

**핀치 플라즈마의 역전자계 배위 형성에 관한 연구**

김원섭, 김종만  
 남도대학 컴퓨터응용전기과

**A study of pinch plasma for reversed field configuration forming**

Won-sop KIM, Jeon-man KIM  
 Namdo Provincial College Dept. of Electricity Applied Computer

**Abstract** - 중수소와 3중수소를 융합시키는 D-T반응에서 높은 온도와 억류시간의 필요에 따른 불안정성이 발생하는데 본 연구에서는 역전자계 배위를 형성하여 안정한 배위를 형성하여 불안정성을 억제하였다.

**1. 서 론**

역전자계 핀치 플라즈마는 셀프 리버살 현상에 의하여 자동적으로 역전자계가 형성되어, 높은 β치의 플라즈마를 안정하게 억류하기 위한 목적으로 많이 연구되어 왔으나 안정성이 그다지 크지가 않았다. 이에 대하여 본 연구에서는 고주파 회전자계를 이용하여 안정하게 역전자계 배위를 형성하였다. 연구방법으로 자속보존환으로 토로이달 자속을 보존하는 실험을 하였으며 고주파 회전자계를 공급하여 역전자계 배위를 형성할 때 자속 보존 환을 설치하지 않고 토로이달 자속을 보존하지 않을 때 저 바이어스자계를 가하고 토로이달 전류 상승 시에 고주파 회전자계를 가하여 새로운 BFM에 가까운 F-θ케적을 그리는 안정한 역전자계 배위가 단시간에 형성되었다. 또 미리 마이너스 자계를 가하여서 역전자계 배위를 형성할 때에 방전관 벽의 토로이달 자계는 마이너스로 유지되고 F치는 마이너스 값으로 시작되었는데 이것은 지금까지와는 전혀 다른 F-θ케적을 그리는 역전자계 배위였다. 본 논문의 구성은 제2장은 본론, 제3장은 결론을 서술하였다.

**2. 본 론**

**2.1 역전자계 배위 및 불안정성 이론**

현재 진행되고 있는 연구에서 역전자계 배위를 형성하는 모우드는 Stabilized Z핀치 모우드와 Programmed 모우드, 그리고 Aided reversal모우드 등이 있다. 먼저 일정한 토로이달 자계를 외부회로에 의하여 발생시킨 후에 플라즈마 전류를 흘려서 셀프 리버살 현상으로 역전자계 배위를 형성하는 것은 Stabilized Z핀치 모우드이고, Programmed 모우드는 플라즈마 전류의 상승과 동시에 외부회로의 제어로 토로이달 자계를 급속히 역전시켜서 역전자계 배위를 형성한다. 이때 전류의 상승시간은 불안정성의 성장시간  $T_i = \frac{a\sqrt{N_o\rho}}{B\theta}$  보다 짧다.

Aided reversal 모우드는 불안정의 성장시간보다 긴 상승시간으로 플라즈마 전류를 상승시킴과 동시에 외부회로를 제어하여 셀프 리버살 현상에 의한 배위를 형성한다. 한편 Program med 모우드와의 차이는 불안정성의 성장시간  $T_{in}$ 과 플라즈마 전류의 상승시간  $T_{rise}$ 의 크기의 차이이며 Program med 모우드에서는  $T_{in} \geq T_{rise}$  이고 Aided reversal 모우드에서는  $T_{in} \ll T_{rise}$  이다.

본 연구에서는 이와 같은 모우드와는 달리 고주파 회전자계에 의한 플로이달 전류구동으로 플라즈마 외측에서 플라즈마 중심

의 자계를 증가시켜 역전자계 배위를 만든다. 여기서 이용한 고주파 회전자계에 의하여 플라즈마 원통축의 방위각 방향에 전류를 흘리는 방법은 Blevin&Thenemann에 의하여 연구되었다.

고주파 회전자계의 응용으로는 가열, 억류, 토로이달 평형, 동적 안정화, 전류구동, 입자 수송의 제어 등이 있는데 본 연구에서는 전류구동에 착안하여 회전자계를 이용한 플로이달 전류구동으로 역전자계 배위를 형성한다. 이에 따른 이론으로 플로이달 전류  $J_\theta$ 가 고주파 회전자계의 회전방향과 역방향으로 구동되고 이 구동전류  $J_\theta$ 에 의하여 토로이달 자계  $B_z$ 가 다음과 같이 발생한다.

$$J_\theta = \frac{newr}{1 + 2\left(\frac{rei}{wce}\right)^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$B_z = B_a - \frac{N_o new}{2} (R^2 - r^2) \left\{ \frac{1}{1 + 2\left(\frac{rei}{wce}\right)^2} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

위의 경우 역전자계를 형성하려면 바이어스자계  $B_a$ 와 회전자계에 의한 발생자계의 방향을 역으로 해야 하는데 이것이 Programmed 모우드 이다.

