

시멘트 제조공정에서 유연탄 분진의 폭발특성

김원회¹, 이승철², 승삼선^{3*}, 김진남³

Explosion Characteristics of Bituminous Coal Dusts in Cement Manufacturing Process

Won-Hwai Kim¹, Seung-Chul Lee², Sam-Sun Seung^{3*} and Jin-Nam Kim³

요약 시멘트제조 공정에 사용하는 유연탄 분진의 폭발특성을 조사하기 위하여 시료의 열적특성과 폭발 실험을 수행하였다. 열적특성은 열중량 분석기(TGA)와 시차주사 열량계(DSC)을 이용하여 온도에 따른 무게 감량과 발열량을 측정하였다. 또 입도별 발화온도와 비표면적을 함께 조사하였다. 하트만식 폭발실험 장치를 직접 제작하여 분진의 농도를 변화시켜가며 분진폭발 실험을 수행하였다. TGA, DSC 및 발화온도 분석결과 실험범위의 입도에 따른 열적 특성은 큰 변화가 없었지만, 비표면적은 입도가 작을수록 큰 것을 확인하였다. 폭발실험에서 폭발확률은 입도가 감소하고 농도가 증가할수록 증가하는 경향이 있었으며, 입도별 최저 폭발하한계 농도를 함께 구하였다. 시멘트 제조공정에 표준적으로 사용하는 170/200mesh에서 최저 하한계 농도는 $0.3\text{mg}/\text{cm}^3$ 이었으며 $0.9\text{mg}/\text{cm}^3$ 이상에서는 100% 확률로 폭발이 발생하였다.

Abstract We have examined explosion characteristics of bituminous coal dusts in cement manufacturing process. In order to find the thermal properties, we investigated weight loss and ignition temperature of coal materials using TGA and DSC. Also specific surface area of dust was investigated. Dust explosion experiments with Hartman's dust explosion apparatus have been conducted by varying concentration and size of coal dust for explosion probability and lower limit explosion concentration.

According to the results for thermal properties, there is a little change by dust size. However, the specific surface area of dust is increased by decreasing dust size. The explosion test results show that small size and increasing concentration of dusts make dust explosion easier. And we find that the lower limit explosion concentration of bituminous coal is $0.3\text{mg}/\text{cm}^3$ and the probability is 100% on $0.9\text{mg}/\text{cm}^3$ in 170/200 mesh used in cement manufacturing process.

Key words : Bituminous Coal(유연탄), Hartman's dust explosion apparatus(하트만식 분진폭발장치), TGA(열중량 분석기), DSC(시차주사 열량계), Explosion probability(폭발확률), Lower limit explosion concentration(폭발하한계 농도)

1. 서론

분진폭발을 일으키는 분진은 금속분진을 포함하여 석탄, 플라스틱, 유기화학제품, 의약품, 곡물 등 809종류로 분류되고 있다. 이렇게 많은 분진들 중 가연성 분진을 취급하는 장소에 착화원이 존재하게 되면 화재 폭발을 일으킬 가능성이 있지만, 분진의 화재 폭발의 발생빈도가

가스폭발 사고보다 작아서 위험성에 대한 인식이 부족하고 소홀히 취급되는 경향이 있다.

분진폭발 관련 연구로는 Kiyama 와 Sudo[1]가 P.V.A. 분체를 이용한 분체의 착화성에 미치는 습윤도의 영향, 石垣涉 등[2]이 탄진 분진운의 착화에너지에 미치는 불꽃 지속시간과 방전전극간 거리의 영향 등을 조사하였다. 内藤道夫 등[3]은 석탄분진에 대한 최소 발화에너지에 관한 연구를 통하여 석탄분진운의 착화에너지를 측정하였으며, 秋田一雄 등[4]은 가연성 가스의 최소 발화에너지와 소염거리 등을 연구하였다. 한편 국내에서는 이창우 등[5]이 가축사료 분진의 부유 중 폭발위험성을 평가하였으며, 김정환 등[6]이 활성탄의 부유 중 폭발 위험에 관한

