

고온초전도선재의 과전류 통전특성 측정

이광연, 임형우, 이희준, 차귀수, 이지광*
순천향대학교 전기공학과, 우석대학교 전기공학과*

Measurement of HTS tapes Properties under Over current condition

K. Y. Lee, H. W. Lim, H. J. Lee, G. S. Cha, J. K. Lee*
Soonchunhyang University, *Woosuk University

kwang-1@hanmail.net

Abstract - Rises of temperature and resistance are observed in HTS tapes under over current condition. In this paper, we measured HTS tapes properties under low-over current condition with a little temperature rise as well as high-over current condition with a large temperature rise. According to the results of measurement, rises of temperature and resistance strongly depend on insulation level and duration of over current condition.

1. 서론

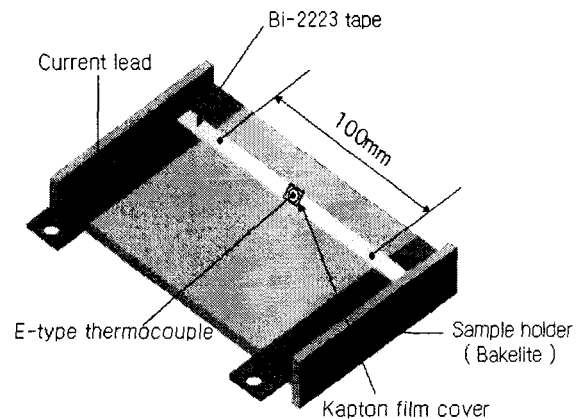
고온초전도선재는 초전도 케이블, 발전기, 전동기등과 같은 전력기기에 응용되고 있으며, 장선화가 용이하고 임계전류밀도가 높은 Bi-2223 테이프가 주로 사용되고 있다. Bi-2223테이프는 전력응용에 있어서 종종 임계전류보다 높은 과전류에 노출되는 상황에 직면하게 되며, 이러한 과전류가 일정 시간동안 지속적으로 선재에 인가되어지면 선재는 급격한 온도상승과 저항의 증가로 인해 소손한다. 따라서, 본 논문에서는 Bi-2223 테이프의 임계전류보다 높은 과전류를 실험적으로 모의하였고, 전력응용기기에 사용되는 테이프의 실제 환경과 유사하게 하기위하여 Bi-2223 테이프를 절연하고 외부자계를 인가하여 실험하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

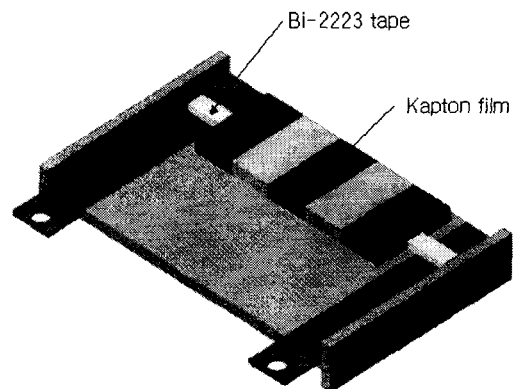
2.1 실험장치

실험에 사용된 실험장치와 고온초전도선재인 Bi-2223테이프의 사양을 그림 1과 표 1에 각각 나타내었다. 그림 1의 a)는 전압탭과 E형 열전대가 설치된 샘플 테이프와 샘플 홀더를 나타내며 온도측정을 위한 열전대를 전기적 절연과 고정을 위해 저온에폭시수지로 얇게 코팅, 도포하였다. 또한, 추가로 액체질소에 의한 빠른 온도회복을 늦추기 위해 한겹의 Kapton테이프로 열전대 부착부분을 절연하였다. 그림 1의 b)는 샘플

의 절연방식을 나타내며 10cm길이의 두겹의 Kapton테이프를 사용하여 샘플테이프를 절연하였다. 그림 2는 Bi-2223테이프에 외부자계를 인가하기 위한 실험장치를 나타내며 과전류를 모의하기 위해 30mm의 공극에 약 0.2T의 자계를 인가하였다.



