

Bi-2223 초전도 테이프의 접촉식 Ic 측정을 위한 단자 형상 및 압력 조사

Study on terminal shape and pressure for contact type Ic measurement of long Bi-2223 tape

하동우, 양주생, 하홍수, 오상수, 권영길, 류강식
D.W. Ha, J.S. Yang, H.S. Ha, S.S. Oh, Y.K. Kwon, K.S. Ryu

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

Contact type Ic measurement system is needed to measure Ic continuously for long Bi-2223 tapes. Voltage and current terminals were designed several shapes for 4-probe method Ic measurement. Voltage terminals were made with brass and current terminals were made with Cu. We used 2 kinds of Bi-2223 tapes with different strength. When we measured Ic of Bi-2223 tape with Ag-Mg sheath, The proper weight was 0.3 kg and sharp pin type was better. according to voltage terminal shape and load. In case of Bi-2223 tape with Ag-Mn sheath, the proper terminal weight was 4 kg and sharp pin type was bad. It was possible to make continuous contact type Ic measurement system because We could get proper data - terminal shapes and loads - through these experiments.

Key Words : Bi-2223, HTS tape, continuous Ic measurement, contact type

1. 서 론

고온 초전도체를 이용한 초전도 시스템에 있어 현재까지 가장 응용 가능성이 높은 재료로서 Bi-2223 초전도 테이프가 주목을 받고 있다. 실제 시스템에 응용하기 위해서는 Bi-2223 초전도 테이프의 장선화가 요구되고 있으며 이를 위해 세계적으로 여러 회사에서 특성 향상을 많은 노력을 기

우고 있다[1-3]. 일반적으로 초전도 선의 임계전류(Ic) 및 임계전류밀도(Jc)를 측정하기 위해서는 4 단자법을 사용하고 있으며 이때 각 단자를 납땜에 의해 접합을 하고 있다. 이러한 납땜 방법은 길이가 짧은 선재 또는 선재 전체의 특성을 평가하기 위해서는 유용하지만 장선재에서의 단위 길이별 특성을 측정하기 위해서는 납땜 방법이 적절하지 못하다. 즉 납땜을 하게되면 많은 시간이 소요될 뿐 아니라 납땜에 의한 흔적이 남게 되어 이후의 바니시 절연 공정에서 문제를 발생시키게 된다는 것이다. 따라서 장선재의 단위 길이별 임계전류를 측정하기 위해서는 납땜 방법이 아닌 각 단자의 물리적인 접촉에 의해 전류를 흘리면서 전압을 측

한국전기연구원 초전도응용연구그룹
(경남 창원시 성주동 28-1)
Tel : 055-280-1653
Fax : 055-280-1696
e-mail : dwha@keri.re.kr

정하는 접촉식 Ic 측정 방법이 도입되어야 한다. 하지만 접촉식 Ic 측정에서는 각 단자의 형상 및 압력이 중요한 변수가 된다. 즉 전류 통전을 위한 충분한 접촉면적이 확보되어야 할 뿐 아니라 전압 측정에서의 노이즈를 감소시켜, 측정의 정확성에 대한 재현성과 신뢰성 있는 측정 장치를 구축하여야 한다.

본 연구에서는 접촉식 Ic 측정에서의 전류, 전압 각 단자의 형상과 압력을 달리하였을 때의 특성 변화를 조사하여 가장 적합한 단자 형상 및 압력을 알고자 하였다. 또한 Bi-2223 초전도 테이프에 사용되는 Ag 합금의 강도에 따라 이러한 조건이 달라질 수 있기 때문에 각 단자에서의 압력 변화에 따른 민감성을 조사할 필요가 있다. 그래서 이러한 자료를 바탕으로 장선재의 연속 Ic 측정 장치 제작을 위한 예비실험 자료로서 활용하고자 하였다.

