

고온초전도선의 단선전류 특성분석

김재호, 심기덕, 조전욱, 김해준, 성기철, 김해중, 곽동순, 배준환, **박승엽
한국전기연구원, **창원대학교 전자공학과

Characteristics of Breakdown Current of HTS Tape

Jae H Kim, K. D. Sim, J. W. Cho, H. J. KIM, , K. C. Seong, H. J. Kim, J. H. Bae, **S. H. Pa
Korea Electrotechnology Research Institute (KERI), Changwon National University

Abstract - Characteristics of the break down current of HTS tape with different insulator are described. The various insulators are utilized for enduring the high voltage in superconducting power devices. The break down current of HTS tape largely depends on insulators wound round HTS tape. In this research, The break down currents of Bi-2223 tape, which is widely used for superconducting power devices are tested and discussed. It is expected that r esults from this study can be utilized as basic data in designing superconducting power devices..

경우의 단선전류를 비교하였으며, 절연시와 비절연시의 DC 전류증가에 따른 켄치 이후의 온도변화를 비교하였다.

2.1 Sample의 제작.

표 1은 단선 전류실험에 사용된 고온초전도선의 특성을 비교하여 각 제조사 별로 나타내었다.

표 1. Specifications of Bi-2223 Tapes

Maker	Critical Current [A], (1 μ V/cm, 77K, SF)	Dimension [mm] (width \times thickness)
AMSC (American)	114	4.2 \times 0.31
INNOST (China)	61	4.2 \times 0.23
SUMITOMO (Japan)	74	3.93 \times 0.2
TRITHOR (Germany)	46	3.28 \times 0.22

1. 서 론

최근 고온초전도선의 성능 향상으로 인하여 고온초전도선재를 이용한 전력기에 많은 관심과 함께 이에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다[1][2].

현재 응용가능한 Bi-2223 Tape를 이용한 고온초전도 케이블의 경우, 기존의 상전도 케이블에 비해서 대용량, 저전압, 저손실 송전이 가능하다.

그러나 고온초전도 전력기의 정상운전시 임계전류 이하로 전류가 흐르게 되지만, 계통사고 시에는 정격전류의 약 100배정도, 초전도변압기의 경우에는 20 ~ 30배 정도의 매우 큰 과전류가 3사이클 내지 5사이클동안 과도적으로 흐르게 된다. 이와 같이 대단히 큰 과전류에 대하여 Bi-2223 Tape는 단선되지 않고 사고 복귀후 열화특성 또한 없어야 한다[3].

본 연구에서는 고온초전도 케이블에 이용되고 있는 Bi-2223 Tape의 제조사별(AMSC, INNOST, TRITHOR, SUMITOMO) 절연체에 따른 고온초전도선의 단선전류에 대한 실험을 실시하고, 절연시와 비절연시의 온도변화를 측정하였으며 그 결과를 분석하였다.

2. 본 론

고온초전도 전력기기 개발시 전기절연은 가장 중요한 구성요소의 하나로 초전도 케이블의 경우, 송전용량, 경제성 및 신뢰성에 중요한 역할을 한다. 기존 상전도 케이블의 경우 사용가능한 절연재료로는 고체, 액체, 진공등이 있고 초전도전력기기는 극저온에서 사용된다.

초전도 전력기기 제작에 있어서 전기 절연재료는 상온에서 제작하여 극저온에서 사용되기 때문에 온도에 따른 절연특성이 중요하다.

본 실험에서는 초전도 전력기기 개발시 사용되는 대표적인 절연재료인 Laminated PP Paper(이하 LPP) 및 Kapton을 사용하여 절연한 경우와 절연을 하지 않았을

표 1의 Bi-2223 Tape로 제작된 Sample의 전체길이는 260mm, 각 Sample의 전압탭간 거리는 모두 120mm로 동일하고 Current Lead는 구리블럭을 이용하였다.

그림 1은 절연체에 따른 Bi-2223의 단선전류 특성을 시험하기 위해서 제작된 Sample 구성도 이다. 제조사별 고온초전도선을 동시에 측정할 수 있도록 5쌍의 구리 C current lead를 등간격으로 배치하고, 절연체에 의한 단선을 확인하기 위해서 각 선의 중앙에 폭 20mm, 두께 4.6 mm의 절연체를 권선하였으며, 온도 측정을 위하여 절연한 부위 초전도선의 중앙에 온도센서를 부착하였다.

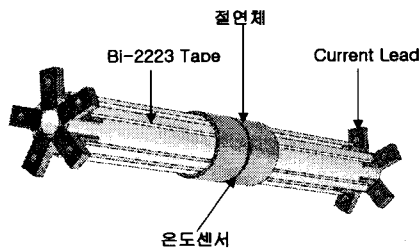


그림 1. Sample Schematic

2.2 실험방법

그림 2는 DC/AC 과전류에 의한 단선과 온도측정을 위한 실험구성 및 방법이다.