본 연구에서는 Stabilized Z 핀치 모우드에 의하여 자속을 보존하는 방법으로 역전자계 배위를 얻는다. 이것에 대한 해설을 간단하게 하기 위하여 이온은 부동이고 전자는 완전히 회전자계에 동결하여 회전한다고 가정하면,

$$\frac{rei}{wce} = 0 \text{ 이므로}$$

$$J_\theta = -n(r)ewr \dots\dots\dots (3)$$

이 된다. 이 전류에 의하여 발생하는 축 방향 자계는 다음과 같다.

$$B_z(r) = \frac{N_oewn(r)}{2\pi} \dots\dots\dots (4)$$

$$N(r) = \int_r^R 2\pi n(r)rdr \dots\dots\dots (5)$$

회전자계에 의한 발생자속은

$$B_z total = N_oew \int_0^R rN(r)dr \dots\dots\dots (6)$$

이고 자속 보존 환에 의한 자계  $B_1$ 은 다음과 같다.

$$B_1 = N_0 e w \int_0^R r N(r) dr \dots\dots\dots(7)$$

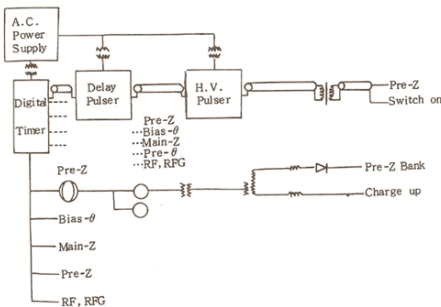
따라서 전체자계 분포는

$$B_z(r) = B_a + B_z(r) - B_1 \dots\dots\dots(8)$$

로 되어 자계분포를 제어할 수 있다.

**2.2 실험장치 및 결과**

그림 1에 실험장치 제어계를 나타내었다. 실험에서는 벅크의 방전전류 및 He가스의 봉입, 배기가 반복되기 때문에 순차제어로 한다. 각 벅크의 용량의 크기에 따른 시간의 차이에 따른 충전을 한 다음 배기구멍을 막은 상태에서 He가tm를 봉입하여 20[MHz]의 발전기에 의한 예비전리를 한다. 이때 각 벅크의 충전회로를 차단하고 방전을 하며 투입시간은 딜레이 펄 서로 제어한다.



<그림 1> 실험장치 제어계

그림 2는 RFG를 RF에 연속하여 공급하였을 경우 토로이달 자계 분포를 나타낸다. 측정은 반경 R을 세부분으로 구분하여 평균 회를 구했으며 t=1.6[μsec]일 때 자계분포에서 역전자계가 제일 크다.

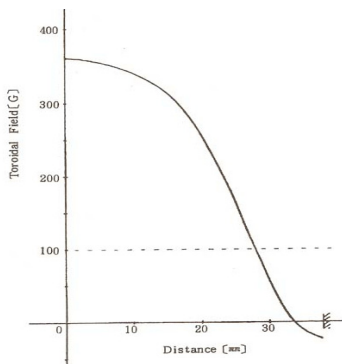
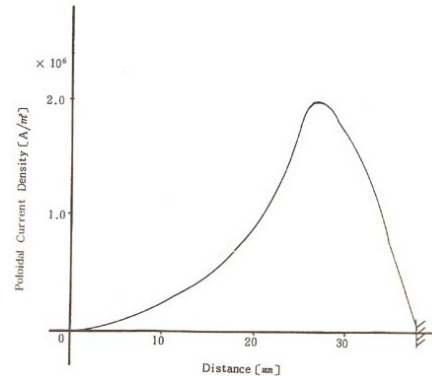
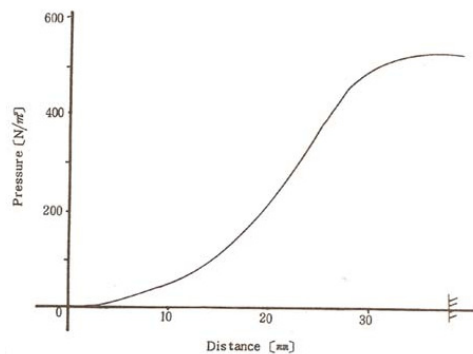


그림 3은 시간 t=1.6[μsec]에서 RF에 구동된 폴로이달 전류분포를 나타낸 결과이다. RF만을 공급할 경우 RF코일부근의 전자계가 강하므로 방전관 벽의 가까운 곳의 전리도가 높아진 결과가 얻어졌다.

그림 4는 압력 분포를 나타내는데 경계조건은 방전관 중심의 압력이 0이다. 이결과를 보면 폴로이달 전류분포에서 나타낸 것과 같이 방전관 벽에서 압력이 최대



<그림 3> 폴로이달 자계분포



<그림 4> 압력분포

이며 이 압력은 방전관 벽에 의하여 유지되고 있다.

**3. 결 론**

이상과 같은 결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다. 예비 전리를 한 다음 고주파 회전 자계를 공급하면 방전관 벽의 자계는 감소하고 방전관 벽 중심부의 자계는 증가하며 토로이달 자계에 의하여 역전자계 배위를 형성한다. 또 자계가 없는 상태에서 플라즈마를 방전시킨 후 고주파 회전 자계를 가하면 단시간에 역전비가 형성되어 β-BFM 궤적을 나타내는 역전자계 배위가 형성된다.

**[참 고 문 헌]**

1. ITOH Hiroshi, "Introduction of London Education Known in the Theory of Super Conductions into the Two Fluid Model of Plasma" Journal of Plasma and Fusion Research, Vol.80, 157, 2004
2. Hayato Yoshizawa, etc. "Study of Reation in Plasma-Assited Selective Catalytic Reduction" The Institute of Electrical Engineering of Japan, Vol. 127, 193, 2007