

고온 초전도선재의 Quench 특성 평가에 관한 연구

강 형구, 이 응로, 고 태국

전기·컴퓨터공학과 초전도응용 연구실
서울시 서대문구 신촌동 134번지 연세대학교 120-749

Received 27 May 2000

Abstract

일반적으로 Bi계 고온초전도선재(HTS Tape)는 저온초전도선재(LTS Tape)에 비해서 비열이 수백 배 이상 크므로 열적으로 상당히 안정한 성격을 가진다. 그러므로 이러한 HTS Tape를 TQ(Thermal Quench)시켜주는 일은 매우 어렵게 되는데, 일반적으로 HTS Tape를 이용한 초전도응용 분야에서 TQ를 이용한 스위칭 동작이 매우 중요하므로, 응용에 앞서 이에 관한 연구가 반드시 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 Bi-2223 Short Sample의 TQ 특성을 실험하여 온도특성과 전압특성 등을 비교하였으며, 또한 이론적으로 HTS Tape를 TQ시켜주기 위한 열량과 실제 실험에서 사용된 열량의 값을 비교하였다.

Keywords : thermal, quench, HTS

I. Introduction

비열이 HTS에 비해 상대적으로 매우 작은 LTS의 Quench특성에 관한 연구는 지금까지 활발히 진행되어져 왔다. LTS는 비열 값이 작으므로 적은 양의 열량으로도 쉽게 Quench를 시킬 수가 있다. 그러나 비열이 LTS의 수백 배에 이르는 HTS Tape는 열적으로 매우 안정하므로 Quench시키는 것이 쉽지 않다. 또한 비열 값이 크므로 Quench후에도 다시 초전도 상태로 회복되기가 쉽다. 이러한 HTS Tape에 관한 TQ는 현재까지 국내에서 그다지 활발하게 연구가 되어져 있지 않은 상태이다. 그러나 HTS Tape를 초전도 기기로 응용하기 위해서는 TQ에 관한 연구가 반드시 선행되어야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 HTS Tape의 TQ 특성을 실험,

비교·분석하였다.

II. Experimental

2.1 실험조건과 실험방법

Bi-2223 HTS Tape는 비열이 매우 크므로 Quench시키는데 많은 열량이 필요하게 된다. 또한 단열조건이 매우 중요하므로 단열조건을 고려해 주어야 한다.

본 실험에서는 Short Sample의 Bi-2223 Tape를 이용하여 TQ 특성을 실험하였다. 다음의 표 1에 실험에 사용된 초전도선재의 사양을 나타내었다.

표 1. 초전도선재의 사양

	SC Fraction	filament	너비	두께	Matrix
S/C Tape	0.33	37 섬	4mm	0.25mm	Ag

*Corresponding author. Fax: +82 2 361 2772

e-mail: maglev@yonsei.ac.kr

This work was partially supported by Brain Korea 21

길이가 10cm인 Short Sample의 선재에 56cm

도의 히터를 감고 초전도선재와 히터 사이에 thermocouple을 설치하여 온도를 측정하였으며 외각에는 Stycast를 발라서 함침시켜 주어 Quench특성을 살펴보았다. 다음의 표 2에는 실험 조건을 나타내었다. 이 두 결과를 서로 비교하고 Quench가 일어날 때의 전압특성과 온도성에 대해 분석해 보았다.

표2. Quench실험 조건

실험 조건	선재의 길이	히터의 저항값	히터 전류	히팅 전력	동작 전류
실험 조건	10 cm	18.7 Ω	1.2 A	26.9 W	0~20 A

단, 초전도 선재 길이 10cm 중에서 히터는 선재의 2cm 정도 부분에 감아서 실험을 하였으며, 또한 Quench의 확인은 초전도선재의 온도 측정법과 양단 전압탭 간의 전압측정법, 두 가지 방법을 이용하여 확인하였다. 이때 고온 초전도 선재의 퀠치 온도는 약 120 K으로 산정되며 퀠치 전압은 1μV/cm로 결정하였다.

