

## KSTAR Vacuum Vessel의 열차폐막 설계

김동락, 육종설, 이기성  
기초과학지원연구소

### Thermal Shield for Vacuum Vessel of KSTAR TOKAMAK

Dong-Lak Kim, Jong Seol Yuk, Ki-Seong Lee  
Korea Basic Science Institute

dlkim@comp.kbsi.re.kr

**Abstract** - 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. Design of the KSTAR thermal shield of vacuum vessel is described.

#### 1. 서 론

고도화된 산업 사회와 21 세기의 편리한 문명의 이기들을 지지해주는 전기는 한 나라의 경제 활동을 떠 받쳐주는 핵심으로서의 자리를 굳혀왔다. 최근들어 인구의 꾸준한 증가와 더불어 늘어나는 전력의 수요를 감당하기 위한 노력이 필수 불가결하게 되어졌다. 여러 가지 에너지원 중 핵융합에 의한 발전에 많은 사람이 관심을 기울이고 있으며 핵융합의 좋은 예인 태양은 매 초 4 조 와트의 100 조배에 이르는 에너지를 핵융합 반응에 의해 방출하여 지구 생명체의 에너지원이 되었다.

지구상에 인공 태양을 만드는 KSTAR TOKAMAK[1] 장치는 1 억도가 되는 플라즈마를 가두기 위해 초전도 자석을 이용한 자기장 밀폐 방법을 사용하고 있다. 4.5 K 영역에서 작동되는 초전도 자석에 진공용기(vacuum vessel) 벽면에서 발생하는 복사 열에너지로 인한 영향을 최소화하기 위해 열차폐막(thermal shield) 설치하는 반듯이 필요하다.[2] 본 논문에서는 진공용기의 열차폐막 설계를 위한 배관 및 헬륨 가스의 압력 강하에 대해 고찰하였다.

#### 2. 본 론

진공용기의 열차폐막은 20 bar의 헬륨 가스가 냉각 파이프를 통해 흐르므로써 cryopanel의

온도가 80 K가 되도록 설계되어야한다. 사용되는 헬륨 가스의 입구 온도는 60 K이고, 출구 온도는 최대 80 K 미만이 되어야한다. cryopanel을 통해 흐르는 헬륨 가스의 허용 압력 강하는 0.5 bar이다.

cryopanel은 진공용기(vacuum vessel)의 바깥쪽으로 50 mm를 띄운 것을 고려하나, CS(central solenoid) 코일이 있는 안쪽 부분은 진공용기와 사이가 좁기 때문에 40 mm를 띄워서 설계하였다. cryopanel은 진공용기 수직 방향으로 4 등분(90°)한 뒤, 각각을 다시 4 등분(22.5°)하여 총 16 등분이 되도록 크기를 정하였다. 그림 1 처럼 각각의 조각(panel)을 8 조각이 되도록 다시 수평 방향으로 나누어 설계하였다. 냉각 파이프는 각각의 panel당 1개의 입구와 출구를 가지도록 설계하였으며, 기본적으로 냉각 파이프 사이의 간격은 200 mm가 되도록 하였다.

cryopanel 재질로는 두께 3 mm의 스테인레스 스틸 판 사용을 고려하였으며, 헬륨 가스가 흐르게 될 내경 10 mm 동관을 부착하여야한다. 관의 부착은 cryopanel에 직접 부착하는 방법과 stycast를 사용하여 접착하는 방법을 사용할 수 있다. cryopanel의 재질은 플라즈마 disruption에 의한 eddy current를 최소화하기 위한 스테인레스 스틸을 고려하였으며, cryopanel의 지지 구조물로는 열전도도가 적은 GFRP(glass-fiber-reinforced plastic) 재질을 사용하여 설계하였다. 진공용기 외벽과 cryopanel 사이에 MLI(multilayer insulation)를 설치하여 진공용기 벽에서 침입하는 복사 열에너지를 최대한 줄이도록 하였다.

표 1.에서 normal operation과 soft baking때 1개의 panel에 나타나는 압력 강하를 Blausius 방정식(A)과 수정된 Bernolli 방정식(B)으로 구하였다. 이때 사용된 관이름 손실계수는 0.75이며 계산 결과 0.5 bar 보다 낮은 압력 강하를 보여주었다.

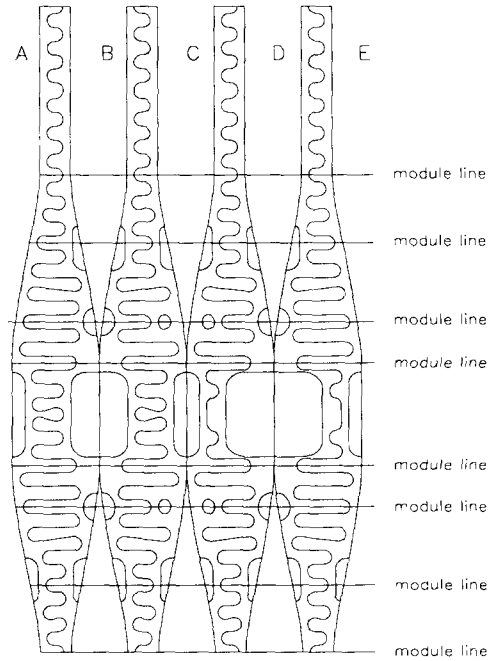


Fig. 1. Schematic diagram of thermal shield for a quadrant vacuum vessel

Table 1. Pressure Drop of a Cryopanel

vacuum vessel	# of bend	# of elbow	length	area	mass flow	pressure drop (mbar)	
	180 °	90 °	(m)	(m <sup>2</sup> )	(g/s)	A	B
normal	117	38	116	25.87	1.75	65.6	53.7
soft bake	117	38	116	25.87	3.33	242.7	216.2

### 3. 결론

normal operation과 soft baking시 진공용기(vacuum vessel)의 cryopanel 배관 간격을 대략 200 mm로 하여 냉각 파이프를 배관하였을 때 수정 Bernolli 방정식, Blausis 방정식의 계산 결과 KSTAR의 허용 압력 강하 0.5 bar 보다 작았다. 따라서 진공용기 열차폐막 설계에 있어서 냉각 파이프의 간격을 200 mm로 설계하였을 때 압력 강하 문제는 크지 않다고 판단된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] KSTAR Project Team, "PHYSICS REQUIREMENTS DOCUMENT", KSTAR ANCILKARY ENGINEERING REVIEW DOCUMENTS, pp. 1 ~ 11. 1998
- [2] N. Inoue, A. Kormori, H. Hayashi, H. Yonezu, M. Iima, R. Sakamoto, Y. Kubota, A. Sagara, K. Akaishi, N. Noda, N. Ohyabu, O. Motojima, "Design and construction of the LHD plasma vacuum vessel", Fusion Eng. Des., 1998