

단 신

관통형 속 빈 음극관 글로우 방전의 압력 변화에 따른
특성 및 안정도 향상을 위한 연구

李相千* · 崔振永 · 金泰映 · 趙範來[†]

경남대학교 공과대학 정밀화학공학부

[†]계명대학교 공과대학 재료공학과

(1999. 5. 12 접수)

Studies on Pressure Dependency and Plasma Stability of
See-through Hollow Cathode Glow Discharge

Sang Chun Lee*, Jin-young Choi, Tae-young Kim, and Bum Rae Cho[†]

Division of Chemistry and Chemical Engineering, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

[†]Department of Material Engineering, Keimyung University, Taegu 704-701, Korea

(Received May 12, 1999)

1900년대 초반, Paschen¹에 의하여 그 특성이 연구되어지기 시작한 속 빈 음극관 글로우 방전(Hollow Cathode Glow Discharge)은 원자 분광분야에 주 방출 광원으로써 매우 급속한 연구 발전을 가져오게 되었는데, 이것은 자체적으로 유도되어진 속 빈 음극관 효과²와, 다른 방출광원에 비하여 적은 매트릭스 효과^{3,4}를 가지며, 매우 얇은 스펙트럼 선 폭을 방출하고, 매우 경제적인 이동 분광장치 제작에 유용한 장점⁵을 가졌다고 많은 연구자들로부터 인정받아 왔기 때문이다. 그러나 실제 적용에 있어서 광원의 불안정한 요소에 의하여 얻어지는 결과의 정확도가 비교적 낮은 것이 문제점으로 발견되어져⁶ 약간의 제한이 따르게 되었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법들이 여러 연구자들에 의하여 개발되어 졌다. 그 중 대표적인 방법으로 초기 Paschen¹에 의하여 시도되어, 1950년대에 White⁷에 의하여 사용되어진 유사성 법칙²에 기초한 파괴전압 측정값을 이용한 것이 있는데, 이것은 Sturges 연구그룹⁸이 언급한 Allis-White scaling law로 응용되어졌으며, 최근 몇몇 연구자^{9,10}들에 의하여 속 빈 음극 방전의 특성 조사 및 안정성을 검증하기 위한 수단으로 이 독특한 방법이 사용되어졌다.

1980년대 초에 Pillow¹¹는 속 빈 음극의 경우는, 압력과 지름(pd)측정값에 의존할 이유가 없다고 주장

하였으나, 그 논문에 제시되어진 대부분의 자료가 특정 환경에서, 음극관의 지름이 매우 큰 방전에 국한되어지고, 최근 발표^{9,10}에 의하면 음극관의 지름이 적은, 저압하의 환경에서는 이러한 pd특성이 비교적 잘 적용되어 지는 것을 확인할 수 있으므로, 본 실험에서는 실험실 내에서 제작되어진 관통형 속 빈 음극관 글로우 방전(See-through Hollow Cathode Glow Discharge)셀을 이용하여, 실제 작동환경인 Ar 기체 내에서 압력에 따른 파괴 전압을 측정하여 pd 측정값을 산출하고, 이러한 특성검사 방법이 유용한 방법인지를 같은 환경에서의 기체 및 증금속의 스펙트럼 세기 및 플라즈마 내의 전압변화 등을 측정하여 얻어진 결과를 통하여 검토한다. 특히 전에 발표되어진 속 빈 음극의 형태는 내부가 평행하지 않은 동공형이거나 기체의 흐름이 음극 내부를 통과하지 않는 컵형^{9,10}이 대부분이다. 따라서 이 경우와 같이 기체의 흐름이 직접 음극을 통과하는 형태에서의 플라즈마 안정도도 역시 함께 논의되어진다.

