

글로우 방전의 메커니즘과 점화위험성의 고찰

최상원 · 大澤 敦* · 이해근** · 이관형

한국산업안전공단 산업안전보건연구원 · *일본 산업안전연구소 · **용진기업

1. 서론

정전기 방전에 의한 재해의 방지, 생산효율의 향상, 정전기 방전에 민감한 전자소자의 보호 등을 위하여 정전기의 제거는 여러 가지 생산공정에 있어서 필요하다. 더욱이 최근의 제조기술의 발달과 더불어 전자소자 등의 파괴전압이 낮아지기 때문에 허용되는 정전기의 대전 레벨이 10 V 이하로 낮아지고 있다. 안전성과 경제성으로부터 많이 이용되고 있는 코로나 방전 제전기는 이미 널리 이용되고 있는 기술이나, 이온원으로서 글로우 방전을 이용한 제전기는 최근에 와서 많이 연구되고 있다^[1].

본 논문에서는 코로나 방전에 비해 낮은 방전유지전압, 자속방전 및 오존생성이 발생하지 않는 특징을 갖는 글로우 방전을 대기압 하에서 발생시키는 메커니즘과 이를 제전기 등에 응용하기 위한 점화위험성 등을 실험장치의 구성과 실험을 통하여 고찰하고자 한다.

2. 글로우 방전의 메커니즘

글로우 방전의 발생 메커니즘은 초전도 현상의 발견과 같이 그 이론은 오래 전에 발표되었지만 이를 상온·상압 하에서 발생시키는 글로우 방전 기술은 1986년 무렵부터 제안되기 시작하였다. 글로우 방전은 일반적으로 100 Torr 이하의 압력에서 잘 발생된다^[2]. 그러나 대기압에서 글로우 방전은 다음과 같은 조건일 때 발생된다.

- 1 kHz 이상의 전원 이용
- 2개의 금속전극 사이에 유전체 판 삽입
- 헬륨 희석가스 사용

이때의 글로우 방전은 가스종류, 가스압력, 방전 갭의 길이 및 과전압(Over Voltage) 등에 의존한다^{[2]~[5]}.

그림 2는 글로우 방전의 전압과 전류의 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 글로우 방전이 발생하는 전류는 수 십 내지 수 백 mA로서 이때 방전전압은 일정하게 유지되는 정전압 특성을 가진 자속방전(Self-Sustain)이다.

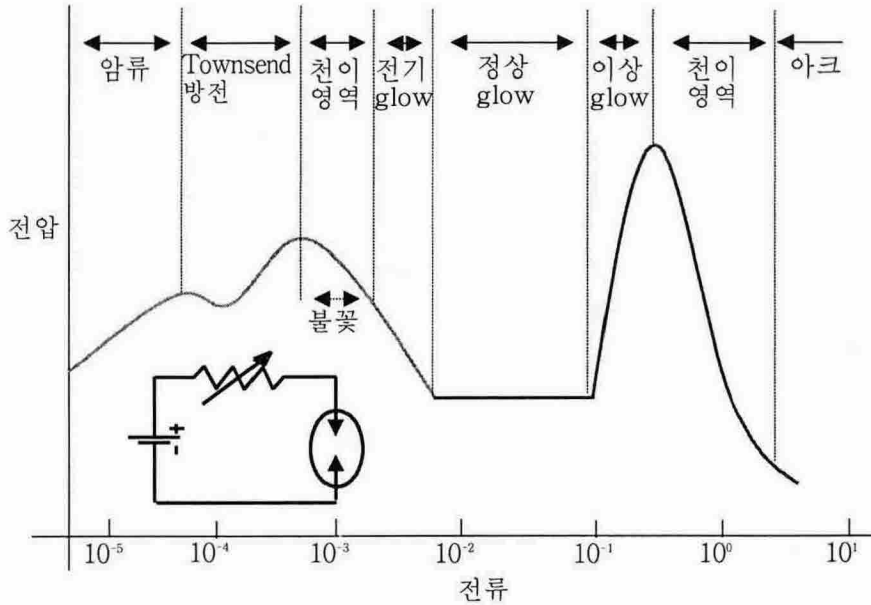


그림 2. 글로우 방전의 전압-전류 특성

3. 글로우 방전의 점화위험성^[6]

최소점화에너지(MIE)의 측정장치로는 아크방전을 주로 이용한다. 이는 방전에너지(전압×전류)가 일시에 가연성 물질로의 점화에너지로 전달되기 때문에 효과적인 점화원으로 작용한다. 그러나 글로우 방전을 이용한 제전기기에 있어서 글로우 방전에너지와 아크 방전에너지가 점화원의 에너지로 어느 정도 차이가 있는가를 확인할 필요가 있다. 본 논문에서는 이를 규명하고자 실험장치를 구성하여 확인하고자 하였다.

