

# Hartman식 장치에 의한 Carbon Black 분진의 부유중 폭발 위험성 평가 Explosion Riskiness with Flying of Carbon Black Dust by Hartman's apparatus

현 성 호\*  
Seong Ho Hyum  
김 정 환\*  
Jeong Hwan Kim  
이 참 우\*  
Chang Woo Lee

## Abstract

We investigated the weight loss according to temperature using Thermal Gravimetric Analysis(TGA) in order to find the thermal hazard of carbon black(Hi-Black 10, Hi-Black 50L) dusts, and the properties of dust explosion in variation of the surface functional groups and specific surface area of their dust with the same particle size. Using Hartman's dust explosion apparatus which estimate dust explosion by electric ignition after making dust disperse by compressed air, dust explosion experiments have been conducted by varying concentration and size of carbon black dust. The explosion pressure of both carbon black increased as the specific surface area increased. The results indicated that Hi-Black 50L of which specific surface area was larger three to four times than that of Hi-Black 10 was much easier of dust explosion.

## 국문 요약

Hartman식 분진폭발 장치를 이용하여 두 종의 카본블랙 High Black 10과 50L의 입도분포별, 농도별 그리고 동일한 입도분포에서 비표면적과 표면 기능기의 양에 따른 이들 시료의 분진폭발 확률, 분진폭발 압력 등을 조사함으로써 카본블랙 분진의 위험성을 평가하고자 하였다. 이에 카본블랙의 비표면적을 측정하고, 표면에 존재하는 기능기를 정량함으로써 휘발분이나 비표면적이 상대적으로 넓은 Hi-Black 50L의 경우 Hi-Black 10에 비해 상대적으로 폭발 확률과 폭발 압력이 크게 나타났으며, 최대폭발압력은 Hi-Black 50L의 입도분포 230/270 mesh, 시료농도 0.9 mg/cm<sup>3</sup>에서 약 6.0 kg/cm<sup>2</sup>으로 나타났다.

\* 경민대학 소방안전관리과  
Dept. of Fire Protection Management, Kyung Min College, Euijeongbu, 480-702, Korea

## 1. 서론

카본블랙은 공업적으로 탄화수소 가스나 오일을 불완전 연소시키거나 열분해시켜 제조하는 10 ~ 50 nm 정도의 입자경을 갖는 고체입자 물질로서, 입자의 크기 및 그 성상(morphology)의 발달정도 등에 따라 제품의 성질이 매우 다르다. 일반적으로 카본블랙은 그 제조방법에 따라 furnace black, channel black(contact black), thermal black, acetylene black 등으로 분류할 수 있는데 그 중 furnace black의 경우 비전도성으로 연속적인 공정관리 및 대량생산의 장점 때문에 국내에서 생산되는 카본블랙의 90% 이상을 차지하고 있는 실정이다<sup>1,2)</sup>. 한편 이와 같은 카본블랙의 물리적 특성에 관한 연구는 일반적으로 입자의 크기 및 구조에 관한 연구와 타이어 등과 같은 고무제품에서의 보강특성을 조사하기 위해 시작되었으며, 오늘날 카본블랙이 지니고 있는 뛰어난 착색성, 내후성, 내화학적, 전도성 등으로 인해 그 공업적 응용분야가 도로 및 고분자 공업 등으로 확대되고 있으며, 그 품질향상을 위한 연구가 수행되고 있다. 또한 카본블랙은 표면적이 큰 미분체로서 표면화학적 특성은 약 90~99%의 카본과 3~8%의 산소, 그리고 1% 미만의 수소원자 및 기타 불순물들로 이루어져 있으며 표면이나 기공내에 카르복실기, 페놀성 하이드록실기, 락톤기, 카르보닐기 등과 같은 기능기들이 존재하고 있다<sup>3)</sup>. 이와 같은 카본블랙의 표면에 존재하는 기능기들은 그 수가 비록 적은 편이지만 공기중에 부유시 분진폭발에 상당한 영향을 미치고 있다<sup>4,5)</sup>. 또한 전도성 carbon black의 경우 분진폭발에 대한 기존 연구는 수행된 바 있으나, 본 연구에서는 이와 다르게 기능기의 함유에 따른 비전도성 carbon black을 대상으로 분진폭발에 어떠한 영향을 미치는지 조사코자 하는 것이다.