실 험

본 실험에서 사용되어진 St-HCGD의 구조는 Fig. 1과 같다. 시료 도입 시, 전열기화장치(Electrothermal Vaporizer)를 사용할 수 있도록 고안되어져, 기체의 흐

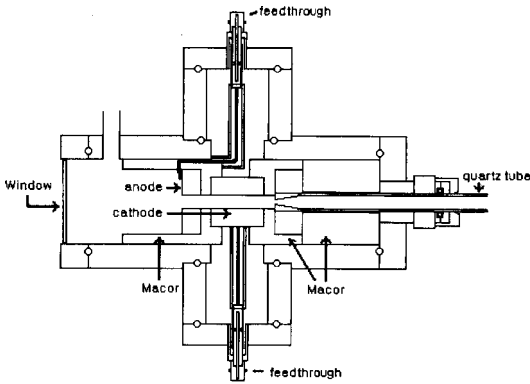


Fig. 1. Structure of a see-through hollow cathode glow discharge cell.

를 방향이 반드시 음극 내부를 통과하게 되어 있으며, 그 외에 직접 도입도 가능하도록 외부 개폐 윈도우도 장착되어 있다.

음극의 지름은 1 mm, 2 mm, 4 mm 등을 사용하였으며, 음극의 길이는 10 mm의 것을 사용하였다. 재질은 스테인레스 스틸을 사용하였으며, 튜브가 아닌 블록을 직접 제작하여 사용하였다. 기체의 흐름 차단을 위한 방법으로 Macor[®]를 사용하였으며, 경우에 따라 방전 특성이 미치지 않는 곳은 가공성 세라믹을 사용하여 장착하였다.

Fig. 2에는 전체적인 실험 장치 구조를 나타내었다. 본 장치의 특성중 하나인 이동 및 운반 용이성을 최대한 살리기 위하여 구성 장비를 소형 특화장치로 조직하였다. 전원 공급장치로는 한국스위칭사(KCS)의 전원공급장치(Pos. 2 KV, 250 mA)를 사용하였으며, ETV용 전원공급 장치로는 KSC 전원공급장치(Pos. 30 V, 50 A)를 사용하였다. 기체는 Ar(유니온 가스사, 순도 99.999%)를 사용하였고, 실험실에서 제작한 ETV를 사용하였다. 그 구조는 Fig. 3에 나타

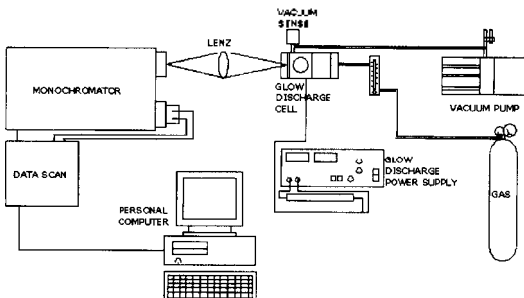


Fig. 2. Schematic diagram of experimental set-up.

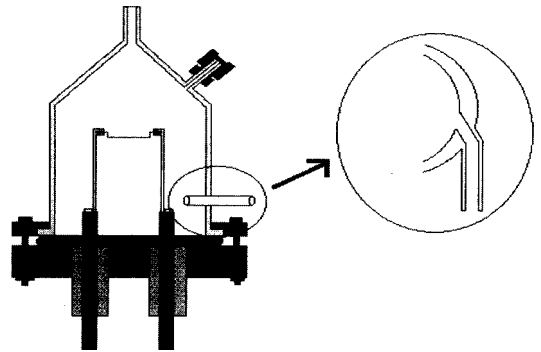


Fig. 3. Schematic of an electro-thermal vaporizer (ETV) and electrodes.

나 있다. ETV에 사용된 전원공급 부분은 Electrical Feedthrough(MDC Inc. part Number 640002)를 사용하였으며, 필라멘트는 탄탈(Aldrich Chem. Co. Ta 99.9+%, 0.025 mm)호일을 사용하였다. 진공펌프는 Alcatel 2002BB를 사용하여 1-2 torr의 진공을 유지하였다. 내부압력을 측정하기 위하여 Verian[®] Vacuum Controller와 MKS[®] Gauge가 사용되어졌으며, 기체의 흐름 양을 조절하기 위해서 St-HCGD 셀 내로 Ar 가스를 넣어 주는 부분과 진공 펌프로 가는 부분에 Needle Valve를 사용하였다. 압력에 따른 철(Fe 385.99 nm)의 방출세기를 측정하기 위해 분광기는 SPEX 270(Jobin Yvon Optical systems Instruments SA, Inc.)을 사용하였으며, 검출기는 PMT(Hamamatsu R636)를 사용하였다. 압력에 따른 플라스마 내의 1/f 잡음 변화를 측정하기 위해서 밸리스트 저항을 이용한 간단한 회로를 만들었으며, 측정 은 오실로스코프(LeCroy 9310A)를 이용하였다.