3.1 실험장치의 구성

그림 3은 방전지속시간 제어형 점화실험의 회로도이다. 불꽃방전에서는 방전시간을 제어하는 것은 곤란하기 때문에 점화원으로서 자속방전인 글로우 및 아크 방전을 이용하는 것이 효과적이다.

FET를 이용한 Push-Pull의 900 V의 가변 통전시간의 스위칭 회로를 이용하였다. 이것에 의해 자속방전인 글로우 또는 아크방전을 펄스형태로 발생시킬 수 있었으며, 방전 전류(전류제한저항 또는 전원전압)와 방전시간(FET의 게이트에 주어지는 펄스폭)을 변화시키는 것에 의해 방전에너지를 제어할 수 있다.

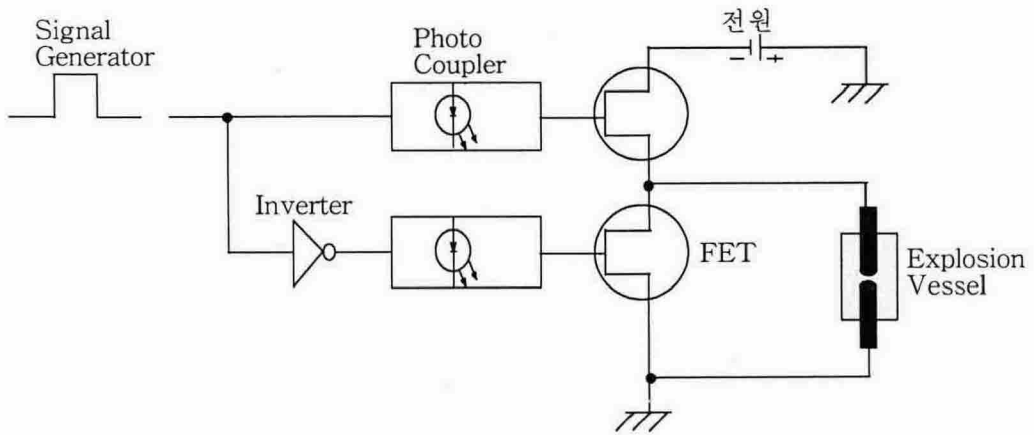


그림 3.1 방전지속시간 제어형 점화실험 회로도

3.2 실험방법

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

3.3 실험결과

그림 4는 90 μ s의 방전지속시간에서 방전전류를 0.8~10 A까지 변화를 주어 측정된 점화에너지의 분포를 나타낸 것이다. 각 구간에서의 실험회수는 각각 30회로 하였다.

그림 4에서 방전전류가 10 A 이상부터는 점화에너지가 증가하는 것으로 나타났으며, 또한 0.8 A, 1 A에서는 글로우 방전에 의한 점화가 발생되었다. 이로서 동일한 압력에서 글로우 방전이 발생하는 방전지속시간과 전류와의 관계를 알 수 있었으며, 동일한 실험조건에서 글로우 방전은 아크 방전보다 점화에 필요로 하는 에너지가 크다는 것을 알 수 있었다. 더욱이 글로우 방전전류가 0.8 A 이하에서는 점화에너지가 더욱 커질 것으로 판단된다. 따라서 이러한 현상을 제전기 등의 산업현장으로 응용은 매우 유리하다.

