

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 #, W. L. Cheung #, T. Kodama #

서울산업대학교 *, 인천대학교**, 부경대학교***,

ESLRI#, 일본산업안전연구소#

1. 서론

일반적으로 가연성 분진의 최소착화에너지(Minimum Ignition Energy; MIE)를 측정하는 방법에는 Hartmann식(이하 재래식이라 칭한다)이 주로 이용되고 있다¹⁾.

그러나, 재래식은 상당히 정확하게 측정할 수 있으나 착화 후 용기류의 청소, 실험장치의 조작성 등 실험에 어려움이 있으며, 또한, 압축공기계통의 필요 등으로 제조 가격이 상당히 고가이다. 따라서, 일본에서는 이러한 재래식의 단점을 보완하면서도 기존의 재래식 보다 신뢰성이 크게 뒤떨어지지 않는 장치를 개발하고자, 신 개념의 진동형 분진 최소 착화 에너지 측정장치를 개발중에 있다^{2,3)}. 이 진동형 분진 최소 착화 에너지 측정장치와 재래형의 MIE를 비교한 결과, Lycopodium 및 Polyacrylonitrile의 MIE는 재래형과 유사하였으나, Anthraquinone에 대해서는 상당한 오차가 있는 것으로 나타났다⁴⁾.

이에 본 연구에서는 재래형과 비교하여 오차가 많았던 Anthraquinone의 응집현상이 진동형 분진 최소 착화에너지 측정장치의 실험결과에 미치는 영향에 대하여 수행하였다.

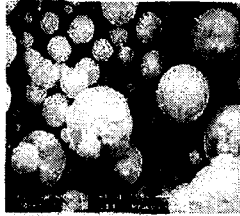
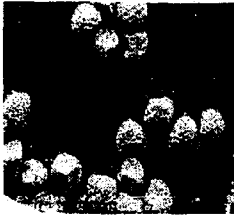
2. 실험결과 및 고찰

분진의 착화를 위해 에너지를 인가하여 표 1과 같은 MIE를 얻었다. 이 표에 나타난 바와 같이 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile의 MIE는 재래식과 유사한 특성을 보였으나, Anthraquinone은 상당한 차이가 있었다. 이것은 Anthraquinone의 입자가 중요한 역할을 하는 것으로 판단되어 mesh를 통과한 분진 입자의 입경 분포를 LDSA win 1.21 측정 장치를 이용하여 표 1에 나타났다. 이 때 mesh를 통과한 Anthraquinone의 평균 입도가 178 μ m로 Lycopodium의 38 μ m, Polyacrylonitrile의 73 μ m보다 상당히 큰 값으로 나타났다. 그림 1에서 입자의 표면 응집 상태를 주사 전자현

미경 측정 장치를 이용하여 살펴보면 (1) Lycopodium 및 (2) Polyacrylonitrile 경우는 입자가 한 개일 때 와 다수일 때의 등근 모습으로 형상이 같고, 입자들의 크기도 비슷하며 배열도 고르게 분포되어있다. 그러나 (c) Anthraquinone의 경우는 여러 개의 입자가 뭉쳐 큰 덩어리의 형상을 이루고 있으며, 그림 2와 같이 다수의 입자가 응집이 된 상태와 한 개일 때의 입자형상이 각각 다르게 나타났다. 즉, 응집의 영향으로 상대적으로 입자의 크기가 커짐으로 써 착화 에너지가 더 많이 필요한 것으로 판단된다.

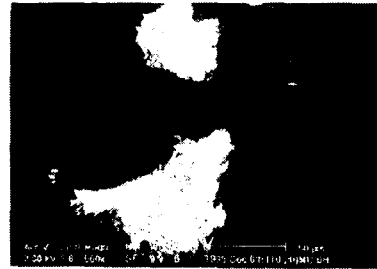
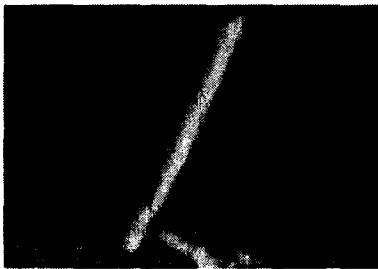
Table 1 The MIE measured by new and conventional method

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



(a) Lycopodium($\times 500$) (b) Polyacrylonitrile($\times 500$) (c) Anthraquinone($\times 500$)

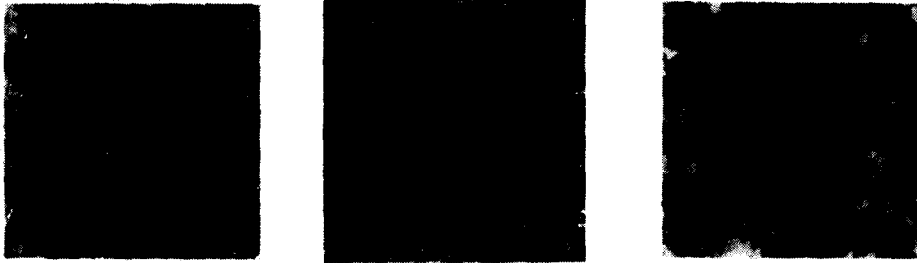
Fig. 1 SEM photographs of test materials passing through vibrating mesh