a) Test sample and sample holder



b) Insulator with Kapton film

Fig. 1. Schematic of the test apparatus

Table 1. Specifications of the test sample

재질	Bi-2223	모재	AgMgNi
테이프 폭	4.2mm	테이프 두께	0.203mm
은비	0.33	임계전류 (77k)	114A
실험 조건	임계전류: 20[A] - DC 외부자계인가: 215[mT]		

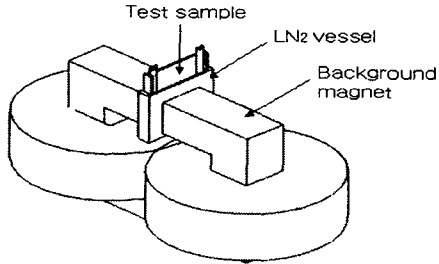
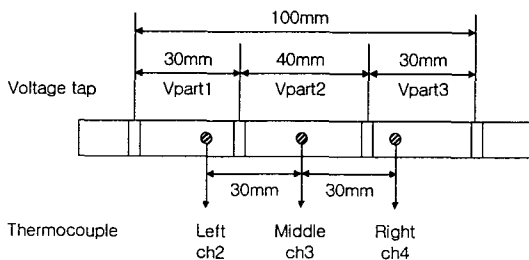


Fig. 2. Test sample which is located in the air gap

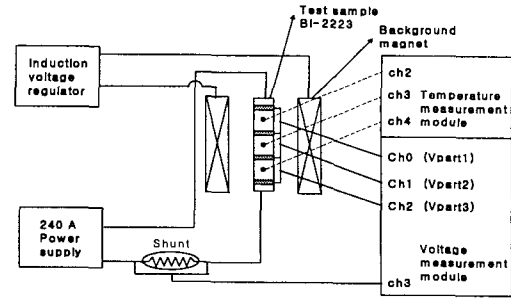
2.2 실험방법

Bi-2223테이프의 과전류 통전특성을 측정하기 위해 샘플테이프의 세 부분에 E형 열전대를 부착하였고 각 열전대 사이에 전압탭을 설치하여 열전대 부착부분과 관련된 테이프의 탭전압을 측정하였다. 이에 대한 측정방법과 측정회로는 그림 3에 나타내어지며 실험의 온도상승에 의한 모재(AgMgNi)의 저항률로부터 계산된 계산저항 값에 사용된 저항률-온도특성은 그림 4에 나타내었다[2]. 또한, 온도측정에 앞서 테이프의 초기 온도를 액체질소온도(77K)에 맞추기 위해 백금 축온저항체인 Pt-111을 사용하여 온도측정모듈의 각 채널(ch2,ch3,ch4)을 교정하였다. 또한, Bi-2223테이프에 과전류를 모의하기 위하여 약 0.2T DC외부자계를 인가하였고 이에 따라 테이프의 임계전류는 114A에서 20A로 감소하였다.

본 실험에서 외부자계와 테이프에 인가된 전류는 모두 DC(직류)조건하에서 이루어졌으며, 전류는 20A~120A까지는 10A단위로 1분씩, 125A~135A까지는 5A단위로 1분씩 인가하였다. 샘플테이프에 인가한 전류는 shunt를 이용하여 측정하였다.



a) Location of voltage taps and thermocouples



b) Circuit for measurement

Fig. 3. Measurement circuit and location of voltage taps and thermocouples

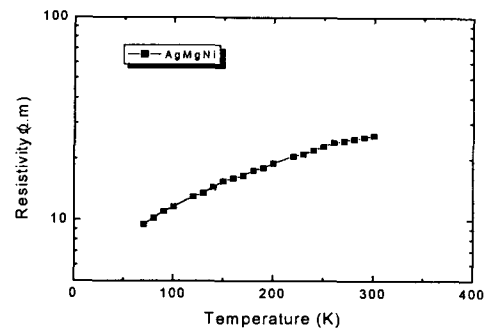


Fig. 4. Resistivity of AgMgNi along the temperature

3. 측정결과

3.1 온도변화가 작은 구간에서의 통전특성 (20A~130A : 임계전류의 1~6배)

