

진동형 분진 최소착화에너지측정장치에서 분진 응집현상이 미치는 영향

Effects of the Powder Agglomeration on Vibrating Minimum Ignition Energy Measurement System for Powder

최광석* · 정재희* · 황명환** · 우인성** · 목연수*** · 최충석****

M.Yamaguma***** · T.Kodama***** · W.L.Cheung*****

G.S. Choi · J.H. Joung · M.H. Hwang · I.S. Woo · Y.S. Mok · C.S. Choi

M.Yamaguma · T.Kodama · W.L.Cheung

(1999년 2월 3일 접수, 1999년 6월 22일 채택)

ABSTRACT

It is widely recognized that Hartmann tube for measuring the minimum ignition energy(MIE) of powder. But It requires long time and operational skills for measuring. As a variety of new fine powders are being produced day by day in industry, Japen has been developing a measurement system which employs a new method to create a dust/air mixture in a miniature combustion box. In this system, by vibration, the powder is successively fed downward through a hopper made up of metal mesh, and then it is formed into a thin, certain-like, dust/air mixture. With this new apparatus, three types of powder-Lycopodium, Anthraquinone, and Polyacrylonitrile-were tested and the data of MIE were compared with those of a conventional apparatus (the Hartmann tube). Two of them agreed satisfactory, but the other, Anthraquinone, showed quite different values. It is guessed that the agglomerations of the powder particles appear because of particle shapes, static-charge and humidity.

* 서울산업대학교

** 인천대학교

*** 부경대학교

**** ESLRI

***** 일본산업안전연구소

의 방전에너지를 의미한다. 최소 착화에너지의 값은 ●와 ■의 사이에 존재한다고 함³⁾을 알 수 있으며 그 값은 29~34mJ 사이에 있다.

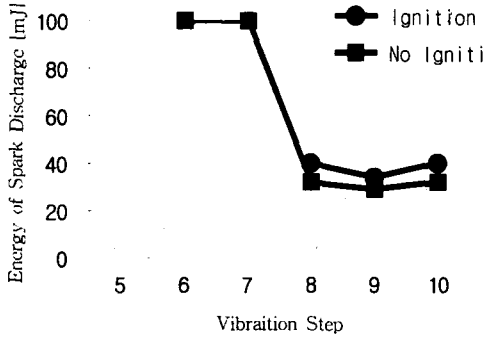


Fig. 3 Ignition energy values of Anthraquinone

그러나, 본 연구에서는 낙하되는 분진의 농도를 정확하게 측정하지 못함으로 인해 재래형에서 얻었던 분진농도와 착화에너지의 관계를 나타내는 data는 얻을 수 없었다. 따라서, Fig. 3의 횡축은 실험상 편의를 위해 낙하되는 분진의 양을 조절하기 위한 진동의 단계로써 단순한 수치이며 단위는 설정하지 않았다. 그러나, 진동의 단계와 분진의 낙하량(농도)사이에는 상관관계가 있으며, 상관계수는 분진의 종류, 분진 분배내의 잔량, 분진의 입경 분포, mesh의 크기 등에 의해서 다르다. 향후, 이러한 점을 고려하여 지속적인 농도 측정실험을 통해 정확한 농도의 산출에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에 사용된 3종류의 분진 MIE를 정리해서 Table 1에 나타냈다. 표에 의하면, Lycopodium 및 Polyacrylonitrile은 재래형과 유사한 MIE를 가지고 있으나, Anthraquinone에 대해서는 상당한 오차가 있는 것으로 나타났다. 이것은 Anthraquinone의 입자가 중요한 역할을 하는 것으로 사료된다. 이에 따라 mesh를 통과한 분진 입자의 입경 분포(LDSA win 1.21 측정 장치) 및 표면 응집 상태를 측정(주사 전자현미경 측정 장치; SAM)하여 각각 Table 1과 Fig. 4에 나타냈다. Table 1에서와 같이 mesh를 통과한 Anthraquinone의 평균 입도가 178μm로 Lycopodium의 38μm, Polyacrylonitrile의 73μm보다 상당히 큰 값으로 나타났다. Fig. 4의 입자의

표면 응집 상태 역시 (a) Lycopodium 및 (b) Polyacrylonitrile 경우는 입자가 한 개일 때와 다수일 때의 형상이 같으며, 크고 작은 입자가 원래의 분진 입자 상태를 그대로 유지하고 있다. 그러나 (c) Anthraquinone의 경우는 여러 개의 입자가 뒤엉켜 큰 덩어리의 형상을 이루고 있으며, Fig. 5에서와 같이 입자가 응집이 된 상태의 입자와 한 개일 때의 입자 형상이 각각 다르게 나타났다. 즉, 응집의 영향으로 상대적으로 입자의 크기가 커짐으로 인해 착화 에너지가 더 많이 필요할 것으로 판단된다.

