

## 자화플라즈마 파라메타 측정을 위한 고속 푸르브 구동회로 제작 및 응용에 관한 연구

김두환, 이우근, 김규섭, 박차수\*, 조정수, 박정후  
부산대 전기공학과, \* 한국전력공사

### A Study on the Fabrication of Fast Probe Driving Circuit for measurement of Parameters and Application in Magnetoplasma

D.H. Kim<sup>o</sup>, W.G. Lee, K.S. Kim, C.S. Park\*, J.S. Cho, C.H. Park  
Department of Electrical Engineering, Pusan National University  
\* KEPC

**Abstract** - In this paper, we make the fast probe driving circuit system which can complete the measurement of parameters in Magnetoplasma before the plasma changes.

In addition, we find that when magnetic field is increased, probe characteristics shows a negative characteristics.

#### 1. 서론

Langmuir 푸르브법은 전자파법 및 광학법에 비해 공간적인 분해능이 우수함과 더불어 측정원리와 회로구성이 간단하고 간편한 장점을 가지고 있어 많은 연구자들에 의해 이용되고 있다.[1]

그러나 이방법으로 플라즈마의 파라메타들인 전자 온도, 전자밀도 등을 구하는데 있어서 가장 큰 문제점은 푸르브로서 플라즈마 파라메타를 측정하고 있는 중에 플라즈마의 상태가 변한다는 점이다.[2]

따라서 이와같은 문제점을 해결할 수 있는 방법으로는 플라즈마의 상태가 변하기 전에 푸르브 측정을 끝낼 수 있는 고속측정(quick measurement)을 실현할 수 있는 푸르브 구동회로를 구성하는 것이다.[2]

한편, 많은 연구자들에 의해 이와같은 푸르브 구동회로가 제안되고 있지만[2-6], 플라즈마의 푸르브 특성곡선을 완전하게 나타낼 수 있는 스위프 전압의 크기, 스위프 시간, 푸르브에 인가된 스위프 전압이 푸르브의 전류에 의해 감소되지 않는 푸르브 구동회로의 충분한 출력전류용량등을 모두 만족시키는 회로 구성은 아직 개선해야할 여지가 많은 실정이다.

본 연구에서는 컴퓨터와 D/A 변환기를 조합하여 푸르브에 인가될 전압의 크기, 전압의 파형 및 스위프 시간을 컴퓨터 프로그램으로 구현하고, 아울러 OP 앰프로서 D/A 변환기의 출력전압을 증폭시켜 푸르브에 인가될 수 있도록 푸르브 구동시스템을 완성하였고, 이로써 플라즈마의 전자온, 전자밀도등 플라즈마 파라메타를 구할 수 있는 완전한 푸르브 특성곡선을 얻을 수 있었다.

#### 2. 실험 장치

##### 2-1. 자화 플라즈마 발생장치

그림1은 플라즈마의 발생장치의 개략도를 나타내고 있다. 방전전극의 구성은 황동이 제질이며 직경 5cm 인 원판형의 두 전극을 간격 5cm 로 하여 평행 평판형 전극간에 원통형 플라즈마가 형성되도록 하였다. 플라즈마에 가해지는 자계는 진공조 외부에 2개의 코일군으로 나누어 각각 3000회로 감아 코일에 흐르는 전류를 가변시켜 0 - 1000[Gauss] 까지 제어할 수 있도록 하였다. 그리고 발생된 플라즈마에 의한 진공조 내부의 온도 상승을 억제하기 위해 진공조를 2중 수냉벽으로 하였다. 진공조내의 진공도는  $10^{-6}$  Torr까지 초기 배기한 후, MFC(Mass Flow Controller)로서 동작 가스유량을 조절할 수 있었고, 본 실험에서는 아르곤-플라즈마를 연구대상으로 하였다.

##### 2-2. 고속 측정 시스템

그림2는 고속 측정 시스템(램프전압 발생기)의 회로도 나타내고 있다. 그림에서 D/A 변환기는 컴퓨터에서 나오는 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환시켜 주는 것으로서 실험에 사용된 D/A 변환기는 양극성 출력(bipolar output)을 낼 수 있는 PCL-726이며, 푸르브에 인가될 스위프 전압의 크기는 D/A 변환기에서 나오는 아날로그 신호를 OP 앰프(LM 12, National)로써 증폭시켜 +40 - -40[V]로 가변이 되게 하였다. 또한 OP 앰프의 최대 출력전류는 2000[mA]로서 이 전류값은 플라즈마를 부하로서 고려했을 때, 부하의 변동에 대해서도 푸르브에 인가된 OP 앰프의 출력 스위프전압이 변함없이 유지될 수 있는 충분한 전류용량이다.

