

고주파 회전자계를 이용한 역전자계 배위 설비 연구

(A Study on the Formation of Reversed Field configuration with Radio Rotating Field)

김원섭
(Won Sop KIM)

남도대학 컴퓨터응용전기과

Abstract

Magnetic field has been used to hold plasma at high temperature for a long time. Reverse field has shown unstable process. Using ratio frequency, the author could control the instability of the process and formed a stable reversed field.

1. 서론

전기 에너지 개발 설비를 위한 장치로서 원자 핵융합 반응을 위한 여러 가지 방법 중에서 플라즈마를 이용한 방법이 연구되고 있는데 이는 이온의 억류시간이 매우 중요하다. 이것은 높은 온도의 플라즈마를 장시간 억류하기 위한 방법이며 자기억류 방식과 관성억류 방식이 연구되고 있다. 특히 자기억류 방식에서 축 방향에 자계를 가하여 안정하게 억류하는 연구가 현재 주류를 이루고 있다. 이미 여러 선진국에서 대형으로 설비를 완성하여 실험을 하고 있으나 여러 가지 문제점이 있는데 그중에서도 경제성을 나타내는 β 치(플라즈마압력/자기압력)가 낮은 점이며, 또 한가지는 불안정성의 발생을 방지하기 위하여 플라즈마 전류를 반응치 이상 흘려주지 않고 반응을 일으키려면 추가열이 필요하다는 점이다. 이런 결점들을 보완하기 위하여 미러형, 콤팩트 토리스형, 여러 가지 방법이 고안되어 있으나 여러 가지 불안정성이 발생하여 크게 효과가 없다. 따라서 본 연구에서는 역전자계 핀치(Reversed Field Pinch : RFP)를 이용하여 불안정성을 제거하여 효율이 좋은 결과를 얻었다. RFP는 토카막형과 같은 토리스형으로 토로이달 방향에 전류를 흘려서 만드는 폴로이달 자계와 외부 코일에 발생하는 토로이달 자계로 플라즈마를 억류한다. 토카막형은 안정화를 위하여 큰 토로이달 자계를 가하기 때문에 토로이달 자계는 폴로이달 자계보다 대단히 크므로 안전계수는 q 는 1보다 크다. 헬리칼 킥 불안정성에 대한 안정성을 목표로 할 때 일반적으로 $q > 1$ 이 안정조건이나 RFP는 $q < 1$ 이므로 반응 온도에는 플라즈마 전류를 충분히 흘려주어 줄을 열 만으로 도달할 수 있다.

RFP의 특징중의 한가지는 토로이달 자계가 플라즈마의 내측과 외측에서 역전하고 있는 것이다. 이것 때문에 자력선의 응력이 강하여 플라즈마를 안정하게 억류할 수 있다. 또 도체벽을 이용하는 안정화도 있으므로 $q > 1$ 인 높은 β 치의 플라즈마를 억류할 수 있다. 한편 플라즈마 전류가 어느 정도 흐르면 플라즈마 자신이 역전자계를 형성한다는 셀프-리버살 현상이 있는것도 RFP의 큰 특징이다. 셀프-리버살 현상은 충분한 완화가 이루어졌을 경우 플라즈마는 최소 에너지 상태가 되며 이것을 최소 에너지 상태의 완화라고 한다. 이 역전자계배위는 최초 영국에서 ZETA장치에서 관측되었으며 그후 각지에서 역전자계 배위의 연구가 진행되었다.

역전자계배위 자체는 대단히 안정한 배위지만 형성되기까지의 과정이 불안정하여 이 형성과정에 대한 연구가 진행되고 있으나 아직도 명확하게 규명되지 않았다. 이것은 바이어스 자계의 제어로 역전자계배위를 형성하여도 불안정성을 억제하지는 못하였다. 따라서 본 연구에서는 고주파 회전자계를 이용하여 불안정성을 억제하고 안정한 역전자계배위를 형성하였다.

본 논문의 구성은 2절에서는 실험장치 및 구성, 제 3절에서는 실험방법 및 결과와 마지막으로 결론에 대하여 기술하였다.

2. 실험장치 및 구성

본 연구에서 이용한 실험장치 개요를 그림 1에 나타냈다. 먼저 방전관에 자속 보존환을 설치하고 회전자계용 코일을 방전관 외측에 설치하였으며 충분한 회전자계를 얻기 위하여 도체벽을 사용하지

않았다. 그 다음에는 자속 보존환을 이용하지 않고 회전자계용 코일을 방전관 내측에 설치하였으며 방전관 외측에는 도체벽을 설치하였다. 이때 도체벽에 의하여 축방향 자계는 보존되지 못하나 회전자계용코일이 방전관 내측에 있으므로 도체벽이 있어도 충분한 회전자계가 얻어진다.

