

KSTAR TOKAMAK의 열차폐막 설계

김동락, 노영미, 허남일, 조승연, 육종설, 안귀천, 도철진, 권 면, 이경수, 윤병주*
한국기초과학지원연구원, (*)한국원자력연구소

The Design of Thermal Shield for KSTAR TOKAMAK

Dong-Lak Kim, Yung-Mi No, Nam-Il Her, Seung Yeon Cho, Jong Seol Yuk, GwiCheon Ahn, Cheol Jin Doh, Myun Kwon, Gyung-Su Lee, Byung-Ju Yoon*
Korea Basic Science Institute
(*)Korea Atomic Energy Research Institute

dlkim@comp.kbsi.re.kr.

Abstract - The function of the thermal shield(TS) is to eliminate the thermal radiation from the room temperature side to the coil temperature(4.5K) region so as to reduce the thermal load on the He refrigerator. The TS is composed of multilayer insulation(MLI) which is coated very thin aluminum on the insulating material, cryopanel which is cooled by cold gaseous He, and supports which stand the cryopanel and MLI on the room temperature part. The thermal shield for the TF coils and PF coils has been located between the coils and vacuum vessel. The thermal shielding cryopanel is cooled under 80 K by a forced flow of helium gas using cooling pipes on the cryopanel.

1. 서 론

고도산업사회에서 증가하는 에너지수요에 대처하기 위하여서 핵융합에 의한 에너지생산이 그 좋은 해결방안이라고 할 수 있다. 한국기초과학지원연구원에서는 TOKAMAK 형 실험핵융합로의 설계 및 건설인 KSTAR 계획이 진행되고 있다[1].

KSTAR TOKAMAK 장치는 약 1억도가 되는 고온의 플라즈마를 가두기 위해서 5 K로 냉각된 초전도 자석을 이용한 자기장 밀폐 방법을 사용하고 있다. KSTAR TOKAMAK의 주 장치는 상온의 cryostat 내부에 표면온도가 상온의 vacuum vessel이 있으며, 이 사이에 5K 헬륨온도영역의 toroidal field coil(TF coil)과 poloidal coil(PF coil) 및 coil를 지지하는 coil structure가 있다. 300K 상온으로부터 5K 헬륨온도영역으로 들어오는 복사열을 줄이고 냉동시스템을 경제적으로 운영하기 위하여 80K

온도영역의 열차폐막을 설치하는 것이 효율적이다. 복사열을 줄이기 위한 열차폐막은 복사열을 수동적으로 차폐하는 multilayer insulation (MLI), 80K cold helium gas를 흘려서 능동적으로 침입열을 제거하는 cryopanel 및 이를 지지하는 구조물인 support로 구성된다. 그림 1에 KSTAR TOKAMAK의 단면그림을 보인다.

2. 본 론

열차폐막은 헬륨가스로서 냉각되며, cryopanel의 온도가 정상운전시 최대 80 K를 넘지 않도록 설계한다. 사용되는 헬륨 가스의 입구 온도는 60 K이고, 출구 온도는 최대 80 K 미만이 되어야한다. cryopanel공급되는 헬륨 가스의 입구 압력은 20bar이며, 출구까지의 허용 압력 강하는 0.5 bar이다.

열차폐막 설계시 고려하여야 할 열설계요소는 복사열 뿐만이 아니고, support를 통해 들어오는 전도열 및 실험시 발생하는 초전도자석의 자기장의 변화 및 plasma disruption에 의한 급격한 plasma 전류 등으로 인하여 열차폐막의 cryopanel에 eddy current로 인한 Joule 열 발생을 고려하여야 한다.

열차폐막의 구조와 관련하여, 기계적인 하중으로는 열차폐막의 자체하중, 지진에 의한 영향 및 plasma disruption에 의한 전자기력을 고려하여야 한다. 특히 plasma disruption에 의한 전자기력은 위치에 따라 강도와 작용방향이 다르며 부분적으로는 3bar 이상의 하중이 작용하는 곳이 있다.

열차폐막에는 운전조건에 따라 vacuum vessel 열차폐막(VVTS)와 cryostat 열차폐막(CTS)로 구분된다.

VVTS는 공간적인 제약으로 인하여 vacuum vessel의 외벽에서 40mm 공간에 설치되어 있다. CTS는 cryostat 내벽에서 150mm 공간에 설치되어 있다.

3. 결 과

vacuum vessel은 plasma 발생으로 인한 내부 벽의 오염을 막기 위하여 150°C 온도로 가열하여 깨끗이 한다. 이로 인하여 VVTS는 150°C의 열에 견딜 수 있는 MLI와, 이 온도에 재질이 손상되지 않고 VVTS의 냉각온도인 80K 사이에 열침입을 최소화 할 수 있는 낮은 열전도도를 가진 재질과 구조로 설계되어야 하며, 또한 순간적으로 강한 전자기력을 견디어 낼 수 있는 강도를 가져야 한다.

CTS는 baking mode가 없으며, 전자기력의 영향도 무시할 정도이므로 MLI는 양면에 alumimnium이 증착된 Mylar와 glass fiber paper 또는 nylon net의 spacer로 구성된 것을 사용한다.

suppot로는 구조적인 위치에 따라 열전달량 및 기계적인 하중을 고려하여 stainless steel 및 GFRP로서 열침입량을 최소화 할 수 있는 구조로서 설계한다.

표 1에 열차폐막의 운전조건을 보인다.