한편 입자의 크기가  $10^{-5}$ cm이하인 경우 이와 같은 분진은 에어로졸을 형성하여 대기 중에 분산되며 이는 가연성 gas와 같은 위험성을 갖는다. 특히 에어로졸 형태의 분진은 가연성 분진으로서 지연성 가스인 대기 중에 부유되는 경우 점화원에 의해 발화하면 대형 폭발로 전이할 수 있는 것이다<sup>6)</sup>. 또한, 이러한 분진폭발은 부유 분진에 의한 폭발뿐 아니라 1차폭발의 압력파에 의한 영향으로 퇴적분진의 부유에 대해서도 2차, 3차의 연쇄폭발을 유도함으로써 그 피해가 증폭되는 경우가 있으므로 분진폭발은 연쇄폭발을 방지하는 것이 보다 중요한 방지대책이다. 특히 전보<sup>7)</sup>의 경우와 같이 활성탄 분진의 경우 기존의 가연성 유기물 분진의 폭발양상과는 다르게 점화원 없이도 공기중에 부유시 미분체의 기화로 인한 압력의 발생으로 물리적 폭발현상을 나타내므로 이에 대한 위험성을 평가하는 것은 대단히 중요한 일이다.

따라서, 본 연구에서는 우선 비표면적과 표면 기능기의 양이 서로 다른 High Black 10, 50L을 체분석하여 시료로 사용하였으며, Hartman식 분진폭발 장치를 이용하여 카본블랙 종류에 따른 입도분포별, 시료의 농도별 그리고 동일한 입도분포에서 비표면적과 표면 기능기의 양에 따른 이들 시료의 분진폭발 확률, 분진폭발 압력 등을 조사함으로써 카본블랙 분진의 위험성을 평가하고, 폭발방지 기술에 관한 기초자료를 얻고자 한다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 A사에서 상품명 Hi-Black 10과 Hi-Black 50L로 시판되는 Carbon Black을 시료로 사용하였으며, 먼저 시료중에 포함된 기능기를 정량하기 위하여 기능기와 pKa가

50L의 경우 비표면적이 약 3~4배 정도의 큰 값을 보이고 있다. 이와 같은 세공경과 비표면적의 차이는 시료가 부유중 폭발할 경우 상당한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

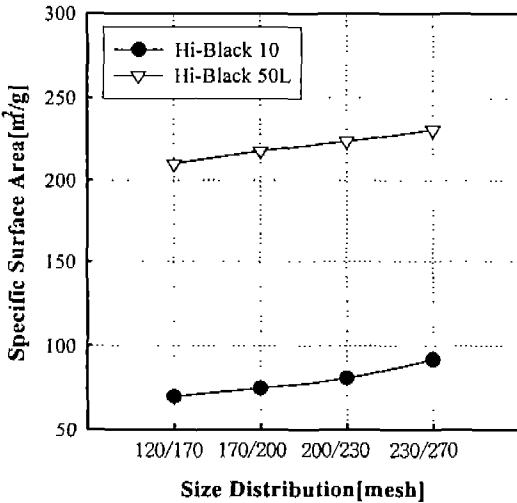


Fig. 3. 카본블랙의 입도분포별 비표면적.