Sample의 전류 공급은 IDX사의 DC/AC Power Supply를 사용하였고, 각 Sample의 전압탭에서 얻어진 신호는 노이즈 제거 및 증폭을 위해서 절연증폭기(YOKOGAWA DC Amplifier)를 통과한 후 DAQ Board로 전달된다. 온도는 LakeShore사의 218 온도모니터에서 측정하였다. 모든 신호는 LabView 측정 프로그램을 사용하여 PC에 저장하였다. 또한, 절연체에 따른 단선전류 특성을 비교하기 위해 비절연시와 Kapton Tape 절연, PPLP 절연으로 나누어 실험을 실시 하였다.

AC 과전류에 의한 단선시험은 DC에서의 실험과 동일한 방법으로 실시 하였다.

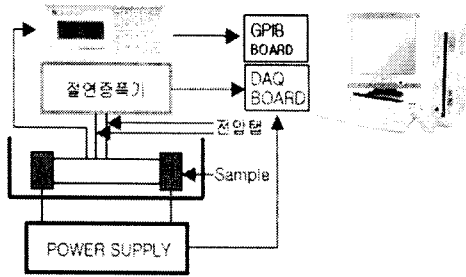


그림 2. Experimental setup

2.3 실험결과

표 2는 DC 50A/sec의 전류증가율로 HTS tape가 단선될 때 까지 통전한 결과이다. Kapton이나 LPP를 이용하여 절연된 Sample의 단선전류는 비슷하게 측정되었다.

또한, 절연된 Sample의 단선전류는 비절연시 단선전류에 비해 40 ~ 50% 정도 작게 나타났다. 그리고, Sample의 단선 위치는 절연시에는 절연된 부분에서, 비절연시에는 Current Lead와 인접한 부분에서 일어났다.

그림 3은 제조사별 비절연시, PPLP 절연시, Kapton Tape 절연시의 IC 전류에 대한 DC 단선전류를 비교한 그래프이고, 비절연시에 IC 전류에 대한 단선전류의 비는 AMSC 4.3배, INNOST 8.0배, SUMITOMO 5.6배, TRITHOR 9.7배이며, 절연시에도 값의 차이는 있지만 비절연시와 비슷한 비율이다.

표 2. DC Breakdown Current

절연체 제조사	Kapton [A]	Laminated PP Paper [A]	비절연 [A]
AMSC	293	312	498
INNOST	293	289	489
SUMITOMO	248	255	419
TRITHOR	224	236	449

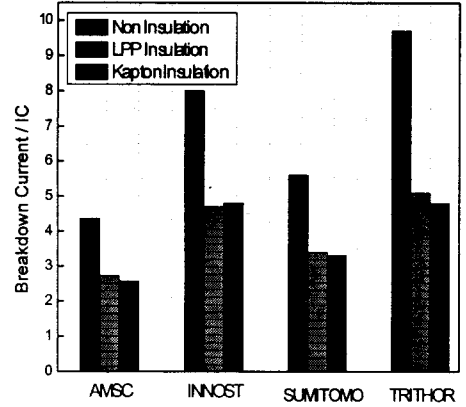


그림 3. 절연체에 따른 단선전류/IC의 비교

표 3은 AC 전류를 50A/sec로 단선이 일어날 때 까지 통전한 결과이다. DC에서의 실험과 같이 절연시의 단선이 비절연시에 비해서 현저히 낮은 전류에서 일어난다는 것을 알 수 있다.

이는 절연된 부분의 냉각특성이 비절연 부분보다 나빠져서, 전류가 증가함에 따라 현저히 떨어져, 켄치이후 발생되는 열을 충분히 발산하지 못하여 선재가 열화후 단선되는 것으로 판단된다.

표 3. AC Breakdown Current

절연체 제조사	Kapton [A _{rms}]	Laminated PP Paper[A _{rms}]	비절연 [A _{rms}]
AMSC	261	281	452
INNOST	275	261	382
SUMITOMO	230	233	381
TRITHOR	217	215	356

그림4는 DC 단선전류를 기준으로 AC단선전류의 비절연시, Kapton 절연시, LPP 절연시의 그래프이다. AC 단선전류는 DC 단선전류의 80 ~ 95% 정도 이다. 그림 5(a) 제작된 Sample, (b) HTS tape의 단선된 사진이다.