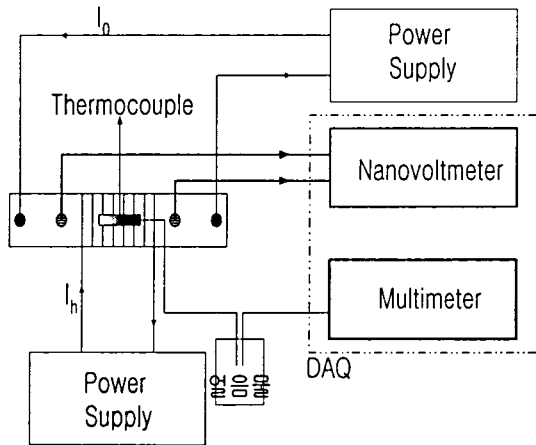


그림 1. 퀠치 측정실험 구성도

위의 그림 1에서 보는 바와 같이 선재에 일정한하게 동작전류 $I_0(0\sim 20A)$ 를 흘려주고 히터를 통해 히터전류 $I_h(1.2A)$ 를 흘려주어 양단전압과 온도변화를 각각 Nano-voltmeter와 T Type thermocouple을 통해서 측정하였다. 그리고 히터에는 약 27 W의 전력을 공급해주었으며.

2.2 실험결과 및 고찰

고온 초전도선재를 동작전류 1A로 하고 히터에 26.9W를 가해주었을 때 다음의 그림 2와 같은 퀠치 특성을 얻을 수 있었다. 그림에서 알 수 있듯이 양단전압값은 시간에 대해 온도값 보다 훨씬 빨리 응답하는 것을 알 수 있다. 또한 온도 회복시간은 온도 퀠치시간보다 비교적 짧았으며, 전압회복시간은 전압퀠치시간보다 약간 길었다.

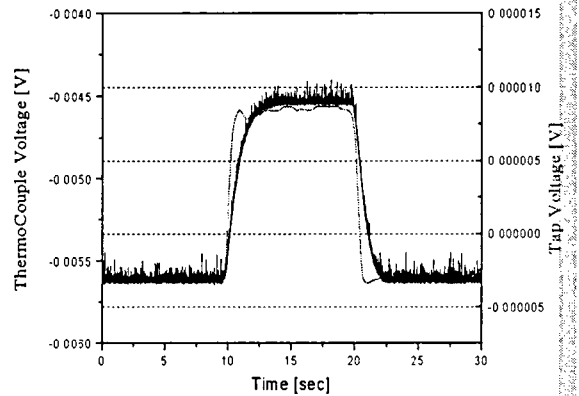


그림 2. 퀠치시 초전도선재에 나타나는 양단 전압과 온도변화 (동작전류 0.1A)

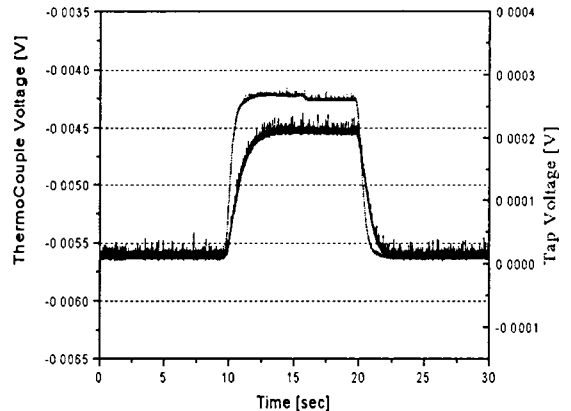


그림 3. 퀠치시 초전도선재에 나타나는 양단 전압과 온도변화 (동작전류 2 A)

위의 그림 2, 3과 같이 동작전류를 0A에서 20 A로 가변시켜 주었을 경우에 동작전류의 값

이 클수록 초전도 선재 내부에서 발생하는 주울열에 의해서 양단전압의 값은 커졌으며, 전압회복시간에서 전압켄치시간의 차는 동작전류의 값이 커질수록 길어짐을 알 수 있었다. 그 값의 변화를 그림 4에 나타내었다.

또한, 온도켄치의 특성을 살펴보면 동작전류의 크기와 관계없이 켄치 온도는 일정했으며 온도켄치시간은 약 3s로써 온도회복시간 약 2s보다 1s정도 길었다. 이때 켄치 온도는 약 120K이었으며 액체질소의 온도는 약 72K이었다.