결과 및 결론

압력에 따른 파괴전압의 변화는 Fig. 4와 같이 나타났으며, 또한 pd 측정치에 따른 파괴전압(V_B)의 변화는 Fig. 5와 같이 나타나 이 모습이 Paschen 곡선^{1,8,9}을 이룸을 알 수 있다. 따라서 다른 글로우 방전과 같이 최적의 V_B 를 갖는 지점을 가지게 되며, 이 지점이 그 조건에서 가지는 음극의 지름에 가장 알맞은 압력의 환경이라는 사실을 알 수 있는데, 이것은 Williams의 연구 결과⁹에서의 언급한 것과 같이 그 지점보다 낮은 압력(낮은 pd값)인 경우, 개개의 전자의 평균 자유 행로는 충분히 확보되어져 있

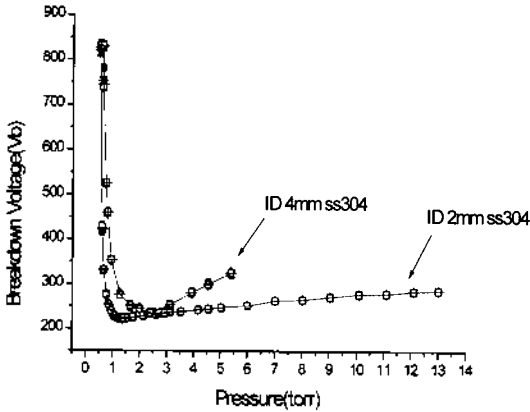


Fig. 4. Variation of breakdown voltage due to internal pressure change.

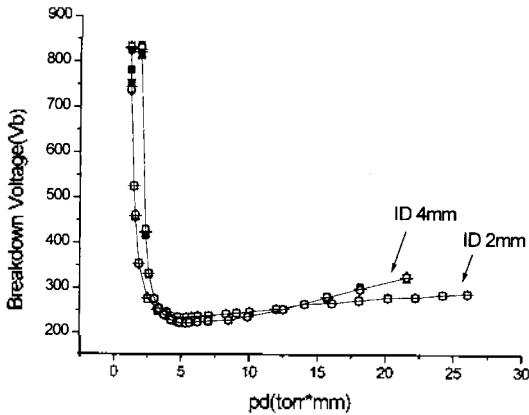


Fig. 5. Variation of breakdown voltage due to pd values.

나, 음극 내의 기체 밀도가 낮아서 충분한 에너지가 확보되지 못한 것으로 보이며, 반대로 압력이 높은 경우, 기체의 밀도는 충분하나 전자에 대한 평균 자유 행로가 확보되지 못하여 에너지 전이가 활발하게 일어나지 못한 것으로 보여진다.

따라서 기체 방전을 유지하는데 가장 적당한 조건으로 이 V_B 가 가장 낮은 지점이라는 결론을 유추할 수 있으며, Fig. 6에서와 같이 압력에 따른 음극 내의 전압 변화($1/f$ Noise:Pk to Pk)는 이러한 사실에 힘을 실어주고 있다. 참고로 실제 상용화되어진 속 빈 음극 램프는 전극 내 $1/f$ 잡음이 약 5 mV 미만이며, 이 조건에서 본 실험에 사용되어진 셀을 가지고 얻은 결과 값은 약 1 mV로 상용화되어진 것과 유사하거나 더 우수한 결과 값을 가짐을 알 수 있다.

