

## 전력기기에서 100 A/mm<sup>2</sup>급 Bi-2223테이프

### 100 A/mm<sup>2</sup> Class Bi-2223 Tapes in Electromechanical Devices

류경우\*, 최병주\*\*, 성기철\*\*\*, 류강식\*\*\*

Kyung-Woo Ryu\*, Byoung-Ju Choi\*\*, Ki-Chul Seong\*\*\*, Kang-Sik Ryu\*\*\*

**Abstract:** 100 A/mm<sup>2</sup> class Bi-2223 tapes have recently become commercially available. Some important characteristics of the tapes, e.g. critical current, ac loss, characteristics at joint, fault current characteristics, are required for an application such as a power cable or a power transformer. In this paper they have been investigated experimentally. The results indicate that the self-field loss of the high current density tapes is not negligible, compared to resistive loss in a copper wire for the same currents. In a cable, the self-field loss for relatively large currents is much larger than the magnetization loss due to an external field. But in a transformer, the magnetization loss is dominant, compared to the self-field loss. Finally the fault current characteristics show that the high current density tapes are never safe from burn-out even for fault currents with a few cycles.

**Key Words :** critical current density, joint loss, magnetization loss, maximum temperature rise, self-field loss.

#### 1. 서 론

초전도도체가 구리도체를 대신하여 전력기기에 응용되기 위해서는 초전도도체의 중요한 특징인 높은 운전전류밀도에 의한 소형·경량화의 장점뿐만 아니라 손실저감에 따른 고효율의 장점 또한 갖추어야 한다. 물론 초전도도체는 전류용량이 큰 직류시스템에서는 상기와 같은 두 가지 측면에서 모두 구리도체보다 탁월하기 때문에 MRI 및 가속기 등과 같은 시스템에 상용화되어 왔다.

그러나 교류 전력기기에서 초전도시스템이 기존 구리도체시스템보다 고효율의 장점을 가지기 위해서는 초전도도체에서 발생하는 교류손실에 특히 주의해야 하며, 그렇지 않으면 기존 시스템보다도 효율이 낮아져 초전도 전력기기의 상용화에는 어려움이 따를 것이다. 구리도체를 사용한 기존 전력기기의 도체손실은 바로 구리의 저항성 손실인 반면 초전도 전력기기의 경우는 저온에서 운전되기 때문에 교류손실 외에도 냉동기의

효율까지 고려한 유효손실(effective loss)이 고려되어야 한다. 따라서 4.2 K 냉동기를 사용하는 저온 초전도시스템은 매우 낮은 냉동기 효율 때문에 교류손실이 전혀 발생하지 않는 직류시스템에만 상용화가 국한되어 왔다. 그러나 고온 초전도시스템의 냉각에 사용되는 77 K 냉동기의 성능은 저온 초전도시스템의 4.2 K 냉동기보다 약 50배정도 우수한 결과, 고온 초전도도체를 사용한 60 Hz 전력기기의 상용화가 크게 기대되고 있다.

따라서 본 논문에서는 최근 상용화에 성공한 약 100 A/mm<sup>2</sup>급의 높은 임계전류밀도를 가진 Bi-2223 테이프를 60 Hz 전력기기에 응용하기 앞서 검토되어야 할 임계전류밀도특성, 교류손실특성, 접속부손실특성 및 사고전류특성에 대해 평가하였다.

#### 2. 허용교류손실

구리도체를 사용하는 기존 전력기기의 도체에서 발생하는 단위길이, 단위전류(피크치) 당 저항성손실( $P_{Cu}$ )은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{Cu} = \frac{\rho J^2}{2} \quad (W/A_p \cdot m) \quad (1)$$

여기서  $\rho$ 는 상온에서 구리의 저항률( $1.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ )을,  $J$ 는 구리도체의 허용운전전류밀도(실효치)를 각각 나타낸다. 구리도체의 허용운전전류밀도는 시스템에 따라서 상이하지만, 케이블의 경우는 허용운전전류밀도가 약 1 A/mm<sup>2</sup>로서, 저항성손실은 식(1)으로부터 약 10 mW/A<sub>p</sub>·m으로 됨을 알 수 있다.

