

# KAERIT 토카막의 실험현황

황 철규<sup>0</sup>

한국원자력연구소 핵융합연구실

## < 요약 >

최근 KAERIT 토카막은 토로이달 및 폴로이달 코일 전원의 용량을 확장하고 이에 따른 토로이달코일의 기계적 지지구조의 강화 그리고 진공용기 관련 사항들을 개선하는 일을 마감하였다. 확장된 각 전원의 실험적 특성이 논의되고 현재 진행중인 토카막 실험의 내용과 함께 그동안 KAERIT에서 이루어진 플라즈마 실험들이 개괄된다.

### 1. 그 동안의 연구

1981년 한국원자력연구소에서는 해외 주요 토카막 장치들에 대한 조사연구 결과를 토대로 토카막 하나를 자체 개발하기로 결정하였다. 기대할 수 있는 예산 규모와 첫 장치라는 점을 감안하여 주반경 30cm 정도의 소형 토카막으로 하고 가능한 한 모든 사항을 자체 개발한다는 방향으로 추진하기로 하였다.

그 이듬해에 KAERIT(KAERI TOKAMAK) 라는 이름의 소형토카막을 건조하기 위한 기본설계에 들어가 플라즈마 용기의 주반경을 27cm로 부반경을 5cm로 정하고 토로이달 및 폴로이달 자장 코일까지의 설계를 끝냈다. 이 때 폴로이달자장(PF)의 분포계산을 위하여 POISSON코드가 응용되었으며 토로이달자장(TF) 코일을 위한 최적설계법등이 연구되었다. 철심을 포함하여 KAERIT의 본체가 1985년에 들어와서 완성되었으며 각 부품에 대한 개별 특성시험이 실시되었다. 이 시험에서 각 코일의 회로상수 및 자장분포는 설계치와 잘 맞았으나 토러스는 진공도가 만족스럽지 못하여 시창구 부분을 재설계하였다.

1986년에 처음으로 KAERIT의 플라즈마 발생실험을 실시하였다. 이 때 TF코일을 위해 마련한 전원이 10V/250A급으로 TF자장 430 가우스에서 실험을 하였고 저항 가열(OH) 코일을 위한 전원은 5kV/5kJ급의 캐패시터 뱅크였다. 주로 방전개시에

미치는 파라미터들에 대한 실험적 조사 연구가 실시되었고 사용기체인 수소의 압력이 0.1 에서 0.01mbar 까지에 걸쳐 방전이 가능하였으며 방전 일주전압이 800V 정도에 다달았고 플라즈마 전류는 2.4kA 정도까지를 얻었다. 높은 방전 일주전압 때문에 당초 설계와는 다른 별도의 OH 코일을 사용하여야만 하였다.

1987년과 88년에는 TF 자장 전원으로 수소 동작의 상전원을 사용하여 자장값을 4300 가우스로, OH 전원은 20kJ 의 캐패시터 बैं크로 각각 올려서 플라즈마 발생 실험을 계속하였다. 또한 TF 자장을 실험적으로 보정하는 작업을 실시하였으며 TF 를 이용한 E x B 의 예비전리계를 개발하여 방전일주 전압을 3V 까지 낮출 수가 있었고 플라즈마 전류는 10kA 까지, 수소 압력은 0.1 mbar 에서 0.01 microbar 까지 동작범위를 크게 넓힐 수가 있었다. 이와 같이 주요 파라미터에 대한 방전가능 영역이 넓어져 TF 값, 수소압, 플라즈마전류, 방전 일주전압 사이의 상관관계가 깊이 조사되었으며 토로이달 구조의 방전에 대한 이론적 고찰의 기회를 갖게 되었다. 그림1은 방전일주전압과 플라즈마 전류 사이의 관계를 보여 주고 있으며 그림2는 KAERIT 의 방전조건을 해외 다른 장치들의 것과 비교 하였다.

## 2. KAERIT 현황

각 코일의 전원을 설계치 규모로 확장하고 플라즈마 제어를 위한 자기(magnetic) 프로브의 설치와 진공계를 개선하는 일련의 작업이 지난 두 해에 걸쳐 실시 되었다.