(a) particle of Anthraquinone($\times 5000$) (b) Compound numbers of Anthraquinone($\times 500$)

Fig. 2 SEM photographs of Anthraquinone

또한, 그림 1과 2의 입자들의 형상을 비교해 보면 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile 경우는 둥근 형태이나, Anthraquinone은 침상형이다⁵⁾. 따라서, Anthraquinone의 경우, 입자가 침상형으로 인해 mesh를 통과할 때 입자와 입자가 서로 얽혀 눈메꿈 현상이 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile 보다 크게 나타났다. 즉, Anthraquinone입자의 응집원인중 주요 요소라고 사료되며, 이것을 CCD-F2 현미경으로 측정하여 그림 3에 나타냈다.



(a) Lycopodium($\times 210$) (b) Polyacrylonitrile($\times 210$) (c) Anthraquinone($\times 210$)

Fig. 3 The appearance of mesh passed through powder by vibrating (The quality of the Mesh : stainless)

Table 2 The Charge amount of powder passing through vibrating mesh

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



(a) Temperature 27°C, Humidity 57% ($\times 500$) (b) dehydrating ($\times 500$)

Fig. 4 SEM photographs of Anthraquinone

Anthraquinone은 황색 침상형이며, 융점 285°C, 비등점 383°C의 승화성 물질이다⁵⁾. 이러한 Anthraquinone 분진에 진동을 주어 mesh를 통과시킨 후의 대전량을 측정하여 표 2에 나타냈다⁶⁾. 그 결과, Anthraquinone의 대전량은 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile에 비해 상당히 큰 것을 알 수 있는데, 이것은 입자상호간, 입자와 mesh사이에 발생된 정전기에 의한 것이다. 즉, 이러한 큰 대전량으로 인해 입자의 응집이 가속화되어 입경이 커짐으로써 착화에너지가 더욱 필요하게 되는 것으로 판단된다.

또한, Anthraquinone의 입자표면에서 수분의 영향을 분석하고자 상온 상태 (Temp: 27°C, Hum: 57%)와 탈수상태(항량상태)에서 측정한 SEM사진을 그림 4에 나타냈다. 그 결과 그림 (a)의 입자들의 응집상태 및 표면 거칠기가 그림 (b)의 상태보다 강하고 거칠게 일어남을 알 수 있다. 즉, 진동형 장치로 MIE를 측정하는 경우에는 재래식과는 다르게 분진분배에 일정양의 분진을 미리 담아둔 채로 실험을 행함에 따라 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile에 비해 승화성 물질인 Anthraquinone의 경우, 상온에서의 수분함량이 응집에 영향을 주는 요소로 판단된다.

3. 결론

사용된 분진 중 Anthraquinone의 응집현상이 진동형 분진 최소 착화 에너지 측정장치의 실험결과에 미치는 영향을 정리하여 나타내면 다음과 같다.

- 1) Mesh를 통과한 Anthraquinone의 평균 입도가 178 μ m로 Lycopodium의 38 μ m, Polyacrylonitrile의 73 μ m보다 상당히 큰 값으로 나타났다.
- 2) Lycopodium 및 Polyacrylonitrile의 경우, 한 개 일 때와 다수일 때의 입자 형상이 동일한 둥근 형태를 가지고 있었으나, Anthraquinone은 각각 다르게 응집된 형상이 나타났다.
- 3) Anthraquinone의 SEM 사진에서 입자 모양이 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile와는 다른 침상형으로 인해 mesh를 통과할 때 입자와 입자가 서로 얽혀 눈매꿈 현상이 크게 나타났다.
- 4) Anthraquinone의 대전량은 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile에 비해 큰 것을 알 수 있었다.
- 5) 승화성 물질인 Anthraquinone 입자 표면에서 수분의 영향을 분석한 결과 상온에서 입자들의 응집상태 및 표면 거칠기가 항량(탈수)상태보다 강하고 거칠게 나타났다.

이상의 실험결과로 알 수 있듯이, 사용된 분진중 Lycopodium 및 Polyacrylonitrile의 MIE는 재래형의 MIE와 유사하게 나타났으나, Anthraquinone의 경우는 분진의 응집현상으로 인해 재래형의 MIE보다 상당히 크게 나타났다.

4. 추후과제

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

참고문헌

- 1) IEC, International Standard 1241-2-3, 1994.
- 2) W.L.Cheung et al., "Vibrating Minimum Ignition Energy Measurement System", The lecture paper of static electricity of Japan, pp.181~186, 1997.
- 3) W.L.Cheung et al., "Development of Vibrating Minimum Ignition Energy for Powder", ESA-IJ Joint Symposium on Electrostatics Proc., pp.143~150, 1998.
- 4) 정재희 외 4인 "진동형 분체 최소착화에너지 측정장치의 특성"추계학술논문발표회논문집, pp.179~182, 1998.
- 5) H.J.JEUN, Physics Chemistry Dictionary, p.699, 1980.
- 6) D.J. Choi, The introduction of Electricity and Electron Engineering, pp. 63~64, 1996.