

교류 손실에 미치는 전류 분류의 영향 및 비접촉 전류 분류 측정

변상범\*, 이승욱\*\*, 김우석\*\*, 최경달\*

Effect of a current distribution on the AC loss and Noncontact Measurement of the current distribution.

Sangbeom Byun\*, Seungwook Lee\*\*, Wooseok Kim\*\*, Kyeongdal Choi\*

Korea Polytechnic University\*, Electrical Engineering Science and Research Institute\*\*

**Abstract** - 초전도 선재에 대 전류를 흘리기 위해서는 여러 가닥의 초전도 선재를 병렬로 연결하여 사용하여야 한다. 본 논문에서는 교류 손실에 미치는 전류 분류의 영향을 알아보기 위해 6가닥의 병렬선재 분기대를 제작하고, 전류분류가 균일 할 때와 불 균일 할 때의 임계전류 및 교류 손실의 차이를 확인하였다. 홀 센서를 이용하여 각 가닥의 선재에 흐르는 전류의 값을 예측할 수 있는 방법을 제시 하였다.

1. 서 론

고온초전도 선재의 발견과 더불어 초전도 선재를 이용한 전력용용 기기 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 구리를 사용하는 일반 전력기와 달리 초전도 전력기에서는 초전도 선재의 특성을 유지하기 위한 냉각설비가 필요하다. 따라서 일반 전력기와 비교하여 초전도 전력기의 경제성을 확보하기 위해서는 고효율, 대용량 전력기에 사용할 수 있는 선재개발이 이루어져야 한다. 현재 개발되고 있는 2세대 초전도 선재의 임계전류가 250 A 미만임을 고려할 때 대용량 제작을 위해서는 초전도 선재를 여러 가닥 적층한 병렬선재를 사용해야 한다. 대전류를 흘리기 위한 병렬선재는 초전도 선재를 여러 가닥 적층한 형태이기 때문에 이를 이용하여 코일을 제작할 경우 병렬선재를 구성하는 초전도 선재의 인덕턴스의 차이에 의하여 선재 간 불균등 전류가 흐를 수 있다[1].

본 논문은 병렬선재를 구성하는 초전도 선재에 흐르는 전류가 다를 경우에 병렬선재의 임계전류 및 교류손실 특성을 확인하고, 전위한 병렬선재의 전류 분포를 확인하기 위해 4개의 홀센서를 사용한 비 접촉식 전류측정방법에 관한 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 초전도체 병렬 선재

병렬선재의 전류 불균형에 대한 전기적 특성 실험을 위해 6가닥의 초전도 선재를 사용하여 병렬선재를 제작하였다. 병렬선재를 구성하고 있는 초전도 선재의 전류 값 제어와 측정을 위하여 6 병렬 선재의 한쪽 부분은 공통으로 구리단자에 연결하였고, 다른 한쪽은 홀더를 제작하여 6가닥의 선재를 분리 시켜 각각의 구리 단자에 연결하였다.

표 1. 초전도 단일 선재의 사양 및 병렬 선재 사양

초전도 선재 (BSCCO-2223)	넓이	4.1 mm
	두께	0.31 mm
초 전 도 병 렬 선 재	임계전류	126 A (at 77 K, 0 T)
	선재 수	6
	절연체	Kapton tape

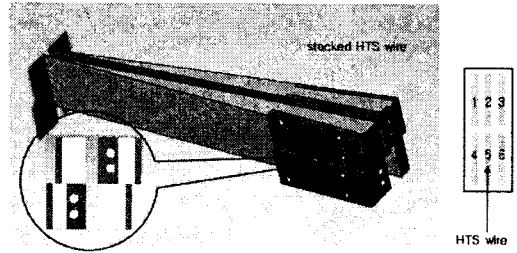


그림 1. 제작된 병렬 선재 전류 분기대

표 1은 제작에 사용한 초전도 선재의 사양을 나타낸 것이고, 그림 1은 병렬초전도 선재의 전류 제어 및 측정을 위해 제작된 분기대를 나타낸다. 6 병렬선재 시편의 전체 길이는 62 cm이며, 전기적 특성을 측정하기 위한 전압 탭은 공통으로 접합된 구리 단자에서 3 cm 떨어진 부분에서부터 10 cm 탭을 내었다.

2.2 초전도 병렬선재 특성 시험 및 결과

6가닥의 병렬 선재에 전류가 균일하게 흐르기 위해서는 각각의 선재는 절연해야하고, 접촉저항이 모두 균일해야 한다. 하지만, 제작과정 중 전류 분기대에서 초전도 선재와 구리바를 연결 하는 부분에 접촉 저항이 발생하게 된다. 이때 발생하는 접촉 저항 값은 작지만, 이로 인해 각각의 선재에 흐르는 전류의 값이 균일하지 않다. 따라서 각각의 선재 끝에 임의로 0.1 Ω의 저항을 연결하여 전류 분류가 균일하게 일어 날 수 있도록 하였다. 임계 전류를 측정하기 위한 전압 탭의 거리는 10 cm 로 하였고, 1 μV/cm 를 기준으로 하여 측정하였다.

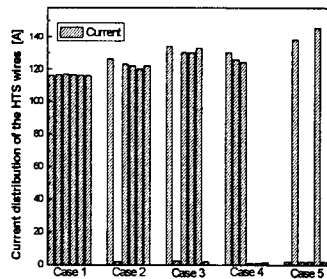


그림2. 각 조건에서의 선재의 전류 분류 측정

전류가 균일 하지 않은 상태에서의 임계전류와 교류 손실을 측정 하였다. 먼저 전류 분류가 균일하게 발생하는 조건에서 각 가닥에 저항을 차례로 연결하여 전류 불균형이 발생한 4가지 경우를 만들었다. 각 선재에 전류가 흐르는 것을 그림 1에 표시된 선재의 번호를 인용하

였고, 표 2에 전류가 흐르는 선재를 표시하였다. 각 5가지의 조건에서 각 선재에 흐르는 임계 전류 값을 측정된 값을 그림 2에 나타내었다.