¹ 강원대학교 방재기술전문대학원

² 강원대학교 소방방재학부

³ 강원대학교 기계자동차공학부

* 교신저자 : 승삼선(ssseung@kangwon.ac.kr)

연구를 실시하였다. 또 홍성수 등[7]은 화학약품 분진의 폭발특성에 관한 실험적 연구를 하였으며, 김정환 등[8]은 쌀겨 분진의 최소 착화에너지 측정을 통해 착화에너지에 영향을 미치는 인자들을 조사하였고, 안형환[9]은 합성화분진의 폭발특성과 발화온도에 관해 실험하였다.

석탄분진에 의한 폭발재해건수는 다른 분진에 비교하여 비교적 적다고 할 수 있지만 석탄을 이용하는 시멘트 산업에서는 괴탄을 미분탄(90 μ m)으로 제조하기 위하여 분쇄, 수송, 저장 등의 공정이 필연적으로 따르게 되므로 석탄분진에 의한 폭발위험은 다른 산업에 비교하여 상대적으로 높다고 볼 수 있다. 그러나 국내에서는 유연탄 분진에 관한 연구는 매우 미진한 형편이며, 특히 시멘트 제조공정에서 사용하는 유연탄 분진에 대한 연구는 아직 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 압축공기에 의해 분진을 강제 분산시킨 후 전기 점화에 의해 폭발여부를 측정하는 Hartman식 분진폭발 장치[10]를 직접 제작하여 시멘트 제조공정에서 사용하는 유연탄 분진의 부유 중 폭발 위험성을 조사하였다. 실험에서는 유연탄 분진의 온도에 따른 열적 특성 파악을 위해 열중량 분석기(Thermogravimetric Analysis, TGA)와 시차주사 열량계(Differential Scanning Calorimeter, DSC)를 이용하여 온도에 따른 무게감량 특성을 조사하고, 분진의 입도에 따른 자연발화온도를 측정하였다. 그런 다음, 시멘트 제조공정에서 사용하는 입도를 기준으로 분진의 농도를 변화시키면서 분진폭발실험을 수행하여 폭발화률, 폭발하한계농도를 구하여 시멘트 제조 공정에서 발생할 수 있는 유연탄 분진의 화재 및 폭발에 따른 예방대책을 수립하는 기초 자료를 제공하고자 하였다.

2. 분진 폭발의 특징과 매커니즘

2.1 분진의 정의와 폭발 특징

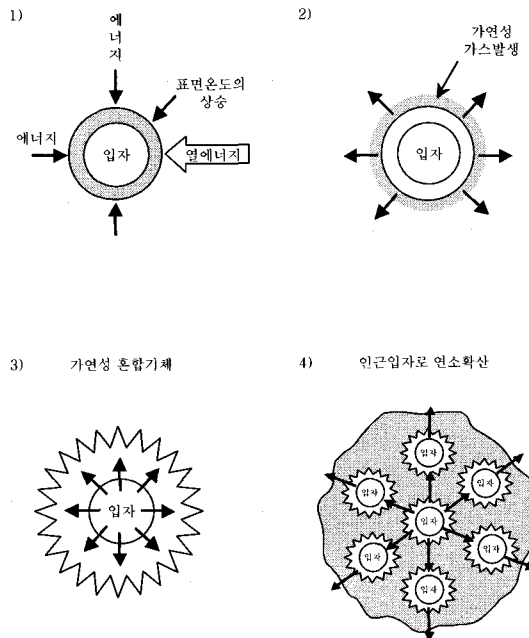
지름이 1000 μ m 보다 작은 고체 입자는 물질의 종류에 관계없이 분체라고 한다. 그 중 75 μ m이하의 고체 입자로서 공기 중에 떠 있는 분체를 분진이라 부른다. 이들은 항상 우리의 생활주변이나 생산 공정 중에 존재하고 있으며, 입자의 직경이 대단히 작아져서 0.1 μ m이하로 되면 공기 중에 에어로졸로 분산하여 현탁 상태로 된다. 실제로 우리가 폭발위험이 있다고 다루는 분체의 크기는 대개 500 μ m 이하이다. 또 국제노동기구의 분류에 의하면 석탄, 곡물, 금속, 암석, 목재와 같은 무기물 또는 유기물의 취급, 분쇄, 절단, 천공, 연마, 충격, 분무, 분해 등에