한편 초전도 전력기기의 경우, 도체에 실제로 발생하는 손실은 초전도도체의 교류손실이지만, 이를 냉각시키기 위해 냉동기에 입력해 주어야 하는 에너지는 교류손실보다는 실세로 대단히 크다. 따라서 이와 같이 냉동기의 효율을 고려한 교류손실을 유효교류손실( $P_{eff}$ )이라 하며, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{eff} = \frac{P_{SC}}{COP} \quad (W/A_p \cdot m) \quad (2)$$

여기서  $P_{SC}$ 는 저온에서 초전도도체의 단위길이, 단위전류(피크치) 당 발생하는 총 교류손실을, COP(coefficient of performance)는 냉동기의 성능계수를 나타낸다. 일반적으로 냉동기의 성능계수 COP는 운전온도가 낮아질수록 작아지며, 4.2 K 냉동기의 COP는 약 0.001, 77 K 냉동기의 COP는 약 0.05 정도로, 서론에서 지적한 바와 같이, 77 K 냉동기는 4.2 K 냉동기보다 50배정도 성능이 우수함을 알 수 있다.

\* 정 회 원 : 전남대학교 공대 전기공학과 부교수

\*\* 정 회 원 : 서라벌대학 컴퓨터전기시스템과 조교수

\*\*\* 정 회 원 : 한국전기연구원

\*\*\* 정 회 원 : 한국전기연구원

원고접수 : 2002년 02월 01일

심사완료 : 2002년 04월 22일

고온 초전도도체의 허용교류손실(admissible ac loss)을 검토하는데 있어서 그 기준은 현재까지도 명확하지 않으며, 저자에 따라 다소 상이하하다[1]-[2]. 본 논문에서는 고온 초전도도체의 허용교류손실 검토 기준으로서 기존의 구리도체 케이블에서 발생하는 저항성 손실 즉 약  $10 \text{ mW}/A_p \cdot \text{m}$ 으로 하였으며, 냉동기의 성능계수는 고온 초전도도체의 운전온도를 77 K로 가정하여 0.05로 하였다. 따라서 고온 초전도 전력기가 기존 구리도체 전력기와 비교하여 효율면에서 장점을 가지기 위해서는 77 K에서 초전도도체의 단위길이, 단위전류 당 총 교류손실( $P_{sc}$ )은 식 (2)로부터  $0.5 \text{ mW}/A_p \cdot \text{m}$ 보다 최소한 작아야하며, 이를 고온 초전도도체의 허용교류손실로 하여 검토하였다.

### 3. 실험 방법 및 샘플

60 Hz 초전도 전력기의 상용화에 앞서 각종 특성평가에 사용된 Bi-2223테이프의 사양을 표 1에, 실험장치를 그림 1에 각각 나타내었다. 1000 A, 10 V 전원을 사용하여 샘플에 직·교류 전류를 인가하였으며, 30 A, 50 V 전원으로 외부자장 발생용 자석에 직·교류 전류를 인가하였다. 모든 실험은 액체질소 온도인 77 K에서 하였다.

표 1. Bi-2223테이프의 사양.

Table 1. Specifications of the Bi-2223 tape.

항 목		특 성
테이프	폭 × 두께	4.1 mm × 0.21 m
	조성	Bi-2223/Ag/AgMg (38%/40%/22%)
필라멘트	폭 × 두께	150~300 μm × 7~15 μm
	영역의 폭 × 두께 수	3.9mm × 0.15mm 55
	트위스트피치	∞

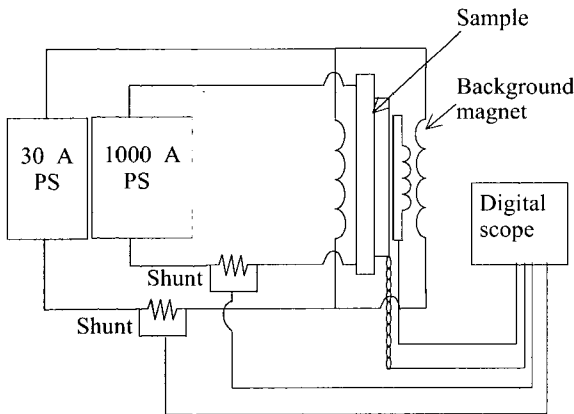


그림 1. 실험장치 개략도.

Fig. 1. Schematic of the experimental set-up.

