

인접전류가 고온 초전도테이프의 통전손실에 미치는 영향

박권배, 류경우, 최병주\*  
전남대학교, \*서라벌대학교

Effect of the Neighboring Tape's AC Currents on Transport Current Loss of a HTS tape

Kwon-Bae Park, Kyung-Woo Ryu, Byung-Ju Choi\*  
Chonnam National Univ., \*Sorabol Univ.

**Abstract** - Bi-2223테이프는 송전케이블과 같은 저자장 전력시스템의 응용에 가장 유망한 선재로 알려져 있다. 송전케이블에 교류 전류가 인가되면 인접한 테이프에 의해서 발생하는 자계는 통전손실에 영향을 미치게 된다. 이와같은 실제 송전케이블의 응용 측면을 고려하여 좌측 및 상부인접전류가 통전손실에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. Bi-2223테이프의 통전손실은 교류 인접전류가 증가함에 따라서 급격하게 증가하는 반면, 직류 인접전류의 영향은 무시 가능할 정도로 작았으며, 인접전류가 큰 경우는 테이프의 배열에 무관한 반면 작은 경우에는 상부배열인 경우의 영향이 큼을 알 수 있었다. 또한 Bi-2223테이프의 통전손실은 교류 인접전류의 주파수에 무관함을 알 수 있었다.

1. 서론

Bi-2223테이프의 장선화 기술의 향상으로 인해서 다양한 전력 기기 응용 가능성을 낳고 있다. 특히, 비교적 저자장 전력 시스템인 고온 초전도 송전케이블과 고온 초전도변압기의 응용에 가장 활발한 연구가 진행되고 있다. 이러한 전력 시스템의 제작 및 설계에 있어서 선행되어야 할 것이 교류 손실 특성을 명확하게 이해하는 것이 필수적이다. Bi-2223테이프의 교류손실은 테이프의 종횡비, 필라멘트의 트위스트유·무 등과 같은 내적 인자 및 전압리드의 접촉위치 및 배열, 외부 교류자계 등과 같은 외적인자에 대단히 큰 영향을 받는다.

본 연구에서는 실제 고온초전도 송전케이블의 응용을 고려할 때 원주방향으로 테이프가 놓이고 그 위에 반경 방향으로 다층의 테이프를 적층하게 된다. 이 때 테이프 상호간에 발생하는 자계는 통전손실에 영향을 미치게 되므로 인접전류가 통전손실에 미치는 영향에 대해서 조사하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 연구에 사용된 Bi-2223테이프의 사양과 실험장치를 표 1과 그림 1에서 각각 나타내었다. 그림 1과 같이 샘플의 길이가 1.5m인 3개의 Bi-2223테이프를 준비하였으며 이중에서 하나는 통전손실을 측정하기 위한 테이프(이하에서는 기준테이프)로서 하부에 위치하고 다른 두 개의 테이프는 원주 방향으로 테이프가 위치하는 것을 고려하여 좌측테이프를, 반경 방향으로 테이프가 적층되는 것을 고려하여 상부테이프를 각각 배열하였다. 20 V-300 A전원을 이용하여 좌측 및 상부 인접테이프에 전류를 인가하였으며, 50 V-30 A전원을 이용하여 인접전류와 동일한 위상의 전류를 기준테이프에 인가하여 통전손실을 측정하였다. 이 때 사용된 전압리드는 edge리드를 사용하였다. 이것은 앞선 연구에서 보인 바와 같이 올바른 손실측정을 위해서 사용되는 전압리드 중의 하나로 유도성전압이 비교적 작은 값을 갖기 때문에 별도의 유도전압을 상쇄하지 않아도 올바른 손실을 측정할 수 있는 전압리드이다[1]. 그림 1의 상쇄코일은

표 1 Bi-2223테이프의 사양

항 목	특 성
사이즈	3.5 mm × 0.3 mm
Bi-2223/AgMgNi	25/75
필라멘트수	37
트위스트 유·무	무

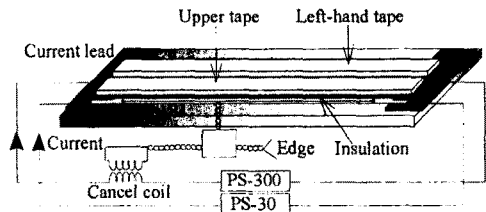


그림 1. 실험 장치.