의해 발생하고, 그 발생원인 본래 물질과 동일한 조직을 가지고 공기 중에 비산 또는 부유하고 있는 미립자(입자 직경 1~150 μ m)로 정의하고 있다.

분진폭발의 특징은 연소의 속도나 폭발의 압력은 가스폭발에 비교하여 작으나 연소시간이 길고, 발생에너지가 크기 때문에 파괴력과 연소정도가 크다. 발생에너지는 최고치로서 비교할 경우, 가스폭발의 수 배 정도이고 온도는 2000~3000 $^{\circ}$ C 정도까지 올라간다. 이것은 단위체적당 탄화수소의 양이 많기 때문이다. 분진폭발은 먼저 폭발압력이 발생되고, 1/10~2/10초 늦게 화염이 생긴다. 화염의 파급속도는 상온상압 하에서 초기에는 2~3 m/s 정도로서, 그 속도는 연소한 분진의 팽창으로 압력이 상승함에 따라 가속적으로 빠르게 된다.

2.2 분진 폭발의 매커니즘

분진 폭발이 발생하기 위해서는 가연성 기체의 폭발이 일어나기 위한 조건과 같은 폭발의 3 요소가 갖추어져야 한다. 즉, 가연물질, 점화원, 산소공급원으로 이루어지는 연소의 3 요소에서 가연물질에 해당하는 분진이 조연성 가스인 공기나 산소 중에 분산되어 있을 때 점화원이 존재하게 되면 폭발한다. 그림 1은 분진폭발이 일어나는 과정을 나타낸 것이다.



[그림 1] 분진의 폭발과정

그림 1에서, 부유 상태의 분진에 열 에너지가 주어지

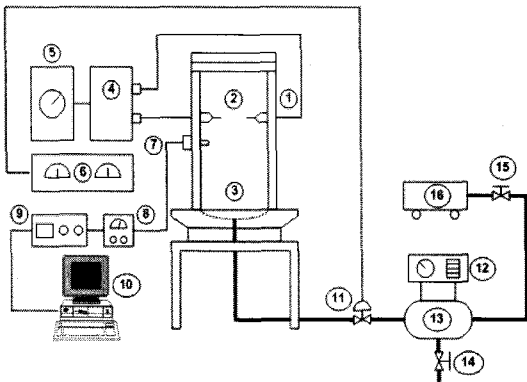
면 입자표면의 온도가 상승한다. 그런 다음, 가연성고체의 착화과정과 같이 분진 입자표면의 분자가 열분해 혹은 건류작용을 일으켜 기체로 되어 입자의 주위로 방출된다. 이 가연성가스가 입자주위의 공기와 혼합하여 가연성 혼합기를 형성하게 된다. 가연성 혼합기는 가해진 점화에너지에 의해 발화되고 화염을 일으킨다. 그리고 화염에 의해 발생한 열은 주위의 다른 분진 입자들과 열 분해된 잔류 물질들을 연소시킨다. 이러한 착화과정이 순간적으로 주위로 전파됨으로써 급격한 압력의 상승을 발생시키게 된다.

따라서 분진폭발도 결국 본질적으로 가스폭발로서 분진 자체에 가연성가스가 저장되어 있는 상태라고 생각할 수 있다. 그러나 이와 같은 폭발의 과정으로 입자 표면의 온도를 순간적으로 상승시키는 수단으로 열전도뿐만 아니라 복사열전달이 큰 역할을 차지하는 것이 가스 폭발과 다른 점이다.

