설 등에 대해 그 설계, 도입단계에서 미리 충분한 안전성평가를 실시하여 안전대책의 강구에 만전을 기해야 한다.

분진폭발에 관한 연구로서, 内藤道夫와 梅律實⁶⁾은 석탄분진에 대한 최소발화 에너지를 측정하였으며, 秋田一雄⁷⁾은 가연성가스의 최소발화에너지와 소염거리 등을 연구하였다. 또한, 石浜渉 등⁸⁾은 분진운의 착화에너지에 관한 연구를 통하여 석탄 분진운의 착화에너지에 미치는 불꽃지속시간 및 방전전극간 거리의 영향을 밝혔다. 본 연구에서는 산업현장에서 수지의 filler 용으로 사용되는 가연성 분진인 소나무 분진을, 개량한 Hartmann식 분진폭발장치를 제작하여 최소착화에너지와 폭발한계 등을 측정하여 분진폭발특성을 파악하였으며, 이를 토대로 분진의 화재·폭발 예방대책을 수립하는데 기초자료를 제공하여 재해예방에 기여하고자 한다.

2. 이론적 배경

분진(dust)이란 ILO에 의한 분류⁹⁾에 의하면 석탄, 곡물, 금속, 암석, 목재와 같은 무기질 또는 유기물의 취급·분쇄·절단·천공·연마·충격·분무·분해 등에 의해 발생하고, 그 발생원인 본래 물질과 동일한 조직을 가지고 공기중에 비산 또는 부유하고 있는 미립자(입자경 1~150 μm)로 정의하고 있다. 또한 일반적으로 지름이 1000 μm 보다 작은 고체입자는 모두 분체라고 부르며 그중 75 μm 이하의 고체입자로서 공기중에 떠있는 분체를 분진이라고 부르는데 이러한 분진은 폭발성이 있다. 그러나 분진폭발에 관련되는 분체의 크기는 대개 500 μm 이하 정도이다¹⁰⁾.

분진·공기 혼합물에서 기상속의 산소와 분진이 반응해서 국소적인 연소반응대를 형성하고 이 반응대가 혼합물속을 전파함에 따라 압력발생이 안정되면 이것을 분진폭발이라 한다. 이 현상은 가스폭발과 유사하지만 그 특징은 최초의 소규모 폭발로 생긴 폭발에 의해 퇴적분진이 날려 올라가서 폭발이 점차 연쇄적으로 일어나, 결국에는 재해에 이를 가능성이 높은 것이다. 분진폭발은 분진 입자의 표면에서 산소와 반응이 일어나는 것으로서 가스 폭발처럼 산화제(공기)와 가연물이 균일하게 혼합된 상태에서 반응하지 않고, 일정한 덩어리로 되어 있는 가연물의 주위에 산화제가 존재하여 불균일한 상태에서 반응이 일어난다. 따라서 분진폭발이 가스폭발과 화약폭발의 중간 상태에 해당하며, 폭발 에너지는 가스폭발의 수 배에 달하게 되고, 분진의 폭발이 일어나는 과정은 다음과 같다.

- (1) 입자표면에 열에너지가 주어지면 표면 온도가 상승한다.
- (2) 입자표면에서 열분해 또는 건류작용을 일으켜 가연성 기체가 방출된다.
- (3) 가연성 기체가 공기와 혼합하고 발화원에 의해서 화염을 형성한다.
- (4) 화염으로 생긴 열은 연속적으로 분말의 분해를 촉진시켜서, 기상의 가연성 기체가 방출되어 공기와 혼합하여 발화·전파된다.

3. 실험

3-1. 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치는 폭발통부, 분산부, 공기공급부 및 전기에너지공급부로 구성되어 있다.

3-2. 실험재료

분진의 폭발 실험을 하기 위하여 사용한 실험재료는 탄소질 분진을 발생시키

는 여러 물질중의 하나인 목재류의 소나무 분진(pine tree dust)으로서 폐놀수지의 첨가제로 많이 사용되는 것으로 -80/+120 mesh, -180/+220 mesh 및 -320/+360 mesh로 분쇄하여 실험 시작전 대상시료 30g을 105℃에서 1시간 건조시킨 후 데시게이터에서 자연냉각시켜 실험에 사용하였다.

3-3. 실험방법

시험장치 각부를 점검하여 정상임을 확인한 후 실험대상시료의 실험량을 전자저울로서 정확히 칭량한 후 분산접시위에 균일하게 분포시킨다. 폭발통 상부의 덮개는 통기성이 좋은 종이(직경 9.5cm, 무게 0.56g)를 사용하여 뚜껑을 한 후 폭발통을 설치한다. 공기는 air compressor를 동작시켜 소요압력만큼 압력조절 밸브로서 공기보조탱크에 압력을 조절하여 저장한다. 방전전극은 micrometer로서 소정의 간격을 조절하여 고정후 전기에너지공급부의 전원을 켜고, 방전용 전원을 설정전압까지 충전시킨후 점화 스위치를 누른다.