한편, 본 실험에서 이용된 스위프 전압의 파형은 톱니파로 하였으며, 푸르브에 인가되는 스위프 전압 크기는 컴퓨터의 디지털 출력전압을 조정하여 변화 시킬과 아울러 식(1)로서 표현되는 전체 이득(gain)

을 가감하여 미세 조정이 가능하게 하였다.

$$G = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1} \quad (1)$$

한편, 측정에 사용된 푸르브의 재질은 텅스텐이고, 푸르브의 형상은 원통형(φ0.5mm)으로 제작하였고, 플라즈마에 노출되는 푸르브의 길이는 2mm 였다.

푸르브의 특성곡선은 저장형 오실로스코프(stroage oscilloscope, VC-6275, G.S)의 X-Y 모드에서 관찰 하였다. 이때 푸르브에 인가되는 톱니파 전압은 X축(오실로스코프의 CH1)으로 전송되게 하였고, 푸르브의 전류는 저항R로 통하여 Y축(오실로스코프의 CH2)에 나타내게 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

이상과 같이 제작된 푸르브 및 고속 푸르브 구동시스템을 플라즈마의 파라메타 측정에 적용시켜 얻어진 결과는 그림3, 그림4, 그림5, 그림6등이다.

그림3과 그림4는 방전전류 15mA, 자계 100Gauss 인 조건에서 얻어진 푸르브 특성곡선(그림3) 및 푸르브에 인가된 톱니파 전압에 따른 푸르브 전류를 나타내고 있다.(그림4; A, B 파형: 푸르브에 인가된 톱니파 전압, C, D 파형: 푸르브 전류)

그림3에서 알 수 있듯이 푸르브 특성곡선은 전자온도, 전자밀도등 플라즈마 파라메타를 구할 수 있는 이온포화영역, 천이영역, 전자포화영역등이 왜곡되어 없이 보여주는 거의 전형적인 싱글 푸르브 특성곡선이다.

그림에서 푸르브에 인가된 톱니파 전압에 대해 푸르브 전류가 포화하기 시작하는 전압값(플라즈마 공간전위)은 약 +7[V]임을 알 수 있으며, 아울러 푸르브 전류가 0[A]가 되는 전압값(플라즈마 부동전위)은 +5[V]가 됨을 알 수 있다.

그림4와 그림5는 방전전류 15mA, 자계 150Gauss 인 조건에서 얻어진 결과이다. 그림4에서 알 수 있듯이 플라즈마 공간전위는 그림3 및 그림4와는 달리 +5[V]로 나타났고, 아울러 플라즈마 부동전위는 +3.5[V]가 되었고, 푸르브전류는 감소하였다.

이것으로 원통형 푸르브는 자계 증가에 대해 푸르브 특성곡선이 부특성(negative characteristics)을 보이고 있음을 알 수 있다.[7]

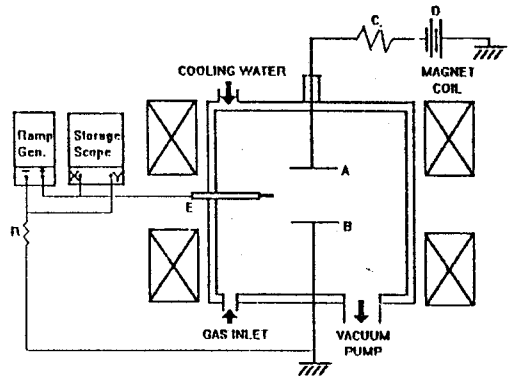
한편, 푸르브에 인가된 톱니파 전압과 톱니파 전압에 따른 푸르브 전류의 파형은 그림4와 그림5에서 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 푸르브에 인가된 스위프 톱니파 전압(그림4의 A, B 파형, 그림5의 C, D 파형)과 그림5의 E, F 파형들은 각각 같게 나타나 있다. 이로써 푸르브의 고속 측정중에 플라즈마의 상태는 변하지 않고 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 싱글 푸르브로써 자화플라즈마를 측정하는 중에 플라즈마의 상태가 변화하여, 플라즈마 파라메타를 정확하게 구할 수 없는 문제점을 고속 푸르브 구동시스템을 제작하고, 이를 이용하여 플라즈마의 상태가 변하기 전에 푸르브 측정을 행하여 거의 전형적인 싱글 푸르브 특성곡선을 얻을 수가 있었으며, 자계의 증가에 대해 원통형 싱글 푸르브 특성곡선은 부특성을 보임을 알 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] Richard H. Huddleston and Stanley L. Leonard Ed., Plasma Diagnostic Techniques, ACADEMIC PRESS, 1965, Chapter 4.
- [2] Fumiyuki Fujita et al., J. J. Appl. Phys., vol. 27(8), p.1477, 1988.
- [3] K. A. Milnes et al., IEEE Trans. on PLASMA SCIENCE, vol. PS-8(2), JUNE, 1980, p.124.
- [4] William D. Friedman, Rev. Sci. Instrum., vol. 42(7), JULY, 1971, p.963
- [5] J. C. Holms, Rev. Sci. Instrum., vol. 46(5), MAY, 1975, p.592
- [6] Steven Cartier and Robert Bosch, Rev. Sci. Instrum., vol. 54(12), DEC., 1983, p.1789
- [7] Toshihiko Dote et al., J. J. Phys. Soc., vol. 19(10), OCT., 1964, p.1915.



