

정전기 방전조건이낙하분진의 최소착화에너지에 미치는 영향(II)

-전극의 형상과 전극간격-

최광석·정재희* · Manabu Takeuchi
Mizuki Yamaguma** · Tsutomu Kodama**

국립이바라키대학교 이공학연구과 · *서울산업대학교 안전공학과
**일본 노동성 산업안전연구소

1. 서론

오늘날 분진은 석유 화학공업, 제약공업, 플라스틱공업 등 기능이 점점 다양화 되고 있으며 산업분야에서도 광범위하게 이용되고 있다¹⁾.

그로 인해 분진 폭발사고는 대형 공정에서 뿐만 아니라 저장, 취급, 운송하는 일반화된 공정에서도 정전기 방전 등의 점화원에 의해 화재 및 폭발의 위험성이 증가하고 있다²⁾.

이러한 재해를 미연에 방지하기 위해 안전관리의 일환으로 분진의 최소착화에너지 (Minimum Ignition Energy; MIE)를 측정하여 관리하고 있다³⁾.

그러나, 산업 현장의 대전 물체가 작업자, 설비 등으로 인해 농도, 저항, 방전간의 거리, 방전 전극의 형상 등 상이한 방전 조건을 가지고 있다. 따라서, 분진의 최소착화에너지를 측정하기 위해서는 방전조건을 고려해서 행할 필요가 있다⁴⁾.

이에 본 연구에서는 정전기 방전 조건 중 전극 형상과 전극 간격의 변화가 낙하 분진의 MIE에 미치는 영향에 대해서 실험했다.

2. 실험 장치 및 방법

Figure 1에 실험 장치의 구조를 나타냈다. 구성은 a.c 50Hz의 진동기, 폭발 용기, LC/RC회로(L=0.94mH, RC=100k Ω , 300k Ω , 3M Ω), 정전용량(C=300~500pF), 침상형/원형의 전극(stainless steel, ϕ 2mm)으로 되었다. 분진 호퍼는 U자 모양의 내부용기와 외부용기의 이중 구조로 되어있으며, 그 사이에 메쉬(63 μ m)를 삽입한 후 분진을 장착했다.

장도의 세기가 조절 가능한 진동기(step1~step10)에 의해 시트 모양의 낙하 분진 운을 형성 시킨 후 정전기 방전을 인가하여 실험 측정했다.

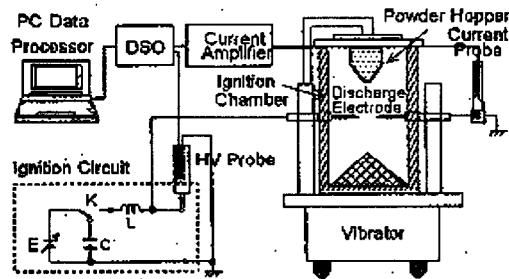


Fig. 1 Vibrating MIE measurement system.

정전기 방전에 의해 낙하분진이 착화 된 경우, 화염 전파의 억제를 위해 폭발용기와 분진 용기 저부에 각각 플레임 어레스터(Flame arrester)를 설치했다.

착화된 화염이 호퍼 저부에 있는 플레임 어레스터에 도달한 경우를 폭발로 판정했다 (단, 동일 점화에너지로 10회 실행)^{5,6)}. 정전기 방전 에너지는 방전 전압 파형과 방전 전류파형을 관측(Digital Oscilloscope)하여 방전 지속시간내의 적분치를 통해 계산했다.

실험용 분진은 최소착화에너지 측정 장치의 보정용 분진⁷⁾인 Lycopodium, Polyacrylonitrile, Anthraquinone 중 응집성이 거의 나타나지 않는 Lycopodium을 사용했으며⁸⁾, 평균 입경 분포(LDSA win 1.21)는 약 38 μ m로 나타났다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 방전 전극 형상의 영향

낙하 분진의 농도(step: 8)와 방전회로의 조건을 일정하게 유지한 채, 방전 전극 형상의 변화(침상형, 원형)에 따른 Lycopodium의 MIE를 측정하여 Table 1에 나타냈다. 결과에 의하면, LC회로의 경우는 침상형 전극이 원형 전극에 비해 MIE가 대체로 작게 나타났다. 그러나, RC회로는 거의 동일하게 나타났다.

Table 1 Comparison of MIE between sharp and round tips of electrode shape.

Division	MIE[mJ]			
	d=4[mm]		d=6[mm]	
	Sharp	Round	Sharp	Round
0.94 mH	11.06	12.49	11.66	14.64
100k Ω	4.62	4.28	5.54	5.13
300k Ω	7.53	7.66	10.07	10.52
3M Ω	11.15	10.72	18.00	18.80

d : Electrode spacing

전술한 현상을 관찰하고자, Lycopodium 분진에 11mJ13mJ의 방전에너지를 인가하여 전극의 형상에 따른 방전 현상을 측정하여 Fig. 3(LC회로)과 Fig. 4(RC회로)에 나타냈다(Full Color High-Speed Video Camera, 600 Frames/sec).

