방전에너지 제어에 의한 최소점화에너지의 고찰

최상원† · 大澤 敦*
한국산업안전공단 산업안전보건연구원 · *일본 노동안전위생총합연구소
(2006. 8. 1. 접수 / 2007. 2. 13. 채택)

A Study on Minimum Ignition Energy by Controlled Discharge Energy

Sang-Won Choi† · Atsushi Ohsawa*
Occupational Safety & Health Research Institute, Korea Occupational Safety & Health Agency
*National Institute of Occupational Safety & Health, Japan
(Received August 1, 2006 / Accepted February 13, 2007)

Abstract : It is important to know Minimum Ignition Energy(MIE) of flammable materials for ignition hazard of chemical processes etc.. Currently a capacitor discharge is used mainly to measure the MIE. Then, it is impossible to control actively discharge energies and discharge time because the MIE measurement uses a high voltage capacitor and fixed capacitor. However, the control of discharge energy and discharge time will be convenient if self-sustain discharge is used. In this paper, we measured the MIE by self-sustain discharge of a pulse shape to propose the new measuring method of the MIE. AS a result, ignition energies are increased gradually as discharge duration time gets longer, and discharge current grows larger. Also, an arc discharge and a glow discharge occurred during the experimental period, and the ignition by glow discharges happened when discharge duration time was 90μs, discharge current was 8A and 1A. Especially, the MIE occurred the 0.05mm and 0.08mm of the gap distance between discharge electrode in the same discharge duration time.
Key Words : minimum ignition energy(MIE), self-sustain discharge, glow discharge

1. 서 론

가연성 물질의 최소점화에너지(Minimum Ignition Energy; MIE)를 아는 것은 화학공정 등의 안전성 평가에 중요한 것이다. 현재 MIE의 측정에는 주로 용량성 불꽃방전이 이용되고 있다[1-4]. 용량이 큰 커패시터를 이용한 방전에서는 MIE가 크게 되는 경향이 있고, MIE가 회로정수에 의존한다는 것이 실험적으로 알려져 있다. 이 현상은 방전회로의 시정수와 점화를 위한 에너지의 수송시간과의 관계에 의해 이론적으로 설명하는 것이 가능하게 되었다[5-7]. 이것은 점화에너지 수송특성시간이라는 물리량을 도입하여 이 시간 내에 주어진 에너지가 점화에 유효하다는 것을 가설로 근거하고 있다.

기존의 MIE 측정은 고정된 커패시터에 전압을 충전한 후 방전시키기 때문에 방전에너지 및 방전시간을 능동적으로 제어한다는 것은 불가능하다. 그러나 자속(Self-sustain) 방전을 시키면 방전에너지 및 방전시간의 제어가 편리해 진다.

본 연구에서는 위에서 제안한 이론의 증명과 새로운 MIE의 측정법으로의 응용을 위해 펄스상의 자속방전에 의한 MIE를 조사하였다.

2. 실 험

2.1. 관계 이론

용량성 불꽃방전의 방전에너지 중 점화에너지 수송시간 τ까지 주어진 에너지가 점화에 유효하다고 가정한다. 커패시터의 용량 C, 방전저항 R, 초기전압 V, 최소점화에너지 ε_{min}, 방전에너지를 ε으로 하면 저항에서 소비되는 전력 p는 식 (1)과 같이 된다.

$$p(t) = \frac{V^2}{R} e^{-\frac{2\tau}{CR}} \quad (1)$$

† To whom correspondence should be addressed.
swchoi@kosha.net

그러므로 시간 τ 사이에 전극간에서 소비되는 에너지는 식 (2)와 같다.

$$\varepsilon = \int_0^{\tau} p(t)dt = \frac{1}{2}CV^2\left(1-e^{-\frac{2\tau}{CR}}\right) \quad (2)$$

이 소비에너지가 최소점화에너지보다 클 때 점화된다. 용량성회로의 점화한계 식은 (3)과 같다.

$$\frac{1}{2}CV^2\left(1-e^{-\frac{2\tau}{CR}}\right) \geqq \varepsilon_{\min} \quad (3)$$

$2\tau \gg CR$의 조건에서는 지수 항을 무시하면 최소점화에너지는 식 (4)와 같이 된다.

$$\frac{1}{2}CV^2 = \varepsilon_{\min} \quad (4)$$

그러나 $2\tau < CR$의 조건에서는 지수함수의 Taylor 전개에 의해 식 (5)와 같이 커패시터의 용량에 의존하지 않게 된다.

$$\frac{\tau V^2}{R} = \varepsilon_{\min} \quad (5)$$

이것으로부터 커패시턴스와 최소점화전압의 관계(점화한계 곡선)를 얻으며, 이 곡선은 Fig. 1의 IEC (International Electrotechnical Commission)의 규격과 잘 일치한다[9].