### 3-4. Hartman식 시험장치에 의한 카본블랙 분진의 부유중 폭발실험

두 종류의 카본블랙의 분진폭발 특성을 조사하기 위하여 120/170, 170/200, 200/230 및 230/270 mesh로 체가름된 시료의 농도를 0.3 ~ 1.5 mg/cm<sup>3</sup>로 변화시키면서 동일한 입도에 대해 시료의 입도와 양이 폭발압력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 10회 이상 폭발실험을 반복·수행하여 각각에 대한 분진폭발 가능성과 폭발확률을 조사하였다. 한편 압축된 공기에 의해 시료를 강제분산시키는 도중 전기점화전에 이미 시료는 부유중 폭발을 일으키는 현상이 나타나므로 이후의 모든 실험은 전기점화원이 단순 부유중 폭발실험을 수행하였다. 또한 분진폭발압력 측정시 결과치마다 약간씩의 차이가 발생하여 이들 측정치로

부터 신뢰할 수 없는 값을 버리는 판단방법으로서 전보와 동일하게 Q-test를 이용하여 신뢰도를 높이고자 하였다<sup>5)</sup>.

#### 3-4-1. 분진폭발 확률

본 연구에 앞서 두 가지의 카본블랙의 분진폭발 가능성과 분진폭발 확률을 조사하기 위하여 120/170, 170/200, 200/230 및 230/270 mesh로 체가름된 시료의 농도를 0.3 ~ 1.5 mg/cm<sup>3</sup>로 변화시키면서 폭발실험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 4와 5에 나타내었다. 먼저 Fig.4에서 볼 수 있는 바와 같이 Hi-Black 10의 경우 시료량의 증가와 입도가 미세해질수록 폭발확률이 높아지고 있음을 알 수 있으며 230/270 mesh의 경우 0.9mg/cm<sup>3</sup> 이상에서 100% 폭발이 일어났다. 그러나 230 mesh 보다 큰 입도에서는 1.5mg/cm<sup>3</sup>에서도 80% 정도만 폭발이 일어났고 120/170 mesh의 경우 최대폭발 확률은 약 40%에 그치고 있다.

한편 Fig. 5의 Hi-Black 50L의 경우에는 입도가 큰 120/170mesh의 입도를 갖는 시료도 시료농도 1.2mg/cm<sup>3</sup>에서 80%의 폭발확률을 나타내고 있으며 200/230 mesh의 경우에서도 1.2mg/cm<sup>3</sup>의 농도에서 100%의 확률을 나타냈다. 또한 230/270 mesh의 경우에는 시료농도 전 범위에 걸쳐 100%의 폭발확률을 나타냈다. 이상의 결과는 앞서 언급한 카본블랙의 표면에 있는 기능기인 Hydroxy group과 휘발성분의 차이와 열중량분석과 비표면적에서 언급한 바와 같이 Hi-Black 50L이 온도에 따른 분해율이 크고 비표면적이 Hi-Black 10에 비해 3~4배 크기 때문에 분산 중에 분해가 발생하고 그로 인해 내부의 압력이 상승하여 폭발이 일어날 확률이 크게 나타나는 것으로 사료된다.

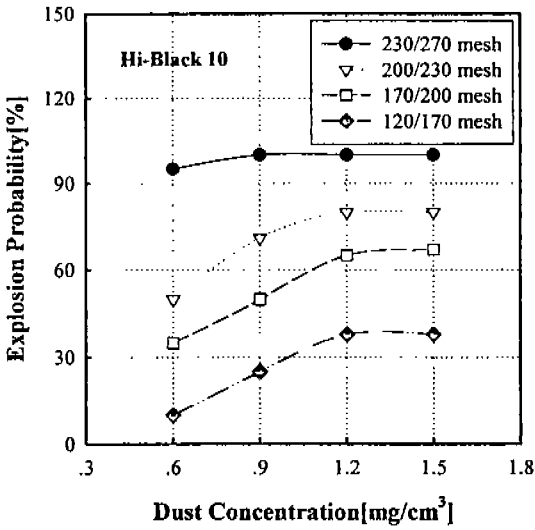


Fig. 4. Hi-Black 10의 농도별 폭발확률.