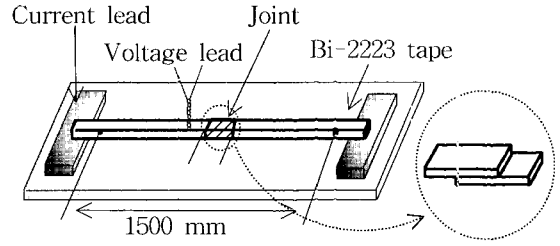


그림 2. 접속부특성 평가용 샘플의 개략도.

Fig. 2. Schematic of the sample for joint characteristics.

Bi-2223테이프의 임계전류밀도특성 평가를 위해 자석의 공극에서 샘플이 회전할 수 있는 구조로 하였다[3]. 교류손실 평가를 위한 샘플은 테이프에 흐르는 교류전류에 의해 발생하는 자기자계손실특성을 평가하기 위해 전압리드의 접촉 및 배열의 영향을 고려하였으며[4], 또한 테이프에 인가되는 외부자장에 의해 발생하는 자화손실특성을 평가하기 위해 픽업코일의 배열 및 샘플사이즈의 영향을 고려하여 제작하였다[5].

Bi-2223테이프에 큰 과임계전류가 과도적으로 흐를 때, 특성 평가를 위해서 응답특성이 우수한 열전대 및 전압리드를 샘플에 부착하였다. 또한 매우 짧은 시간동안 지속되는 사고전류를 모의한 1 ~ 10 사이클의 60 Hz 교류전류를 인가하여 사고전류특성을 평가하였다[6].

Bi-2223테이프의 접속부특성 평가를 위한 샘플을 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 두 테이프가 중첩되는 부분의 길이는 20 mm이며, 접속부의 접합은 Kapton테이프의 접착력으로 단순히 눌러놓은 방법(이하 pressing joint)과 뿔납으로 접합시키는 방법(이하 soldering joint)으로 하였다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

#### 4.1. 임계전류특성

외부자장에 대한 Bi-2223테이프의 임계전류밀도특성을 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 임계전류밀도는 자기자장에서 측정된 임계전류( $I_{c0} = 139 \text{ A}$ )를 표 1의 테이프 단면적으로 나눈 밀도를, ●, ▲ 및 ■는 테이프 면에 평행한 자장, 45도 경사진 자장 및 수직인 자장을 인가했을 때 측정된 임계전류밀도를 각각 나타낸다.

그림 3으로부터 Bi-2223테이프의 임계전류밀도는 자장의 크기뿐만 아니라 인가되는 방향에 따라라도 매우 상이한 이방성을 나타내는 것을 볼 수 있다. 테이프 면에 평행한 자장에 대한 임계전류밀도의 자장 의존성은 저온초전도선재의 특성과 비슷하게 비교적 적은 반면, 45도 경사자장만 되어도 수직자장인 경우와 거의 동일할 정도로 대단히 큰 의존성을 볼 수 있다. 따라서 케이블 및 변압기 등과 같은 전력기기에서는 테이프에 인가되는 외부자장의 방향을 가능한 한 테이프 면에 평행하도록 설계하면 유리할 것이다.

또한 그림 3으로부터 알 수 있는 바와 같이, 현 기술수준 단계에서 제작된 시스템의 Bi-2223테이프 최대운전전류밀도를 평가해 보면, 약 20 mT의 수평자장이 인가되는 케이블에서는 약  $100 \text{ A}/\text{mm}^2$  이상, 약 200 mT의 수평 또는 수직자장이 인가되는 변압기에서는 약  $50 \text{ A}/\text{mm}^2$  정도로 비교적 우수한 특성을 볼

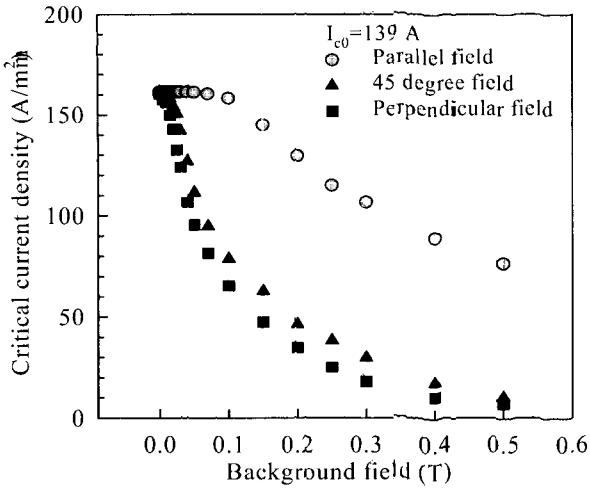


그림 3. Bi-2223테이프의 임계전류밀도 - 외부자장.  
Fig. 3. Critical current density of the Bi-2223 tape vs. background field.