Fig. 1에서 소용량(대략 100μF 이하)의 커패시터로 측정한 최소점화전압은 식 (4)를 잘 만족하고 있으나, 대용량(대략 100μF 이상)의 커패시터로 측정

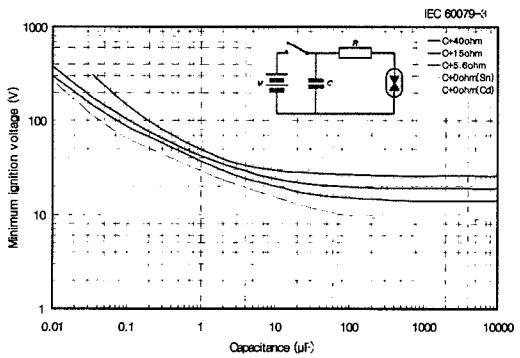


Fig. 1. Minimum ignition voltage of capacitance circuit (Group IIC of IEC standard 60079-3).

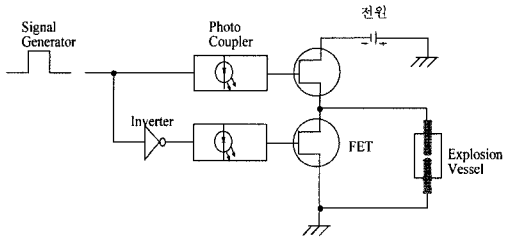


Fig. 2. Experimental circuit for the MIE measurement.

한 최소점화전압은 커패시터의 크기에 관계없이 거의 일정하다. 이는 최소점화전압이 식 (5)와 같이 커패시터의 용량에 의존하지 않는다.

2.2. 실험장치 구성

점화에너지 수송특성시간의 유무를 포함하여 이론의 타당성을 검토하기 위하여 방전에너지의 제어로서 방전시간의 제어가 필요하다. 불꽃방전에서는 방전시간을 제어하는 것은 곤란하기 때문에 점화원으로서 자속방전인 글로우(방전전압 일정 유지) 및 아크(방전시 전압강하) 방전을 이용하는 것으로 하여, Fig. 2와 같이 FET(2SK2611)를 이용한 push-pull의 900V의 가변 통전시간의 스위칭 회로를 제작하였다. 이것에 의해 자속방전인 글로우 또는 아크방전을 펄스형태로 발생시킬 수 있었으며, 방전전류(전류제한저항(1~3kΩ) 또는 전원전압(NF 사 4310; 1.2 kV, 0.6A)와 방전시간(FET의 게이트에 주어지는 펄스폭)을 변화시키는 것에 의해 방전에너지를 제어할 수 있게 되었다.

2.3. 실험 방법

점화실험에 사용한 가스는 수소/산소(2 : 1 화학량론비)이며, 압력은 250mmHg에서 실시하였다. 또한, 혼합가스의 조성오차 범위는 +1mmHg 이내이며, 혼합가스를 폭발조에 넣은 다음 5초 이내에 방전에너지를 가했다. 실험에 사용한 전극은 직경 2.8mm, 재질은 상부전극은 St, 하부전극은 Cu이며, 전극선단의 모양은 round tip으로 되어 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 실험 결과

실험결과로서 Fig. 3은 방전전류를 8A로 하여 방전지속시간을 5~140μs까지 변화를 주어 측정한 점화에너지를 나타낸 것이며, Fig. 4는 90μs의 방전지속시간에서 방전전류를 0.8~10A까지 변화를 주어

측정한 점화에너지의 분포를 나타낸 것이다. 또한 Fig. 5는 방전지속시간 100μs에서 방전전극 사이의 거리를 변화시키면서 측정한 점화에너지의 분포도를 나타낸 것이다. 각 구간에서의 실험회수는 각각 30회로 하였다. 방전에너지는 Oscilloscope(Tektronix TDS644B; 4ch, 500MHz)로 측정한 값(전압, 전류, 시간)을 Data Aquisition한 후 P.C.로 계산하였다.

