

고온초전도 적층선재에서의 층간 거리에 따른 전송전류 손실

임형우, 이승욱, 이희준, 차귀수, 이지광*
순천향대학교 정보기술공학부, 우석대학교 전기공학과*

Transport current Losses of the HTS Stacked Tapes at Various Gap between Tapes

Hyoungwoo Lim, Seungwook Lee, Heejoon Lee, Gueesoo Cha, Jikwang Lee*
Soonchunhyang University, Woosuk University*

E-mail : super@sch.ac.kr

Abstract - AC loss is one of the important superconducting power machine that we have to consider deeply using the stack wires with the HTS. AC magnetic field is occurred around the wires when the electric current is conducted to the stack wires. It also brings electric field to the wires and occurs self field loss, whose quantity is appeared differently by distance of the stack wires. In this paper, transport current losses of a stack short sample of HTS were compared with Norris equation and measured value

1. 서 론

최근에 들어 초전도에 대한 관심이 높아지고 연구가 활발해지고 있으며, 이에 따라 초전도 변압기, 한류기, 초전도 전력기기들은 점차 대형화되고 있다. 이러한 고온초전도 전력기기들은 현재 제작되어 나오는 초전도테이프의 임계전류 보다 더 큰 임계전류를 갖고, 전류를 안전하게 전송할 수 있는 초전도테이프를 요구하고 있다. 이러한 문제의 해결 방안으로 적층한 고온초전도 선재 사용을 하나의 대안으로 제시하고 있으며, 이에 따라 고온초전도 선재의 적층시 발생하는 교류 손실에 관한 연구가 새로이 진행 중이다. [1][2]

고온초전도선재에 전류가 흐를 때에 전류에 의해 발생된 자계가 고온초전도 선재에 부분적으로 침투하여, 히스테리스 타입의 손실을 만드는데 이것을 전송전류 손실이라 한다. 이러한 전송전류 손실의 영향을 검토하기 위해서 고온초전도선재 4가닥을 병렬로 적층 하고 이들의 층간 간격을 다르게 하여 임계전류를 측정 한 후 전송전류 손실을 측정했다. 또한 적층한 선재의 층간 간격에 따른 전송전류손실의 변화를 조사한 후, 노리스 방정식과 실험에서 얻은 값과 비교했다.

2. 적층 선재의 자기자계 발생

그림 1은 적층선재의 자기자계 발생의 개념도이다. 자기자계 손실은 수평, 수직 자기자계 중 수직 성분에 의해 주로 발생하게 되는데, 적층 시 고온초전도선재에서는 그림과 같이 가운데에 위치한 고온초전도선재가 겪는 수직자계 성분이 다른 선재들에 의해 더 증가하게 된다. 또한, 고온초전도 적층선재에 절연을 할 경우에는 절연체가 자기적 이격 거리를 만들게 되므로 선재들 사이의 거리가 증가하게 되며, 이로부터 고온초전도선재에 차폐 자계는 감소하게 되고, 따라서 손실에 대한 적층의 영향을 감소시킨다.

다른 교류 자계가 없을 경우 전송 전류 손실은 식 (1)과 같이 계산할 수 있다. 계산된 초전도 선재의 전송전류 손실은 단위 체적당, 단위 주기당 손실이다. [3]

$$P(F) = \left(\frac{\mu_0 I_c^2}{\pi} \right) \left[(1-F) \ln(1-F) + (2-F) \frac{F}{2} \right] \quad (1)$$

여기서 $F = I_c / I_b$ 이며, I_c 와 I_b 는 각각 교류전류에서 임계전류와 최대전류이다.

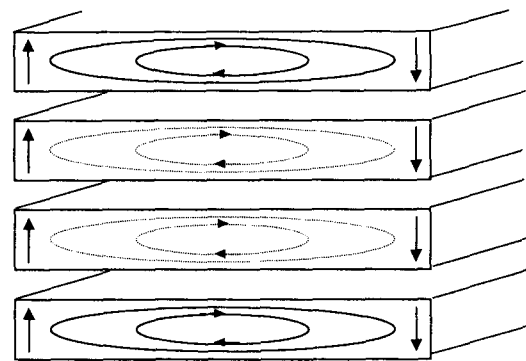


Fig. 1. Transport current losses at staked HTS type

3. 실험방법

실험에서는 고온초전도선재 4가닥을 병렬로 적층하였으며, 적층한 고온초전도선재를 하나의 고온초전도선으로 가정하였다. 고온초전도선재 적층시 각각의 선재들 사이를 비절연, 간격 1, 간격 2로 나누고 층간 거리를 다르게 하여 제작하였다.

