

4 병렬 고온초전도 선재의 비접촉 전류분류 측정

변상범*, 이승욱**, 김우석**, 최경달*, 이지광***
 한국산업기술대학교*, 기초전력 연구원**, 우석대학교***

Noncontact Measurement of the current distribution on 4 HTS parallel wires.

Sangbeom Byun*, Seungwook Lee**, Wooseok Kim**, Kyeongdal Choi*, Jikwang Lee***
 Korea Polytechnic University*, Electrical Engineering Science and Research Institute**, Woosuk University***

Abstract - 여러 가닥의 병렬선재에 전류가 흐를 때 각 가닥에 흐르는 전류가 균일한지 알아보기 위해 각 선재의 흐르는 전류를 측정하는 방법으로 홀센서를 이용한 비 접촉식 측정 방법이 있다.

홀센서를 이용하여 전류를 측정하기 위해 4가닥의 병렬선재를 구성하고 일정한 위치에서 자장을 측정하기 위해 센서 홀더를 제작 하였다. 선재에 전류를 흘려주어 발생하는 자장을 홀센서로 측정하였고, 측정된 자장 값을 통해 행렬식을 만들었다. 완성된 행렬식을 이용하여 각 선재에 흐르는 전류 값을 계산하고, 실제 각 선재에 흐르는 전류 측정값과 비교하여 병렬선재에서의 전류분류의 비접촉 측정의 가능성을 살펴본다.

1. 서 론

현재 개발된 1 cm 폭의 YBCO 선재는 280 A 정도의 임계전류를 가지고 있으며, 대용량 고온초전도 전력기기에 사용하려면 수백 또는 수천 A의 전류가 필요하기 때문에 여러 가닥의 선재를 병렬로 적층하여 사용하여야 한다. 적층된 병렬선재를 이용하여 코일을 제작할 경우 병렬선재를 구성하는 각 초전도 선재 임피던스 차이에 의하여 선재 간에 흐르는 전류가 불균일하게 흐른다. 불균일한 전류 분포는 병렬선재에 흘릴 수 있는 통전전류를 감소시키고, 교류 손실을 증가 시킨다[1], 따라서 통전전류를 증가 시킬 수 있고, 교류 손실을 저감시키기 위해서는 병렬선재를 구성하는 각 초전도 선재의 전류 분포를 균일하게 만들어 주어야 한다[2]. 병렬 선재에 전류 분류가 발생하는 것을 확인하기 위한 방법은 크게 접촉식과 비접촉식이 있다. 접촉식으로 측정하는 방법은 선트 저항을 연결하여 전압을 측정 후 전류를 계산하는 방법이다. 비접촉식 방법으로는 로고스키 코일을 이용한 측정방법과 홀센서를 이용한 방법이 있다.

본 논문에서는 홀 센서를 이용하여 전류분류를 측정하였다. 실험을 하기에 앞서 수치 해석 프로그램을 이용하여 선재에 전류가 흐를 때 측정된 자장 값을 계산하여 각 선재에 흐르는 전류를 계산 할 수 있는지 알아보았다. 홀 센서를 특정한 위치에 고정 시키기 위해 센서홀더와 4병렬 전류 분기대를 제작하여 실험 하였다.

2. 본 론

2.1.1 비 접촉식 측정 방법

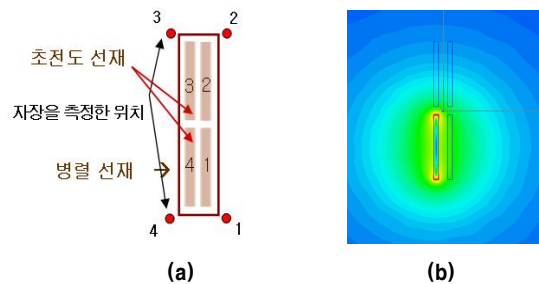
초전도 선재에 전류가 흐르면, 선재 주변에 자장이 발생한다. 이때 자장의 크기는 전류의 크기에 비례하며, 이 때 선재에서 발생한 자장을 홀센서로 측정하였다.