그림 5는 Bi-2223 절연샘플테이프에 임계전류보다 큰 20A~130A의 전류를 인가한 경우의 측정결과로서, 테이프의 탭전압은 테이프의 온도상승이 아닌 인가전류에 비례적으로 증가한다.

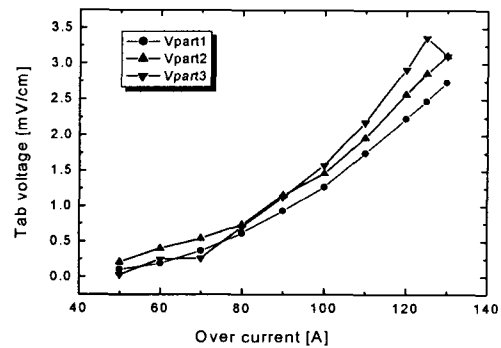


Fig. 5. Tab voltage rise vs. over current

그림 6은 샘플테이프에 20A~130A의 과전류를 인가한 경우 구간(part)별 온도상승을 측정한 결과로서 AVG는 인가전류의 지속시간동안

측정온도값의 평균, MAX10은 전류증가 후 초기 10초간의 최대값, MAX는 지속시간동안의 최대온도값을 나타낸다. 결과적으로 테이프의 온도상승은 인가전류 지속시간 동안의 초기10초안에서 발생하며 이후의 시간동안에는 액체질소의 온도(77K)에 의해 온도를 회복한다.

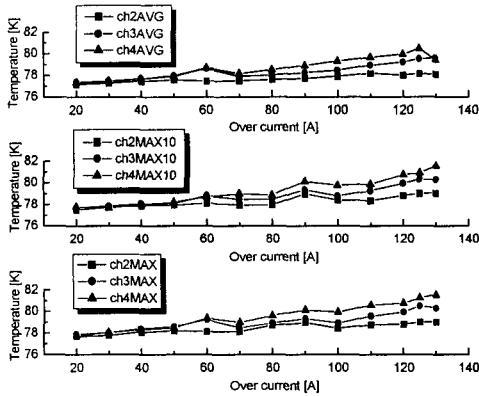


Fig. 6. Temperature rise vs. over current

그림 7은 샘플테이프에 20A~130A의 과전류를 인가한 경우 10cm전압탭(V)에서의 탭전압과 각 구간(part)별 탭전압으로 측정된 저항과 모재(AgMgNi)의 온도에 따른 저항률로부터 계산된 저항을 비교한 실험결과이다. 여기서보면 10cm 전압탭의 저항과 각 구간(part)의 저항값은 거의 일치하고, 전반적으로 측정저항값은 계산저항값보다 작은 값을 가지며, 이는 테이프의 특성이 온도상승이 작고 상전도 상태로 전이되지 않았음을 나타낸다.

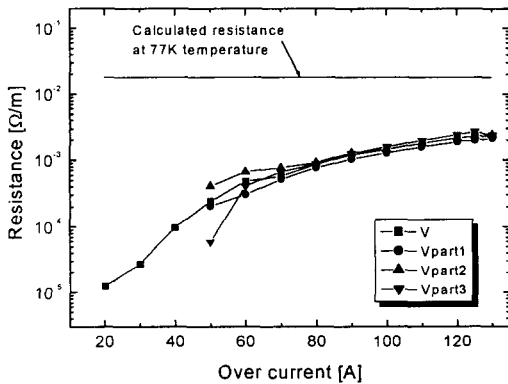


Fig. 7. Resistance rise vs. over current

3.2 온도변화가 큰 구간에서의 통전특성 (130A~135A :임계전류의 6배 이상)

130A 이상에서의 측정값들의 구분은 상대적으로 온도상승이 작은 ch2 열전대의 온도를 기준으로 하여 온도값이 Bi-2223테이프 임계온도(110K)까지의 통전특성과 샘플단선에 의한 전류의 제한(전류=0)시점까지의 통전특성으로 나

눌 수 있다.