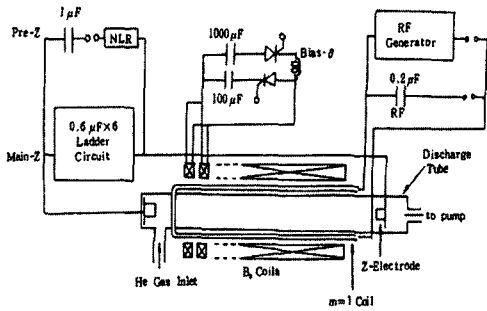


그림 1. 실험장치의 개요

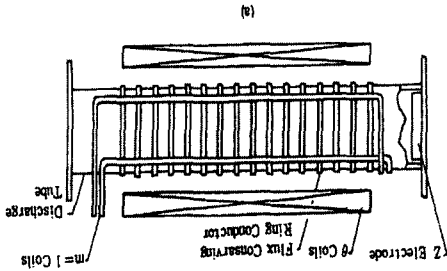


그림2. 실험장치 전기회로도

그림 2는 실험장치의 전기회로도이며 이것은 방전관 축방향에 고주파 전류를 흘려 저 밀도 플라즈마를 만들기 위하여 이용한다. 제어계는 실험에서 बैं크의 충전·방전 및 He가스의 봉입, 배기가 반복되기 때문에 순차제어를 이용한다. 각 बैं크의 용량에 따른 시간동안 각 बैं크의 충전을 시작하고 배기구멍을 막은 상태에서 He가스를 봉입하여 발진기에 의한 예비전리를 한다. 그후에 각 बैं크의 충전전류를 차단하고 방전을 한다.

방전은 먼저 바이 언제 자계가 가해지고 약 135 [μs]가 지난 후에 예비 θ방전은 Z방전의 영향 없이 바이 언제 자계가 일정해지는 10[μsec]후에 형성된다. 고주파 전원을 필요에 따라서 1주기 또는 2주기 후에 위상을 합하여 투입시킨다. 그림 3에 방전 순서를 나타내었다.

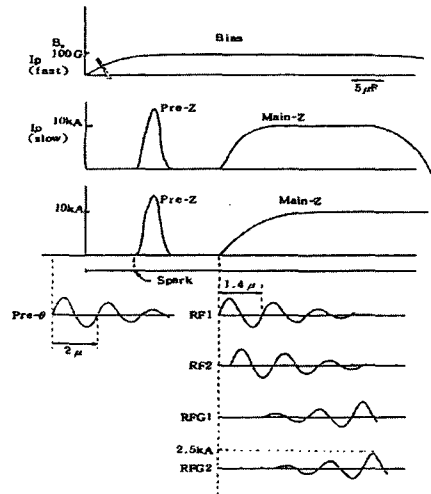


그림 3. 방전순서도

측정방법에서는 각종 코일의 전압을 적분기로 자계 또는 전류를 측정한다. 로고스키코일은 전류를 측정하는 코일로서 회전자계코일에 흐르는 전류측정용과 플라즈마 전류측정용이 설치되어 있다. 국부적인 자계를 측정하는 것으로는 자기 프로브가 있으며 플라즈마속에 삽입하여 측정한다. 외경 Ø5인 유리관 속에 4개의 코일을 설치한다. 방전관 중앙의 상부에 설치되어 있는 구멍에 삽입하여 방전방향으로 이동할 수 있다. 플라즈마와 접촉하는 측정기는 자기 프로브 뿐이며 다른 코일은 전부 방전관과 도체벽의 외측에 설치하였다.

3. 실험방법 및 결과

RFP에 의한 역전자계배위 형성에는 도체벽을 설치하지 않고 바이어스자계를 가하며 전류 상승 시간 5[μsec], 지속시간 35[μsec]인 토로이달 전류를 흘렸으며 $P_0 = 10[mTorr]$ 에서 Z에 대한 예비전리를 한 다음 고주파 회전자계만을 공급한다. 여기서 RFP의 지속시간을 길게 하기 위하여 추가로 고주파 회전자계 전원을 공급하였다.