2. 실험장치

장선재로 제조한 Bi-2223 초전도 테이프의 일정한 길이 범위에서 납땜 없이 연속적으로 임계전류 Ic를 측정하기 위해 그림 1과 같은 개념의 접촉식 Ic 측정 장치를 제작하였다. 4 단자법에서처럼 양단은 전류 단자로서 초전도 테이프와의 접촉 면적을 좋게 하기 위해 면접촉이 되도록 하였으며 재질은 구리로 제작하였다. 가운데 부분의 전압 단자는 칩 형상의 점접촉이 되도록 제작하였으며 황동을 사용하여 단자를 제작하였다. 그리고 각 단자의 윗 부분에는 추를 사용하여 단자에 가하는 무게를 가변시킬 수 있도록 제작하였다. 액체 질소 용기로서는 스티로폼을 사용하였으며, 각 단자의 윗부분은 열절연을 위해 FRP 봉을 사용하였다.

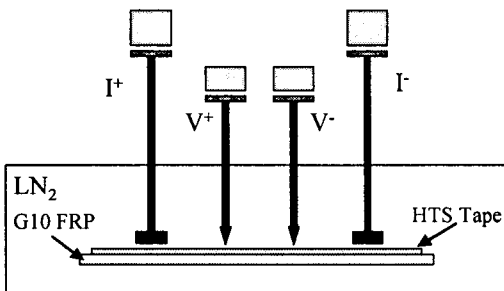


그림 1. 4단자에 의한 Ic 측정장치.

Fig. 1. 4-probe method Ic measurement apparatus.

표 1. 전압 및 전류 단자의 조건.

Table 1. Voltage and current terminal condition.

	Material	Type	Size	Symbol
Voltage terminal	Brass	Pin	0.5R	PS
			1.0R	PR
		Knife	0.5R	LS
			1.0R	LR
Current terminal	Cu	Plate	5x20	S
			5x30	M
			5x40	L

전류 및 전압 단자의 형상 및 크기를 표 1에 나타내었다. 전류 단자는 전류의 통전을 위해 구리를 사용하였으며 전압 단자는 내구성 및 저항을 고려하여 황동을 사용하였다. 전압 단자의 경우 뾰족한 끝의 크기를 반경으로 표시하였으며 점접촉을 P로, 선접촉을 L로 표시하였다.

그림 2에는 실제로 제작한 접촉식 Ic 측정 장치를 보이고 있다. 몇번의 액체질소에서의 실험을 토대로 하여 측정 장치의 일부를 수정하였다. 먼저 전류 단자의 아래 부분에 구리 단자를 부착하여 실제 고온초전도 테이프의 임계전류를 측정할 때 접촉 면적을 증가시켰다. 그리고 처음에는 전류 단자의 전류리드를 위하여 구리로 제작하였으나 액체질소에서의 열전달에 의해 전류리드에 공기중의 수분이 얼어 성애가 많이 붙었기 때문에 이를 개선하기 위해 전압 단자와 같이 아래 부분만 구리로 사용하였고 나머지 윗 부분은 FRP 봉을 사용하여 열전도를 줄였다.

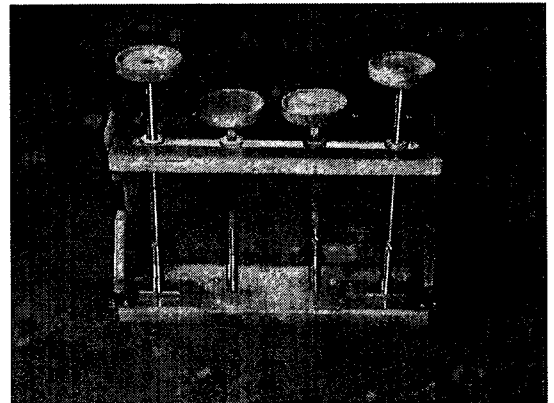


그림 2. 실제 제작한 접촉식 Ic 측정 장치.

Fig. 2. Contact type Ic measurement apparatus.

표 2. 합금 조성에 따른 Bi-2223 초전도 테이프의 경도.

Table 2. Hardness of Bi-2223 HTS tape with different Ag sheath.

	Center	Middle	Edge
Ag-Mn	113	125	127
Ag-Mg	79	73	73

3. 결과 및 고찰

초전도 선의 은 합금의 조성에 따라 경도가 달라질 때 접촉식 I_c 측정장치에서의 압력 변화에 따른 특성을 조사하기 위해 2 가지 종류의 Bi-2223 고온초전도 테이프를 사용하였으며, 각 선재의 경도 값을 표 2에 나타내었다. Bi-2223 초전도 테이프의 외피 금속이 Ag-Mn의 경도 값이 Ag-Mg의 값에 비해 더 높은 것이었다. 그리고 2 가지 선재의 임계전류 값은 40~43 A 정도로 비슷한 것을 선택하였다.