표 1은 실험에 사용한 고온초전도선재의 사양으로, 77K에서의 고온초전도 선재의 임계전류는 74A이고, 재질은 BSCCO-2223이며, 사용된 모재는 Ag, 선재의 너비는 3.1mm, 두께는 0.16, 트위스트를 하지 않은 선재를 사용하였다.

표 2는 적층선재의 층간 거리를 다르게 해주기 위해 사용한 간격 1은 50 μ m, 간격2의 두께는 230 μ m를 나타내고 있으며, 간격 2는 간격 1보다 4.6배 크다.

그림 2는 고온초전도 테이프의 전송전류를 측정하기 위해 만든 단자이다. 본 실험에서는 제한된 공간에서 자기전류 및 외부자계에 의해서 발생하는 교류 손실을 나선형 권선법을 이용해서 측정한다. 나선형 권선법을 이용해서 손실을 측정하기 위해서 그림 2와 같이 적층한 선재의 주변에 원통을 배치하고 이 원통표면에 나선형으로 전압리드를 배치한다. 또한 고온초전도선재를 4적층을 하였기 때문에 전압탭을 내기 위한 곳의 선재들이 전기적으로 접촉되게 모서리에 전압탭을 내었다.

Table I. Specifications of the Bi-2223 tape

재질	BSCCO-2223
너비	3.1mm
두께	0.16mm
모재	Ag alloy
트위스트	No
임계전류	74 A, 77K

Table II. Thickness of insulation

종류	두께
간격 1	50 μ m
간격 2	230 μ m

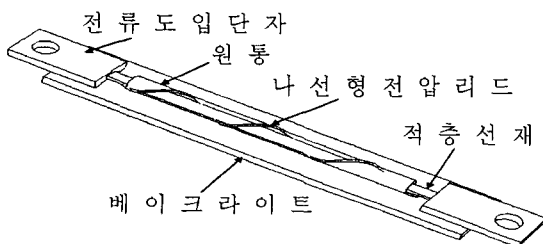


Fig. 2. schematic of the test stacked sample

4. 실험결과

그림 3은 단일선재에서 발생한 전송전류손실의 측정값과 노리스 방정식을 사용하여 계산한 전송전류 값을 보여준다. 이 그림에서 세모로 나타낸 것은 측정값이며, 네모로 나타낸 것은 노리스 방정식으로 계산한 결과 값이다. 전송전류가 낮은 구간에서는 측정값이 작아서 측정치와 차이를 보이지만 측정값과 계산값이 30A 이상의 구간에서는 일치하는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 비절연일 때와, 간격 1, 간격 2로 두께를 주었을 때의 전송전류 손실을 보여준다. 그림 4의 (a)는 비절연일 때의 전송전류손실이며, 그림 4의 (b)는 간격 1로써 선재와 선재 사이에 거리를 주었을 경우 전송전류 손실 나타내며, 그림 4의 (c)는 간격 2로 선재와 선재사이에 거리를 주었을 때의 전송전류 손실이다. 그림 4로부터 높은 전류에서의 3종류인 비절연, 간격 1, 간격 2의 적층선재 전송전류손실의 경우 모두 노리스 방정식에 의해 계산된 전송전류손실보다 약간 크게 측정되었다. 측정결과 일반적으로 계산된 값과 잘 맞는다는 것을 알 수 있다.

표 3은 적층선재 샘플에 대한 전송전류손실이다. 실험으로 얻은 값으로부터 비절연 선재의 전송전류손실을 1로 보고, 간격 1인 선재의 전송전류손실은 비절연 선재의 전송전류손실의 61%였고, 간격 2로하여 측정된 선재의 전송전류 손실비는 비절연 선재의 전송전류 손실의 70%였다. 또한, 표 3의 노리스 방정식의 의한 계산 값으로부터 선재의 전송전류 손실비를 계산해 보면, 마찬가지로 비절연일 경우를 1로 보고 간격 1일 경우의 전송전류 손실비는 비절연일 경우의 60%이고, 간격 2일 경우의 전송전류 손실비는 비절연일 경우의 70%인 계산값을 얻었다.