수 있다. 그리고 현재 상용화되어 있는 저온초전도시스템 중 대표적인 MRI의 운전전류밀도는 약 300 A/mm<sup>2</sup>, SMES는 약 100 A/mm<sup>2</sup>, 핵융합장치는 약 50 A/mm<sup>2</sup>로서 Bi-2223테이프는 현 단계에서도 결코 뒤지지 않는 운전전류밀도특성을 지니고 있음에 주목할 필요가 있을 것이다.

4.2. 교류손실특성

외부자장을 인가하지 않은 상태에서 테이프에 흘린 교류전류에 대한 Bi-2223테이프의 자기자계손실특성을 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서, ●, ▲ 및 ■는 교류전류의 주파수를 10 Hz, 50 Hz 및 100 Hz로 하였을 때 측정된 자기자계손실을, 실선은 Norris 이론식으로부터 [4] 계산된 자기자계손실을 각각 나타내었다.

그림 4로부터 Bi-2223테이프의 자기자계손실은 주파수에는 거의 무관하며, Norris 이론식으로부터 계산된 손실과도 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 이는 Bi-2223테이프의 자기자계손실 메카니즘은 히스테리시스손실이 지배적임을 의미한다[4].

전류를 흘리지 않은 상태에서 테이프 면에 평행한 방향으로 인가한 자장에 대한 Bi-2223테이프의 자화손실특성을 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서, ●, ▲, ■ 및 ◆는 외부자장의 주파수를 5 Hz, 10 Hz, 50 Hz 및 100 Hz로 하였을 때 측정된 자화손실을, 실선은 평판형 초전도체(slab)에 대한 Bean 모델로부터 [5] 계산된 자화손실을 각각 나타내었다. 그림 5에서 자화손실 계산 시 코야모델을 사용하였으며, 계산된 완전침투자장은 약 20 mT이었다.

그림 5로부터 Bi-2223테이프의 자화손실은 주파수에는 거의 무관하며, Bean 모델로부터 계산된 자화손실과도 비교적 잘 일치함을 볼 수 있다. 이는 Bi-2223테이프의 자화손실 메카니즘 또한 자기자계손실처럼 히스테리시스손실이 지배적임을 의미한다[5].

60 Hz 전력기 응용에 앞서 2절에서 검토한 77 K에서의 허용교류손실과 Bi-2223테이프의 교류손실을 비교 평가하기 위하여 그림 4 및 그림 5의 교류손실을 테이프 단위길이 당의 손실로 나타내면 그림 6과 같다. 그림 6 a)에서 실선은 2절의 0.5 mW/A<sub>p</sub>·m에 통전전류의 크기를 고려한 허용교류손실을 나타낸다.

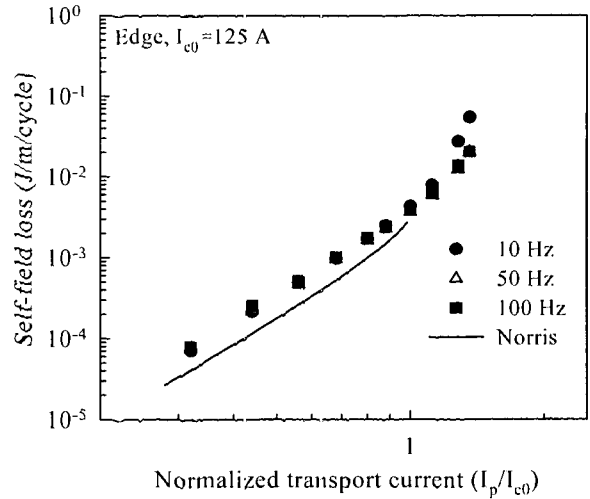


그림 4. Bi-2223테이프의 자기자계손실 - 정규화된 통전전류.  
Fig. 4. Self-field loss of the Bi-2223 tape vs. normalized transport current.