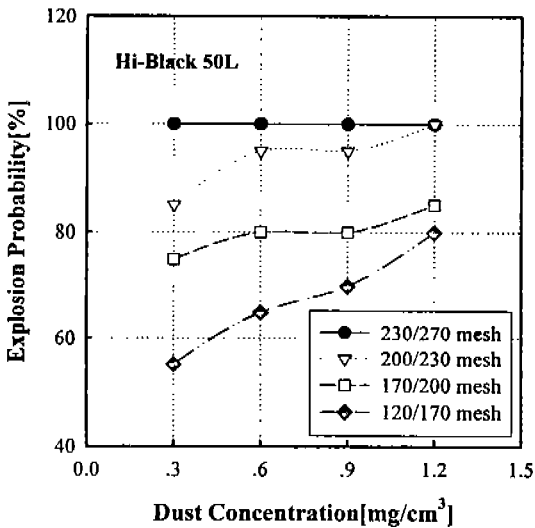


Fig. 5. Hi-Black 50L의 농도별 폭발확률.

### 3-4-2. 시료의 농도에 따른 폭발 압력

Fig. 6은 Hi-Black 10의 시료의 농도를 0.6 mg/cm³~1.5mg/cm³으로 변화시키면서 각각의 입도 분포에서 폭발압력을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 모든 입도에서 농도가 증가함에 따라 폭발 압력도 증

가하며 1.2mg/cm³의 농도에서 최대폭발압력을 나타내고 그 이상의 압력에서는 농도의 증가에 따라 폭발압력이 감소함을 알 수 있다. 이는 반응용기에 비해 시료의 양이 지나치게 많을 경우 폭발상한값을 초과하여 폭발범위내에서 벗어나기 때문인 것으로 사료된다. 이때 최대폭발 압력은 230/270 mesh에서 시료농도 1.2mg/cm³에서 약 4.5kg/cm²의 폭발압력을 나타내고 있다.

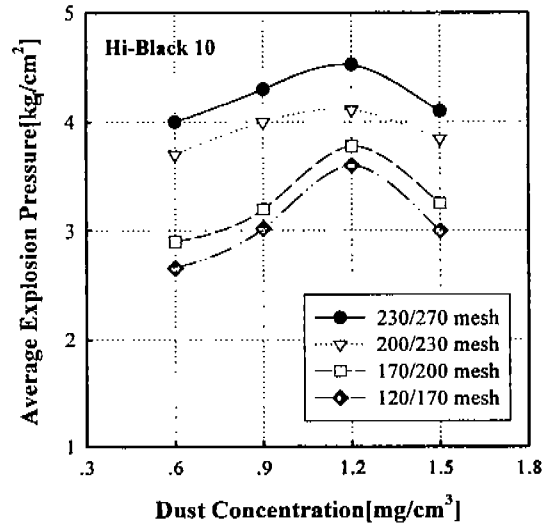


Fig. 6. Hi-Black 10의 농도별 평균폭발압력.

한편 Hi-Black 50L의 각각의 입도에서 농도를 0.3~1.2mg/cm³으로 변화시키면서 폭발압력을 조사하여 Fig. 7에 도시하였다. 모든 입도에서 시료의 농도가 증가함에 따라 폭발압력도 증가하며 특히 입도가 작은 120/170과 170/200의 경우에는 시료농도 0.9mg/cm³이상에서 폭발압력이 급격히 증가함을 볼 수 있다. 최대폭발 압력은 230/270 mesh에서 시료농도 0.9mg/cm³에서 약 6.0kg/cm²으로 Hi-Black 10보다 높은 압력을 나타내고 있다. 이는 앞서 3-4-1절에서 언급한 것과 동일한 결과로 사료된다.