3. 실험장치와 방법

3.1 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치는 상온에서 실험이 가능한 ASTM E789-95에 근거하여 Hartman식 분진폭발장치를 실험목적에 일치하도록 설계·제작하였다. 실험장치의 주요 구성부는 원기동형 폭발통부, 압축공기 공급부, 전기 에너지 공급부, 폭발에너지 측정장치로 되어 있는 원기동 밀폐형 분진폭발장치로서 실험장치의 전체 구성도는 그림 2와 같다.



①Explosion tube ②Discharge electrode ③Sample cup ④ High voltage transformer ⑤Timer (Transformer) ⑥Timer (Solenoid valve) ⑦Pressure transducer ⑧Amplifier ⑨ Oscilloscope ⑩Computer ⑪Solenoid valve ⑫Auto pressure regulator ⑬Air reservoir tank ⑭Drain valve ⑮Air Valve ⑯Air compressor

[그림 2] 실험장치 개략도

3.2 실험방법

3.2.1 시료의 준비 및 열적위험 특성 평가

실험을 위하여 사용한 실험재료는 중국에서 생산되어 수입한 유연탄 결정체를 시멘트 산업 현장에서 실제 사용 중인 롤러 밀(Model LM-12.20)로 분쇄한 후, 분체분리기를 통해 120/170 mesh (125/90 μm), 170/200 mesh (90/75 μm), 200/230 mesh (75/63 μm) 및 230/270 mesh (63/53 μm)로 시료를 분리하였다. 표 1은 본 실험에 사용된 유연탄 분진의 특성을 나타낸 것이다.

[표 1] 실험에 사용된 유연탄의 화학 조성과 물리적 특성[11]

고유수분	발열량	휘발분	회분	황분	분쇄성지수
2.96%	6519cal	29.19%	15.35%	0.74%	58

실험에 사용한 시료의 입도 분포에 따른 열분해 위험성을 평가하기 위하여 TGA와 DSC를 이용한 분해 개시 온도, 열분해 특성, 발열 개시온도, 발열량을 측정하였다. 그리고 전기로를 이용하여 입도분포에 따른 발화온도를 실험하였으며, BET법을 이용하여 시료의 비표면적을 함께 조사하였다.

3.2.2 분진폭발 실험

분진폭발 현상은 수분의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다. 실제로 석탄 분쇄 롤러 밀에서 분쇄과정 이후의 분진의 온도는 약 50~60℃이며, 고유수분은 3% 정도이다. 본 실험은 실험실의 온도 15±2℃, 습도 50±5% 조건에서 시료의 고유수분은 실제 제조공정과 같은 3% 상태에서 폭발 실험을 실시하였다.

실험의 정밀도와 재현성을 높이기 위하여 실험에 사용한 방전전압은 일정하게 유지하도록 하였다. 실험에서 1차측 입력전압을 조정이 가능하도록 실험 장치를 설치하였지만 1차측 상용전압(220 V)을 15000 V로 변환하여 사용하였다. 방전전극은 6 mm로 일정하게 유지하였다.

실험은 크게 두 부분으로 나누어서 실시하였다. 먼저 데이터의 정확성과 신뢰성 확보 및 높은 확률을 얻기 위하여 각각의 시료를 농도에 따라 5회의 실험을 하였다. 5회의 실험 중 5회 모두 폭발이 되면 100% 폭발확률로 간주하였고, 5회의 실험에서 1회 이상 폭발되지 않았을 때는 10회의 실험을 실시하여 폭발확률을 구하였다. 2차 실험은 폭발 실험에서 폭발하한계 농도를 구하기 위하여 1차 실험에서 폭발 확률이 120/170 mesh는 40% 미만, 170/200 mesh는 20% 미만, 200/230 mesh와 230/270 mesh는 60% 미만인 시료의 농도를 기준으로 하여 분진