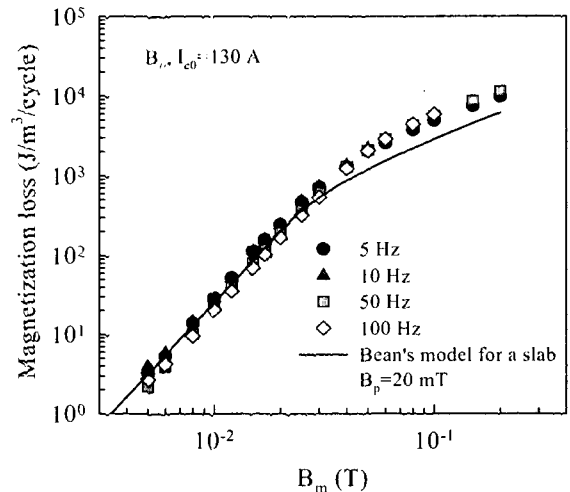
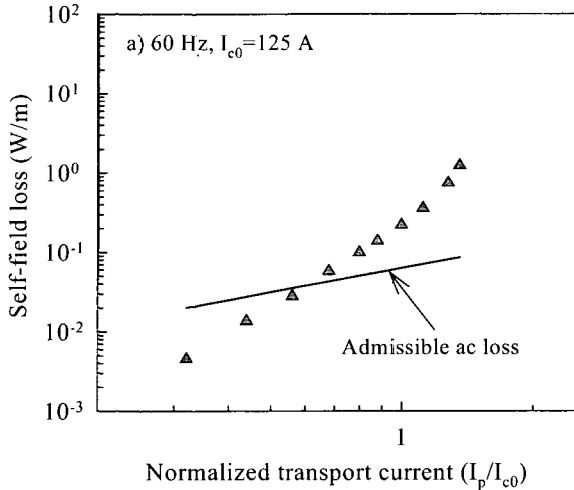
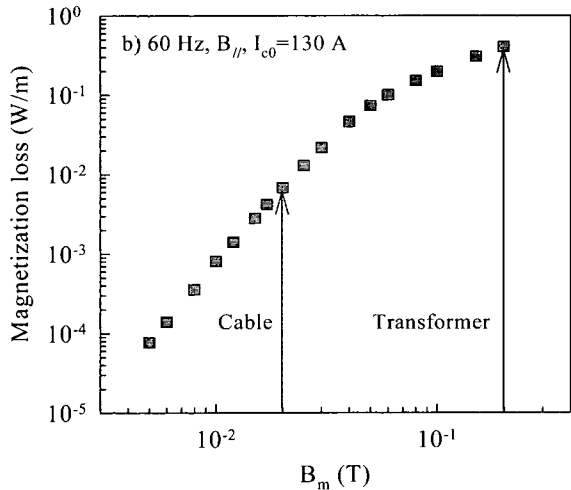


그림 5. Bi-2223테이프의 자화손실 - 수평자장.  
Fig. 5. Magnetization loss of the Bi-2223 tape vs. parallel magnetic field.

그림 6 a)로부터 테이프 임계전류의 약 60 % (75 A)의 운전전류에서 Bi-2223테이프의 자기자계손실은 허용교류손실(약 4×10<sup>-2</sup> W/m)에 육박하는 것을 볼 수 있다. Bi-2223테이프를 전력기에 응용할 경우 앞의 자기자계손실 외에도 그림 6 b)의 자화손실이 추가적으로 발생하게 된다. 그림 6 b)에 나타난 바와 같이 케이블(약 20 mT의 수평자장 인가) 및 변압기(약 200 mT의 수평 또는 수직자장 인가)에 응용할 경우 자화손실은 각각 약 7×10<sup>2</sup> W/m 및 4×10<sup>1</sup> W/m 정도임을 알 수 있다. 테이프의 운전전류를 75 A로 할 때, 이와 같은 자화손실은 케이블의 경우는 자기자계손실의 1/6, 변압기의 경우는 10배정도 임을 알 수 있다. 따라서 케이블의 경우 총 교류손실은 자기자계손실만 고려해도 충분한 반면 변압기의 총 교류손실은 이와는 반대로 자화손실만 고려하면 되지만 허용교류손실보다 10배정도 총 교류손실이 크게 되어 동일량의 도체를 사용한다고 가정하면 고온초전도변압기는



a) 자기자계손실.



b) 자화손실.