3.2.1 임계온도까지의 통전특성

그림 8은 샘플테이프에 130A에서 135A의 과전류를 인가하여 임계온도에 도달할 때까지의 온도상승과 저항증가에 대한 측정결과이다. 이때의 전류는 약 130A~133A의 값을 가지며 part2의 탭전압과 그 부분에 설치된 ch3 열전대의 측정값이 다른 부분의 값들보다 큰 값을 보인다. 이것은 절연의 정도나 액체질소에 의한 온도회복이 구간(part)별로 서로 차이가 있음에 기인하며, 또한 탭전압의 상승은 인가전류의 증가보다는 샘플테이프의 온도상승에 의존함을 알 수 있다.

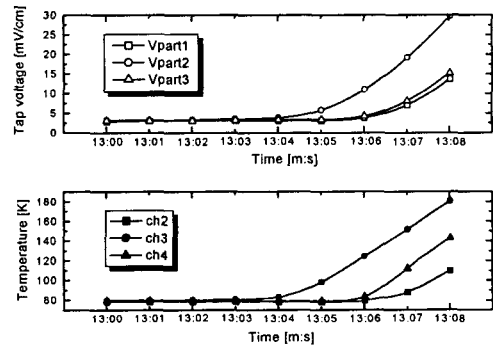


Fig. 8. Temperature and tab voltage rise vs. over current duration

그림 9는 절연 Bi-2223테이프의 온도상승이 저항특성에 미치는 영향을 측정된 결과이다, part1과 part3의 저항값은 테이프의 온도가 임계온도에 도달함에도 불구하고 모재의 저항률로부터 계산된 저항값에 미치지 못하였고, part2의 측정저항값은 더 큰 온도상승에 의하여 110K에서 계산된 저항값보다 더 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 이것은 큰 온도상승에 의한 모재 저항률의 증가를 나타낸다.

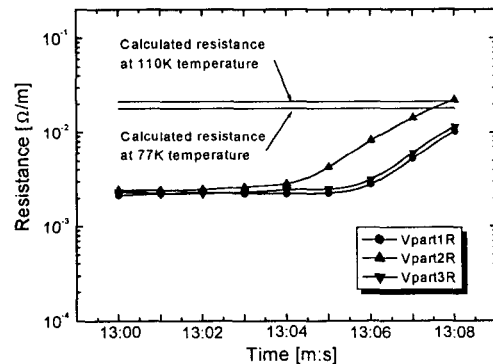
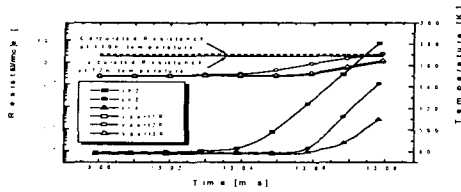


Fig. 9. Resistance rise vs. over current duration

그림 10은 테이프의 온도상승과 저항증가가 거의 동일한 시점에서 발생하는 것을 보여주는

실험결과이다. 큰 과전류가 인가될 경우 절연선재의 저항증가는 온도상승과 밀접한 관계가 있음을 나타내고 있다.



>

Fig. 10. Temperature and resistance rise vs. over current duration

3.2.2 전류제한(전류=0)시점까지의 통전 특성

그림 11은 130A 수준의 인가전류에서 전류를 증가시켜 전류제한이 발생하는 시점까지의 측정결과이다. 인가전류는 part2부분의 급격한 온도와 저항상승에 의해 약 134A에서 제한되어지며 Bi-2223테이프의 심한 열화와 탭전압의 상승으로 인해 단선 되었다. 그림 12는 단선된 샘플테이프의 상태를 나타내며, 이 경우 part2의 급격한 온도상승에 의한 열이 part3로 전파하였음을 알 수 있다.