이때 분진운의 균일한 분포, 그리고 전기불꽃의 유무와 화염전파 및 폭발을 육안으로 확인하였으며, 폭발통 상부의 종이덮개가 폭발압력에 의해 파열되는 때를 폭발로 판정하고, 파열되지 않으면 불폭으로 판정한다. 또한 전기불꽃 발생시 고전압으로 충전한 콘덴서를 방전회로측에 접속하여 전극을 통해 순간적으로 기중 방전을 일으키며, 폭발통내 가연성 분진의 폭발 유무를 육안과 방전전류의 값으로 판정하였다. 이때 착화에너지는 방전전극간에 소비된 방전에너지로서, 데이터 분석장치에 나타난 수치를 바탕으로 방전전극과 접지전극간의 방전전압과 방전전류를 계산하여 산출하였다.

4. 결과 및 고찰

4-1. 전극간 거리의 영향

소나무 분진의 입도가 -180/+220 mesh인 시료를 사용하여 전극의 간격을 변화시켰을 때의 발화에너지와 전극간 거리의 관계를 Fig.1에 나타내었다.

각 분진운 농도에 있어서 전극간 거리가 좁아질수록 착화되는 에너지가 상승하였으며 4mm이하로 되면 착화에너지는 급격하게 증대하고, 더욱 전극간 거리를 좁혀가면 아주 큰 에너지를 가하여도 착화하지 않게 됨을 알 수 있다. 역으로 전극간 거리를 크게 한 경우, 즉 7mm이상으로 되면 거리의 증가와 함께 착화에너지도 약간 증가한다.

이와 같은 현상은 가스착화의 경우¹¹⁾와 동일한 경향을 나타내고 있다. 즉, 전극간 거리가 아주 좁아지면 전극이 초기화염전파에 간섭을 일으키게 되어 착화

에너지가 증대하고, 전극간 거리가 너무 크면 초기화염의 면적이 증대하기 때문에 다시 착화에너지가 증대하기 때문이다.

분진의 농도에 대한 최소착화에너지는 전극간 거리가 5mm~7mm일때 최소착화에너지의 값을 구하였으며 분진의 농도 250g/m³, 350g/m³ 및 450g/m³일 때 각각의 최소착화에너지는 70mJ, 63mJ 및 57mJ로 구하였다.

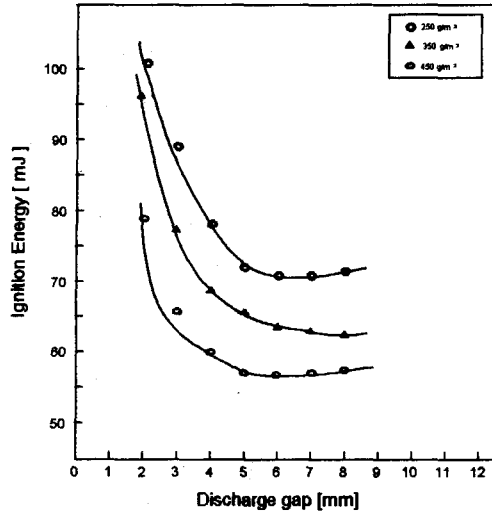


Fig.1. Relation between Ignition Energy and discharge gap for dust explosion.

4-2. 농도의 영향

분진의 입도가 -80/+120 mesh, -180/+220 mesh 및 -320/+360 mesh일 경우에 있어서 분진의 농도와 착화에너지와의 관계를 Fig.2에 나타내었다.

분진의 입도와 농도가 착화에너지에 크게 영향을 미치고 있으며, 입도가 미세하고, 분진운의 농도가 증가할수록 착화에너지가 낮게 나타났다. 또한 분진운 농도가 폭발하한농도 보다 증가하면 착화에너지는 급격하게 감소하고, 농도가 증가함에 따라 착화에너지도 감소하였으며 농도의 증가와 함께 그 영향은 작게 나타났다.

이는 분진입자의 표면에서 반응성이 높기 때문에 보다 작은 입경의 입자를 함유하는 분진이 폭발성이 높으며, 분진운 농도가 450g/m³일 경우가 낮은농도보다 균일하게 분진운이 조성되어 분진이 열분해에 의해 가연성 가스가 발생되고, 발생된 가연성 가스가 산소와 반응하는 것에 의해 쉽게 착화하기 때문으로 생각된다.

4-3. 수분의 영향

분진의 입도가 -80/+120 mesh, -180/+220 mesh 및 -320/+360 mesh일 경우에 있어서 수분의 함유량에 따른 착화에너지와의 관계를 Fig.3 에 나타내었다.

