

전도냉각형 HTS 자석의 전류도입부에서의 열적 켄치

배준한, 배덕권*, 박해용, 손명환, 성기철
한국전기연구원, *충주국립대학교

Thermal Quench at Current Terminals of the Conduction-Cooled HTS Magnet

Joon-han Bae, Duck-Kweon Bae*, Hae-yong Park, Myung-hwan Shon, Ki-chul Seong
KERI, *Chungju National Univ.

Abstract : The heat generated in the high-Tc superconducting (HTS) devices is related with the cost efficiency and safe factor of HTS devices. This paper deals with the quench at the conduction-cooled joint between the HTS wire and copper terminals. The 3-D numerical simulation of this phenomenon was implemented and compared with the experimental results. The experiment was implemented with the HTS wire mounted on the copper blocks cooled with a Gifford McMahon (GM) cryocooler.

Key Words : HTS wire, conduction-cooled joint, copper terminals

1. 서론

Bi-2223 wire와 YBCO coated conductor의 성공적인 상업화로 고자장 HTS 자석을 이용한 초전도응용기기의 개발이 활발히 진행되어 왔고, 최근에는 조작의 용이성, 소형화, 운전온도 가변의 용이성 등의 많은 장점을 갖고 있는 전도 냉각형 HTS 자석에 대한 연구에 대한 관심이 고조되고 있다. 전도 냉각형 HTS 자석은 기존의 냉매 냉각 방식과 달리 냉동기만을 이용하여 전도 방식으로 열을 축출하기 때문에 자석 내의 국부적인 켄치 발생시 열전도가 좋지 않기 때문에 자석의 일부가 손상되거나 소손될 우려가 크다. 이러한 이유에서 아직까지 전도 냉각형 HTS 자석의 운전은 직류를 사용하며, 운전 전류는 보통 임계전류의 70%이하 이다. 그러나, 초전도에너지 저장장치(SMES)와 같이 비교적 급속으로 충방전을 요구하는 경우에는 HTS 자석과 전류도입선이 전기적으로 연결되는 구리단자에서 와전류로 인해 전송 전류가 표면으로 집중하게 되고 이러한 편류 현상이 HTS 자석을 조기 켄치 시키고, 또한 구리 단자에서 발열된 열이 HTS 자석으로 전도되어 결국 HTS 자석을 열켄치 시키는 결과를 초래하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 전도 냉각형 HTS 자석의 열폭주가 가장 발생하기 쉬운 HTS 자석과 전류도입선이 연결되는 구리단자 부근에서의 전송전류 패턴에 따른 온도 분포 시뮬레이션하였고, 구리 단자와 HTS 자석 사이의 온도차에 따른 켄치 전류 변화를 실험을 통해 확인하였다.

2. 해석

그림 1은 주파수 200Hz, 전송 전류 300A일때의 구리단자 부근의 온도분포이다. 바닥면은 75K 고정되지만, HTS wire의 온도는 76.5K로 약 1.5K의 온도차를 보인다. 그림 2는 주파수 600Hz, 전송 전류 300A일때의 구리단자에서의

온도분포이다. 바닥면의 온도가 75K일때, HTS wire의 온도는 76.9K로 약 1.9K의 온도차를 보이며, 이 값은 주파수가 200Hz인 경우의 온도차 보다 약간 크다. 이러한 결과로부터 전송전류의 주파수가 높을 수록 열폭주의 원인이 되는 구리단자와 HTS wire 사이의 온도차가 증가함을 알 수 있다.

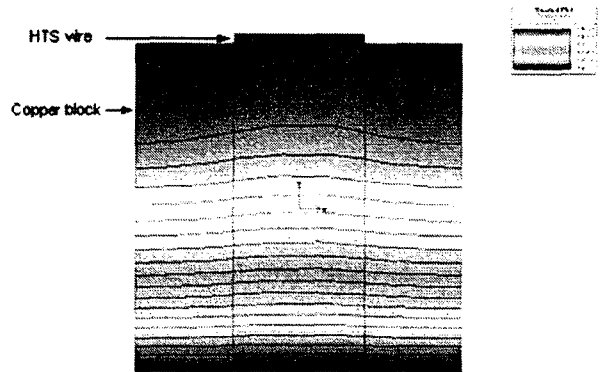


그림 1. 구리단자 부근에서의 온도분포(75K, 300A, 200Hz)

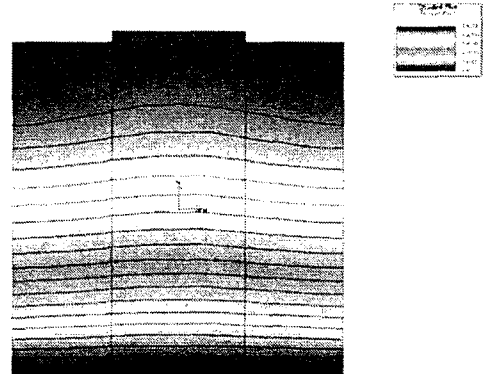


그림 2. 구리단자 부근에서의 온도분포(75K, 300A, 600Hz)

3. 결과 및 고찰

그림 3은 YBCO CC 선재의 열폭주 특성을 측정하기 위한 실험구성이다. 3개의 온도센서 및 전압탭이 CC의 중심과 구리 터미널에 각각 부착되었다. CC의 전도 냉각을 위해서 구리블럭은 냉동기에 직접 연결된다. 그림 4와 그림 5는 75K 및 80K에서의 CC의 전압-전류 특성이다. 75K에서의 I_c 는 90A, 80K에서는 47A가 얻어졌다. 실험으로부터 75K의 I_c 가 80K 보다 2배 정도 높음을 알 수 있다.