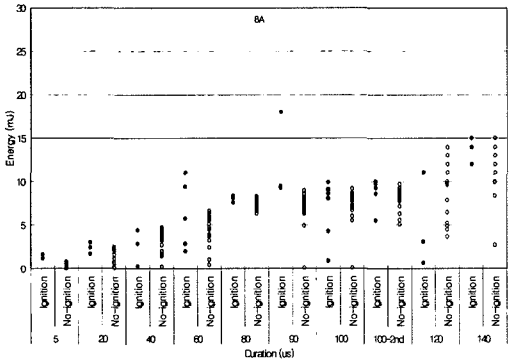


Fig. 3. Distribution map of discharge energy as a function of discharge sustain time.

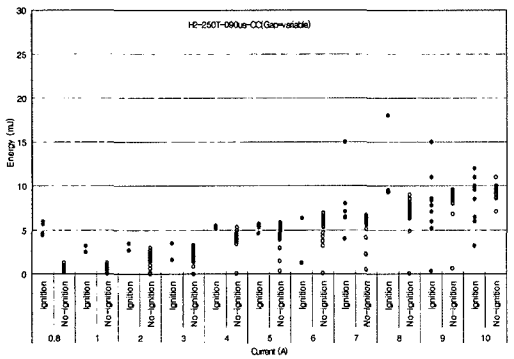


Fig. 4. Distribution map of discharge energy as a function of discharge current.

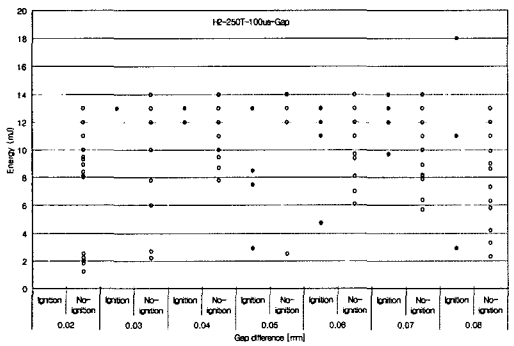


Fig. 5. Distribution map of discharge energy as a function of discharge gap distance.

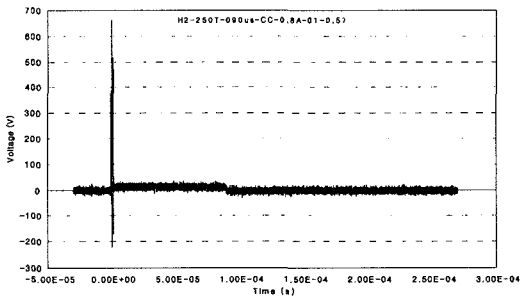
3.2. 고찰

Fig. 3에서 방전지속시간이 길어질수록 점화에너지는 크게 되며, 특히 120μs 이상에서 그 점화에너지는 크게 상승하였다. 그러므로 제안한 이론에서의 점화에너지 수송특성시간 τ는 120μs 이내 일 것으로 판단된다.

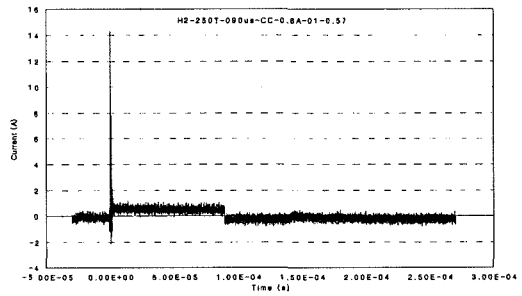
Fig. 4에서 방전전류가 10A 이상부터는 점화에너지가 증가하는 것으로 나타났으며, 또한 0.8A, 1A에서는 글로우 방전에 의한 점화가 발생되었다. 이로서 동일의 압력에서 글로우 방전이 발생되는 방전지속시간과 전류와의 관계를 알 수 있었으며, 동일의 실험조건에서 글로우 방전은 아크 방전보다 점화에 필요로 하는 에너지가 크다는 것을 알 수 있었다. 이는 글로우 방전을 이용한 제전기 등에 안전으로의 이용가치가 크다고 볼 수 있다. 그 외의 대부분의 방전현상은 아크를 나타냈다.