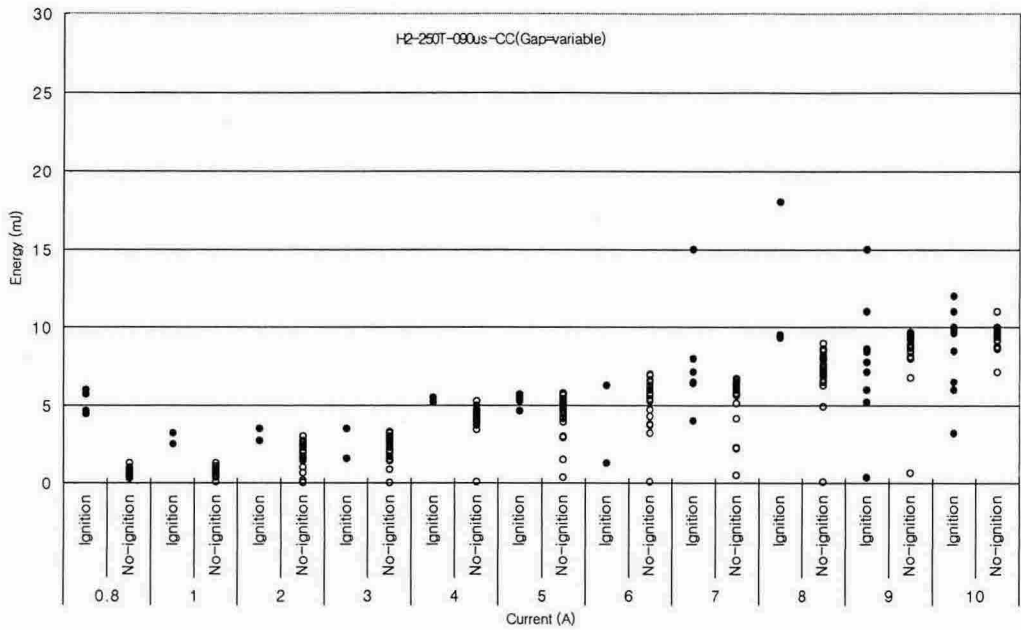


그림 4. 방전전류의 변화에 따른 점화에너지의 분포도

4. 대기압 하에서의 글로우 방전 메커니즘

4.1 실험장치의 구성

다음 그림 5는 대기압 하에서의 글로우 방전을 발생시키는 회로 구성도를 나타낸 것이다. 여기서 Pulse/Function Generator, Amplifier(10kV AC/DC), Variable Resistor(20W/10 kΩ) 및 Oscilloscope를 사용하였다.

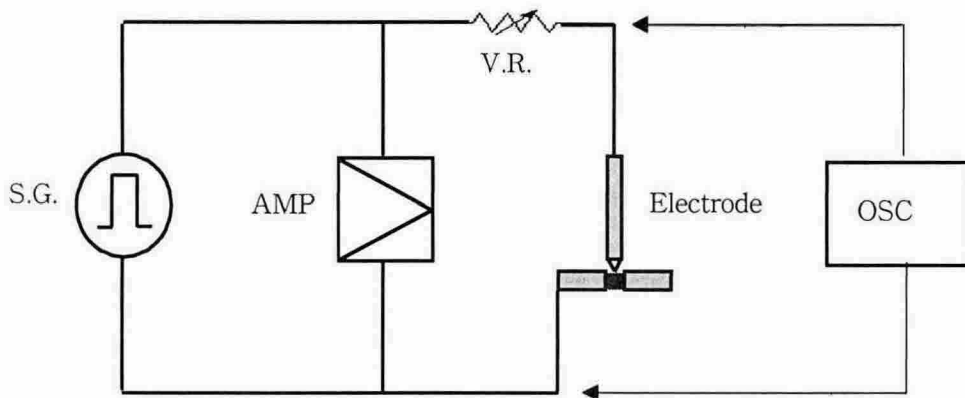


그림 5. 글로우 방전 발생 회로의 구성도

4.2 실험결과

그림 6은 글로우 방전전압·전류 파형을 나타낸 것이다. 방전전압 및 전류파형은 전형적인 글로우 방전을 유지하고 있음을 나타내고 있다.