Table 1 The MIE measured by new and conventional method

| Substance | Median Diameter [μm] | MIE [mJ] | |
|-------------------|----------------------|----------------|---------------|
| | | Vibrating mash | Hartmann tube |
| Lycopodium | 38 | 23~29 | 10~30 |
| Anthraquinone | 178 | 29~34 | 1~3 |
| Polyacrylonitrile | 73 | 34~41 | 10~30 |

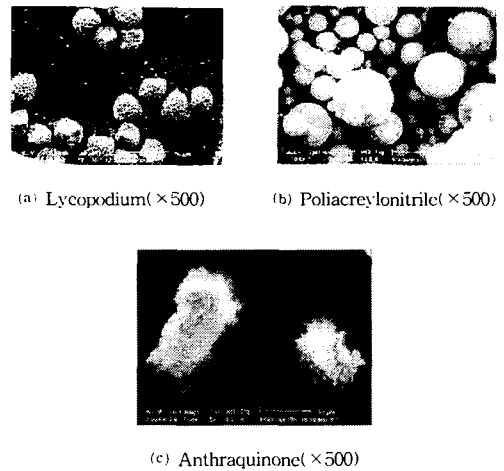
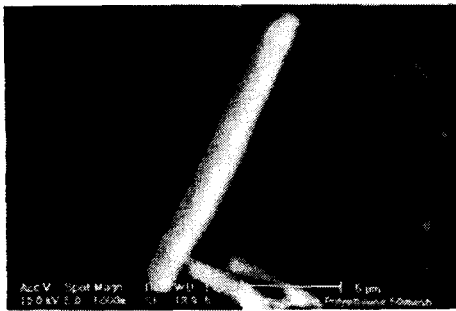
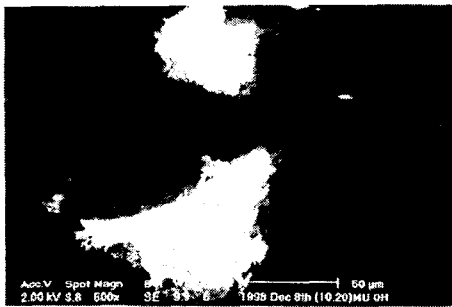


Fig. 4 The Surface cohesion SEM photographs of test materials passing through vibrating mesh

또한 Fig. 4, 5에서 입자 형상을 비교해 보면 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile 경우는 둥근 형태이고, Anthraquinone의 경우는 침상형의 모양을 가지고 있다⁴⁾. 이러한 Anthraquinone 입자의 모양 때문에 Fig. 6과 같이 분진이 mesh를 통

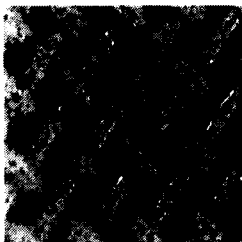


(a) particle of Anthraquinone (×5000)



(b) Compound numbers of Anthraquinone (×500)

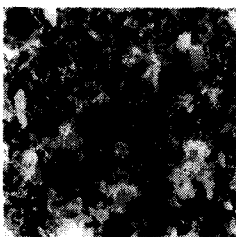
Fig. 5 The SEM photographs of Anthraquinone particle



(a) Lycopodium (×210)



(b) Polyacrylonitrile (×210)



(c) Anthraquinone (×210)

Fig. 6 The appearances of mash passed through powder by vibrating (The quality of the mash: stainless)

과할 때 입자와 입자가 서로 얽혀 눈메꿈 현상 (CCD-F2 현미경 측정)이 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile 보다 크게 나타났다. 즉, Anthraquinone 입자의 형상이 응집원인중 주요 요소로 판단된다.

Table 2 The Charge amount of powder passing through vibrating mesh

| Substance | Charge amount [$\mu\text{C}/\text{kg}$] | | |
|-------------------|---|---------|-------|
| | Minimum | Maximum | Mean |
| Lycopodium | -1.5 | -2.4 | -1.9 |
| Anthraquinone | -2.2 | -11 | -6.1 |
| Polyacrylonitrile | -0.13 | -0.54 | -0.23 |

Anthraquinone은 황색 침상형이며, 융점 285 $^{\circ}\text{C}$, 비등점 383 $^{\circ}\text{C}$ 의 승화성 물질이다⁴⁾. 이러한 Anthraquinone 분진에 진동을 주어 mesh를 통과시킨 후의 대전량을 측정하여 Table 2에 나타냈다⁵⁾. 그 결과 Anthraquinone의 대전량은 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile에 비해 큰 것을 알 수 있는데 이것은 입자 상호간, 입자와 mesh 간에 발생된 정전기에 의한 것으로 판단된다. 즉, Anthraquinone의 경우, 큰 대전량으로 인해 입자의 응집이 가속화되어 입경이 커지고, 이에 따라 착화 에너지가 증가하는 것으로 생각된다.

