

스캐닝 홀 프로브 측정 시스템의 데이터 측정 위치 표시 기술

position marking technique for data measured in a scanning hall probe system

유재은^{1*}, 이재영², 정예현³, 이상무⁴, 엄도준¹

Jaeun Yoo^{1*}, Jaeyoung Lee², YeHyun Jung³, SangMoo Lee⁴, Dojun Youm¹

Abstract: We employed home-made position marking module in the scanning Hall probe system. The module is composed of two coils of which gap, a , between wires in a coil is $500\mu\text{m}$. We applied 10-35 mA of current with 15 Hz in the coils and recorded ac corresponding magnetic field signal with respect to measuring time while we measured DC field profiles produced due to superconducting film in a perpendicular magnetic field. We calibrate the position, x , of coils using the measuring time and location of the coils in the holder. The error range was about $\pm 0.1\text{mm}$. We test the module as we applied current of 100 A and filed of 1 kG in the superconducting tape. It was confirmed that there was no interference between superconducting tape and marking coils.

Key Words: scanning hall probe method, position marking technique.

1. 서 론

스캐닝 홀 프로브 시스템은 초전도체의 자기적 특성을 평가하는데 좋은 방법으로 많이 이용되고 있다. 볼텍스 1개를 관찰할 수 있을 정도로 정밀한 장치[1]에서부터, 100A 정도의 전류를 수송하면서 거시적인 자기 플럭스 밀도를 측정할 수 있는 장치 [2-3]등 그 용도와 규모가 다양하다. 본 연구실에서는 액체 질소 내에서 초전도체에 수십 A의 전류를 수송하거나, 수백 가우스의 자기장을 인가하여, 초전도 표면 상부에서 거시적인 자기 플럭스 밀도의 수직 성분을 측정할 수 있는 스캐닝 홀 프로브 시스템을 개발하여 다양한 측정을 수행해 왔다. 특히 스캐닝하는 프로브의 위치를 기록하는 부분은 자체 개발한 기술로, 모듈 부분이 단순하고, 측정이 쉬운 장점이 있다. 이 기술을 소개하여 앞으로 측정 장치를 개발하는 연구에 도움이 되고자 한다.

¹정 회 원 : 한국과학기술원 물리학과
²비 회 원 : 배재대학교 물리학과
³학생회원 : 한국과학기술원 물리학과
⁴비 회 원 : 한국과학기술원 물리학과
*교신저자 : jaeunyoo@hotmail.com
원고접수 : 2007년 7월 5일
심사완료 : 2007년 9월 12일

2. 스캐닝 홀 프로브 위치 표시 모듈

Fig. 1은 홀센서 측정 장치의 개략도이다. 시료의 크기는 길이 30 mm이며, 전류를 수송하는 전선과 연결 부분은 양 끝 5 mm 정도이다. 따라서 약 17 mm 정도 간격으로 전압 단자를 부착할 수 있다. 전압 단자 부분을 제외하고, 시료의 표면을 보호하기 위해, 시료를 $50\mu\text{m}$ 두께의 마일러 테이프 (Mylar tape)로 덮고, 그 위에서 자기플럭스 밀도를 측정한다. 사용한 홀센서는 Arepoc Ltd. 사의 제품으로, 프로브 내부 홀센서는 면적이 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 이고, 프로브 표면에서 $350\mu\text{m}$ 내부에 위치하고 있다. 따라서, 자기플럭스 밀도는 초전도 박막의 표면에서 $400\mu\text{m}$ 상부에 위치한 곳에서 측정된다. 프로브는 3 positioner에 의해 x , y , z 방향으로 이동이 가능하다. 초전도체의 자기 플럭스 측정은 시료의 폭 방향, 즉 Fig. 1에서 x 방향으로 스캔하므로, x 의 위치를 정확히 기록할 필요가 있다.

Fig. 2는 위치를 표적할 수 있는 코일과 측정 장치의 개략도이다. 현재 개발한 장치에서 프로브가 x 축으로 이동할 수 있는 거리는 13mm 이다. 시료의 폭이 보통 4-5mm이므로 시료의 양 가장자리에서 각 3mm 정도가 위치를 표적할 수 있는 코일을 설계할 수 있는 공간이 된다.

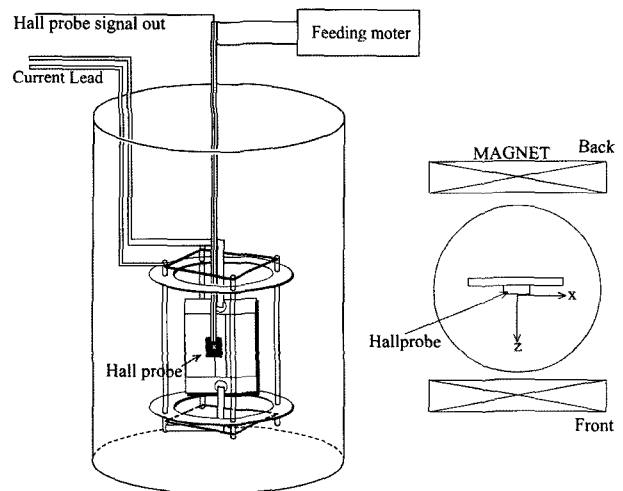


Fig. 1. The schematic diagram of scanning hall probe method.