열차폐막을 하기 전과 비교하여 차폐효과는 MLI를 30층 시공하였을 경우 열침입의 약 80%를 줄일 수 있었으며, normal operation의 경우 80K에서 5.3kW의 열부하를 얻었다.

Cryostat의 열차폐막은 위치에 따라 lid, body, base로 구분되며, 각부분은 원주방향으로 16조각으로 나누어지며, 각 조각은 2개의 cryopanel로 이루어 진다.vacuum vessel은 원주방향으로 16개의 조각으로 나누어지며, 각조각은 eddy current 및 E-M load를 줄이기 위하여 4개의 cryopanel로 이루어 진다.

현재 열차폐막의 설계는 상세설계 및 설계의 해석이 진행되고 있으며, cryopanel의 유체가 흘러가는 유로 및 cryopanel의 형상에 관하여서, 장기간의 실험과 진동 등으로 인한 헬륨의 leak의 위험도를 최소화하는 형상을 결정하기 위하여 검토 중에 있다.

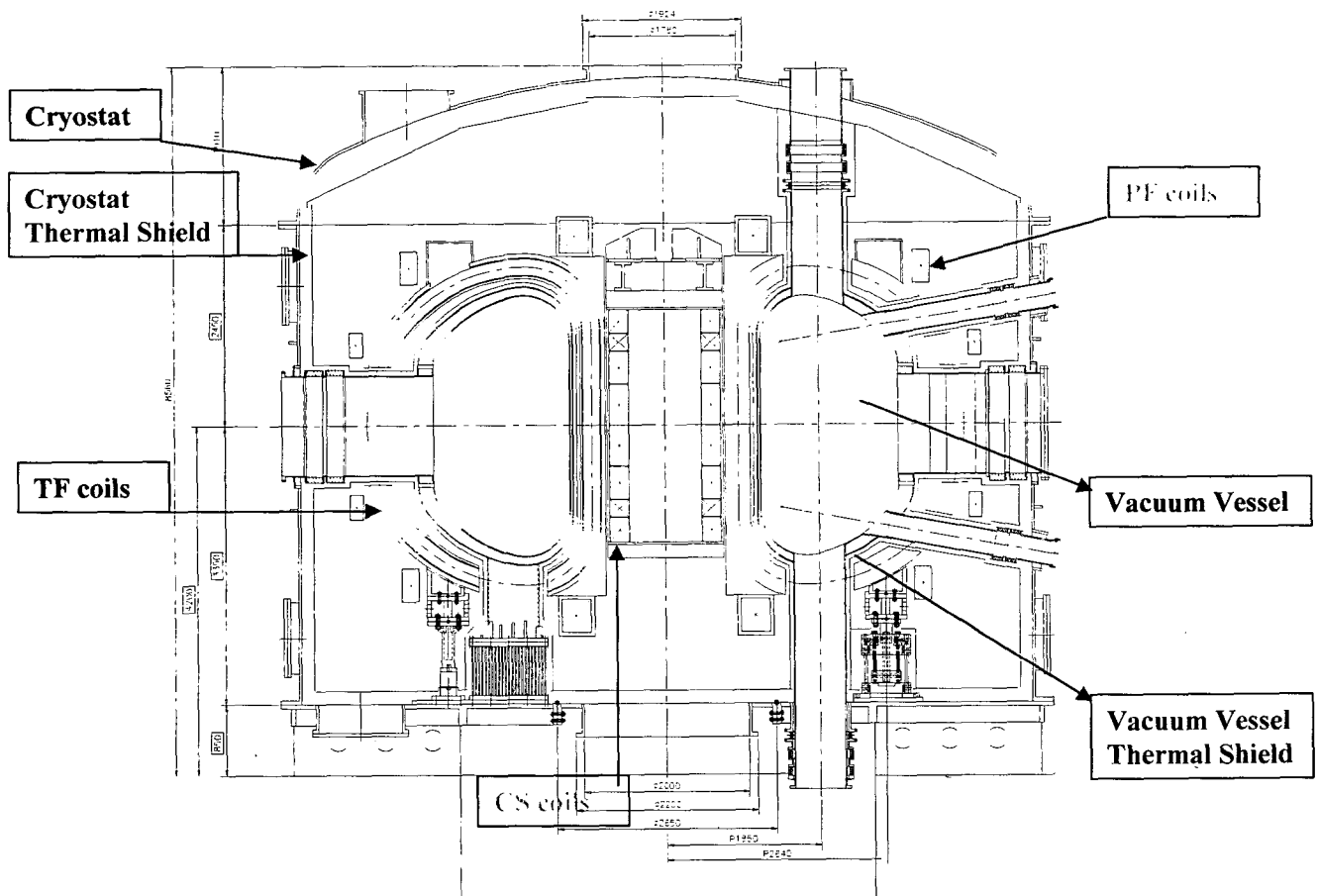


Fig. 1. The Cross-sectional View of KSTAR TOKAMAK

Table 1. Operation condition of Thermal Shield

1	Temp. of Cryostat & Vacuum vessel Wall	300 K, (baking :150°C for vacuum vessel wall)
2	Cryopanel의 operation temp.	Inlet temp. of He gas : 60 K normal op. : max. 80 K baking : max. 100 K
3	Opeeration Pressure	20 bar, $\Delta p \leq 0.5$ bar
4	Coolant	Gaseous He

[참 고 문 헌]

[1] KSTAR Project Team, "PHYSICS REQUIREMENTS DOCUMENT", KSTAR ANCILLARY ENGINEERING REVIEW DOCUMENTS, pp. 1 ~ 11. 1998.