

구형 집속빔 핵융합 장치 방전의 전자적 광학적 측정

박정호, 주흥진, *고광철

한양대학교 전기공학과, *한양대학교 전기제어생체공학부

Electronic and Optical Measurement of Discharge in Spherically Convergent Beam Fusion Device

Jeong-Ho Park, Heung-Jin Ju, *Kwang-Cheol Ko

Dept. of Electrical Eng., Hanyang Univ, *Div. of Electricity & Control Biomedical Eng., Hanyang Univ.

Abstract - 중성자 발생을 위한 구형 집속빔 핵융합 장치 방전의 실험적 결과들이 제시되었다. 실험 장치는 직경 22cm, 높이 20cm의 진공용기 안에 동심원적으로 위치한 구형 양극과 grid 음극으로 구성된다. 진공용기에 아르곤 기체를 주입하고, grid 음극에 펄스 전압을 인가하여 방전을 발생시켰다. 다양한 grid 음극에 대한 방전의 실험적 결과들이 전자적, 광학적으로 측정되었다.

1. 서 론

바깥쪽의 구형 양극과 동심원적으로 위치한 안쪽의 grid 음극 사이에서 글로 방전을 일으키고 이때 발생된 이온을 음극 안쪽으로 가속시켜 서로 반대 방향의 이온이 충돌하여 핵융합 반응을 일으키는 구형 집속빔 핵융합 장치는 tokamak, laser fusion과 같은 다른 핵융합 장치들과 달리 장치 구성이 매우 간단하고 소형이며 경제적이다. 구형 집속빔 핵융합 장치가 가지는 이와 같은 특징 때문에 휴대용의 중성자원으로써의 개발 가능성을 지니고 있다. 구형 집속빔 핵융합 장치의 개념은 1950년대 텔레비전 발명자인 Farnsworth에 의해 처음으로 도입되었고[1], 실험적인 연구는 1970년대에 Hirsch에 행하여졌다[2]. 근래에는 일리노이 대학의 연구진에 의해 grid 형태의 음극을 갖는 간단한 장치를 이용하여 초당 10⁷ 정도의 정상상태 D-D 중성자 발생을 입증하였고, 구의 중심부에서 방전이 바렛살 모양으로 뿔어나가는 star mode 방전을 발견하였다[3].

본 논문에서는 실험장치내에 아르곤 기체를 주입하고 grid 음극에 펄스 전압을 인가하였을 때, 발생하는 실험적인 결과들을 전자적, 광학적으로 측정하였다.

2. 본 론

2.1 실험적인 구성

구형 집속빔 핵융합 장치의 실험적인 구성은 그림 1과 같다.

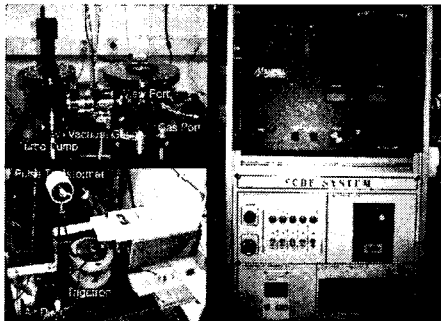


그림 1. 실험장치의 사진

2.1.1 펄스파워의 발생

펄스파워는 주어진 에너지를 극히 짧은 시간 내에 부하에 방출시킴으로써 얻어질 수 있다. 167W로 10분간 공급한 에너지를 100ns의 펄스폭으로 압축하면 약 1TW를 얻을 수 있다. 펄스파워의 특징은 대전력이며, 상승시간이 빠르고, 펄스폭이 짧다. 펄스파워를 발생시키기 위한 시스템은 전원, 에너지 저장장치, 스위치 및 부하로 구성된다. 이러한 펄스파워 시스템에서의 핵심요소는 고밀도, 고효율의 에너지 저장장치와 축적된 에너지를 부하에 전달하는 효율적인 수단인 스위치라 할 수 있다. 펄스파워 발생을 위해 사용되는 스위치는 커패시터와 같은 전압형 에너지 저장장치를 갖는 시스템에 사용되는 단락 스위치와 인덕터와 같은 전류형 에너지 저장장치를 갖는 시스템에 사용되는 개방 스위치로 크게 나눌 수 있다. 본 연구에서는 펄스파워 발생을 위해 에너지 저장장치로는 커패시터를 스위치는 트리가트론을 사용하였다.

2.1.2 에너지 저장장치

펄스 파워를 발생시키기 위한 에너지 저장장치로는 50[kV]까지 충전 가능한 0.1[μF]의 전압형 에너지 저장장치인 커패시터를 사용하였다. 커패시터의 충전은 50[kV], 2[kJ/s]의 용량을 가지고 있는 CCDS Power Supply를 이용하였다.

2.1.3 스위치

커패시터에 충전된 에너지를 부하로 전달하는 단락 스위치로 본 연구에서는 트리가트론을 사용하였다. 펄스파워 시스템에서 트리가트론을 쓰는 주된 이유는 높은 전압전압, 절연파괴까지의 짧은 지연시간, 지연 시간에서의 작은 변동 및 빠른 전압 붕괴 시간 때문이다[4].