$$\begin{pmatrix} V_{11} \\ V_{22} \\ V_{33} \\ V_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & H_{14} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & H_{24} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & H_{34} \\ H_{41} & H_{42} & H_{43} & H_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{11} \\ I_{22} \\ I_{33} \\ I_{44} \end{pmatrix} \quad (1)$$

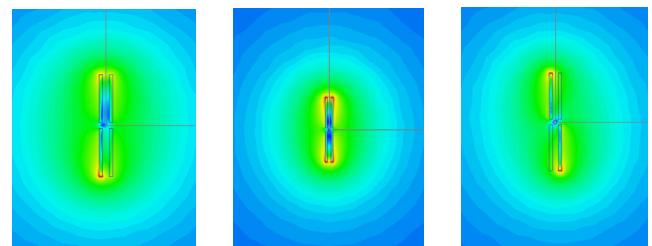
위 식 (1) 에서 [I] 행렬은 각 선재에 흐르는 전류 값이며, [H] 행렬은 각각의 홀센서에서 측정된 자장값을 전압 값으로 환산한 것을 나타낸다. 정방행렬 [H]를 측정하여 찾아내면, 역행렬을 통해 홀센서에서 측정된 전압으로 각 선재에 흐르는 전류 [I] 행렬을 계산할 수 있다.

그림 1(a)는 4병렬 선재에서 발생하는 자장을 측정된 위치를 나타내고 있다. 그림 1(b)는 수치해석을 통해 나타난 자장분포를 이며, 각각의 1, 2, 3, 4번 선재에 0, 0, 0, 60 A가 흐를 때의 자장 분포를 보여 준다. 그림 1(a)에 표시한 곳에서 측정된 자장 값이 각각 4.66, 1.12, 1.17, 6.65 mT 이다. 한 가닥에서만 전류가 흐를 때 각 지점에서 측정된 자장 값을 이용하여 [H] 행렬의 정방행렬을 찾을 수 있었다. 완성된 행렬을 이용하여 각 선재에 흐르는 전류의 값을 알아보기 위한 실험을 하였다. 병

렬 선재에 흐르는 전류가 각각 다를 때 수치해석 프로그램을 통해 계산한 값을 표 1에 나타내었고 그림 2는 자장의 분포를 나타내고 있다. 이처럼 선재에 발생한 자장 값을 계산하여 선재에 흐르는 전류 값을 예측할 수 있음을 확인하였다.



〈그림 1〉 비접촉식 측정 방법 (a) 홀센서 위치 (b)자장분포



(case 1) (case 2) (case 3)
 〈그림 2〉 수치해석을 통한 전류 분류 자장분포

〈표 1〉 수치해석을 통한 전류 분류 계산

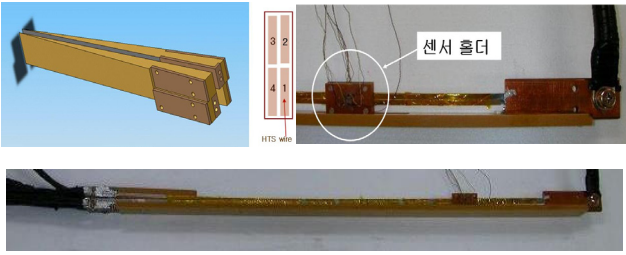
	case 1		case 2		case 3	
	입력전류	계산전류	입력전류	계산전류	입력전류	계산전류
선재 1	20 A	20.55 A	49.1 A	49.06 A	103.6 A	101.7 A
선재 2	40 A	40.35 A	49.1 A	45.47 A	0 A	1.1 A
선재 3	60 A	59.37 A	50.1 A	47.23 A	100.3 A	98.5 A
선재 4	80 A	79.26 A	46.7 A	46.34 A	0 A	0.7 A

2.1.2 전류 분기대

비접촉식 병렬선재의 전류 분류를 측정하기 위해 4가닥의 초전도 선재를 분기 할 수 있는 전류 분기대를 제작하였다. 초전도 선재의 전류 값 제어와 선재에 흐르는 전류를 측정 하기위하여 4 병렬 선재의 한쪽 부분은 공통으로 구리단자에 연결하였고, 다른 한쪽은 각각 분리 하였다. 표 2은 제작에 사용된 초전도 선재의 제원이며, 그림 3은 제작된 전류 분기대이다.