Figure 3의 결과에 따르면, LC회로(L=0.94mH)인 경우는 침상형과 원형 전극의 방전 에너지가 각각 11mJ, 13mJ로 나타났으나, 원형에 비해 침상형의 전극의 방전 현상이 외관상 강하게 나타났다. 이것은, 매우 짧은 방전지속시간(40 μ s)동안에 에너지가 순간적으로 전달⁸⁾되기 때문에 원형 전극의 큰 곡률반경으로 인한 열 전달 손실의 영향으로 판단된다.

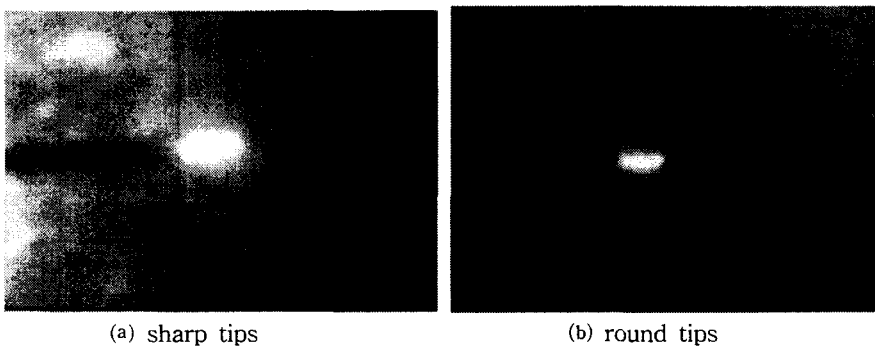
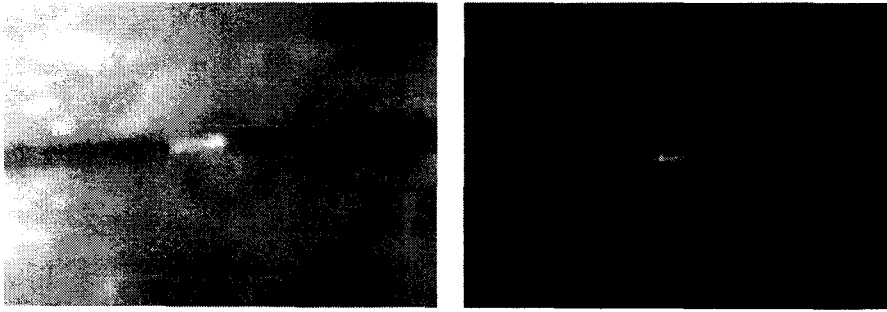


Fig. 3 Comparison of spark between sharp and round tips in LCcircuit (40 μ s, 4mm)



(a) sharp tips

(b) round tips

Fig. 4 Comparison of spark between sharp and round tips in RCcircuit ($800\mu\text{s}$, 4mm).

그러나, Fig. 4에 따르면 LC회로에 비해 RC회로($R=100\text{k}\Omega$)인 경우는 긴 방전 지속 시간($800\mu\text{s}$)으로 인해 전력이 평균적으로 분산됨에 따라 가느다란 실 모양의 방전 현상이 나타났다. 따라서, 외관상 별 차이가 나타나지 않았으며, 전극의 형상과 관계없이 거의 동일한 에너지에서 분진이 착화되었다.

결론적으로, LC회로인 경우는, 전극의 형상이 분진의 MIE에 영향을 미치나, RC회로인 경우는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.2 방전 전극간격의 영향

분진의 농도(step:8)와 정전기 방전 조건을 일정하게 유지하고, 전극 간격을 2mm, 4mm, 6mm로 변화를 주어 MIE에 미치는 영향에 대해 측정한 결과를 Fig. 5에 나타냈다.

Figure 5에 의하면, LC/RC회로 전부 전극 간격 4mm에서 가장 낮은 착화 에너지를 얻었다.

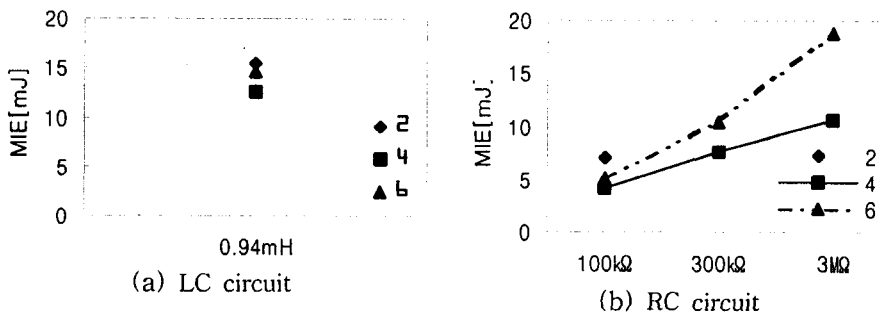


Fig. 5 Relationship between MIE and electrode spacing(Vibration step: 8).

전술한 현상을 관찰하기 위해서, RC회로($R=100k\Omega$, Discharge duration time; $800\mu s$, sharp tips)에서 6~7mJ의 방전에너지를 인가하여 전극간격의 변화에 대한 방전 형상을 측정하여 Fig. 6에 나타냈다(Full Color High-Speed Video Camera, 600 Frames/sec).