그림 3은 Ag-Mg 합금의 Bi-2223 테이프에서의 전압 단자의 형상 및 무게 변화에 따른 임계전류 변화를 나타내고 있다. 대체적으로 0.3 kg 이상의 하중에서부터 I_c 값이 감소하기 시작하여 1.5 kg에서는 약 70% 수준으로 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 전압 단자가 점 접촉인 경우에 비해 선 접촉인 경우에서 I_c 값의 감소가 더 급격하다는 것을 알 수가 있었다. 또한 단자의 끝이 뾰족할수록 (R이 작은 경우) I_c 의 감소는 더욱 두드러졌다.

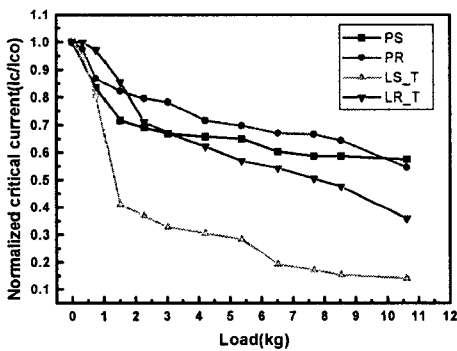


그림 3. Ag-Mg 합금의 Bi-2223 테이프에서의 전압 단자의 형상 및 무게 변화에 따른 임계전류.
Fig. 3. I_c of Bi-2223 tape with Ag-Mg sheath according to voltage terminal shape and load.

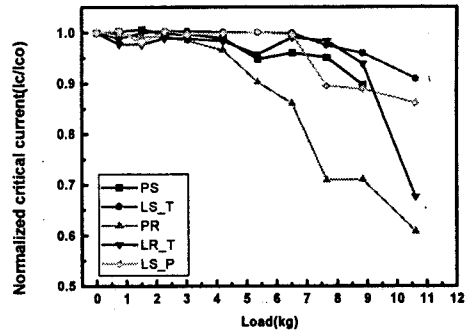


그림 4. Ag-Mn 합금의 Bi-2223 테이프에서의 전압 단자의 형상 및 무게 변화에 따른 임계전류.
Fig. 4. I_c of Bi-2223 tape with Ag-Mn sheath according to voltage terminal shape and load.

그림 4에서는 Ag-Mn 합금의 Bi-2223 테이프에서의 전압 단자의 형상 및 무게 변화에 따른 임계전류 변화를 나타내고 있다. 대체적으로 4~7 kg 이상의 하중에서부터 I_c 값이 감소하기 시작하였으며, 그리고 그림 3의 Ag-Mg 합금에 비해 감소하는 값이 적다는 것을 알 수가 있었다. 또한 전압 단자가 점 접촉과 선 접촉에서의 I_c 값의 변화에 차이가 많지 않음을 알 수가 있었다. Ag-Mg와는 반대로 단자의 끝이 뾰족할수록 I_c 의 감소는 줄어들었다.

이와 같은 결과를 통해 Bi-2223 초전도 테이프에서의 외피 금속의 강도에 따라 전압 단자의 형상 및 하중을 결정하여야 함을 알 수가 있었다. 즉 Ag-Mg와 같이 강도가 낮은 경우에는 단자의 하중을 0.3 kg 이하로, 형상은 끝을 0.5R과 같이 뾰족하게 제작하여야 한다는 정보를 얻었다. 반면에 Ag-Mn과 같이 강도가 큰 경우에는 전압 단자의 하중을 크게 하더라도 Ag-Mn에 비해 민감하지 않을 뿐 아니라 훨씬 하중을 크게 하여도 무방하다는 것으로 평가되었다. 그래서 Bi-2223 초전도 테이프의 강도에 따라 전압 단자의 설계를 달리해야 할 필요가 있었으며 테이프의 강도가 높을수록 전압 단자의 설계에 유리하였다.