TF 코일 전원은 1 MJ 급의 캐패시터 बैं크를 제작하여 TF 값 12600 가우스에 평활 펄스폭 10ms 까지 시험 되었으며 20000 가우스까지의 동작이 곧 가능할 것으로 본다. TF 값을 올림에 따라 TF 코일에 미치는 힘의 증가를 고려하여 코일의 기계적 지지구조가 크게 개선되어야 했다. 이를 위하여 쉘기형 지지구조가 고안되어 토카막 본체의 재조립을 통하여 설치 되었다. 사진1은 KAERIT의 현재 모습을 보이고 있다.

OH 코일의 전원은 4단 crowbar 방식의 캐패시터 बैं크로 구성하여 12 ms 동안에

최대 3kA 까지의 전류 상승을 얻을 수 있도록 하여 플라즈마 전류 60kA 를 목표로 할 수 있게 되었다. KAERIT 토카막에서 플로이달 자장 코일들의 위치 변화에 따라 요구되는 코일 전류값을 예측하기위한 계산이 실시되어 플라즈마 전류 60kA를 위한 수직자장 코일전류가 최적의 위치에서 23kA 로 나타났고 이 코일의 정격 전류 30kA 로는 플라즈마 최외측 자속면을 7mm 정도까지 이동시킬 수 있을 것으로 판단하고 있다. 평형자장 코일 전원은 플라즈마 위치 신호에의한 부궤환 제어가 가능하도록 구성하였다. 사진2는 제작된 각 코일의 전원의 모습이다. 플라즈마 위치를 측정하기위한 자기 프로브가 제작되었으며 교정시험을 거쳐 플라즈마 용기 외벽에 설치 하였다( 사진 3 참조). 플라즈마 용기의 세정기술이 개발되었으며 토카막의 동작중 단계별로 수소압을 제어하고 평가할 수있는 방법이 연구되었다.

현재 진행중인 토카막 자료수집처리계의 구성이 마무리되면 KAERIT 는 다시 바로 플라즈마 실험에 들어갈 수 있게 되었다. 따라서 년내에 방전실험부터 시작 되게 될 것이며 93년부터는 플라즈마 제어와 플라즈마 용기 제1벽 처리 기술 개발을 중심 내용으로 하는 실험을 실시할 계획이다. 아울러 밀리미터파와 연 X 선에 의한 플라즈마 진단계의 개발이 병행될 것이다.