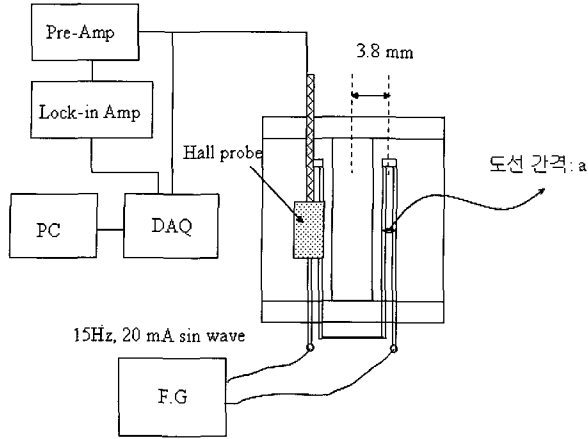


Fig. 2. The schematic diagram for position marking module.

코일을 설계할 때 중요한 변수는 코일 가닥 사이의 거리, 즉, Fig. 2에서 a 값이다. a 를 설계하기 위해, 반지름의 길이가 $1/2 a$ 인 원형 도선이 있을 때 중심부에서 z 만큼 위치한 곳에서 자기장의 세기를 살펴 보자.

$$B_z = \frac{\mu_0 I a^2 / 4}{2(z^2 + a^2/4)^{3/2}} \quad (1)$$

만약, $z \gg a$ 이면, 분모의 a 는 z 에 비해 충분히 작으므로 무시할 수 있다. 즉, 자기장의 세기는 a^2/z^3 에 비례하게 된다. 본 장치에서 z 는 약 $400 \mu\text{m}$ 로 고정되어 있다. 만약 도선 사이의 거리가 측정되는 높이에 비해 작다면 측정에 충분한 자기장의 크기를 얻기 어렵다. 실제로 수십 μm 간격의 코일에서는 신호를 측정하기 어려웠다. 따라서 코일 도선 사이의 간격을 약 $500 \mu\text{m}$ 정도로 설계하였다.

홀센서로 초전도 선재에서 발생한 자기장의 세기를 측정할 때, marking 코일의 영향이 없도록 하는 것이 중요하다. 본 장치에서는 코일에 15 Hz의 10-35 mA 교류 전류를 흐르게 하였다. 이 교류 신호를 pre-amp (stanford research system SR560) 로 500배 확대하고 Lock-in amp (stanford research system SR510)에서 15 Hz 신호를 filtering 한 후, PCI6024E 보드에서 전압을 읽고 lab-view로 프로그래밍하여 기록하였다. 초전도 선재에서 발생하는 자기 플럭스 밀도는 직류 신호로 측정되어 교류 신호와 동시에 기록된다. 기록된 데이터는 시간-전압 곡선이다. 이 데이터 중 양 쪽 peak 위치의 70개의 데이터를 2차 곡선으로 fitting 하여 얻은 peak 위치의 시간 값을 x 축상의 위치로 교정하였다. x 축에서 좌우 코일은 각각 -3.8mm , 3.8mm 에 위치한다.

3. 결과 및 토론

Fig. 3 (a)는 초전도 선재에 60A 전류를 수송할 때 선재 상부 $400 \mu\text{m}$ 위치에서 측정된 자기플럭스에 의한 직류 전압신호와 표적 코일에 수송된 교류 전류 20mA에 의한 전압신호를 보여준다. 초전도 선재는

한국전기연구원에서 IBAD-buffer, EDDC-SmBCO 방식으로 제작한 2세대 선재이다. 교류 신호의 peak 위치는 -3.8mm , 3.88mm 로 실제 위치와 비슷하였고, 반복 측정, 계산한 결과 약 $\pm 0.1\text{mm}$ 의 오차가 있음을 확인하였다. 이는 2차 곡선으로 peak 의 fitting할 때 발생하는 오차이다. 이차 곡선으로 fitting하기 위해 peak의 데이터 모양이 대칭이어야 하는데, 잡음 신호에 의해 완전한 대칭이 이루어 지지 않기 때문에 해석된다. 홀센서의 전압 신호는 -100 , -50 , 0 , 50 , 100 가우스 일때 홀 센서의 전압을 선형 fitting 한 직선 식을 이용하여 교정 하였다. 직류 신호와 교류 신호의 증폭 비율은 서로 다르다. 교류전류의 크기를 10-35mA 범위에서 변화시켰으나, 초전도 선재에 의한 신호에 영향이 없음을 확인하였다.