그림 6. Bi-2223테이프의 교류손실.  
Fig. 6. AC loss of the Bi-2223 tape.

기존 구리도체시스템과 효율 경쟁에서 불리할 가능성도 배제할 수는 없다. 물론 Bi-2223테이프의 운전전류밀도가 매우 크기 때문에 구리도체보다는 길이가 짧아질 수 있다는 사실에는 주의할 요한다.

### 4.3. 접속부특성

직류전류에 대한 Bi-2223테이프의 접속부저항특성을 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 ● 및 ▲는 pressing joint 및 soldering joint에 대해 측정된 저항을 각각 나타낸다.

그림 7로부터 Bi-2223테이프의 접속부저항은 테이프의 접합방식에 따라서 매우 달라지는 것을 볼 수 있고, soldering joint가 pressing joint보다 접속부저항이 약 1/10<sup>4</sup>로 충분히 작음을 알 수 있다.

테이프에 흘린 교류전류에 대한 Bi-2223테이프의 접속부손실특성을 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 ● 및 ▲는 pressing joint 및 soldering joint에 대해 측정된 단위길이 당 접속부가 1개 있는 경우, 총 손실 즉 저항성손실과 자기자계손실의 합을 각각 나타낸다. 또한 접속부가 총 손실에 미치는 영향을 비교하기 위하여 접속부가 없을 때 테이프에서 발생하는 자기자계손실을 ■로 나타내었다.

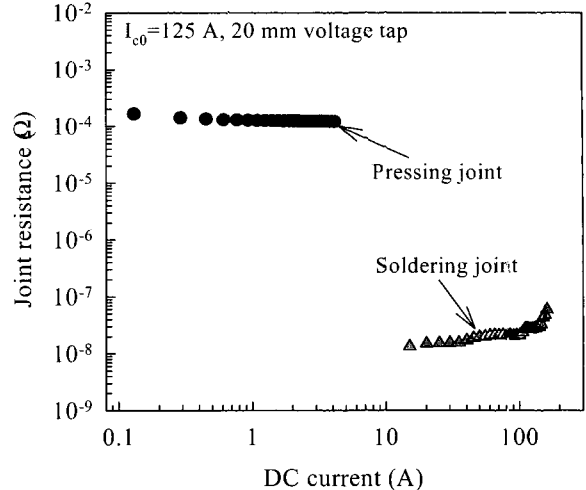


그림 7. Bi-2223테이프의 접속부저항 - 직류전류.  
Fig. 7. Joint resistance of the Bi-2223 tape vs. DC current.

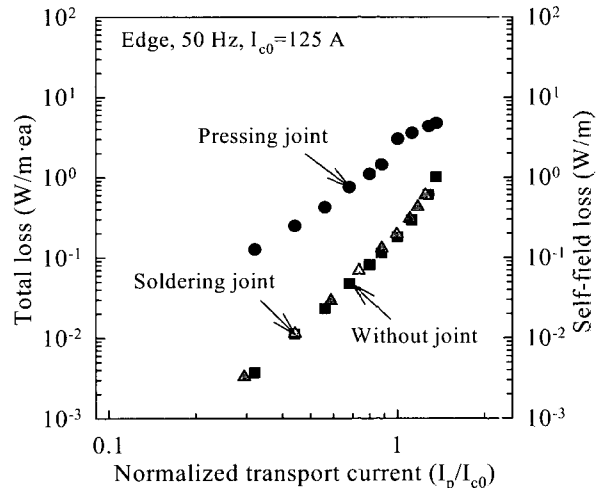


그림 8. Bi-2223테이프의 접속부 총 손실 - 정규화된 통전전류.  
Fig. 8. Total loss of the Bi-2223 tape vs. normalized transport current.

그림 8로부터 Bi-2223테이프의 접속부 총 손실은 그림 7에서처럼 테이프의 접합방식에 따라서 접속부손실특성이 매우 달라지는 것을 볼 수 있고, soldering joint가 pressing joint보다 총 손실이 최소 1/10 이상 작은 것을 볼 수 있다. 특히 soldering joint의 접속부 총 손실은 테이프에 접속부가 없을 때의 손실 즉 자기자계손실과 거의 동일함을 볼 수 있다. 이는 soldering joint의 접속부에서 발생하는 저항성손실은 테이프의 자기자계손실에 비해 무시 가능할 정도 대단히 작음을 의미한다. 이는 Bi-2223테이프를 접합시켜 사용해야할 필요가 있는 시스템에서 테이프의 접합으로 야기되는 교류손실문제는 중요하지 않음을 의미한다.