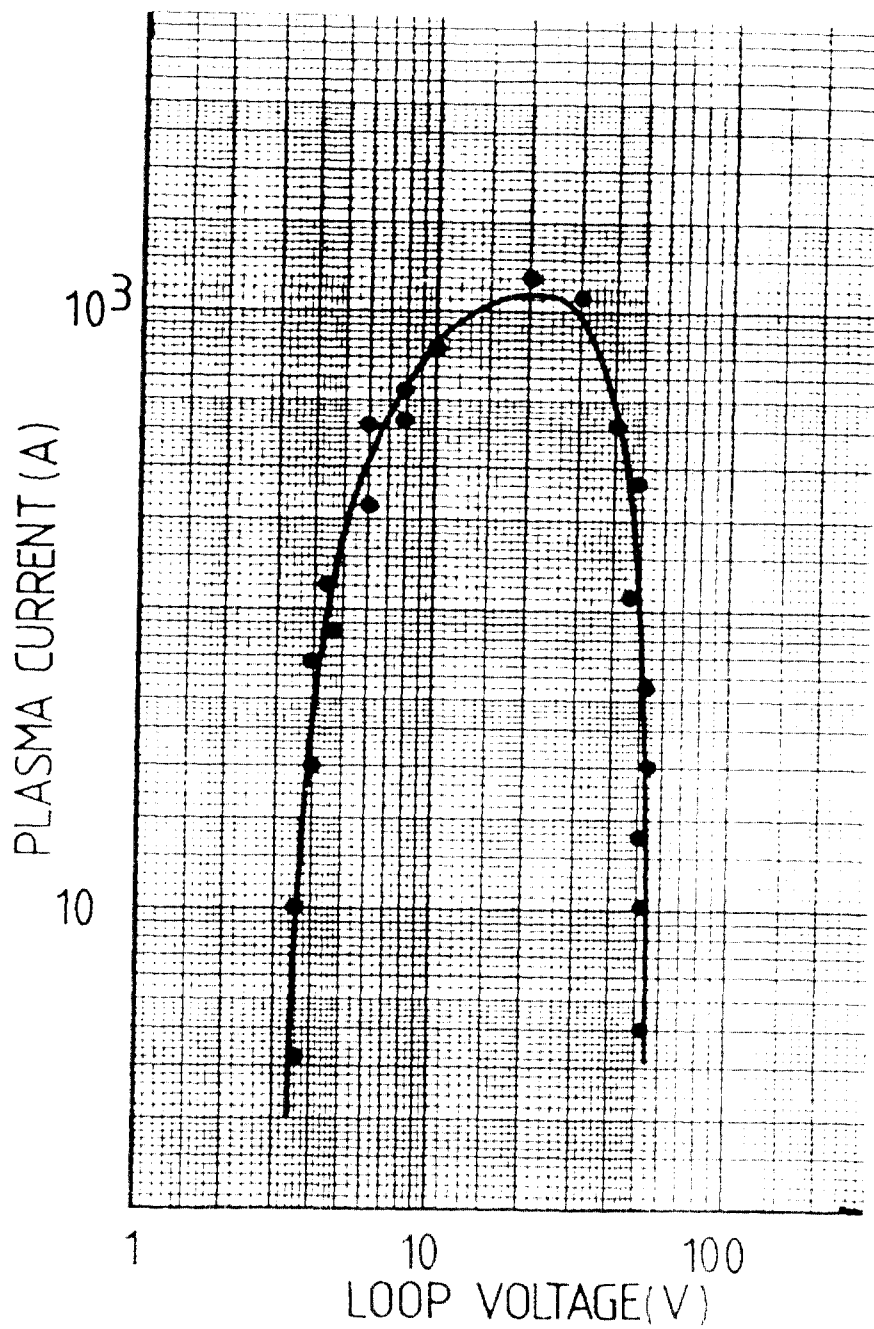


그림 1. Plasma current versus loop voltage at the gas filling pressure of  $7.2 \times 10^{-5}$  torr with preionization.

