

ECR의 원리를 이용한 플라즈마 가열장치에 대한 연구

김원섭  
남도대학 전자제어과

Study of Plasma Heating Oscillator by the ECR fundamental

Won-sop KIM  
Namdo Provincial College of Jeonmam

**Abstract** - 자장 크기 변화에 따른 마이크로파를 발생시켜 출력 크기를 측정함에 있어 축 방향 자장의 크기를 두가지 크기로 변화시켜 결과 자장크기 부근에서 출력증대가 일어났다. 이는 전자 사이크로트론 공명에 의한 출력증대로 볼 수 있으며 수직방향의 크기로 간주된다. 본 실험에서는 원래 수평방향의 자계에 대하여 출력발생 및 출력증대가 이루어지는 후진파 발진기를 이용한 실험을 하였다. 주파수 18~21GHz대를 이용하여 측정 한결과 0.3T와 0.7T부근에서 출력증대 및 효율증대가 이루어 지는 것을 관찰하였다.

코일에 의해 만들어진 균일한 자계안에 위치하고 있으며, 이 지파 도파관 내에서 발생된 전자 빔과 전자파 모-드와의 상호 작용에 의하여 마이크로파를 발생시킨다. 도파관의 끝에는 빔을 회수하기 위한 역 테이퍼 모양의 금속 호른이 부착되어 있으며 스텐레스 파이프의 끝에는 유리 장 모양의 플랜지를 부착하여 마이크로파를 출력시킨다. 출력부 전체는 전파 흡수체에 의하여 감싸이고 그 안에 마

1. 서 론

자기 밀폐방식을 이용한 플라즈마 발생과 이를 이용한 가열장치개발에 관한 최근 새로운 기술이 많이 발달하고 있다. 마이크로파를 발생시켜 용기속에 입사함으로써 플라즈마를 가열시키는데 이에 대한 발진기로서 사이클로트론, 자유 전자레이저, 후진파 발진기, 자기공명 사이클로트론 메이저등이 활발하게 연구되고 있다. 후진파 발진기는 100kV이상의 높은 에너지를 이용하여 전자 빔을 생성한 후 파형모양의 관에 통과 시킬 수만 있다면 높은 효율의 발진을 일으킬 수 있으며 절연 파괴의 가능성도 적고 조작성도 용이하여 플라즈마 가열장치로서 매우 유망하다. 현재 개발되고 있는 후진파 발진기에는 주파수가 수십~100GHz의 것이 연구되고 있으며 매우 큰 출력을 발생시키고 있으며, 자장강도가 전자 사이클로트론 공명(ECR) 부근에서 출력이 증대되고 있는 것을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 파형 도파관에서의 전자 사이클로트론 공명 운동이 어떻게 일어나는가에 대하여 논하였으며 실험 결과를 분석하였다. 실험에서는 두가지 형태의 자장 크기내에서 발진이 일어나 출력 증대가 일어났으며, 우리가 실험장치 제작시 미리 선정한 전자 사이클로트론 주파수대에서의 발진이 일어나는 것을 입증할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 실험장치 구성 및 실험

본 연구에서는 전자 빔 발생장치를 제작하여 전자빔을 생성하고 생성된 전자빔을 파형 도파관에 입사함으로써 마이크로파를 생성시키는 실험을 하였다. 그림1에 실험 장치의 블록도를 나타내었다. 고전압 펄스 발생장치인 마르크스 발생기, Pulse Forming Line(PFL)과 다이오드, 파형 도파관, 자계코일, 파형지연회로 등으로 구성되어 있다. 마르크스 발생기는 저항과 콘덴서를 이용하여 충전시킨후 시퀀스 제어기에서 트리거 신호에 의한 고 전압을 발생시켜 펄스 형성 선로(PFL)를 이용하여 대 전류 펄스를 만든 후 전자총에서 전자 빔을 발생시킨다. 스텐레스 파이프의 진공 용기안에 놓여 있는 파형 모양의 지파 도파관은 축 방향으로 위치한 자계 발생용

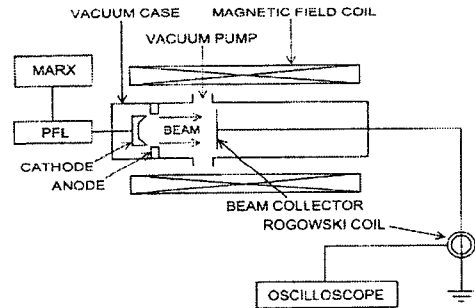


그림 1. 실험장치의 블록도

이크로파 수신용 안테나와 동축 도파관 변환기가 놓여 있으며 수신된 마이크로파 출력 파형은 오실로스코프를 이용하여 관찰한다. 진공 용기는 2대의 진공 펌프에 의해 고 진공도를 유지하도록 한다. 또 발생된 마이크로파 출력의 주파수 분석을 위하여 도파관 지연 선로를 제작하여 전파 속도의 차에 의하여 분석을 한다.