Fig. 5에서 동일의 방전지속시간에서 방전전극의 간격변화에 따른 MIE가 발생한 갭의 거리는 0.05 mm, 0.08mm로 나타났으며, MIE가 발생하는 최적의 갭이 존재한다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6은 아크방전시의 전압 및 전류파형을 나타낸 것이며, Fig. 7은 글로우 방전시의 전압 및 전류파형을 나타낸 것이다.

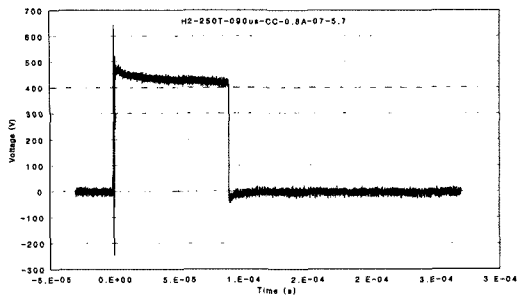


(a) Voltage waveform

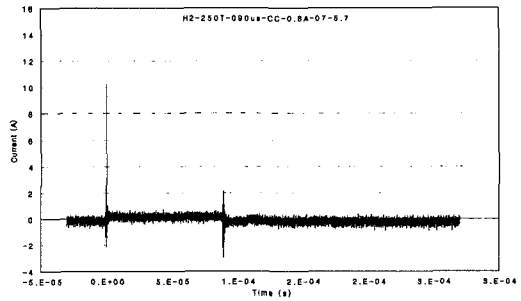


(b) Current waveform

Fig. 6. Waveforms observed at arc discharge.



(a) Voltage waveform



(b) Current waveform

Fig. 7. Waveforms observed at glow discharge.

4. 결 론

본 연구에서는 제안한 이론의 증명과 새로운 MIE의 측정법으로의 응용을 위해 펄스상의 자속방전에 의한 MIE를 조사하여, 국제규격에서 제시하고 있는 고정된 커패시터를 사용하는 방법의 MIE 측정과를 비교하기 위하여 능동소자에 의한 방전전류 및 방전시간을 제어하여 MIE에 대하여 미치는 영향을 비교/검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 방전지속시간이 길어질수록 점화에너지는 대체적으로 크게 나타났다. 또한, 방전전류가 커질수록 역시 동일한 경향을 보였다.

2) 제안한 이론에서의 점화에너지 수송특성시간 τ는 120μs 이내 일 것으로 판단된다.

3) 방전지속시간 90μs, 방전전류 0.8A, 1A에서는 글로우 방전에 의한 점화가 발생되었다.

4) 방전현상은 아크/글로우를 나타냈다.

5) 동일의 방전지속시간에서 방전전극의 간격변화에 따른 MIE가 발생한 갭의 거리는 0.05mm, 0.08 mm이었다.

향후, 제안한 이론의 상세한 증명과 새로운 MIE의 측정법으로의 응용을 위해 Schlieren Camera 등의 적절한 유동 가시화 방법 등이 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1) 放電ハンドブック, 靜電氣學會放電ハンドブック出版委員會編, 上卷, pp. 150～151, 1998.
2) 本質安全防爆電氣回路に關する基礎的研究, 勞働省産業安全研究所, pp. 137～141, 1970.
3) 靜電氣ハンドブック, 靜電氣學會, pp. 165～186, 1998.
5) E.C. Magison, Electrical Instrument in Hazardous Locations, Instrument Society of America, pp. 60～66, 1980.
6) 大澤 敦, 崔相源, "新原材料の靜電氣による着火危險性の評價技術に關する研究-容量性火花放電の着火限界曲線の檢討とパルス自續放電による放電エネルギーの制御", 産業安全研究所年報, p. 53, 2001.
7) 大澤 敦, 崔相源, "新原材料の靜電氣による着火危險性の評價技術に關する研究-パルス自續放電による放電エネルギーの制御", 産業安全研究所年報, p. 48, 2002.
8) 최상원, 大澤 敦, "방전에너지 제어에 의한 최소점화에너지의 고찰", 한국산업안전학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 303～308, 2003.5.
9) 60079-3, Spark-test apparatus for intrinsically-safe circuits, 1990.