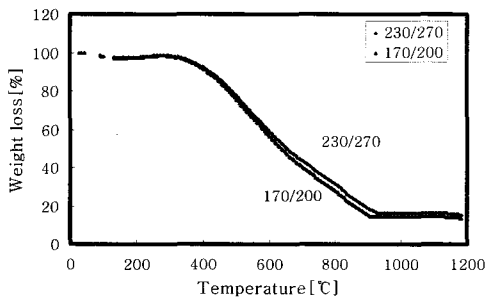
농도를 0.07 mg/cm²로 낮추어 가며 5회의 실험을 실시하여 1회도 폭발하지 않은 농도를 폭발하한계 농도로 하였다.

실험에서 작동 스위치를 누른 후, 압축공기의 방출시간은 0.5초로 설정하였고, 압축공기의 방출이 시작되고 나서 방전이 개시되는 시간을 0.1초로 설정하였다. 방전은 압축공기의 방출이 끝날 때 까지 0.4초 동안 방전이 되도록 하였다. 압축공기의 분산탱크의 압력은 분진운의 확산을 위하여 농도와 실험에 따라 300 ~ 400 kPa 사이에서 조절하여 사용하였다. 폭발압력 측정 실험에는 400 kPa를 사용하였다. 이에 따라 거름종이로 폭발 통 상부를 막고 압축공기를 분출하는 경우 평균 50 kPa의 압력이 검출되었다.

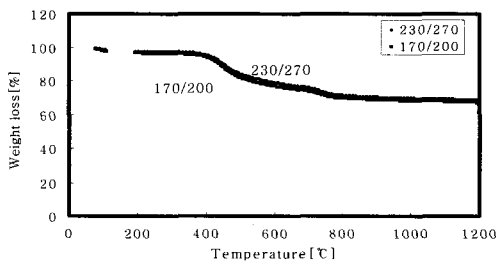
4. 실험결과 및 고찰

4.1 시료의 열분해 특성과 비표면적

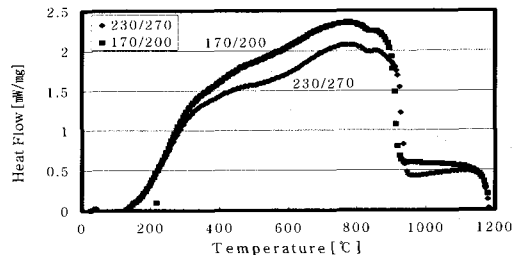
온도에 따른 시료의 열분해 특성을 조사하기 위하여 시료의 입도 170/200 mesh, 230/270 mesh 두 종류에 대하여 승온 속도 10℃/min, 분위기 기체인 산소와 질소를 60 ml/min로 주입하였을 때 TGA와 DSC 분석결과를 그림 3 ~ 그림 6에 각각 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 시료의 입도분포에 따라 각각의 공기와 질소 가스 분위기에서 거의 유사한 특성이 나타났다.



