

100kV, 50kJ 콘덴서뱅크에 의한 씨타핀치 플라즈마의 생성

○한 봉 석\* 김 중 식\* 장 용 무\* 정 온 관\*\* 김 형 부\*

\*한양대 전기과, \*\*경희대 원자력과

Generation of the Theta-Pinched Plasma by 100kV, 50kJ  
Condenser Bank

Han, Bong-Suk\*\*\*Kim, Jong-Sik\*Chang, Yong-Moo\*Chung, Woon-Kwan\*\*  
Kang, Hyung-Boo\*

\*,\*\*\*Han Yang Univ.,\*\*Kyung Hee Univ.

1. 서 론

핵융합 연구의 목표는 <sup>1)</sup> 플라즈마의 온도를 점화온도까지 높일 수 있는 효율적인 가열방법과 가열된 고온, 고밀도 플라즈마를 핵융합 반응이 충분히 일어날 수 있도록 밀폐시키는 방법 및 로 설계에 필요한 각종의 재료를 개발하는데 있다.

플라즈마는 일반적으로 전도도가 크므로 플라즈마의 확산 시간보다 짧은 시간에 자장이 외부에서 플라즈마에 가해지면 이 자장이 내부로 침투되는 것을 막게 된다. 이때 플라즈마는 단열압축되어 고온, 고밀도가 된다.

선형 씨타핀치 플라즈마 발생장치는 높은 β값의 필스형으로 플라즈마의 생성과 단열압축을 동시에 시키는 장치이다.

본 연구실에서는 이와 같은 씨타핀치 플라즈마 발생장치의 특성을 평가하고 또 비교적 쉽게 장치를 구성할 수 있다는 점을 고려하여 씨타핀치에 의한 플라즈마의 생성 가열에 관한 연구를 실시해왔다. 이제까지 최대출력 200kV, 저장에너지 2kJ인 Marx 고전압 발생장치, 또 콘덴서의 L성분으로 인한 Blumlein 송신선 및 단권코일로 구성되는 핀치 코일 등으로 구성된 씨타핀치 장치를 제작하여 실험해왔으며 <sup>6) 7)</sup> 또 실험결과를 발표한바 있다.

그러나 이장치는 저장에너지가 작고 또 Blumlein 송신선의 사용에 따른 번거로운 때문에 저장에너지를 보다 크게 하고 저인덕턴스 Fast콘덴서를 사용함으로써 Blumlein 송신선을 제거한 새로운 씨타핀치장치를 제작중에 있으며, 이것에 새로운 Marx 고전압발생장치를 병용하여 플라즈마 생성 가열과 계측을 실시할 예정이다

2. 실험장치의 개요

저인덕턴스(L=0.35x10<sup>-6</sup>/개) 100kV, 5kJ의 콘덴서 10개를 병렬 연결하여 100kV, 50kJ 콘덴서뱅크로 제작하고, 이에 가입형 spark gap switch,

gas controller, 최대 100KV power supply, trigger system 그리고 송전선 및 진공개로 연결된 플라즈마 발생관과 핀치코일 그리고 진단장치로 구성되어 있다. 이 장치의 개략도는 그림1과 같다. 앞으로 이장치에 의해 생성되는 플라즈마의 성질을 규명하고 다음에는 이장치와 1MV, 9kJ Marx 고전압 발생장치를 콘덴서뱅크의 제1핀치에서 동작시키는 2중 선형씨타핀치에 의한 플라즈마 생성실험을 실시할 계획이다.

100kV, 50kJ 콘덴서뱅크에 의한 씨타핀치회로의 동작특성(회로전류 및 rise time)을 구하기 위해서는 회로 각부분의 회로정수를 알아야 된다.

핀치코일(r=15cm, L=40cm)의 인덕턴스는 Montgomery의 <sup>8)</sup> 방법에 의해 구할 수 있고, 송전선의 L성분은 Knoepf의 <sup>9)</sup> 방법에 의해 구하고 R성분은 skin effect를 고려하여 계산한다. 회로 각 부의 회로정수(R, L, C)는 표1과 같다.

우선 Kirchhoff의 법칙을 적용하면

$$L(dq/dt) + R(dq/dt) + q/C = 0 \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{초기조건은 } q = CV_0, (dq/dt)_{t=0} = 0$$

위 식을 D=(d/dt)로 표시하면 (1)식은 다음과 같이 된다.

$$(LD + RD + 1/C)q = 0 \quad \text{--- (2)}$$

2계 선형 방정식으로 해를 구하면

$$D = -a \pm iw \quad \text{--- (3)}$$

단 a=R/2L, w=(1/LC)-a이다.

식(1)의 일반해는

$$q(t) = A_1 \exp(-at + iwt) + A_2 \exp(-at - iwt) \quad \text{--- (4)}$$

가 되며 이식을 다음과 같이 쓸수있다.

$$q(t) = A_3 \exp(-at) \cos wt + A_4 \exp(-at) x \sin wt \quad \text{--- (5)}$$

초기조건인  $q(0) = CV_0$ 에서  $A_3 = CV_0$ ,  $(dq/dt)_{t=0} = 0$

에서  $A_4 = aA_3/w = aCV_0/w$ 이므로

$$q(t) = CV_0 \exp(-at) (\cos wt + (a/w) \sin wt) \quad \text{--- (6)}$$

$$I(t) = (V_0/wL) \exp(-at) \sin wt \quad \text{--- (7)}$$

$dI/dt = 0$ 로 놓으면  $I_{MAX}$ ,  $t_{MAX}$ 를 구할 수 있다.