표 2. 각 조건에서 전류가 흐르는 선재

	전류가 흐르는 선재
case 1	1,2,3,4,5,6
case 2	1,3,4,5,6
case 3	1,3,4,5
case 4	1,2,3
case 5	2,5

초전도 선재에 교류전류가 흐르면 선재의 내·외부에서 교류 자장이 발생하고, 이 교류자장은 선재에 전계를 유기시켜 손실을 발생시킨다. 전송 손실은 노리스가 제안한 평판모델과 타원형 모델을 이용하여 계산할 수 있으며, BSCCO 선재의 경우 타원형 모델을 이용하여 손실을 계산하였다. 교류 손실 계산은 노리스 식을 이용하였으며, 아래와 같다.

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

그림 3은 전류 분류가 균일할 때와 불균일할 때의 임계전류를 나타내고 있으며, 그림 4는 교류 손실측정을 위한 회로도를 나타낸다. 그림 5는 전류 분류가 균일할 때와 각 조건에서 전류 분류가 불균일할 때의 교류손실 계산 값과 측정값을 표시 하였다.

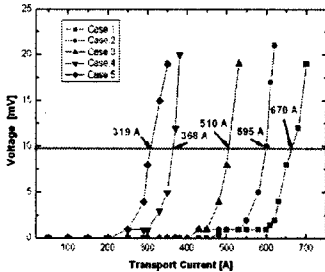


그림 3. 각 조건에서의 임계전류 측정

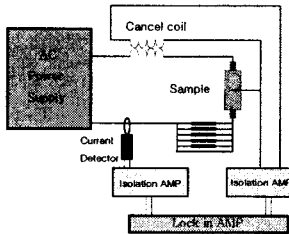


그림 4. 교류 손실 측정 회로도

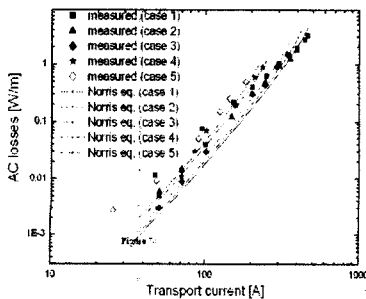


그림 5. 교류손실 계산 및 측정

### 2.3 비 접촉 전류 측정

홀센서에서 측정된 전압 값을 통해 병렬 선재를 구성하고 있는 각각의 초전도 선재에 흐르는 전류를 계산하기 위한 행렬식을 식 (2)에 나타내었다.

$$[V] = [A][I] \quad (2)$$

위 식에서 I 행렬은 각 선재에 흐르는 전류 값이며, V 행렬은 각각의 홀센서에서 측정된 전압 값을 나타낸다. A 행렬을 찾아낸다면, 홀센서에서 측정된 전압 값을 이용하여 각 선재에 흐르는 전류 값을 계산할 수 있다.

수치해석 기법을 이용하여 4병렬 선재의 A 행렬을 계산하였다. 그림 6 (a)는 4병렬 선재에서 발생하는 자장을 측정된 위치를 나타내고 있다. 그림 6 (b)는 선재 1, 2, 3, 4번에 각각 1, 2, 3, 4 A가 흐를 때의 자장 분포를 보여 주고 있다. 그림 6에 (a)에 표시한 곳에서 측정된 자장 값이 각각 0.357, 0.388, 5670, 0.595 mT 일 때, 병렬선재에 흐르는 전류 값을 역행렬을 이용하여 계산하면 각각 0.9, 1.9, 2.9, 3.9 A 이다.

이것으로 홀센서를 이용하여 비 접촉 전류 측정을 확인할 수 있다

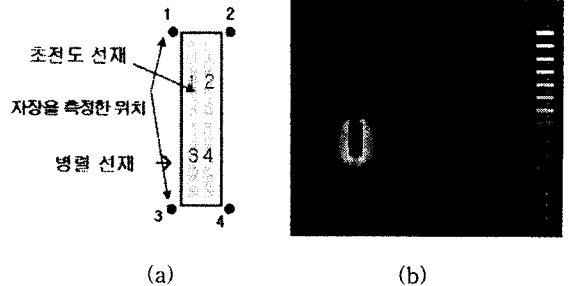


그림 6. 비접촉 전류 분류 측정

### 3. 결 론

본 논문에서는 고온 초전도 기기에서 대전류를 인가하기 위해 사용되는 병렬선재의 전류 분류 분포에 따른 교류손실을 측정하였다. 병렬 선재를 구성하는 각 선재에 흐르는 전류의 크기가 불균일 할 경우 교류손실이 증가됨을 실험으로 확인할 수 있었다. 이 결과를 통해 병렬 선재를 사용하여 권선을 제작할 경우 선재에 손실을 가장 많이 미치는 것이 선재 간 인덕턴스 차이라는 것을 알 수 있고 인덕턴스를 맞추어 전류를 흐르게 해야 교류손실을 줄일 수 있음을 확인 하였다.

홀센서와 역행렬을 사용하여 4가닥에 선재에 흐르는 전류를 계산할 수 있었다. 앞으로 더 4가닥의 선재에 흐르는 전류를 홀 센서를 이용하여 측정할 예정이다.

이 논문은 2005년도 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-090) 주관으로 수행된 과제임.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김우석, 이승욱, 황영인, 장태래사, 이희균, 홍계원, 최경달, 한송엽, "대용량 초전도 변압기 권선용 다중선재의 특성", 대한전기학회논문집, B 권, p1216-1218, 2005