A: 필라 B: 탐자 C: 저항 D: 직류전원 E: 푸르브 전압측정 저항  
F: 푸르브 전류측정 저항  
그림1. 플라즈마 발생장치 및 측정 시스템 개략도

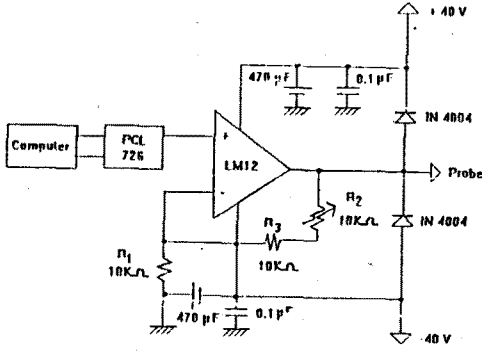


그림2. 푸르브 구동회로 회로도

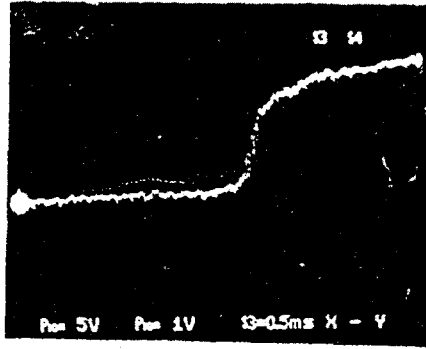


그림5. 방전전류15mA, 자계 150Gauss 일때 원통형 푸르브의 톨니파전압에 따른 I-V 특성곡선

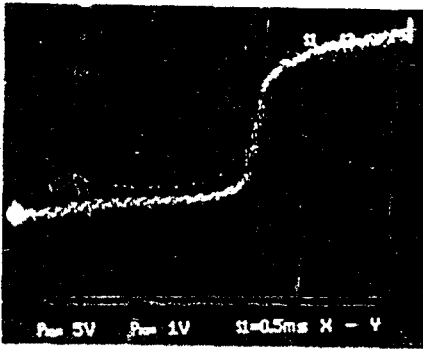


그림3. 방전전류15mA, 자계 100Gauss 일때 원통형 푸르브의 톨니파전압에 따른 I-V 특성곡선

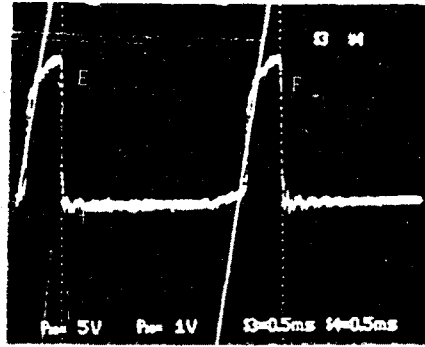


그림6. 방전전류15mA, 자계 150Gauss 일때 원통형 푸르브의 톨니파전압에 따른 I-V 곡선

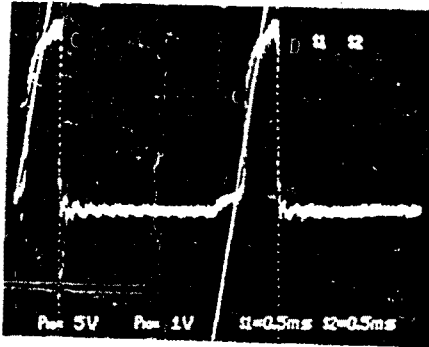


그림4. 방전전류15mA, 자계 100Gauss 일때 원통형 푸르브의 톨니파전압에 따른 I-V 곡선