

저항형 초전도 한류기 저온 냉각시스템 설계

조 승 연^{*}, 양 형 석, 김 동 락, 김 도 형, 정 원 목, 정 기 호
한국기초과학지원연구원

Design of the Superconducting Fault Current Limiter Cryogenic System

Seungyon Cho^{*}, HyungSuk Yang, Dong-Lak Kim, Do-Hyeong Kim, Won-Moog Jung,
Gi-Ho Jeong
National Fusion R&D Center, Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-333, Korea

요 약

고온 초전도 한류기는 초전도 기술을 이용한 것으로 고장전류가 발생하면 초전도 상태가 붕괴되는 퀘칭 현상으로 인해 순식간에 상전도 상태로 전이하여 전기저항을 발생시켜 저항스위치 역할을 하여 한류기로서의 역할을 하게 된다. 저항형 한류기는 소형 경량화가 가능한 갖는 한편 퀘칭 발생시에 한류소자에 과도한 열발생에 따른 열 분산을 해주어야 하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하고 한류소자의 작동에 필요한 조건을 제공할 수 있는 저온 cryostat 시스템이 필요하다. 저항형 고온초전도 한류기 냉각용 cryostat은 크게 액체질소에 잠겨있는 한류소자, 한류소자와 상온부와 연결하는 전류도입선, 액체질소 용기, 진공용기 등으로 구성되어 있다.

한류기 냉각시스템에 사용되는 질소는 포화액체질소보다 과냉각 액체질소를 사용하는 것이 바람직하다. 왜냐하면, 정상상태에서 열이 발생할 경우 bubble 발생을 억제할 수 있으며, 퀘칭 후 발생된 bubble이 빠져나가고 표면에 존재하는 bubble의 소멸을 유도하여 소자와 액체질소와의 접촉을 촉진시켜 열전달이 원활하게 이루어질 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 이러한 한류기 냉각용 cryostat의 설계에 대해 언급하였으며 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 정상상태에서 발생하는 열량은 총 60 W이며, 이 중 전류도입선을 통한 열하중이 50%를 넘으며 MLI를 통해 들어오는 열도 25% 정도로 상당히 크다.
- (2) SFCL에 고장전류가 흐를 경우 초전도 특성이 파괴되며 온도가 상승하여 퀘칭이 발생하는데 이 경우 SFCL에서 282.3 kJ의 엄청난 에너지가 방출된다.
- (3) 이 열로 인해 한류소자가 잠겨있는 액체질소의 온도가 0.3 K 만큼 상승하도록 액체질소 양을 결정하였다.
- (4) 또한 이 열을 액체질소가 기체로 변환하면서 빼앗아 가는데 이로 인해 엄청난 양의 기체가 발생한다. 기체의 압력이 3기압이 되도록 질소용기의 크기를 결정하였다.
- (5) 질소용기를 둘러싸고 있는 진공용기는 질소용기 크기를 기준으로 제작성을 고려하여 가능한 한 작게 설계하였다.
- (6) 질소용기 및 진공용기의 무게를 가능한 한 줄이기 위해서 작은 두께로 고압에 견딜 수 있는 torispherical 형상으로 용기 상·하판을 설계하였다. 이 경우 cryostat 전체 무게가 0.925 ton이다.
- (7) 고장전류 발생 시 냉동기 냉각부하를 줄이기 위해 정상전류 200 A를 기준으로 전류도입선 크기를 결정하였다.
- (8) 한류기 전류도입선 설계에 교류전류의 영향은 3% 오차범위 이내에서 직류전류 기준으로 설계해도 무방함을 발견하였다.
- (9) 냉동기를 사용할 경우 퀘칭 회복시간인 40분이 지나야 한류기 열부하를 충분히 감당할 수 있다.