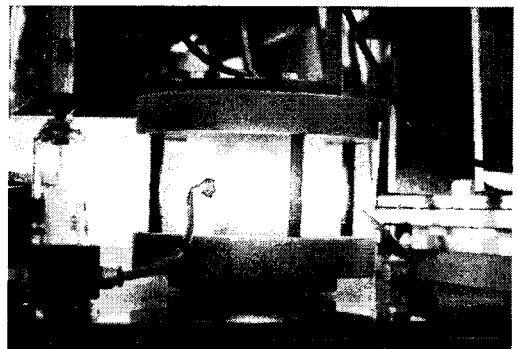


그림 2. 트리가트론 스위치

트리가트론은 두 개의 주전극 외에 트리거 입력을 위한 트리거 전극을 갖는 스위치로 전극 사이의 간격은

5[mm]로 하였다. 높은 전압을 전달하기 위해서는 스위치 내부의 절연과피 전압을 높여야 하고, 절연과피 전압을 높이기 위해서는 압력을 높여야 한다. 스위치 내부의 압력을 높이기 위해 컴프레서를 이용하였고, 주입되는 공기에 습기가 포함되어 스위치의 절연과피 전압을 낮추는 것을 막기 위하여 컴프레서와 스위치 사이에 공기 건조기를 설치하였다. 25[kV] 전압을 인가하기 위해서 스위치 내부의 압력을 약 290[kPa] 정도로 하였다. 스위치가 동작할 때의 모습이 그림 2에 보여 진다.

2.1.4 펄스 발생기

트리거트론 스위치 구동을 위한 트리거 펄스 입력을 위하여 500[V] 출력의 음펄스 발생기를 제작하였다. 220[V]의 입력 전압을 440[V]로 승압한 후, 정류회로를 통해 정류시켜 반도체 스위치인 thristor로 펄스를 발생하였다. 발생된 펄스는 그림 3과 같다.

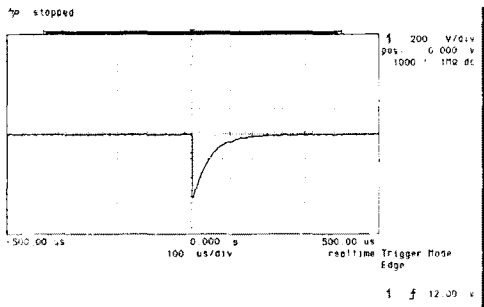


그림 3. 펄스 발생기의 출력파형

2.1.5 펄스 변압기

스위치를 작동시키기 위한 충분한 전압을 인가하기 위하여 펄스 발생기에서 발생한 전압을 승압하는 펄스 변압기를 제작하였다. 펄스 변압기는 매우 높은 전력 범위 또는 고전압에서 동작되기 때문에 코어 포화 현상을 피해야 하고 결국은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 자기 코어가 없는 공심 변압기로 사용한다. 공심 변압기에서는 1차측과 2차측 권선 사이의 충분한 쇄교 자속을 얻기 위하여, 권선들은 서로 매우 밀접하게 감겨 있어야 한다. 가능한 한 2차측에 얇은 권선을 사용하는 이유도 같은 맥락에서이다. 그림에도 불구하고 공심 변압기에서의 결합계수는 자기 코어가 있는 변압기보다 작다. 하지만 자기 코어 변압기에서 나타나는 주파수 제한이 없어 수 MHz의 주파수 범위에서도 사용할 수 있는 장점이 있다[5].

2.1.6 실험 장치

실험 장치는 직경 22[cm], 높이 20[cm]의 진공용기 내에 위치한 직경 20[cm]의 스테인리스 스틸 망으로 만들어진 구형 양극과 2[mm] 스테인리스 스틸 와이어로 만

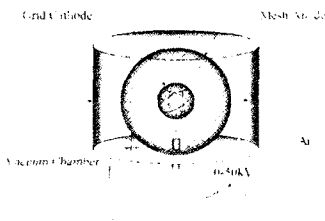


그림 4. 실험장치의 개략도

는 grid 음극으로 구성된다. 진공 용기에는 방전 현상 관측을 위한 관측포트, 기체 주입을 위한 가스주입포트, 배기를 위한 배기포트, 압력 측정을 위한 포트가 있고 아래쪽으로 전압 인가를 위한 포트가 있다. 로터리 펌프와 터보분자펌프를 이용하여 실험장치 내부를 진공상태로 만든 후, 아르곤 기체를 주입하여 일정 압력을 유지하였다.

2.2 방전실험

커패시터에 충전된 양의 전압을 스위치와 다이오드를 이용하여 음의 펄스 전압으로 전환하여 음극에 인가하였다. 음의 펄스 전압을 음극에 인가하기 위한 회로는 그림 5와 같다. 25[kV]의 음의 펄스 전압 인가 시 Ar 기체로 인한 보라색의 플라즈마 방전 현상을 관측할 수 있었다.