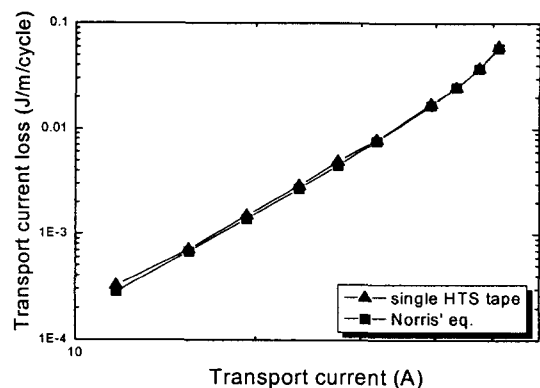
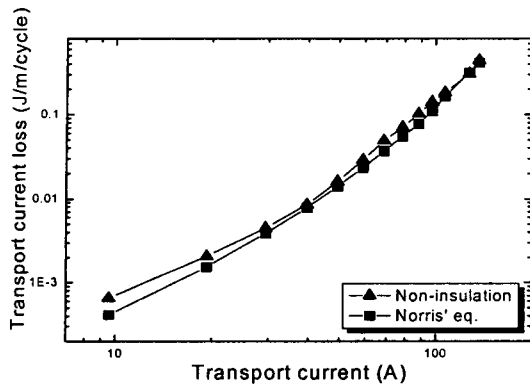
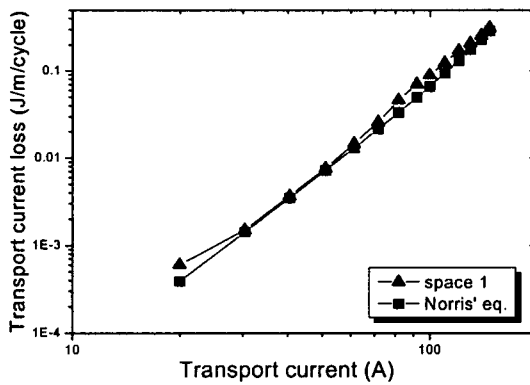


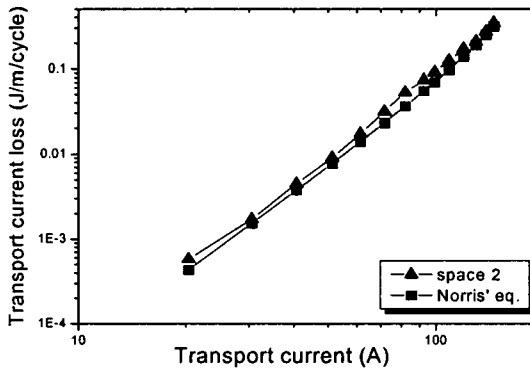
Fig. 3. Transport current loss by Norris equation and single HTS tape.



(a) Non-insulated multi-stacked tape



(b) Space 1 multi-stacked tape



(c) Space 2 multi-stacked tape

Fig. 4. Transport current loss by Norris equation and stacked HTS tapes.

Table III. Transport current losses

적층선재 종류	전류 [A]	측정 값 [J/m/cycle]	계산 값 [J/m/cycle]
비절연	137	0.44	0.41
간격 1	138	0.27	0.25
간격 2	147	0.31	0.29

5. 결 론

본 논문에서는 적층 선재의 층간 거리에 따른 전송전류 손실을 측정하였고 이를 노리스 식과 비교해 보았다. 낮은 전송전류일 때는 작은 차이를 보이지만 높은 전송전류일 때 노리스 식과 비교적 일치하였다. 또한 비절연, 간격 1, 간격 2의 전송전류 손실을 비교해 보면 간격 1로 하였을 때가 손실이 작은 것을 실험값과 노리스 식으로부터 알 수 있다.

본 연구는 21세기프론티어 연구개발사업인 차세대 초전도응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] K.Funaki, et al., "Development of a 22kV/6.9kV Single-Phase Model for a 3MVA HTS Power," Transformer, IEEE Trans. Applied Superconductivity, Vol.11, No.1, pp.1578-1581, March, 2001.
- [2] 박찬배 외 5인, "1MVA 고온초전도 변압기 개념설계 및 3차원 전자장 해석," 대한전기학회 논문지, 제 52권, 제1호, pp.23-26, 2003.
- [3] W.T. Norris, "Calculation of Hysteresis Losses in Hard Superconductors Carrying AC: Isolated Conductors and Edges of Thin Sheets," Journal of Phys. D: Applied Phys., Vol.3, pp.489-507, 1970.
- [4] J. Rhyner, "Calculation of AC losses in HTSC wires with arbitrary current voltage characteristics," physica C, Vol.310, pp. 42-47, 1998.
- [5] M. Wilson, Superconducting magnet, Clarendon Press, New York, 1983.