2.2 실험 결과

2.2.1 마르크스 발생기의 출력

마르크스 발생기에서의 입·출력특성에 관한 측정 결과를 그림2에 나타내었다. 이것은 콘덴서에 대한 충전 전압과 출력 전압을 표시한 것으로서 10kV에서 15kV 까지의 결과로서 측정 방법은 로고스키 코일을 이용하였다. 그 결과를 보면 15kV까지는 안정한 값을 얻을수가 있어 실험에 이용하였다.

에너지 효율에 대하여는 그림3에 나타낸것과 같이 마르크스 발생기의 입력에너지 10, 15, 20,25J에 대한 출력에너지는 각각 5.5, 9.3, 13, 17J이 얻어졌으며 에너지 효율은 55~70%가 얻어졌다. 손실된 에너지 약 40%는 고전압이 발생될 때 저항, 도선, 스위치등에서 열로 변환것과 충전전압이 100% 출력되지 않고 콘덴서에 잔류한 것도 원인이라 여겨진다.

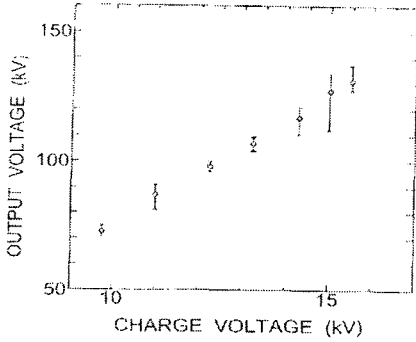


그림2. 마르크스발생기 출력

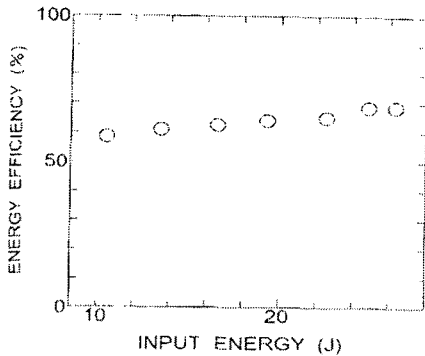


그림3. 마르크스발생기 효율

### 2.2.2 자계발생장치 실험

축방향 자장에 의한 다이오드 자기 절연의 필요성은 아주 중요하다. 자장이 없으면 음극에서 발생된 전자가

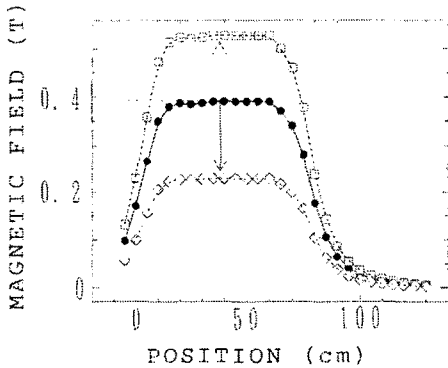


그림4. 축 방향 자계발생장치

확산되어 빠르게 양극으로 진행한다. 따라서 파형 도파관에 입사시킬수가 없고 관벽에 부딪치며 진행하기 때문에 축 방향 운동을 할 수가 없다. 본 실험에서는 일정한 반경의 코일을 10개 사용하여 균일한 자장을 얻기 위하여 전류를 흐르게 하여 그 결과를 얻었다. 결과를

보면 전류값에 대한 균일한 자장 밀도가 약 0.2~0.74T의 값이 얻어졌다.

### 2.2.3 플라즈마 발생실험

마이크스 발생기에서 발생된 출력을 축방향 자계장치 안에 있는 지파 도파관에 통하여 마이크로파 출력을 발생시킨 결과를 그림5에 나타내었다. 그 결과 0.3T부근과 0.6T부근에서 출력 증대가 이루어진 것을 알수 있었다.