### 4.4. 사고전류특성

비절연 테이프에 흘린 과잉계전류에 대한 Bi-2223테이프의 최대온도상승·저항특성을 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 ●, ▲, ■ 및 ◆는 과잉계전류의 지속시간을 각각 1 사이클, 3 사이클, 5 사이클

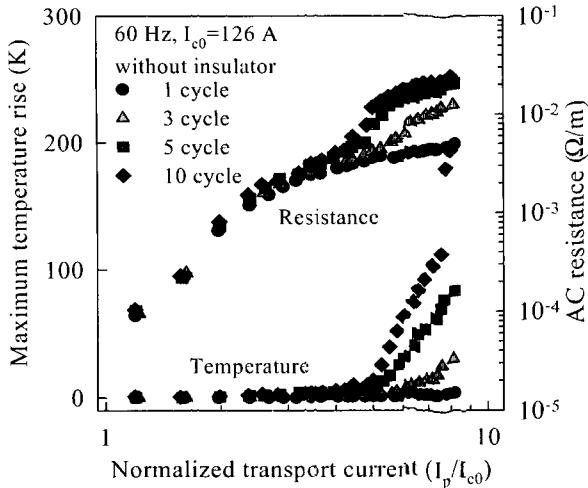


그림 9. Bi-2223테이프의 최대온도상승·저항 - 정규화된 과임계전류.  
Fig. 9. Maximum temperature rise and resistance of the Bi-2223 tape vs. normalized over-critical current.

및 10 사이클로 하였을 때 측정된 테이프의 최대온도상승 및 저항을 각각 나타낸다.

그림 9로부터 알 수 있는 바와 같이 지속시간이 1 사이클인 경우는 테이프 임계전류( $I_{cc} = 126$  A)보다 9 배정도 큰 과임계전류가 흘러도 Bi-2223테이프의 최대 온도상승은 거의 없다. 그러나 큰 과임계전류 영역에서 지속시간이 3, 5 및 10 사이클로 길어짐에 따라서 최대온도상승은 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 특히 10 사이클의 과임계전류가 테이프에 흐르는 경우는 테이프 임계전류의 약 8배정도의 과임계전류에서 테이프의 최대온도상승이 급격히 증가하여, 결국에는 Bi-2223테이프가 손상(이하 swelling현상)되는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 임계전류밀도가 낮은 약 20 A/mm<sup>2</sup>급의 Bi-2223테이프에서는 볼 수 없었던 현상이다[6].

그리고 이와 같은 swelling현상은 그림 3과 같이 100 A/mm<sup>2</sup>급의 임계전류밀도특성을 지닌 Bi-2223테이프를 케이블 또는 변압기 등과 같은 시스템에 사용할 경우, 정격전류보다 수십 배 큰 사고전류가 단 1회만 흘러도 Bi-2223테이프는 손상될 수 있음을 의미한다. 따라서 사고전류를 피할 수 없는 전력기기와 같은 시스템에 Bi-2223테이프를 사용하는 경우는 임계전류밀도특성이 우수하다할지라도 전력계통의 사고전류특성에 따라서 운전전류밀도가 제한될 가능성도 배제할 수 없음을 주의할 필요가 있다.

또한 그림 9에서 보는 바와 같이 수 사이클의 매우 짧은 지속시간임에도 불구하고 과임계전류가 임계전류보다 약 5배정도만 커져도 Bi-2223테이프의 단위길이당 저항이 약  $1 \times 10^{-2}$  Ω/m으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 저항특성을 가진 Bi-2223테이프를 전력기기에 응용하게 되면 전력계통에서 사고전류를 제한하는데도 크게 기여할 것으로 사료된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 최근 상품화에 성공한 100 A/mm<sup>2</sup>급의 Bi-2223테이프를 케이블 및 변압기와 같은 60