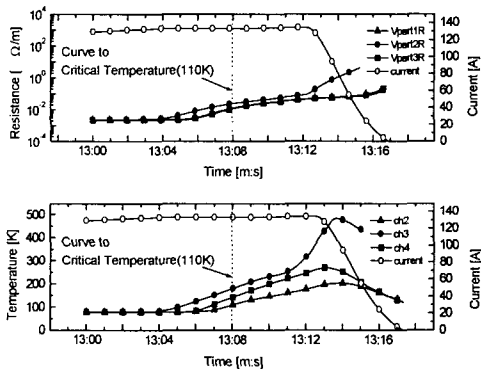


Fig. 11. Temperature and resistance rise vs. over current duration

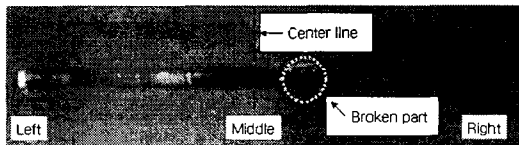


Fig. 12. Tape condition after a test

그림 13은 큰 과전류를 인가할 경우 power supply의 전류제한 시점까지의 비교적 온도상승 폭이 작은 ch2 열전대 부분의 저항특성 측정결과이다. 임계온도 이후 측정저항값은 이전 측정저항값보다 모재의 저항률로부터 계산된 값에 비교적 일치함을 보인다. 결과를 보면 임계온도

이후 저항값의 증가는 Bi-2223테이프의 상전도화에 의해 모재의 저항률 상승과 선재의 열화에 의존함을 알 수 있다.

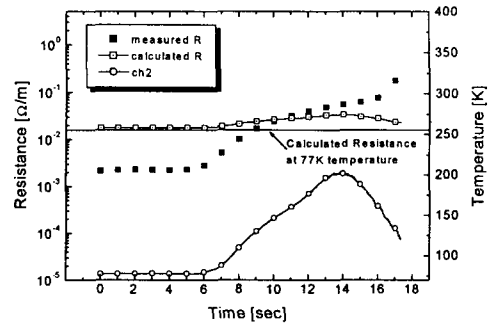


Fig. 13. Temperature and resistance rise at ch2 thermocouple vs. over current duration

4. 결론

Bi-2223/AgMgNi 고온초전도선재의 과전류 통전특성을 측정하기 위한 실험을 행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 임계전류의 약 1배~6배 정도의 낮은 과전류에 대해서는 +4도 정도의 작은 온도상승이 측정되었으며, 저항값의 증가도 모재의 저항률로부터 계산된 값보다 작다.
- 2) Bi-2223테이프의 임계온도(110K)근처 저항값은 모재의 저항률로부터 계산된 계산저항값에 근접한다.
- 3) 임계전류의 6배 이상의 높은 과전류(130A~135A)에 대해서는 급격한 온도변화가 측정되었으며, 저항값의 증가도 테이프의 상전도화로 인해 모재의 온도의존 저항률과 선재의 열화에 기인하여 크게 나타난다.
- 4) 높은 과전류가 인가된 Bi-2223테이프의 온도상승과 저항증가는 테이프 전체 구간이 아닌 국부적인 구간에서의 선재열화에 의존한다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

[참고문헌]

- [1] S P Ashworth, M Suenaga, "Local Calorimetry to Measure the ac Losses in Structures of HTS Conductors," IEEE Trans on Applied Superconductivity, Vol. 11, No. 1, pp. 2200 - 2203, 2001.
- [2] 김창완, 정재훈, 류경우, 차귀수, "고온 초전도 모델전력케이블의 사고전류 특성," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 684 - 686, 2001.