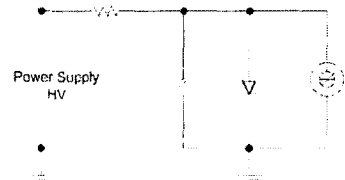
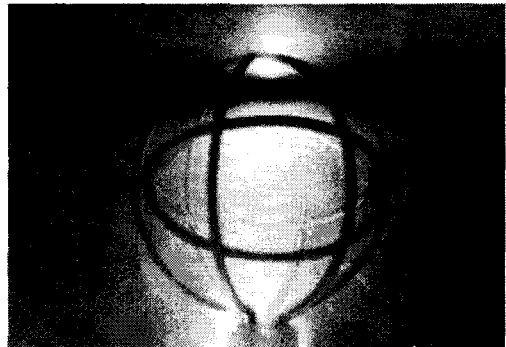


그림 5. 음의 펄스전압 인가 회로도



(a) 5[cm] grid 음극



(b) 7[cm] grid 음극

그림 6. 5ring으로 구성된 음극 grid의 방전사진

다양한 형태와 크기의 음극 grid에 대한 방전 현상을 관측하였다. 5개의 ring으로 구성된 5[cm] grid 음극의 경우, 음극의 윗부분과 아랫부분에서 좀 더 밝은 빛을

발하기는 하지만 전체적으로 방사성 방향으로 향하는 star mode 방전 현상을 관측할 수 있었다. 마찬가지로, 5개의 ring으로 구성된 7[cm]의 grid 음극의 경우에는, 5[cm] 크기의 음극처럼 뚜렷한 star mode 방전 현상을 보이지는 않지만 중심에서 약간 좌측 아래로 집중된 방전을 관측할 수 있다. 이것은 양극과 음극의 표면 상태와 대칭성에서 기인한 문제인 것으로 보이며, 그러한 문제점들을 해결하면 목표로 하는 star mode 방전을 일으킬 수 있을 것으로 사료된다.

2.3 모의실험

하전입자의 운동 및 atomic process를 MCM(Monte Carlo Method)을 이용하여 방전현상을 모의하였다. 초기 조건으로 에너지가 0[eV]인 중수소 이온(D^+ , D_2^+)과 빠른 중성입자(D^0 , D_2^0) 및 전자를 각각 2,000개씩 무작위로 분포시켰고, grid 음극에 -40[kV]의 전압을 인가하였으며, 장치내의 압력은 1.33[Pa]로 하였다. 또한 이온이 음극에 유입될 때마다 이차전자를 발생시켜 방전이 지속되도록 하였다. 그림 7은 4개의 ring으로 구성된 grid 음극에서 D_2^+ 이온의 궤도를 추적한 것이다. 구 중심에서 방사성 방향으로 향하는 star mode 현상을 확인할 수 있다.

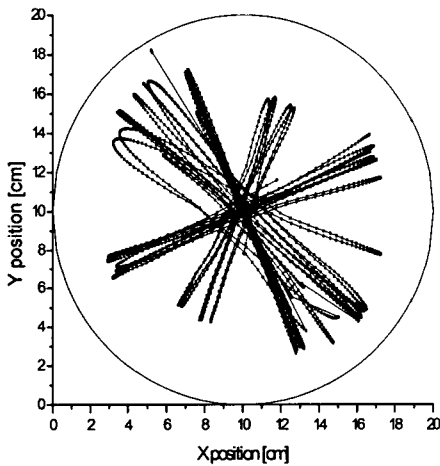


그림 7. D_2^+ 이온의 궤도

3. 결 론

구형 집속빔 핵융합 장치의 음극에 펄스전압을 인가하였을 때 발생하는 방전현상을 관측하였고, 모의실험을 통하여 중수소 이온의 궤도를 추적하였다. 실험과 모의실험 모두에서 방사성 방향으로 향하는 star mode 방전 현상을 관측할 수 있었다.

실험장치내의 붕입 기체로 아르곤 대신에 중수소를 사용하면 중성자가 발생될 것이다. 발생하는 중성자의 양은 방전이 일어날 때 흐르는 방전전류에 비례한다. 차후에는 모의실험결과와 실험결과를 비교, 분석하여 음극 grid의 기하학적 구조와 대칭성을 변화시키면서 방전전류의 증대 방안을 모색할 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] P. Farnsworth, "Electric discharge device for producing interactions between nuclei", U.S. Patent, June 28, 1966
 [2] R. Hirsch, "Inertial-Electrostatic Confinement of Ionized Fusion Gases", J. Appl. Phys., vol 38, p. 4522, 1967

[3] G. H. Miley et al, "Inertial-Electrostatic Confinement Neutron/Proton Source", American Institute of Physics, p. 675, 1994
 [4] Scott J. MacGregor et al, "The Influence of Polarity on Trigatron Switching Performance", IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 25 No. 2, p. 8-123, 1997
 [5] Paul W. Smith, "Transient Electronics", p. 154, 2002