인접전류에 의한 자계가 발생하는 유도전압을 상쇄하기 위하여 제작하였다. 이 때 인접전류에 의해서 발생하는 전압성분 중에는 기준테이프의 전류와 동상 성분을 포함하게 되므로 이것은 반드시 보상하여 주어야 한다. 이를 위해서 기준테이프는 무통전인 상태에 두어서 인접전류만이 통전된 경우에 전압리드에 발생하는 전압성분 중 전류와 동상 성분의 진폭을 취하여 동시 통전시에 측정 한 손실성 전압의 진폭에서 보상하였다. 이 때 상쇄코일을 사용하여 유도전압만을 상쇄한 경우의 결과와 일치 하였으므로 별도의 보상은 하지 않았으며, 기준테이프의 통전전류에 의해서 발생하는 유도전압은 상쇄하지 않았다.

3. 실험결과 및 검토

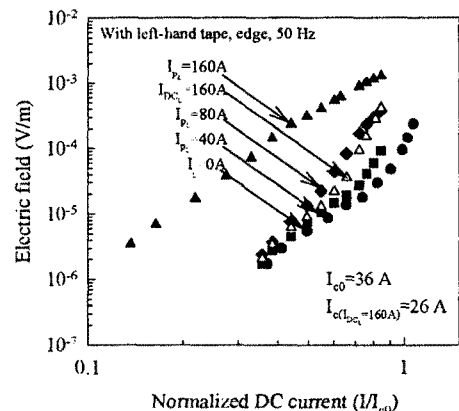


그림 2. 직류 전계 - 정규화된 직류 전류.

그림 2는 좌측 인접테이프에 교류( $I_{p1}$ ) 및 직류전류( $I_{DC}$ )를 통전했을 때 기준테이프에서 직류 전압·전류관계를 측정 한 결과이다. 여기서  $I_{c0}$ ,  $I_{c}(I_{DC}=160A)$ 는 인접전류가 0인 경우와 직류 인접전류가 160 A인 경우에 임계전류로 각각 36 A, 26 A이다. 그림 2의 결과에서 알 수 있듯이 교류 인접전류가 통전되는 경우에 전계는 급격하게 증가하는 반면에 직류 인접전류가 통전되는 경우에는 임계전류의 감소에 의한 전계의 증가만을 보였다.

그림 3은 좌측 인접테이프에 교류 및 직류전류를 통전했을 때 기준테이프의 통전손실에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 그림 3의 결과로부터 교류 통전손실은 교류전류가 증가함에 따라서 급격하게 증가하는 반면에 직류 인접전류인 160 A가 통전되는 경우에는 미소한 통전손실의 증가를 보일 뿐 그 영향은 무시 가능할 정도로 작았다. 이는 직류 인접전류에 의한 통전손실의 증가는 임계전류의 감소가 그 원인을 알 수 있었다. 또한 교류 인접전류가 통전이 되면서 통전손실의 기울기는 3.3에서 2.0으로 변화하는 것을 알 수 있었다. 이것은 교류 인접전류에 의한 Bi-2223테이프의 통전손실은 일종의 저항성 손실과 유사함을 의미하고 있다. 이 결과는 다른 연구 논문에서도 유사한 결과를 보인다[2]. 그림 3의 실선은 외부 교류자계가 존재하는 경우에 통전손실 증가를 설명하기 위해 도입한 동저항 손실(dynamic resistance)이며, 그림 2의 직류 전압·전압관계로부터 정의되며 식(1)과 같다[2].

$$Q_{dyn} = \int_0^T (E_B(i) - E_{B=0}(i)) idt \quad (1)$$

여기서  $Q_{dyn}$ (J/m/cycle)는 동저항손실이며,  $i = i_p \sin \omega t$ 이며, B는 교류 외부자계, T는 외부 교류자계 및 통전전류의 주기,  $E_B$  및  $E_{B=0}$ 는 외부 교류자계가 인가된 경우 및 B=0인 경우 각각의 직류 전계이다. 그림 3의 결과에서 알 수 있듯이 교류 인접전류가 160 A인 경우에 직류 전압·전류관계로부터 계산된 동저항 손실은 측정된 통전손실보다 매우 작은 결과를 보인다. 이는 외부자계의 영향과는 달리 인접전류에 의한 통전손실의 증가는 동저항손실로서 설명이 되지 않았다. 이는 인접전류에 의해서 발생되는 통전손실의 증가는 또 다른 메커니즘에 의한다는 것을 알 수 있었다.

