

KSTAR TOKAMAK을 위한 저온시스템의 설계

김동락, 오영국, 정영수, 이정민, 최창호, 임기학, 허남일, 김양수,
박영민, 김용채, 조광운, 이재묘, 도철진, 권 면, 이경수
한국기초과학지원연구원

The Design of Cryogenic System for KSTAR TOKAMAK

D.L. Kim, Y.K. Oh, Y S Jung, J.M. Lee, C.H. Choi, K.H. Im, N.I. Her, Y.S. Kim,
Y.M. Park, W.C. Kim, K-W Cho, J.M. Lee, C.J. Doh, M. Kwon, G.S Lee
Korea Basic Science Institute

dlkim@comp.kbsi.re.kr.

Abstract - Cryogenic technology is one of the key technologies for fusion reactor equipped with superconducting coil for plasma confinement. The KSTAR(Korea Superconducting Tokamak Advanced Research)Project is in progress since 1996. Major parameters of the KSTAR tokamak are : major radius 1.8m, minor radius 0.5m, toroidal field 3.5 Tesla and plasma current 2MA with a strongly shaped plasma cross-section and double-null diverter. Considering practical engineering constraints, the KSTAR device is designed for a pulse length of 300 sec in up-graded operation mode but in the initial configuration would provide a pulse length of 20 sec provided by the poloidal coil system in base-line operation mode. The cryogenic system is composed as follows : cold box, helium compressor system, distribution box, helium gas buffer tank, helium gas purifying system, gas recovery system, liquid helium storage dewar, current lead box, current bus line and liquid nitrogen storage tank.

1. 서 론

저온기술은 plasma 밀폐를 위하여 초전도자석을 채용하는 방식의 핵융합로에서는 가장 중요한 기술 중의 하나이다.

한국기초과학지원연구원에서는 1996년부터 KSTAR (Korea Superconducting Tokamak Advanced Research) project가 진행 중에 있

다. KSTAR TOKAMAK의 주요 설계요소는, major radius 1.8m, minor radius 0.5m, toroidal field 3.5 Tesla 그리고 plasma current 2MA이다. KSTAR는 초기단계의 base-line operation에서는 pulse-length 20초로 운전되며 up-graded operation에서는 pulse-length 300초 운전으로 설계되었다.

2. Cryogenic System 개요

Large scale cryogenic system으로서의 KSTAR cryogenic system의 주요 설계요소는 다음과 같다. 1) 냉동기의 대용량 냉각능력, 2) 다양한 운전 mode에 대한 한제(cryogen)의 공급과 제어, 3) 시스템의 단열성, 4) 초전도자석의 안정적 운전 및 시스템의 자동제어 등이다.

Cryogenic system의 구성은 다음과 같다 : 헬륨냉동기, 헬륨압축시스템, distribution box, 헬륨가스 buffer tank, 헬륨가스 정제시스템, 가스회수시스템, 액체헬륨 저장용기, current lead box, current bus line, 액체질소 저장탱크 등이다. Distribution box에는 초전도자석 냉각을 위한 초임계헬륨(supercritical helium, SHE) 강제순환장치와 in-vessel cryopump를 위한 액체헬륨공급장치가 들어 있다. 그림 1에 시스템의 개요를 보인다.

Cryostat 내부에는 cryogenic system으로부터 냉각되어야 할 여러 저온시스템이 있다. 즉 TF coil, PF coil, coil structure, in-vessel cryopump, current lead 그리고 thermal shield 등이다.

KSTAR TOKAMAK은 plasma 밀폐를 위한 모든 전자석이 초임계헬륨으로 냉각되는 CICC (cable-in conduit conductor)형의 초전도자석으로 된 첫 번째 장치이다. KSTAR 장치에는,

초전도자석 및 thermal shield system의 설계와 냉각기술이 중요 저온기술이다. CICC형의 초전도자석의 냉각방법은 강제냉각법(forced flow type)으로서 초전도자석은 4.5K의 저온순환기를 사용하여 초임계헬륨으로 냉각된다. 이 저온 초임계헬륨 순환방식은 초임계헬륨의 제어, 냉동효율 및 transient heat load 등의 장점이 있다.