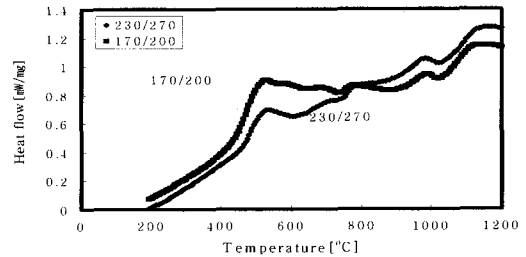
[그림 3] 공기 분위기에서 유연탄 분진의 TGA 결과



[그림 4] 질소 가스 분위기에서 유연탄 분진의 TGA 결과



[그림 5] 공기 분위기에서 유연탄 분진의 DSC 결과

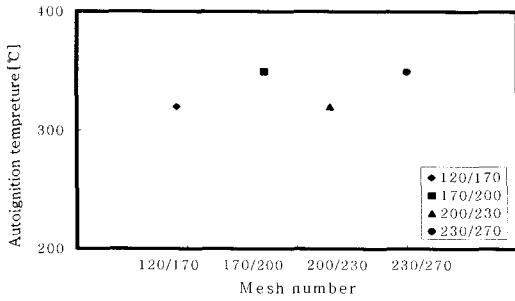


[그림 6] 질소 가스 분위기에서 유연탄 분진의 DSC 결과

TGA 분석 실험에서는 600℃ 이상의 온도에 남아 있는 중량 손실이 입도가 작은 230/270 mesh에서 조금 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. DSC 실험결과에서 발열량은 분체의 입도가 큰 170/200 mesh에서 다소 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 한편 입도에 따른 분체의 비표면적을 조사에서는 입도가 작은 경우 2200 cm²/g이며 입도가 큰 경우에는 1800 cm²/g이었다. 시료입자의 크기가 작은 경우 비표면적이 증가하기 때문에 접촉면적의 증가로 비표면적과 발열량은 비교적 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

4.2 발화온도

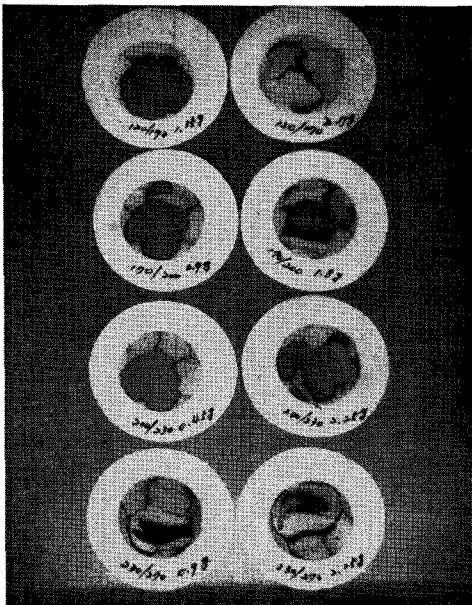
발화온도를 측정하기 위하여 중량은 10 mg으로 일정하게 하고 공기 중에서 시료의 입자의 크기에 따라 측정하였다. 발화온도 실험장치의 전기로의 용적은 280 ml를 기준으로 하여 실험하였다. 그림 7은 입도가 170/200 mesh, 230/270 mesh일 때 발화온도가 다소 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 120/170 mesh, 200/230 mesh와의 온도차가 30℃ 범위 내에 있어 입도에 따른 발화온도는 큰 차이가 없는 것으로 판단할 수 있다. 또한 이러한 결과는 TGA 측정실험에서 입도에 따라 열분해 개시온도가 거의 일치하는 경향과도 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.



[그림 7] 메시에 따른 유연탄 분진의 발화 온도

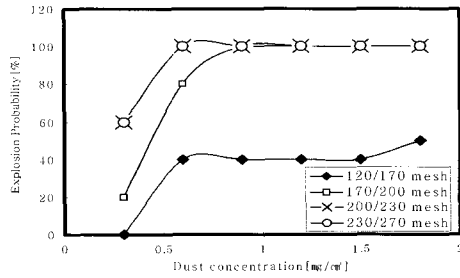
4.3 분진폭발 확률

시료의 분진폭발 특성을 조사하기 위하여 170/200, 200/230, 230/270 mesh로 체 가름된 시료의 농도를 0.3 ~ 1.8 mg/cm³ 변화시키면서 동일한 입도에 대해 폭발실험을 반복 수행하여 각각에 대한 분진폭발 확률을 조사하였다. 이때 폭발의 유무를 판단하기 위한 폭발 판정 기준은 첫째 폭발통 상부의 거름종이가 폭발에 의해 파열될 때, 둘째 화염 전파를 육안으로 관찰하였을 때로 하였다. 폭발 실험에서는 폭발통의 상부를 공기가 통하는 거름종이로 막아 분진의 분산성을 용이하게 하고 폭발압력에 의하여 파괴되도록 하였다. 그림 8은 폭발 후 거름 종이의 파열 정도를 촬영한 것으로 낮은 농도에서 입도가 클수록 폭발음이 커지며 거름종이의 파열이 강하게 나타났음을 확인할 수 있다.