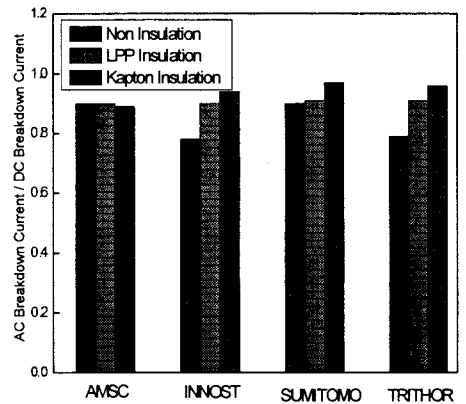


그림 4. 절연체에 따른 AC/DC 단선전류비

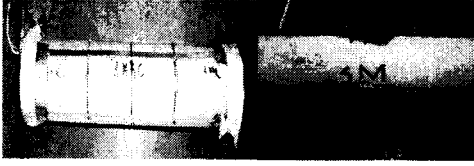


그림 5. (a) 제작된 Sample (b)단선된 HTS Tape

그림 6, 그림 7은 AMSC, INNOST 초전도 선의 단선이 일어날때까지의 온도변화 그래프이며, 절연, 비절연 부위의 온도는 선재의 퀀치 이후부터 절연여부에 관계없이 증가 패턴은 유사하다.

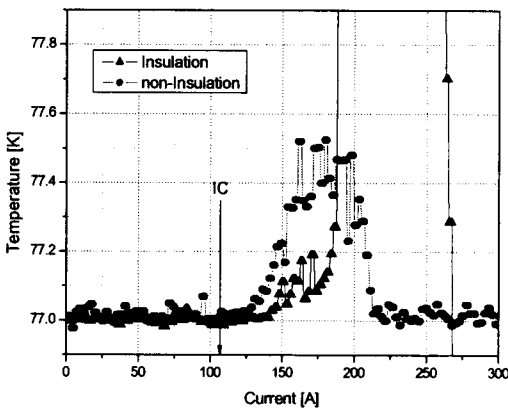


그림 6. AMSC Tape의 절연 및 비절연시 온도변화

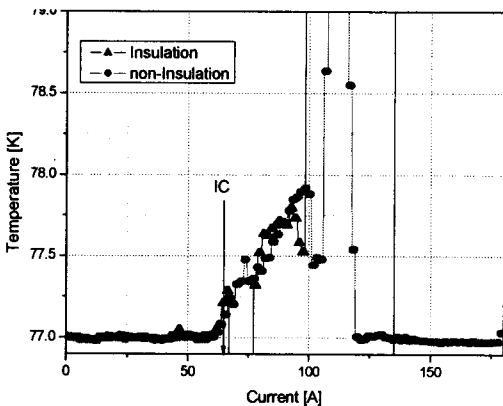


그림 7. INNOST Tape의 절연 및 비절연시 온도변화

3. 결 론

본 논문에서는 전기절연이 과전류에 의한 고온 초전도 선의 단선에 미치는 영향을 실험을 통해 알아보았고 다음과 같은 결론을 얻었다.

절연체 (LPP, Kapton)를 이용하여 절연된 고온 초전도선의 경우, 절연을 얇은 경우에 비해서 단선전

류가 DC/AC에 대해서 모두 40 ~ 50%정도 감소한다.

Sample의 단선은 절연한 부위에서 발생한다.

AC 단선전류는 DC 단선전류에 비해 5 ~ 20%정도 감소된다.

절연, 비절연 부분의 온도는 선재의 퀀치 이후부터 증가하나, 절연여부에 관계없이 증가 패턴은 유사하다.

향후 고온초전도 전력기기 설계시 기초자료로 활용될 것으로 판단되며, 성능 향상을 위해 열전달 특성을 고려한 개발이 이루어져야 한다.

단선전류와 내부온도 상승의 관계를 규명하기 위해서 고온초전도선의 안정화재의 비율에 따른 단선, 온도상승, 저항변화에 관한 연구가 이어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] S.W. Schwenterly, S.P.Mehta, M.S.Walker and R.H.Jones, "Development of HTS Power transformer for the 21st century;Waukesa Electric systems/IGC-SuperPower/RG&E/ORNLSPi Collaboration", Physica C:Superconductivity, Vol. 382, pp. 1-6, 2002.
- [2] V.Cavaliere, M.Cioffi, A.Formisano, R.Martone, "Shape optimization of high Tc superconducting magnets", IEEE trans. on Magnetics, Vol.38, pp.1129-1132, 2002.
- [3] 차귀수의, "고온 초전도 변압기 개발", 고온초전도 변압기 개발에 관한 최종보고서, p167-185, 2001
- [4] 임성우외, "고온초전도 선재의 과전류 통전 특성" 한국초전도 저온공학회, 2002년 학술대회 논문집, p241-p244, 2002