Hz 전력기기에 응용하기 앞서 중요한 특성에 대해 검토하였으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 외부자장이 낮은 케이블의 교류손실은 자기자계손실이 지배적이며, 그 크기는 허용교류손실레벨로 결코 무시할 수 없다. 케이블과 반대로 변압기는 자화손실이 자기자계손실보다 수십 배 크며, 동일량의 도체를 사용한다고 가정하면 고온초전도변압기는 기존 시스템과 효율 경쟁에서 불리한 가능성도 배제할 수는 없다. 물론 Bi-2223테이프의 운전전류밀도가 매우 크기 때문에 구리도체보다는 길이가 짧아질 수 있다는 사실에는 주의할 요한다. 따라서 100 A/mm<sup>2</sup>급 Bi-2223테이프의 교류손실을 저감할 수 있는 기술개발이 선행되어야 한다.
- 2) 임계전류보다 8배정도 큰 수 사이클의 과임계전류에 대해서도 Bi-2223테이프에는 손상(swelling현상)이 발생한다. 이는 임계전류밀도특성이 100 A/mm<sup>2</sup>급보다 대단히 우수한 테이프가 개발된다 할지라도, 사고전류의 크기 및 지속시간에 따라서 테이프의 운전전류밀도는 제한을 받을 가능성이 큼을 의미한다. 따라서 100 A/mm<sup>2</sup>급 이상의 운전전류밀도에서도 테이프의 손상을 피할 수 있는 기술개발이 선행되어야 한다.
- 3) 간단히 납땜으로 결합한 soldering joint의 총 손실은 접속부가 없을 때 테이프의 자기자계손실과 거의 유사하다. 이는 Bi-2223테이프를 접합시켜 사용해야 할 필요가 있는 시스템이라고 할지라도 접합으로 야기되는 교류손실문제는 그다지 크지 않음을 의미한다.

본 연구는 21세기프론티어연구개발사업인 차세대초전도 응용기술개발 사업단의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] G. Ries, M. Leghissa, J. Rieger, J. Wieszorek, "High-Tc Superconductors and AC Loss in Electrotechnical Devices", Physica C, pp. 283-290, 1998.
- [2] Marijin Pieter Oomen, AC Loss in Superconducting Tapes and Cables, Universiteit Twente, pp. 18-22, 2000.
- [3] 류경우, 심창완, 차귀수, "교류자장에 대한 Bi-2223테이프의 통전손실 특성", 전기학회논문지, 50B권 6호, pp. 290-294, 2001.
- [4] 류경우, 박권배, 차귀수, 최경달, 이지광, 한송엽 "장척 Bi-2223/AgMgNi테이프의 자기자계손실 특성", 전기학회논문지, 49B권 4호, pp. 240-244, 2000.
- [5] 류경우, 한형주, 최병주, 나완수, 주진호, "수평자장에 대한 Bi-2223테이프의 자화손실특성", 전기학회논문지, 50B권 4호, pp. 158-162, 2001.
- [6] 류경우, 최병주, 차귀수, "Bi-2223 테이프의 사고전류 특성", 초전도·저온공학회논문지, 3권 1호, pp. 29-33, 2001.

저 자 소 개



**류경우(柳炅佑)**

1962년 2월 10일생, 1983년 인하대 공대 전기공학과 졸업, 1985년 서울대 대학원 전기공학과 졸업, 1995년 Yokohama National University (일) 전자정보공학과 졸업(공학박사) 1986년~1995년 한국전기연구원 선임연구원, 1996년~현재 전남대학교 전기공학과 부교수



**최병주(崔炳柱)**

1958년 12월 12일생, 1981년 영남대 전기공학과 졸업, 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업, 1996년 Kyushu University(일) 공학연구과 졸업(공학박사), 1983년~1986년 현대중전기 연구소 연구원, 1986년~1996년 한국전기연구원 선임연구원, 1997~현재 서라벌대학 컴퓨터전기시스템과 조교수.



**성기철(成者哲)**

1956년 2월 20일생, 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년 창원대학교 전기공학과 졸업(공학박사), 1986년~현재 한국전기연구원 초전도응용 연구그룹 책임연구원



**류강식(柳康植)**

1958년 8월 5일생, 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업, 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1988년~1993년 한국전기연구소 초전도연구실 실장, 1993년~1999년 한국전기연구원 초전도응용연구사업팀장, 1999년~2001년 한국전기연구원 전략기술연구단 단장, 현재 차세대 초전도응용기술개발사업단장