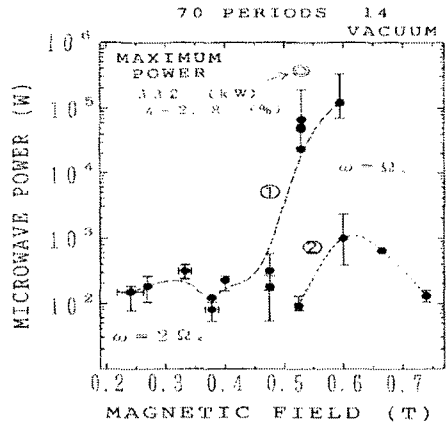


그림5. 마이크로파 출력

그림6은 헬륨가스를 입사시켜 그림5의 경우와 똑같은 조건에서 플라즈마를 발생시켜 마이크로파 출력을 증대시킨 결과를 나타내었다. 이 그림에서 볼 때 마이크로파 출력은 0.3T부근 및 0.6T부근에서 출력 증대가 이루어진 것을 알 수 있었다. 한편 그림5의 결과보다 그림6의 플라즈마를 이용했을 때의 출력 증대됨을 알 수 있었다.

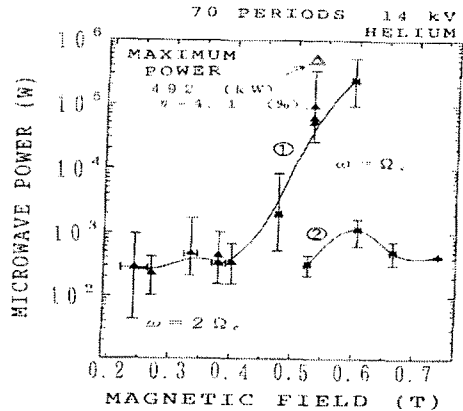


그림6. 플라즈마를 이용한 마이크로 출력

## 3. 결 론

본 논문에서는 플라즈마를 이용한 마이크로파 출력증대를 위한 실험에서 자장에 크기를 변화시킨 결과 0.3T와 0.6T부근에서 출력증대가 이루어지는 것을 실험결과로 알수 있었다. 이것은 전자 사이크로트론 공명에 의한 출력증대로 알수 있으며 지파도파관내에서 전자와 자계

와의 상호작용에 의한 출력증대로 볼 수 있다. 또한 이것을 이용함으로써 높은 발진 효과를 얻기 위하여 전자빔 발생장치의 제작과 펄스의 발생 및 전자총의 개발과 에너지 변환 장치를 위한 자장 코일도 일정크기로 개선하였으며, 이를 이용하여 전자빔의 개선에 의한 후진파 발진기를 제작함으로써 높은 주파수에서 출력 증대는 물론 플라즈마의 생성과 마이크로파 발생장치의 개발이 용이하게 되었다.

(참 고 문 헌)

1. Y.Carmel, K.Minami, R.A.Kehs, W.W.Destler, V.L.Granatstein and W.L.Lou, "Demonstration of Efficiency Enhancement in a High-Power Backward Wave Oscillator by Plasma Injection" Phys. Rev. Lett. 62, 2389 (1989).
2. R.A.Kehs, A.Bromborsky, B.G.Ruth, S.E.Graybill, W.W.Destler, Y.Carmel and M.C.Wang, "A High Power Backward Wave Oscillator Driven by a Relativistic Electron Beam" IEEE Trans. Plasma Sci. PS-13, 559 (1985).
3. X.Zhai, E.Garate, R.Prohaska, G.Benford, "Study of a plasma-filled X-band backward wave oscillator" Appl. Phys. Lett. 60, 2332 (1992).
4. M.R.Amin, K.Minami, K.Ogura, X.D.Zheng, T.Watanabe, "Resonant enhancement of radiation from a backward wave oscillator utilizing large diameter corrugated metal structure" J. Phys. Soc. Jpn. Vol.64, 4473 (1995).
5. W.S.Kim, K.Minami, K.Ogura,H.Inada, T.Watanabe, "Design study of a Large Diameter Backward Wave Oscillator Operating at 24 GHz" J. of Plasma & Fusion Research Jpn. Vol.72, No.4, 338 (1996).
6. Won-Sop KIM, Lak-Hoon Hwang "Fabrication and Identification of a Marx Generator for the Design of High Power Backward Wave Oscillator " KIEE, vol.48, No.8, 391(1999).
7. NAKAMURA Yukiharu, YOSHINO Ryuji, GRANETS Robert and JARDIN Stephen , "Validation of Neutral Point on JT-60, Alcator C Mod and ASDEX-Upgrade Tokamaks" J. Plasma Fusion Res. Vol. 78, No.4, 347 (2002)