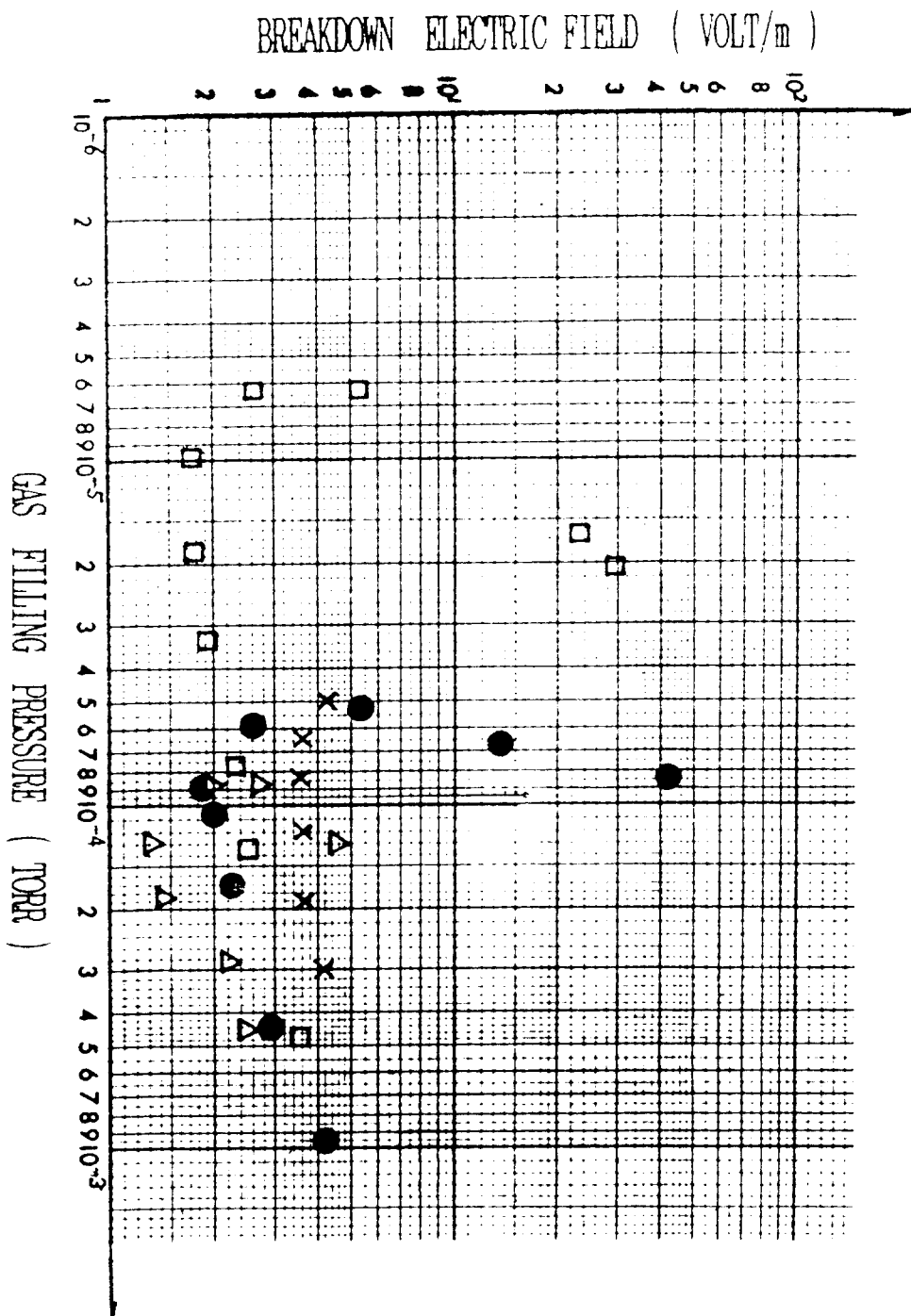


그림 2. Breakdown conditions of some tokamak devices in comparison with those of the KAERIT; JFT-2[□], PRETEXT[X], T-11[Δ], KAERIT[●].