〈표 2〉 초전도 단일 선재의 제원 및 병렬 선재 제원

초전도 선재 (BSCCO-2223)	넓 이	4.1 mm
	두께	0.27 mm
초 전 도 병 렬 선 재	임계전류	126 A (at 77 K, 0 T)
	선 재 수	4
	선재길이	750 mm
	절연체	Kapton tape

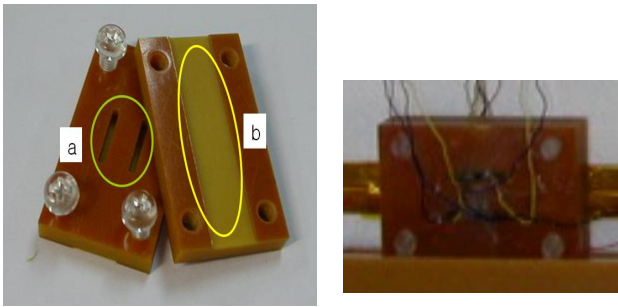


〈그림 3〉 제작된 전류 분기대

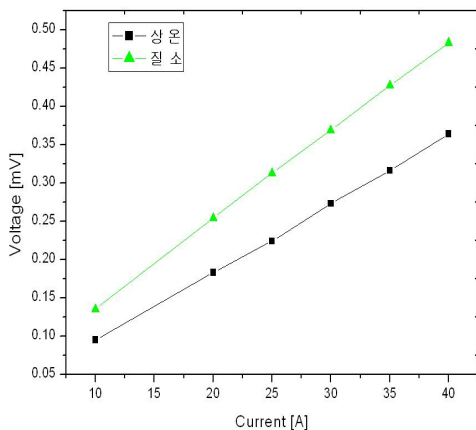
4 병렬선재 시편의 전체 길이는 75 cm이며, 각각의 선재를 절연하였다. 선재에 전류가 흐를 때 발생하는 자장을 측정하기 위해서 구리 단자에서 15 cm 떨어진 부분에 센서 홀더를 부착 하였다.

2.1.3 센서 홀더 제작

홀 센서를 이용하여 비접촉 전류 분류를 측정하기 위해서는 선재에서 발생하는 자장을 일정한 위치에서 측정해야 하며, 식 (1)에서 나타난 행렬식이 성립하게 된다. 홀 센서를 특정한 위치에 고정시킨 후 다른 위치에서도 선재에 흐르는 전류 값을 측정하기 위해 센서 홀더를 제작하였으며, 제작한 센서 홀더는 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a) 부분은 센서가 들어가는 위치이며, 센서를 고정시키기 위해 에폭시를 사용하였다. 그림 4(b)를 통하여 4가닥의 선재가 통과하게 된다. 2개의 판을 서로 결합하기 위해 비금속인 물체인 플라스틱 나사로 결속 하였다. 또한 그림 5는 홀 센서의 특성실험 결과이다. 실온(20°C)에서 측정된 값과 저온(-200°C)에서 측정된 값이 서로 다른 것을 알 수 있으며, 이것은 정방향 행렬 [H]를 작성할 때는 상온에서가 아닌 저온에서 측정해야 한다는 것을 의미한다.



〈그림 4〉 제작된 센서 홀더



〈그림 5〉 홀 센서 특성

2.2 비접촉 전류 분류 측정

수치해석을 이용하여 확인된 비접촉식 전류 분류측정을 하였다. 먼저 한 가닥에만 전류를 인가하고, 각각의 위치에 있는 센서에서 자장 값을 전압 값으로 변환하여 오실로스코프로 측정하였다. 이렇게 각각의 경우를 실험하여 정방향렬 [H]를 완성하였다. 완성된 행렬식을 이용하여 1,2,3,4번 선재의 한 가닥에만 60, 80, 100 A를 흘려주고 선재에서 발생하는 자장 값을 측정하여, 역행렬을 계산함으로써 선재에 흐르는 전류의 값을 계산 하였다.