각 분진 입도에 있어 수분이 증가할수록 착화에너지가 크게 나타났으며, 이는 분진에 존재하는 수분이 분진의 부유성과 관련되어 폭발성에 대단히 민감하게 작용함으로 시료내에 수분이 증가함에 따라 발화에 필요한 에너지가 많이 필요하여 착화에너지가 증가한다.

또한 수분 함유량이 비슷한 경우 분진 입도가 미세할수록 착화에너지가 증가하였다. 이는 입도가 미세할 경우 입도의 비표면적이 증가하고 입자와 입자 사이에 수분이 많이 존재함으로 인하여 발화에 대한 억제 작용을 하기 때문으로 생각된다.

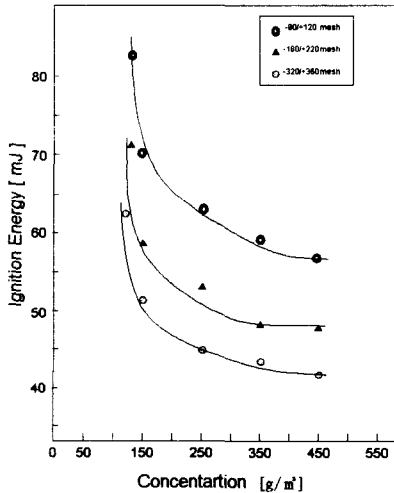


Fig.2. Relation between Ignition Energy and dust concentration for dust explosion.

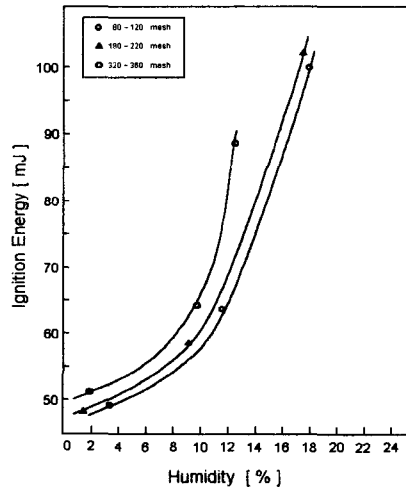


Fig.3. Relation between Ignition Energy and humidity for dust explosion.

5. 결론

소나무 분진의 분진폭발실험을 통하여 착화에너지에 영향을 미치는 전극간 거리, 분진운의 농도, 분진입도 및 수분 등의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전극간 거리가 4mm이하로 되면 착화에너지는 급격하게 증대하였으며 2mm이하에서는 측정이 불가능하였다.
- 2) 전극간 거리가 5mm~7mm일때 최소착화에너지의 값을 구하였으며 분진입도가 -180/+220 mesh의 시료에서 분진의 농도 250g/m³, 350g/m³ 및 450g/m³일 때 각각의 최소착화에너지는 70mJ, 63mJ 및 57mJ을 구하였다.
- 3) 동일한 입도의 분진에서 수분함량이 증가할수록 착화에너지는 급격하게 증가하였으며, 분진입도가 미세할수록 그 영향이 크게 나타났다.

참 고 문 헌

- 1) Wolfgang Bartknecht, Dust Explosions, Springer Verlag Berlin Heidelberg, pp.2~9, 1989.
- 2) 李來雨, 防爆工學, 釜山工業大學校 出版部, pp.207~209, 1994.
- 3) 中央勞働災害防止協會, 粉じん爆發の防止對策, pp.11~12, 1989.
- 4) 榎本兵治, 粉じん爆發, オーム, pp.2~3, 1992.
- 5) 陸演洙, 趙泰濟, 全成均, 兪龍鎭, 化學安全공학, 東和技術, pp.47~48, 253~287, 1994.
- 6) 內藤道夫, 梅律實, 粉じんの最小發火エネルギー, 安全工學, Vol.8, No.2, pp.107~121, 1969.
- 7) 秋田一雄, 最小發火エネルギーと消炎距離, 安全工學, Vol.7, No.4, pp.296~303, 1968.
- 8) 石浜渉, 東猛, 榎本兵治, 梅律實, 荷福正治, 粉じん雲の着火エネルギーに関する研究 II, 安全工學, Vol.22, No.1, pp.25~31, 1983.
- 9) 小林義隆, 作業環境の有害物質測定法, コロナネヒ, p.9, 1976.
- 10) 이동훈, 김두현, 김찬오, 윤양배, 이원근, 정재희, 전기안전공학, 東和技術, p.373, 1995.
- 11) W.E.Baker, P.A.Cox, P.S.Westine, J.J.Kulesy, R.A.Strehlow, Explosion Hazards and Evaluation, Elsevier, p.77, 1983.