그림 4(a)에 RFP만을 공급하였을 때 B_{zw} 파형을 나타내었고 (b)에 REP만을 공급 하였을 때 B_{zw} 파형이며 (d)에는 B_{zw} 파형을 나타내었다. RFP만을 공급하였을 경우 방전관 벽에서 70 [G]의 자계

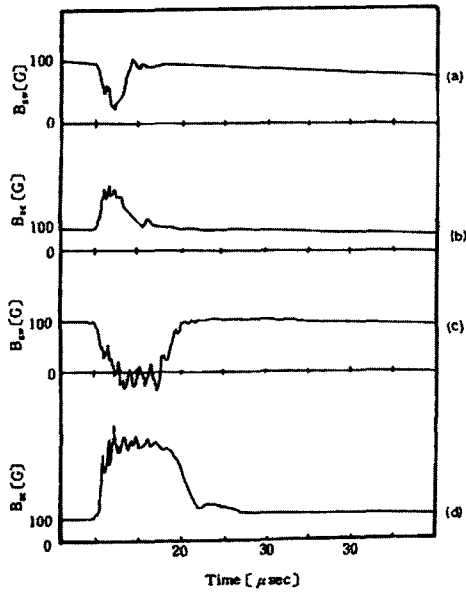


그림 4. RFP를 공급할때 파형

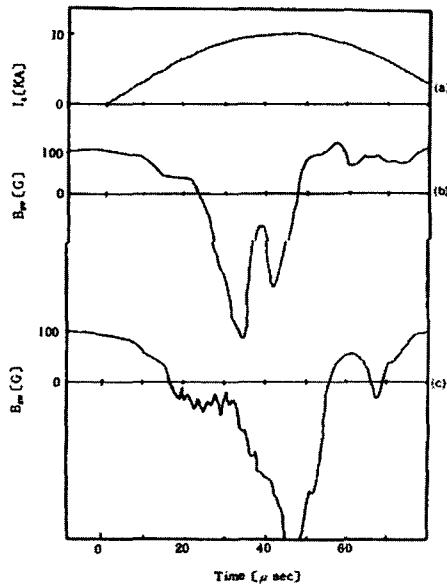


그림 5. 바이어스자계의 영향

감도에 의한 재현성을 (a)에서 볼 수 있었으며 방전관 중심에서는 (b)에서와 같이 250[G]의 토로이달 자계가 증가하고 있다. 다시 RFP를 공급하고 전원을 공급하였을 경우 방전관 벽에서는 (c)와 같이 토로이달 자계가 역전하며 방전관 중심의 토로이달 자계는 (d)와 같이 400[G]정도까지 증가한다. 바이어스 자계를 적게하면 방전관 벽의 토로이달 자계는 역전의 정도가 더욱 심하게 되고 역으로 바이어스 자계를 크게 하면 당연히 역전은 일어나지 않는다.

그림5에 바이어스자계가 역전자계 배위형성에 관계되는 결과를 나타내었다. 먼저(a)는 토로이달 전류 I_z 를 흘렸을 경우이며 셀프-리버살 현상에 의한 B_{zw} 파형을 그림(b)에 나타내었다. 바이어스 자계 100[G], 압력 $P_0=20$ [mTorr]일 때 토로이달 전류를 공급하면 B_{zw} 는 서서히 감소하고 15[μsec] 후에 플라즈마는 평형상태에 이르며 최대핀치가 된다. 이 상태를 6[μsec] 동안 유지한 다음에 발생한 MHD 불안정성에 의하여 플라즈마는 RFP배위가 된다. 다음에 셀프-리버살 현상에 의하지 않고 RFP배위를 형성할 목적으로 플라즈마가 셀프-리버살 현상에 의하여 역전자계 배위를 형성하도록 하였다. 이렇게 하여 RFP배위를 형성한 경우의 B_{zw} 파형을 그림(c)에 나타내었다. 이것은 역전자계 배위가 형성되어 약 10[μsec] 동안 안정하게 유지된 결과를 얻었다. 이것은 RFP공급후에 전원을 공급하여 지속시간을 길게하였을 경우 안정상태의 결과가 나오는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

실험결과를 종합해볼 때 바이어스 자계를 가하여 토로이달 전류를 상승시켜 역전자계배위를 형성할 수 있는데 이때 B_{zw} 은 모두 마이너스 값이 되었다. 이때 F-θ계적은 안정한 역전자계배위를 형성하였다. 이상으로 토로이달 자계를 억제하는 방법에 있어서 자속보존환을 설치하여 토로이달 자속을 일정하게하여 RFP만으로 역전자계 배위를 형성하여 셀프-리버살 현상에 의한 안정값을 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] K. Mianmi, etc. "Linear theory of electromagnetic wave generation in a plasma loaded corrugated wall resonator" IEEE Trans. Plasma Sci. Ps-18, 537, 1999.
- [2] 林泉外 5人, "電流波形 高密度 Z Pinch 放電" 日本電氣學會論文紙, 105권, pp. 487, 1984.
- [3] J.N.Benford and J.A.Swagle, "High Power Microwave sources" Boston ; Artech, 2002.
- [4] V.L.Granatstein and P.L.Colestock, "Wave Heating and Current Drive in Plasmas" Gordon and Breach, New York, 2002.
- [5] W.S.Kim, "A Study of Electron Beam Production for High Pulse Power Generator", KIEE Summer Annual Conference, 1979, 2004.