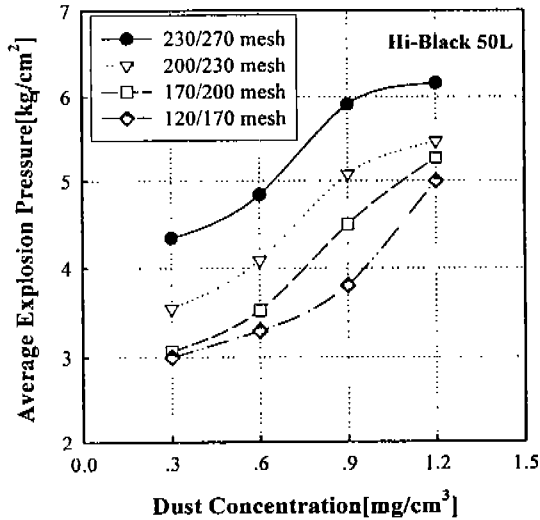


Fig. 7. Hi-Black 50L의 농도별 평균폭발압력.

Fig. 8은 230/270 mesh의 입도를 갖는 두 가지 카본블랙의 농도에 따른 폭발압력의 변화를 도시한 것이다. 그림에서 보이는 바와 같이 농도가 낮은 경우에는 폭발압력의 차이가 비교적 적게 나타나고 있으나 시료의 농도가 증가함에 따라 폭발압력의 차이가 크게 나타남을 볼 수 있다. 이는 비표면적과 온도에 따른 분해율이 큰 Hi-Black 50L의 경우 분산 중 휘발이 많이 발생하기 때문으로 사료된다.

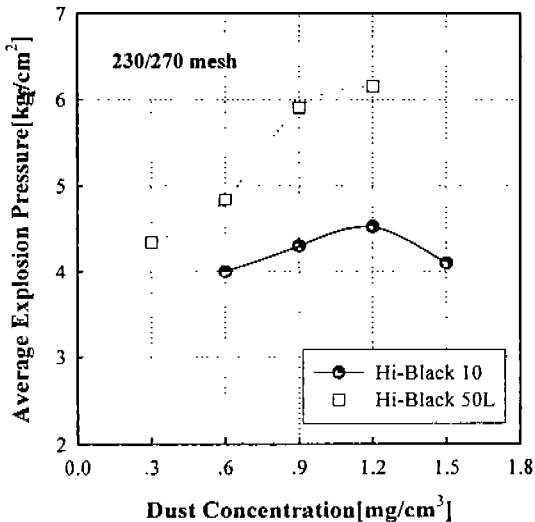


Fig. 8. 카본블랙의 농도별 평균폭발압력.

#### 4. 결론

이상의 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 두가지 종류의 카본블랙에 포함된 기능기는 Hydroxy group과 Carbonyl group이 주를 이루며 Hydroxy group의 경우 Hi-Black 50L에 Hi-Black 10보다 2배 정도 많이 함유하고 있다.
- (2) 비표면적은 Hi-Black 50L이 3~4배 크며, 온도에 따른 분해율도 크다.
- (3) 폭발 확률과 폭발 압력은 Hi-Black 50L 이 크며, 최대폭발압력은 Hi-Black 50L의 입도분포 230/270mesh, 시료농도 0.9 mg/cm³에서 약 6.0 kg/cm²으로 나타났다.
- (4) 두 가지 카본블랙의 부유중 폭발 위험성은 Hi-Black 50L이 크다.

#### 참고문헌

- 1) J. B. Donnet, R. C. Bansal, "Carbon Black", 2nd ed., Marcel Dekker, New York (1993).
- 2) 럭키카본블랙사업부, "카본블랙기술세미나 교재", (1994).
- 3) H. P. Boehm, H. Knözinger, "Nature and Estimation of Functional Groups on Solid Surfaces", Catalysis, Science and Technology, Vol. 4, Springer-Verlag, Berlin (1983).
- 4) 중앙소방학교, Hartman식 분진폭발 실험을 통한 분진의 위험성분석, 소방기술 (1996).
- 5) 이창우, 김정환, 현성호, "활성탄의 부유중 폭발 위험성에 관한 연구", 화재·소방, 12, 3 (1998).
- 6) K. N. Palmer, "Dust Explosion and Fire", Chapman & Hall, London (1973).
- 7) 이창우, 함영민, 김정환, 현성호, "가축사료의 분진폭발 위험성에 관한 연구", 화재·소방, 12, 2 (1998).