Cryogenic system의 운전온도영역은 80K He 가스의 shield temperature 영역, 5K 초임계헬륨의 coil temperature 영역, current lead를 위한 4.3K 액체헬륨온도영역 및 in-vessel cryopump를 위한 3.7K 액체헬륨온도영역으로 나뉘어진다.

표 1에 cryogenic system의 운전조건을 보인다. 액체질소는 시스템의 상온에서부터의 초기냉각 단계에서만 cold box에서 열교환기를 통하여 헬륨가스를 냉각시키기 위하여 사용된다.

KSTAR TOKAMAK System의 냉각중량은 약 380톤이며, base-line operation mode에서 10kW, up-graded operation mode에서는 12kW의 냉각능력이 요구된다.

base-line operation mode에서, 총 열부하량의 약 45%는 초전도자석의 냉각, 약 42%는 초전도자석에 전류를 공급하기 위한 current lead에서 발생한다. 그러므로 구리(Cu) current lead로부터의 열부하를 줄이기 위하여 고온초전도재료 또는 Brass 등의 전기전도도가 좋고 열전도도가 비교적 낮은 재질에 대하여 검토중에 있다.

[참고 문헌]

- [1] KSTAR Project Team, "The KSTAR project: An advanced steady state superconducting tokamak experiment", Nuclear Fusion 40(3Y), 2000.
- [2] KSTAR Cryogenic Task Team, "Cryogenic System Design for KSTAR Device." 기초과학지원연구소, 2000년 5월.

Table 1. Cryogenic Requirement for Cooling

System	Temp.	Pressure	Coolant
- Shield Temp.: Thermal Shield Coil Supp.Post In-vessel Cryopump Current Bus Line	60~80K	20bar	Gas He
- Coil Temp. T.F. coil P.F. coil Coil Structure Current Bus Line	4.5K	3~5bar	Super-critical He
Current Lead	4.3K	1.3Bar	Liquid He
In-vessel Cryopump	3.7K	0.6Bar	Liquid He

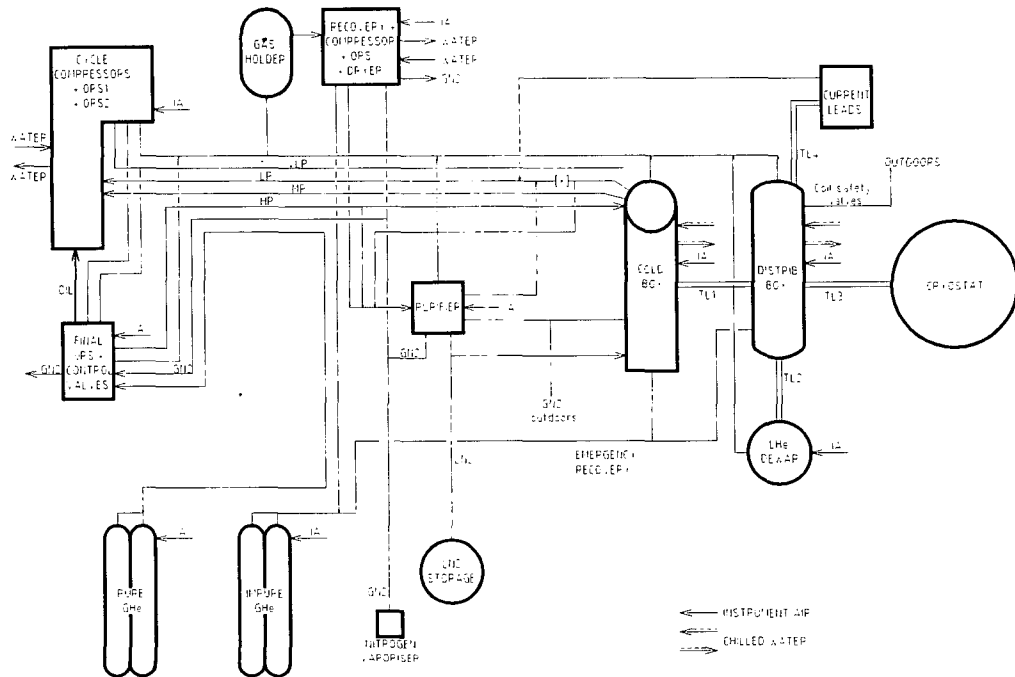


Fig. 1. Cryogenic System and Fluid Line.