[그림 8] 거름 종이의 폭발 결과 사진

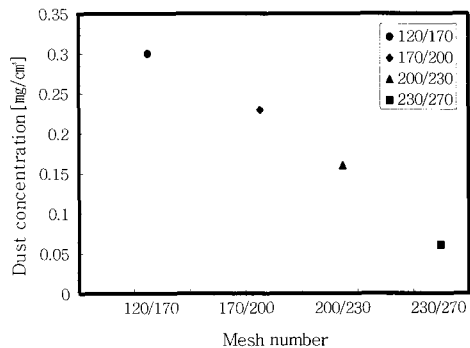
폭발확률은 그림 9에서 볼 수 있는 바와 같이 일정 시료량의 증가와 입도가 미세할수록 폭발확률이 높아지고 있음을 알 수 있다. 200/230 mesh, 230/270 mesh의 경우 0.6 mg/cm³ 이상에서 100% 폭발이 일어났다. 170/200 mesh는 0.9 mg/cm³ 이상에서 100% 폭발이 일어났으며, 120/170 mesh의 낮은 입도의 시료는 농도 0.6 ~ 1.5 mg/cm³에서 폭발 확률은 약 40% 정도인 것으로 나타났다.



[그림 9] 분진 농도에 따른 폭발 확률

4.4 폭발하한계 농도

폭발하한계는 화염의 전파를 유지하는데 필요한 분진의 최저농도를 뜻한다. 입도에 따른 폭발하한계는 폭발확률을 구하기 위한 실험 영역에서 폭발확률이 20% 미만이거나 폭발이 일어나지 않은 경계 영역에서 입도에 따른 농도를 0.07 mg/cm³씩 소량 감소시키며 그 하한계를 결정하기 위한 실험을 수행하였다. 실험에서 5회의 실험을 하여 1회도 폭발이 일어나지 않는 농도를 입도에 따른 폭발하한계 농도로 하였다. 그림 10은 실험에서 구한 입도별 폭발하한계 농도를 보여주고 있다. 입도가 클수록 하한계농도가 크며, 입도가 작은 경우에는 하한계 농도가 작아지는 경향이 있음을 확인할 수 있다. 특히 실험에 표준으로 사용한 가장 큰 입도인 120/170 mesh인 경우에는 1차 실험에서 폭발하한계가 결정될 정도로 하한계 농도가 크게 나타났다.



[그림 10] 분진 농도에 따른 폭발하한계 농도

4. 결론

본 연구에서는 시멘트 공정에서 사용되는 유연탄 분진의 폭발 특성을 조사하기 위하여 시료의 열적 특성과 폭발 특성에 대한 기초실험을 수행하였다. 이를 위해 입도에 따른 폭발확률과 폭발최저농도를 조사하고자 Hartman 식 분진폭발장치를 설계제작하여 폭발실험을 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 유연탄 분체의 TGA, DSC 분석 및 발화온도 실험에서 입도에 따른 영향은 크게 차이가 없었다.
- 2) 폭발확률은 입도가 작고 농도가 증가할수록 증가하였다. 입도가 200/230 mesh, 230/270 mesh의 경우에는 분진농도 0.6mg/cm³ 이상에서는 100% 폭발이 발생하였으며, 170/200 mesh는 0.9 mg/cm³에서 100% 폭발이 되었다. 그러나 입도가 큰 120/170 mesh는 0.6 mg/cm³에서 폭발확률은 40% 정도인 것으로 나타났다.
- 3) 폭발하한계 농도는 입도가 클수록 큰 경향을 나타냈다. 즉, 입도가 120/170 mesh에서는 0.6 mg/cm³, 170/200 mesh에서는 0.3 mg/cm³, 200/230 mesh에서는 0.23 mg/cm³, 230/270 mesh에서는 0.1 mg/cm³로 각각 나타났다.