〈표 3〉 한 가닥의 선재에만 전류를 흘려주고 측정된 전류 값

	case 1		case 2	
	전류 입력	전류 측정값	전류 입력	전류 측정값
1번 선재	80 A	81.25 A	0 A	2.16 A
2번 선재	0 A	0.76 A	80 A	72.95 A
3번 선재	0 A	2.65 A	0 A	5.53 A
4번 선재	0 A	3.4 A	0 A	0.61 A

〈표 4〉 한 가닥의 선재에만 전류를 흘려주고 측정된 전류 값

	case 3		case 4	
	전류 입력	전류 측정값	전류 입력	전류 측정값
1번 선재	0 A	1.94 A	0 A	3.24 A
2번 선재	0 A	4.66 A	0 A	5.44 A
3번 선재	80 A	84.65 A	0 A	2.08 A
4번 선재	0 A	1.2 A	80 A	73.63 A

표 3과 표 4는 한 가닥에만 80 A를 흘려주고 각 센서에서 측정된 값을 보여준다. 각 표에 측정값을 보면 입력 값과 크기는 7%의 오차가 있고, 60 A와 100 A를 흘려줄 때도 각각 6%, 7%의 오차가 발생한다. 위의 결과 값으로 선재에 흐르는 전류 값을 정확하게 알 수 없지만, 입력 전류 값을 대략적으로 예측 할 수 있다. 다음 실험은 각 선재에 흐르는 전류가 각각 다를 경우 홀센서로 측정이 가능한지를 확인하였다. 표 5와 표 6에 측정된 결과를 나타내었다.

〈표 5〉 1,3번 선재에 전류가 흐를 때

	입력 전류 [A]	전류 측정값 [A]
1번 선재	103.6	107.93
2번 선재	0	16.78
3번 선재	100.3	77.40
4번 선재	0	4.54

〈표 6〉 4가닥의 선재에 전류가 흐를 때

	입력 전류 [A]	전류 측정값 [A]
1번 선재	49.1	61.65
2번 선재	49.1	74.28
3번 선재	50.1	26.29
4번 선재	46.7	36.67

위의 측정된 결과를 통해 표5에 1,3번의 선재에만 전류가 흐를 때 홀센서를 이용하여 측정된 전류 값이 입력 값을 예측 할 수 있다. 하지만, 표 6에 나타나는 값으로는 각 선재에 흐르는 전류의 값을 정확하게 파악할 수는 없었다.

3. 결 론

고온 초전도 전력기기에서 대 전류를 인가하기 위해 여러 가닥의 선재를 병렬로 사용해야 한다. 병렬선재의 각 가닥에 흐르는 전류 분포에 따라 통전 가능한 전류와 교류 손실이 달라짐으로 각 선재에 흐르는 전류 분포를 확인 할 필요가 있다.

본 논문에서는 홀 센서를 이용하여 병렬선재를 구성하는 각 초전도 선재에 흐르는 전류 값을 측정하고, 입력 전류 값과 비교하였다. 수치해석에 의한 결과와는 달리 홀센서를 사용한 실험 결과는 측정값과 입력 값의 오차가 큼을 알 수 있다. 이는 홀센서에서 측정되는 자장 값이 센서의 각도에 따라 다르게 측정되기 때문으로 판단된다. 따라서 홀더에 홀센서 부착 시 같은 각도로 부착하여 오차를 줄이는 연구가 필요하며, 교류에서도 홀센서를 이용한 전류 분류 측정을 수행할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 변상범, 이승욱, 화영인, 장대례사, 최경달 "다중 적층 초전도 선재의 전류 분포가 교류손실에 미치는 영향", 대한전기학회논문집, B 권, p1279-1280, 2006
- [2] 김우석, 이승욱, 화영인, 장대례사, 이희균, 홍계원, 최경달, 한송엽, "대용량 초전도 변압기 권선용 다중선재의 특성", 대한전기학회논문집, B 권, p1216-1218, 2005