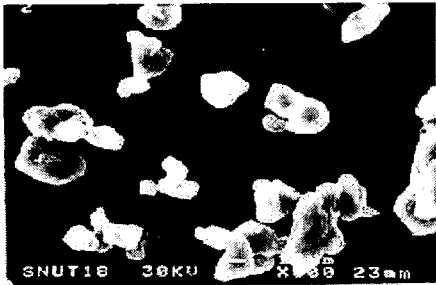
Anthraquinone의 입자표면에서 수분의 영향을 관찰하고자 입자를 완전 건조시킨 항량 상태(탈수상태)와 상온상태(온도 27 $^{\circ}\text{C}$, 습도 57%)에서의 상태를 Fig. 7의 SEM사진으로 나타냈다. 그 결과 그림 (a) 입자들의 응집상태 및 표면 거칠기가 그림 (b)의 상태보다 강하고 거칠게 일어남을 알 수 있다. 즉, 진동형 측정장치로 MIE를 측정하는 경우, 재래식과는 다르게 분진분배에 일정양의 분진을 미리 담아둔 채로 지속적으로 실험을 행함에 따라 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile에 비해 승화성 물질인 Anthraquinone은 상온에서의 수분함량이 응집에 영향을 주는 요소로 판단된다.

4. 결론

새로 개발중인 진동형 분진 최소 착화 에너지 측정 장치를 이용하여 재래형과 MIE를 측정,



(a) Temperature 27, humidity 57% (×500)



(b) dehydrating (×500)

Fig. 7 The surface cohesion case of Anthraquinone

비교·검토한 후 사용된 분진 중 Anthraquinone 응집 현상이 실험결과에 미치는 영향에 대해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Mesh를 통과한 Anthraquinone의 평균 입도가 $178\mu\text{m}$ 로 Lycopodium의 $38\mu\text{m}$, Polyacrylonitrile의 $73\mu\text{m}$ 보다 상당히 큰 값으로 나타났다.
- 2) Lycopodium 및 Polyacrylonitrile의 경우, 한 개일 때와 다수일 때의 입자 형상이 동일한 등근 형태를 가지고 있었으나, Anthraquinone은 각각 다르게 다수일 때 응집된 형상이 나타났다.
- 3) Anthraquinone의 SEM 사진에서 입자 모양이 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile와는 다른 침상형이며, 이로 인해 입자와 입자가 서로 얽혀 mesh의 눈매꿈 현상이 크게 나타났다.
- 4) Anthraquinone의 대전량은 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile에 비해 큰 것을 알 수 있

었다.

- 5) 승화성 물질인 Anthraquinone 입자 표면에서 수분의 영향을 분석한 결과 상온에서 입자들의 응집상태 및 표면 거칠기가 항량(탈수)상태보다 강하고 거칠게 나타났다.

이상의 실험결과로 인하여, 사용된 분진 중 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile의 MIE는 재래형의 MIE와 유사하였으나, Anthraquinone의 경우는 분진입자의 응집현상으로 인해 재래형의 MIE보다도 상당히 크게 나타났다.

5. 추후연구과제

본 연구에서는 재래식 실험장치와 개발중인 신 진동형 측정장치를 IEC규격과 실험조건에 맞춰 기본적인 MIE 결과만을 가지고 비교·검토하였다. 따라서, 실험장치의 편리성, 실험측정 시간 등의 정확한 변수 비교 및 분진 입자 형상, 정전기량, 분진의 수분함유량 등의 정량적 분석이 필요하며, 분진의 농도산출 및 응집대책에 관한 연구가 보완되어야 한다. 또한, 사용된 분진 이외에 실험용 분진을 늘려 지속적인 연구결과와 검증을 통해 진동형 분진 최소 착화 에너지 측정 장치의 단점 및 신뢰성을 보완하고자 한다.

이 논문은 1998년 학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) W.L. Cheung et al., "Vibrating Minimum Ignition Energy Measurement System", The lecture paper of static electricity of Japan, pp. 181~186, 1997.
- 2) W.L. Cheung et al., "Development of Vibrating Minimum Ignition Energy for Powder", ESA-IJ Joint Symposium on Electrostatics Proc., pp. 143~150, 1998.
- 3) IEC, International Standard 1241-2-3, 1994.

- 4) H.J. JEUN, Physics Chemistry Dictionary, p. 699, 1980.
- 5) D.J. Choi, "The introduction of Electricity and Electron engineering", pp. 63~64, 1996.
-