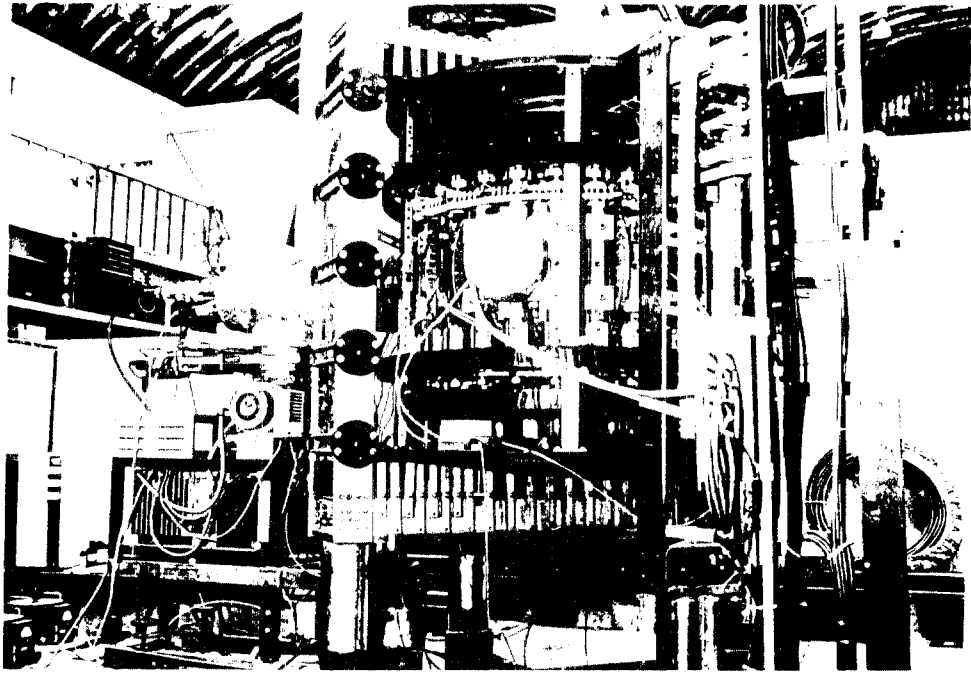


사진 1. KAERIT 본체

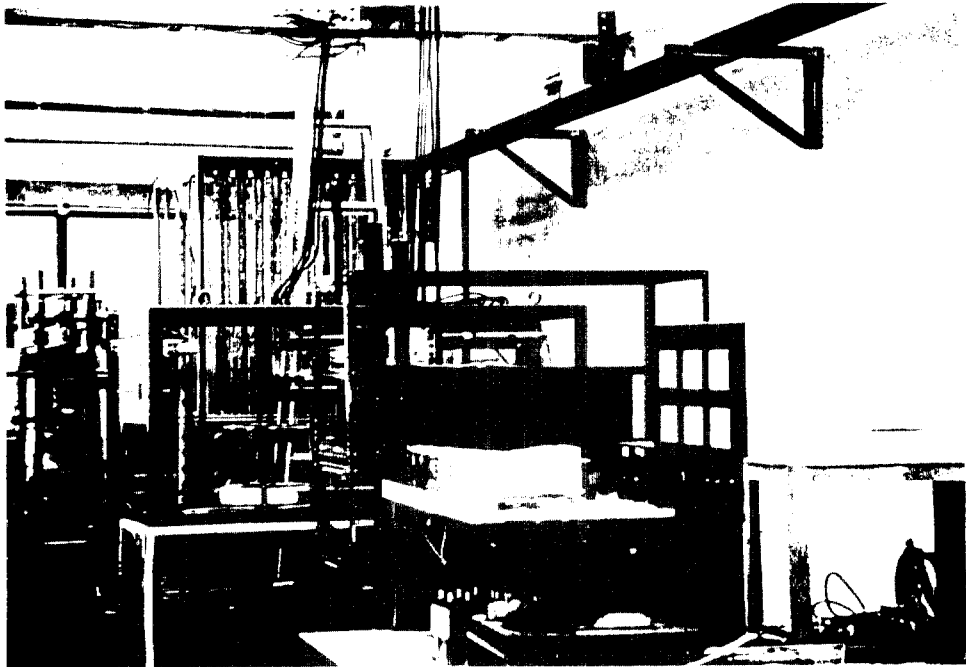


사진 2. KAERIT 전원

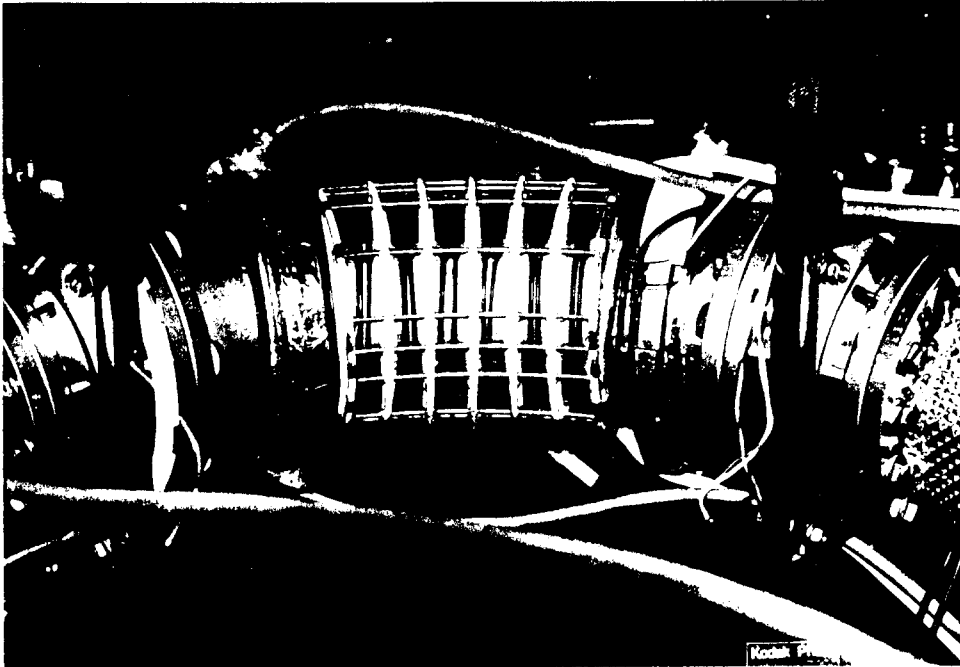


사진 3. 플라즈마 용기와 자기(magnetic) 프로브