그림 4는 좌측·인접전류의 주파수가 기준테이프의 통전손실에 미치는 영향에 대해서 조사한 결과이다. 그림 4의 결과로부터 Bi-2223테이프의 통전손실은 인접전류의 주파수에 무관함을 나타낸다.

그림 5는 좌측( $I_{p1}$ ) 및 상부( $I_{p2}$ ) 인접테이프의 배열이 기준테이프의 통전손실에 미치는 영향을 비교한 결과

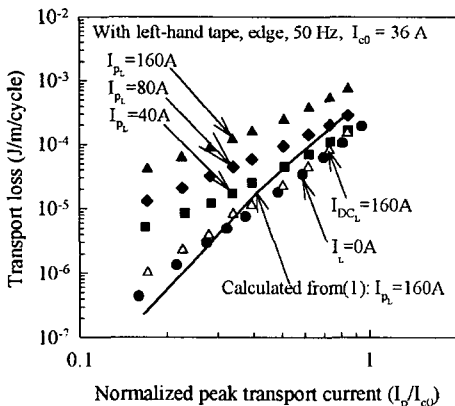


그림 3. 통전손실 - 정규화된 통전전류.

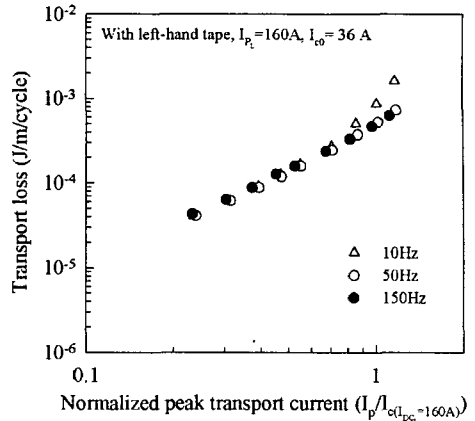


그림 4. 통전손실 - 정규화된 통전전류.

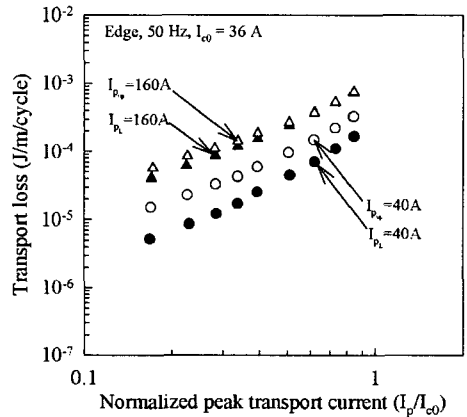


그림 5. 통전손실 - 정규화된 통전손실.

이다. 그림 5의 결과에서 알 수 있듯이 인접전류가 비교적 큰 160 A인 경우에는 기준테이프의 통전손실은 배열에 무관하였다. 반면에 비교적 작은 40 A의 경우에는 상부배열의 영향이 더 큼을 알 수 있었다.

### 3. 결 론

이상의 조사 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Bi-2223테이프의 통전손실은 교류 인접전류가 증가함에 따라서 급격하게 증가하는 반면, 직류 인접전류의 영향은 무시 가능할 정도로 작았다.
- 2) Bi-2223테이프의 통전손실은 교류 인접전류가 통전되는 경우에 기울기가 2.0인 것으로부터 이는 일종의 저항성 손실과 유사함을 의미한다.
- 3) Bi-2223테이프의 통전손실은 인접전류가 큰 경우는 배열에 무관한 반면 작은 경우에는 상부배열인 경우의 영향이 큼을 알 수 있었다.
- 4) Bi-2223테이프의 통전손실은 교류 인접전류의 주파수에 무관함을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 류경우, 박권배 외, "장척 Bi-2223테이프의 자기자계손실 특성", 전기학회논문지, 49B권, pp. 240-245, 4, 2000.
- [2] J.J. Rabbers, B. ten Haken, F. Gomory, H.H.J. ten Kate, "Self-field loss of BSCCO/Ag tape in external AC magnetic field", Physica C 300, pp. 1-5, 1998.