Ag-Mn 합금의 Bi-2223 테이프에서의 전류 단자의 형상 및 무게 변화에 따른 임계전류 변화를 그림 5에 나타내었다. 전압 단자의 크기가 5 x 20 mm인 것은 S로, 5 x 40 mm인 것은 L로 표시하였다. 그래프에서 나타난 것처럼 전류단자의 무게에 따른 I_c 의 변화는 거의 나타나지 않았으며, 또

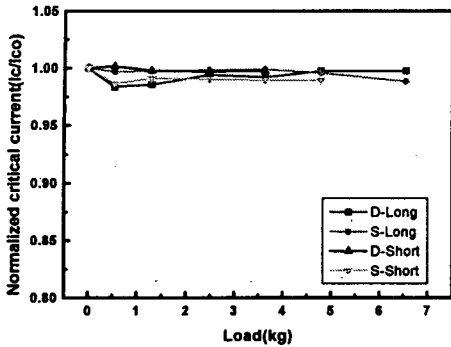


그림 5. Ag-Mn 합금의 Bi-2223 테이프에서의 전류 단자의 형상 및 무게 변화에 따른 임계전류.

Fig. 5. I_c of Bi-2223 tape with Ag-Mn sheath according to current terminal shape and load.

한 단자 부분에서 하중을 인가한 후 이 부분의 임계전류를 다시 측정하였을 때 감소하는 현상은 나타나지 않았다. 이러한 결과로 미루어 전압 단자에서의 하중 인가로 인한 선재의 손상과는 달리, 전류 단자에서는 접촉 면적이 넓어 선재의 손상에는 영향을 미치지 않음을 알 수가 있었다.

접촉식 I_c 측정 장치에 고온초전도 선을 놓은 다음 액체 질소로 냉각시켰을 때 고온초전도 선재와 FRP 기관과의 열수축 차이에 따른 고온초전도 선에서의 휨 현상을 그림 6에서 보이고 있다. 이러한 결과는 열수축 차이를 줄일 수 있는 소재의 선택이 중요함을 보이고 있으며, 열수축 차이가 불가피

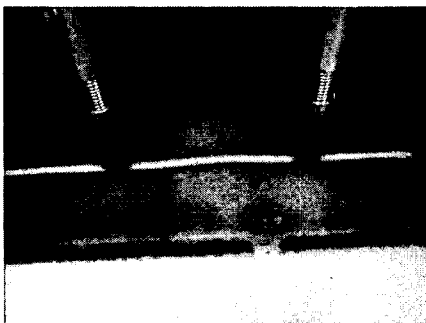


그림 6. 액체질소에서의 열수축 차이에 의한 Bi-2223 선재의 휨 현상.

Fig. 6. Bending phenomenon of Bi-2223 tape in liquid nitrogen according to the difference of thermal contraction.

하다면 휨 현상을 방지할 수 있도록 단자를 작동시키는 것이 중요함을 알 수가 있었다.

4. 결론

Ag-Mg 합금의 Bi-2223 테이프에서의 전압 단자의 하중은 약 0.3 kg까지 인가하여도 임계전류 감소에는 영향을 미치지 않았으며, 또한 단자의 끝이 무딜수록 I_c 의 감소가 작았다.

Ag-Mn 합금의 Bi-2223 테이프 경우는 외피 금속의 강도가 높았기 때문에 전압 단자의 하중을 약 4 kg까지 인가하여도 I_c 의 감소가 나타나지 않았다.

2 가지 합금 모두에서 전류단자의 하중 인가에 따른 I_c 변화는 거의 없었으며 하중 인가 후 선재의 손상도 거의 나타나지 않았다.

감사의 글

“본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도 응용 연구개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.”

참고 문헌

- [1] L. Masur et al., "Long length manufacturing of high performance BSCCO-2223 tape for the Detroit Edison power cable project" IEEE Trans. on Appl. Supercon., September 17-22, 2000.
- [2] Z. Han et al., "The mechanical deformation of superconducting BiSrCaCuO/Ag composites", Supercond. Sci. Technol., Vol. 10, p. 371, 1997.
- [3] Private discussion with Sumitomo electric Co. researcher.