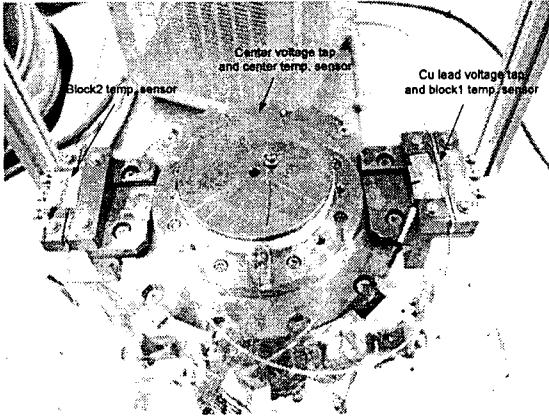


그림 3. HTS wire의 열폭주 특성 실험을 위한 구성

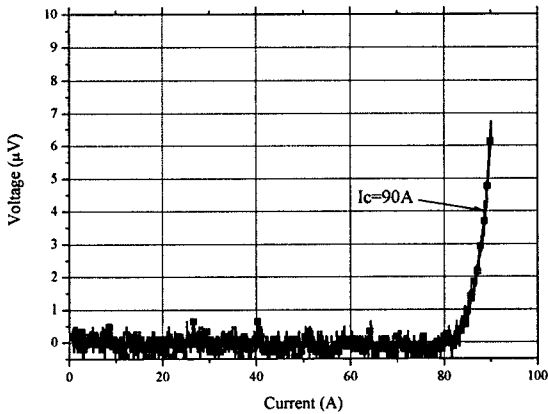


그림 4. 75K에서 YBCO CC의 전압-전류 특성

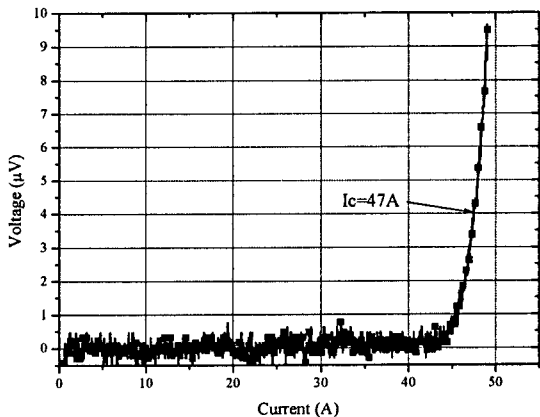


그림 5. 80K에서 YBCO CC의 전압-전류 특성

그림 6은 전류 증가시 온도 분포이다. 전류공급 전의 CC 중심부와 터미널의 온도는 78K로 같았으나, 전류공급 후에는 1.4K의 온도차가 발생하였다. 이러한 온도차로 인해서 그림 7에서 터미널 부근에서 켄치가 먼저 발생하여 전송전류가 95K일때 열폭주로 CC가 소손되었다.

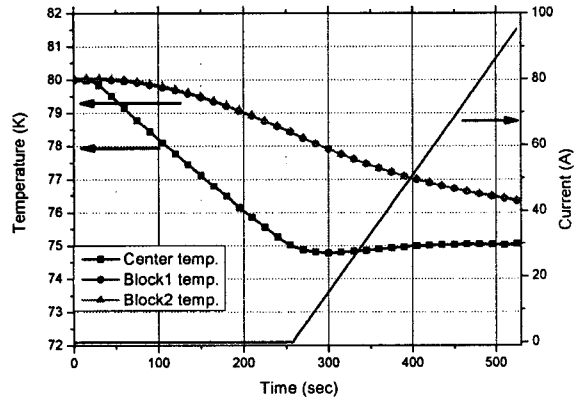


그림 6. 온도-전류 특성

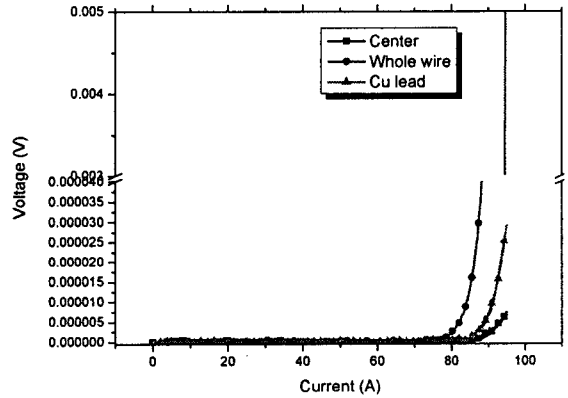


그림 7. 열폭주 특성

4. 결론

본 연구에서는 전도도 냉각된 구리 터미널 부근에서의 조기 켄치에 대해 알아 보았다. 먼저, 터미널 부근에서의 온도 분포를 수치적으로 계산하였고, 실험을 통해 터미널 부근에서의 조기 켄치를 확인하였다. 본 연구의 결과는 전도냉각형 HTS 자석 설계시 유용하게 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 전력산업연구개발 사업의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

[1] Waynert, Joseph A. Boenig, Heinrich J., Mielke, Charles H. Willis, Jeffrey O., and Burley, Burt L. IEEE Trans. on Applied Superconductivity Vol. 13, p. 1989, 2003