$$t = (1/w) \text{Arctan}(w/a) = 1\mu\text{sec} \quad \text{--- (8)}$$

$$I_{MAX} = (V_0/wL) \exp(-at_{MAX}) \sin(wt_{MAX}) \approx 420\text{kA} \quad \text{--- (9)}$$

한편 핀치코일에 흐르는 전류와 이것에 의해 생기는 핀치코일 중심에서의 자장과의 관계를 계산하기 위하여 전류 I가 핀치코일에 균일하게 흐른다고 가정할 때<sup>(9)</sup> 핀치코일의 반경을 a, 코일길이를 b라 하면, 코일의 미소길이 dx에 의한 중심축상 임의의 점에서의 선전류 밀도가 I/b 이므로

$$dB = \frac{\mu_0 I/b dx}{2} \frac{a^2}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \quad \text{--- (10)}$$

$$B = \int_{-b/2}^{b/2} \frac{\mu_0 I}{2b} \frac{a^2}{(a^2 + x^2)^{3/2}} dx$$

$$= \frac{\mu_0 I}{2} \frac{1}{\{a^2 + (\frac{b}{2})^2\}^{1/2}} \quad \text{--- (11)}$$

이되며 여기서  $a=15\text{cm}$ ,  $b=36\text{cm}$ 이므로 위의 (11)

식에  $I_{MAX}$ 값을 대입하면  $B \approx 1.13\text{T}$ 가 된다.

### 3. 플라즈마 진단

- (1) Rogowski 코일로 전류 I를 측정한다.
- (2) pulse plasma 측정에 적합한 double probe를 제작하여 전자밀도, 전자온도를 구한다.
- (3) nsec response를 갖는 magnetic probe를 새로 제작해 압축자장을 측정한다.
- (4) 더 나아가서 플라즈마 자체의 영향을 주지않고 플라즈마의 여러 파라메타를 구할수 있는 레이저 간섭계법과 Thomson 산란법을 적용시키려 한다.

### 4.참고 문헌

- 1) D. J. Rose and R. Carruthers: "Fusion Reactor Design Problems" IAEA, Vienna, special suppl. (1974) p.7
- 2) W. D. Davis: "Spectroscopic Observations of Turbulence in Fast Theta Pinch", Phys. Fluids 15, 2383 (1972)
- 3) F. C. Jahoda et al.: "Plasma Experiments with a 570-kJ Theta Pinch", J. Appl. Phys., 35, 2351 (1964)
- 4) A. W. DeSilva and H. J. Kunze: "A High-Temperature, Low Magnetic-Field Theta Pinch", J. Appl. Phys., 39, 2458 (1968)
- 5) J. A. Stamber and A. W. DeSilva: "Experimental Study of the Structure of Plasma Shock Waves in a Fast Theta Pinch", Phys. Fluids, 12, 1435 (1969)
- 6) 강영부, 정운관, 육종철 "난류가열 섀타핀치의 고진입 펄스특성에 관한 연구", 전기학회 논문지, 33(11), 32 (1984)
- 7) 강영부, 정운관, 육종철, 이천 "산형 섀타핀치의 제작 및 동적특성에 관한 연구", 전기학회 논문지, 34(1), 10 (1985)
- 8) D. B. Montgomery, Rept. Prog. Phys., 29, 69 (1963)
- 9) H. Knoepfel, Pulsed High Magnetic Fields, Elsevier, NY, 1970
- 10) C. H. Durney and C. C. Johnson, Intro. Modern Electromagnetics, McGraw-Hill, NY, 1969

표 7. 집중 회로 정수.

	R (Ω)	L (H)	C (F)
Condenser Bank	0	$0.035 \times 10^{-6}$	$9.5 \times 10^{-6}$
Spark Gap	0	$5. \times 10^{-8}$	0
Trans. lLine	$3.03 \times 10^{-2}$	$1.417 \times 10^{-8}$	0
Pinch Coil	0	$1.9 \times 10^{-7}$	0
Buss Bar	0.01908	0	0

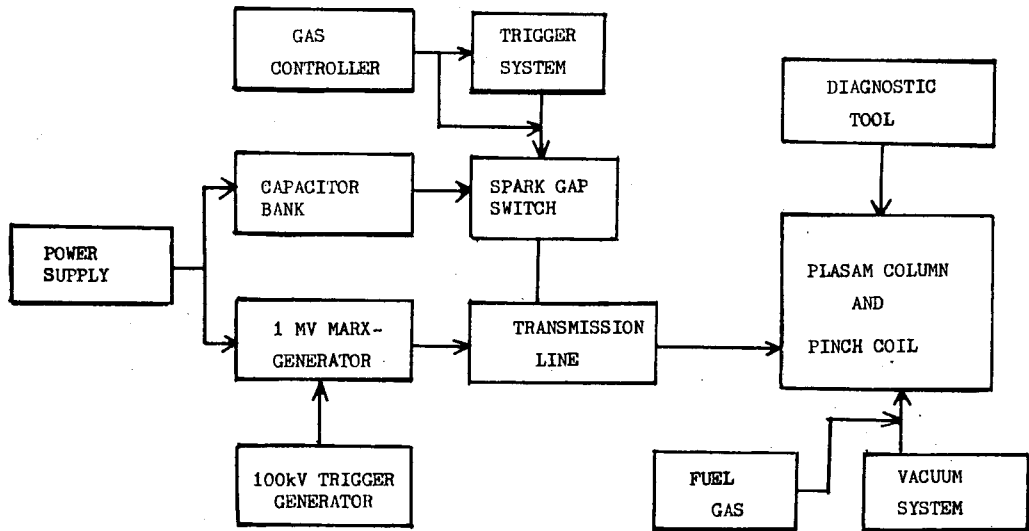


Fig. 1. Block diagram of the Experimental apparatus