또한, Fig. 7에서 보는 바와 같이, 가장 낮은 V_B 값

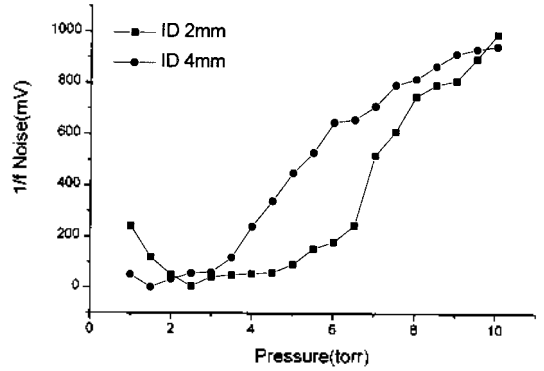


Fig. 6. A plot of $1/f$ noise versus internal pressure.

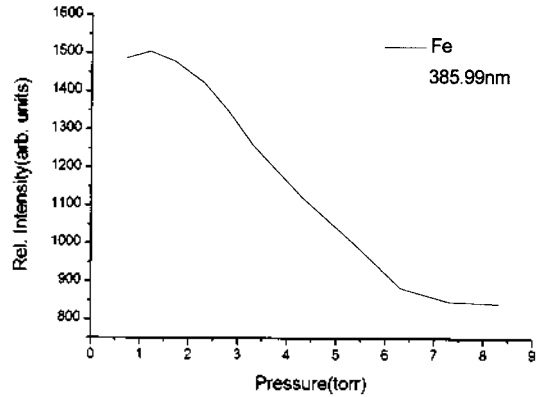


Fig. 7. Variation of Fe emission intensities measured at 385.99 nm due to the change of internal pressure.

을 가지는 지점에서 가장 높은 방출 신호 세기를 가짐을 보이고 있다. 이 신호들은 모두 압력 이외에 동일한 조건으로 측정되어진 신호들의 방출 스펙트럼이다.

위의 결과들을 종합하여 보면, 본 실험에 사용되어진 St-HCGD에 대하여 유사성 법칙에 기초한 V_B 추정 방법이 이 방전의 안정성을 측정하고 확인 할 수 있는 중요한 방법이 되어질 수 있음을 확인하였으며, 방출 스펙트럼 및 플라즈마 내부 전압 변화 측정을 통한 결과로 이러한 사실을 확인 할 수 있었다. 또한, 유사성 법칙에 기초한 Allis-White scaling law의 적용이 가능해 지므로, 전극의 크기 및 구조가 변화하더라도 어느 정도 그 특성의 변화를 예측 할 수 있을 것으로 기대되어진다. 현재 사용한 재질이 스테인레스 스틸이며, 기체의 종류가 Ar 가스로 국한되었고, 음극 길이나 재질이 고정되어져 있었으나, 음극 및 양극의 재질이나 기체의 종류에 따라 많

은 변화가 있을 것으로 보여진다. 따라서 이러한 변수에 대한 실험이 좀더 필요하며, 좀더 낮은 압력에서 보다 큰 지름의 전극을 사용한 연구도 이루어지게 될 것이다.

본 연구는 1998년도 보건복지부 과제(HMP-98-F-1-0002)의 연구비에 의하여 수행되어 졌으므로 이에 감사 드리는 바이다. 또한 일부의 연구는 한국원자력연구소의 지원에 의하여 이루어 졌음에 이에 감사하는 바이다.

인 용 문 헌

1. F. Paschen *Ann. Phys.* **1916**, *901*, 50.
2. R. K. Mascus *Glow Discharge Spectroscopies*; Plenum Press: New York, 1993; p 24.
3. S. Caroli; O. Senofonte *Analyst* **1983**, *108*, 196.
4. S. Caroli; A. Alimonti *Anal. Chim. Acta* **1982**, *136*, 269.
5. S. Lee *Food Eng. Prog.* **1998**, *2*, 17.
6. P. J. Slevin; W. W. Harrison *Appl. Spectrosc. Rev.* **1975**, *10*, 201.
7. A. D. White *J. Appl. Phys.* **1959**, *30*, 711.
8. D. J. Sturges; H. J. Oskam *J. Appl. Phys.* **1964**, *35*, 2887.
9. P. D. Mixon; S. T. Griffin *Appl. Spectrosc.* **1993**, *47*, 1567.
10. J. C. Williams; J. Y. Kung *Appl. Spectrosc.* **1995**, *49*, 1705.
11. M. E. Pillow *Spectrochim. Acta* **1981**, *36B*, 821.