참고문헌

[1] K Kiyama and H. Sudo, "The effect of the moisture content on dust explosion", ANZEN-KOGAKU, Vol. 12, No. 3, pp.169~173, 1973.

[2] 石 抵 涉, 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關する研究Ⅱ", 安全工學, Vol. 22, No. 1, pp.25~31, 1983.

[3] 內 藤 道 夫, 梅 津 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.

[4] 秋 田 一 雄, 梅 律 實, "粉じんの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.

[5] 이창우, 함영민, 김정환, 현성호, "가축사료의 분진폭발 위험성에 관한 연구", 한국화재소방학회지, 12권, 2호, pp.61~68, 1998.

[6] 김정환, 이창우, 함영민, 현성호, "활성탄의 부유중 폭발 위험성에 관한 연구", 한국화재소방학회지, 12권, 3호, pp.3~9, 1998.

[7] 홍성수, 노재성, "가연성 화학약품 분진의 폭발특성에

관한연구", 충남대학교 공업교육연구소 논문집, 16권, 1호, pp.69~75, 1994.

[8] 김정환, 이창우, 함영민, 현성호, "점화에너지 변화에 따른 쌀겨분진의 폭발거동에 관한 연구" 한국화재소방학회지, 13권, 2호, pp 26~32, 1999.

[9] 안형환, "합성화학분진의 폭발특성과 발화온도에 관한 연구", 충주대학교 논문집, 36권, 1호, pp.655~667, 2001.

[10] ASTM, Designation: E 789-95(Reapproved 2001), "Standard Test Method for dust Explosion in a 1.2-Litre Closed Cylindrical Vessel".

[11] 라파즈 한라시멘트 기술연구소, 유연탄 분진성분 결과자료, 2006.

김 원 회(Won-Hwai Kim)

[정회원]



- 1978년 2월 : 삼척공업전문학교 기계공학과
- 1994년 2월 : 삼척산업대학교 정밀기계공학과(공학사)
- 2007년 2월 : 강원대학교 방재기술전문대학원 방재설비전공(공학석사)

• 1984년 4월 ~ 현재 : 라파즈한라시멘트(주) 옥계공장 공장장(상무)

<관심분야>

산업기계의 방진, 방폭, 이종금속의 특수용접

이 승 철(Seung-Chul Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 한양대학교 기계공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 한양대학교 기계공학과(공학석사)
- 2000년 2월 : 한양대학교 기계공학과(공학박사)

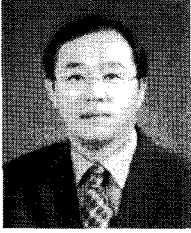
• 2004년 10월 ~ 현재 : 강원대학교 공학대학 소방방재학부 조교수

<관심분야>

방재설비, 터널(지하공간) 및 대공간 환기 및 화재

승 삼 선(Sam-Sun Seung)

[정회원]



- 1981년 2월 : 중앙대학교 기계 공학과(공학사)
- 1983년 2월 : 중앙대학교 기계 공학과(공학석사)
- 1991년 2월 : 중앙대학교 기계 공학과(공학박사)
- 1996년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 공학대학 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

열유체 유동 현상, 효과적인 공학교육 방법론

김 진 남(Jin-Nam Kim)

[정회원]



- 1977년 2월 : 중앙대학교 기계 공학과(공학사)
- 1979년 2월 : 중앙대학교 기계 공학과(공학석사)
- 1991년 2월 : 중앙대학교 기계 공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 공학대학 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

공정설계, 절삭가공(Deburring, Finishing)