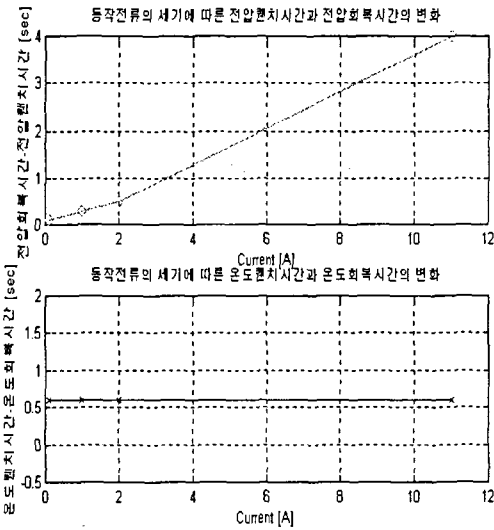


그림 4. 동작전류의 크기에 따른 각 특성값의 변화

II. Conclusion

HTS는 높은 비열때문에 TQ시켜주는 것이 매우 까다롭다. 또한 비열값이 매우 크므로 그 특성이 안정하므로 단열조건이 적당하지 않으면 켄치가 되었다 하더라도 다시 초전도 상태로 회복이 되어 버릴 수가 있다. 따라서 선재와 히터간의 간격이 최대한 밀착되게 히터를 감아주는 것이 필요하다. 또한 최외각에 Stycast를 바를 때 그 체적이 최대한 적게 해서 Stycast를 통해서 방출되는 열량을 최대한 줄여 주어야 한다. 이러한 선재와 히터의 간격이나 Stycast의 양 문제는 Quench시키려는 길이가 길

수록 더욱 중요하게 된다.

또한 실제로 얻어지는 전압켄치나 온도켄치 응답속도는 열량식으로 계산한 켄치속도보다 훨씬 느리게 반응하는 것을 알 수 있었다.

실제로 전압켄치속도는 상대적으로 온도켄치 속도보다 빠른 것을 확인할 수 있었으며 이는 HTS의 높은 비열때문인 것으로 생각된다. 그리고 전압켄치속도도 켄치시간과 회복시간으로 나누어볼 때, 전압켄치에서는 초전도선재에 흘러주는 동작전류의 값이 클수록 켄치속도보다 회복속도가 현저하게 느려지는 것을 알 수 있었으며 온도켄치에서는 동작전류의 크기와는 관계없이 회복속도와 켄치속도는 거의 변화가 없는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 초전도 히팅전류값을 일정하게 유지했을 경우의 켄치특성 의존성을 살펴보았다. 차후에는 히팅전류값 변화에 따른 켄치 응답속도 의존성을 살펴볼 것이며, 또한 Short Sample이 아닌 수 m급의 Long Sample의 경우 나타나는 켄치응답속도의 의존성도 살펴볼 것이다. 이러한 HTS의 켄치특성을 연구해 봄으로써 실제로 초전도기에 응용되는 초전도 스위칭 소자에 대한 특성을 파악하고 예측할 수 있을 것이다.

References

- [1] Vysotsky VS, Ilyin YA, Kiss T, Inoue M, Takeo M, Irie F, Okamoto H, "Thermal quench study in HTSC pancake coil", *Cryogenics*, V.40 N.1, 9-17, (2000)
- [2] Heller R, Tasca M, Erismann P, Fuchs AM, Vogel M, "Test results of a 10 kA current lead using Ag/Au stabilized Bi-2223 tapes", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, V.10 N.1, 1470-1473, (2000)
- [3] Rakhmanov AL, Vysotsky VS, Ilyin YA, Kiss T, Takeo M, "Universal scaling law for quench development in HTSC devices", *Cryogenics*, V.40 N.1, 19-27 (2000)
- [4] Shimizu S, Ishiyama A, Kim SB, "Quench propagation properties in HTS pancake coil", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, V.9 N.2 P.1, 1077-1080 (1999)
- [5] Tixador P, Obradors X, Tournier R, Puig T, Bourgault D, Granados X, "Quench in bulk HTS materials - application to the fault current limiter", *Superconductor Science & Technology*, V.13 N.5, 493-497, (2000)