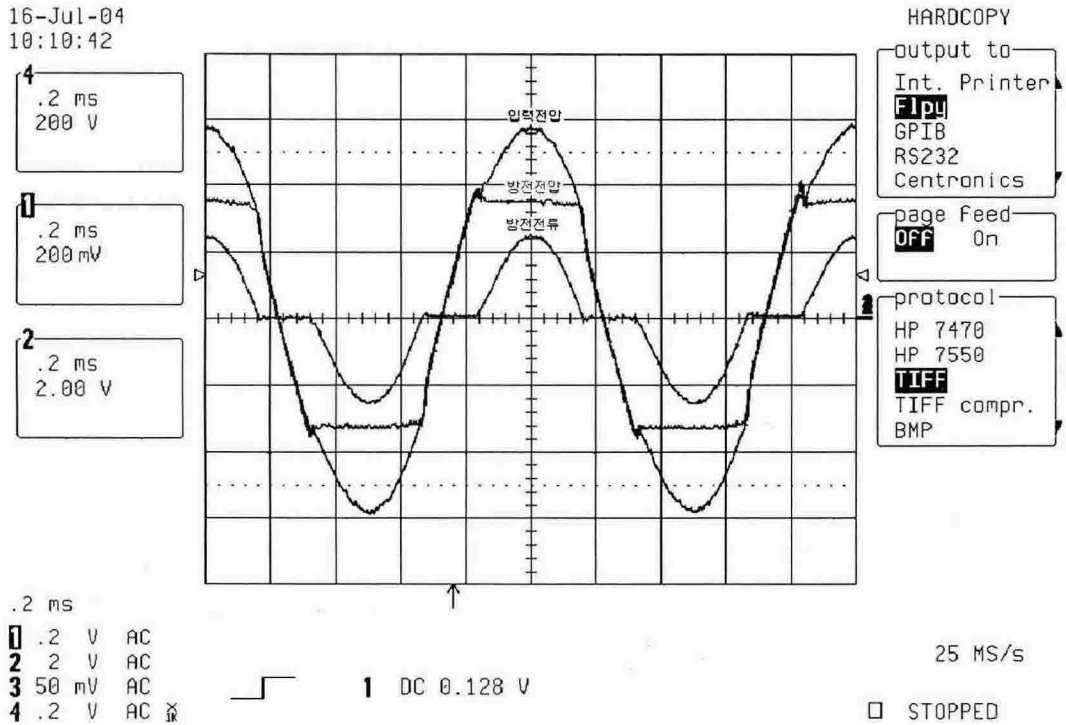


그림 6. 글로우 방전의 전압·전류 파형

5. 결론

본 논문에서는 낮은 방전전압, 오존생성이 발생하지 않는 글로우 방전을 대기압 하에서 발생시키는 메커니즘과 이를 제전기에 응용하기 위한 점화위험성 등을 실험장치의 구성과 실험을 통하여 고찰하였다. 이를 정리해 보면 다음과 같다.

- (1) 글로우 방전은 방전지속시간 $90 \mu\text{s}$, 방전전류 0.8 A, 1 A에서 점화가 발생되었으며, 동일한 조건의 아크방전에 비하여 점화에너지는 높게 나타났다. 아울러 이 이하의 방전전류에서는 점화에너지가 더 높을 것으로 판단된다.
- (2) 교류전원(1 kHz)을 이용하여 대기압 하에서 글로우 방전의 전형적인 특성을 얻을 수 있었다.
- (3) 대기압 하에서 글로우 방전 메커니즘은 제전기 등에 유용하게 이용될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] A. Ohsawa, "Neutralization of Static Charge by an Atmospheric Pressure Glow Discharge", 산업안전보건연구원 한·일공동 세미나 발표자료집, pp. 45-51, 2003.
- [2] 電氣學會放電ヘンドブック出版委員會編, 放電ヘンドブック, pp. 150-152, 1999.
- [3] Satico Okazaki et al., "Appearance of Stable Glow Discharge in Air, Argon, Oxygen and Nitrogen at Atmospheric Pressure Using at 50 Hz Source", J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 26, No. 5, pp. 889-892, 1993.
- [4] Nicolas Cherardi and Francoise Massines, "Mechanisms Controlling the Transition from Glow Silent Discharge to the Streamer Discharge in Nitrogen", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol. 29, No. 3, pp. 536-544, 2001.
- [5] E. E. Kunhardt, "Generation of Large-Volume, Atmospheric-Pressure, Nonequilibrium Plasmas", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol. 28, No. 1, pp. 189-200, 2000.
- [6] 최상원, 大澤 敦, "방전에너지 제어에 의한 최소점화에너지의 고찰", 한국산업안전학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 303-308, 2003.