Figure 6에서와 같이 전극 간격 2mm (a) 또는 그 이하 인 경우, 전극 간격이 좁아짐에 따라 낙하 분진을 가열 시킬 수 있는 영역도 좁아진다. 게다가, 전극의 전도 현상으로 인해 냉각효과의 영향⁹⁾이 4mm와 6mm에 비해 크게 작용한다. 또한, Fig. 6으로부터 추측해볼 때 전극 간격이 6mm 보다 넓어질수록 분진의 가열 영역도 함께 넓어지며, 전극 사이에서 발생하는 에너지의 밀도가 감소[10]로 인해 착화에너지가 커질 것으로 판단된다.

따라서, 전극간격이 너무 좁을 경우 또는 너무 넓을 경우에는 분진을 착화 시키는데 더 많은 에너지가 필요로 한 것으로 나타났다.

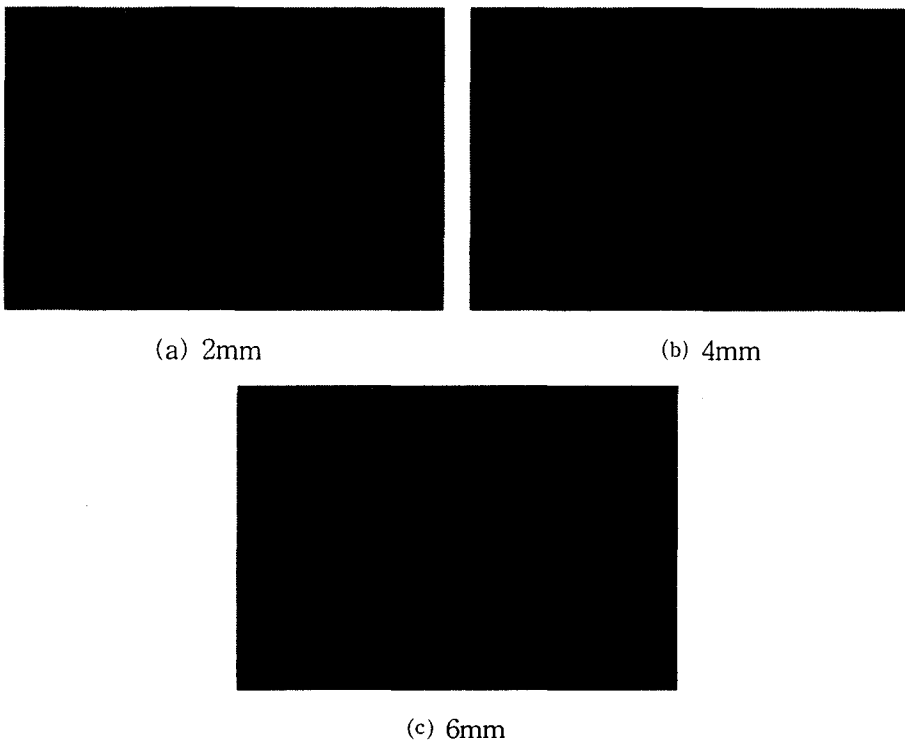


Fig. 6 Comparison of Spark among three choices of electrode spacing (sharp tips)

4. 결론

정전기 방전 조건 중 전극 형상과 전극간격이 낙하 분진의 MIE에 미치는 영향에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) LC회로는 전극의 형상이 낙하분진의 MIE에 영향을 미치나, RC회로는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 전극 간격 4mm에서 가장 낮은 착화 에너지를 얻었다. 전극간격이 너무 좁을 경우 또는 너무 넓을 경우에는 분진을 착화 시키는데 더 많은 에너지가 필요로 한 것으로 나타났다.

본 논문은 1999년 한국학술진흥재단의 지원으로 수행되었으며,
지원에 감사 드립니다.

참고문헌

- 1)內藤道夫 “粉塵爆發의 事例”, 日本 靜電氣 學會, pp 209-215, 1979.
- 2)木下勝朴 “靜電氣에 의한 火災 및 爆發事
日本 靜電氣 學會 pp 275-280, 1996.
- 3)Jean Cross, “Dust Explosion”, p.69, 1990.
- 4)M.Yamaguma “Effect of charge conditions on Measuring Dust Minimum Ignition Energy”, 1998.
- 5)W.L. Cheung et al., “Development of Vibrating Minimum Ignition Energy for Powder”, ESA-IJ Joint Symposium on Electrostatics Proc,pp.143-150, 1998.
- 6)Institute of Electrostatics Japan, Handbook of Static Electricity, p.170, 1998.
- 7)IEC, International Standard 1241-2-3, 1994.
- 8)K.S. Choi “Effects of the Powder Agglomeration on Vibrating Minimum Ignition Energy Measurement System for Powder”1999.
- 9) JSME Combustion Handbook, p.23, 1995.
- 10)Institute of Electrostatics Japan, Handbook of Static Electricity, p.166, 1998.