Fig. 3 (b)는 외부에서 자기장을 1kG 가할 때 측정 한 그래프이다. 외부의 강한 직류 자기장에서 AC신호에 영향이 없음을 확인하였으며, 코일의 교정된 위치도 반복 측정 결과 $\pm 0.1\text{mm}$ 의 오차 범위 안에 있음을 확인하였다. 위의 방식으로 얻은 그래프로부터 초전도 선재 표면에서의 자기 플럭스 분포 특성을 이해할 수 있다. 자세한 분석은 문헌 [3, 4, 5]를 참고 하기 바란다.

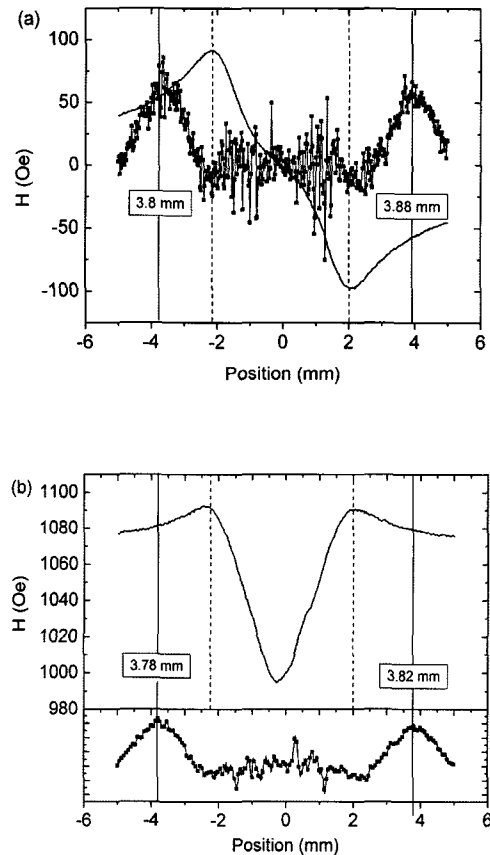


Fig. 3. Magnetic flux profile measured by the hall probe above a coated conductor produced using IBAD-EDDC method (a)with 100A transport current (solid line) and ac signal produced at the marking coils (solid square), (b)under magnetic field of 1 kG (solid line) and ac signal produced at the marking coils (solid square).

5. 결 론

스캐닝 홀 프로브 방식에 프로브가 스캔하는 위치를 기록하는 모듈을 만들었다. 이 모듈은 도선 사이의 간격 $a = 500\mu\text{m}$ 정도의 코일로 구성되어 있다. 이 코일에 15Hz 10-35 mA의 교류 전류를 수송하면서 발생하는 자기장을 시료에서 발생하는 직류 자기장 신호와 동시에 시간에 축에 대해 기록한다. 실제 코일에 위치로 교정하여 수집된 데이터의 위치를 파악하게 되는데, 오차는 $\pm 0.1\text{mm}$ 이다. 초전도 선재에 100A의 전류를 수송하거나 외부에서 1 kG의 자기장을 인가하였을 때 시료와 표적 코일 상호간의 간섭이 없음을 확인하였다.

감사의 글

본 과제는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 차세대 초전도 응용기술개발 사업단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] D.M. Feldmann, J. L. Reev, A. A. Polyanskii, G. Kozlovski, R. R. Biggers, R. M. Nekkanti, I. Maartinse, M. Tomsic, P. Barns, C. E. Oberly, T. L. Peterson, S. E. Bobcock and D. C. Larbalestier, Appl. Phys. Lett. 77, 2906 (2000).
- [2] P. Usak, M. Polak and E. Demencik, Physic C 455, 67 (2007).
- [3] J. Yoo, Yonghwan Jung, Jaeyoung Lee, Sunme Lim, SangMoo Lee, YeHyun Jung, Dojun Youm, Hosup Kim, HongSoo Ha and Sangsoo Oh, Supercond. Sci. Technol. 19, 1291 (2006).
- [4] 유재은, 이상무, 정예현, 이재영, 정용환, 엄도준, 김호섭, 하홍수, 오상수, Progress in Superconductivity 8, 169 (2007).
- [5] 유재은, 이상무, 정예현, 이재영, 엄도준, "외부 전류가 흐를 때 초전도 선재에서의 전류 분포," 2007년 6월 제출.

저 자 소 개



유재은(柳在根)

1971년 09월 09일생, 1994년 한국과학기술원 물리학과 졸업, 1996년 동 대학원 물리학과 졸업(이학석사), 동대학원 물리학과 이학박사. 현재 KAIST 물리학과 연구교수.



이재영(李在煥)

1980년 8월 8일생, 배재대학교 물리학과 2005년 배재대학교 물리학과 졸업, 현재 배재대학교 물리학과 석사과정.

정예현(鄭禮鉉)



1979년 09월 23일생. 2004년 한양대학교 물리학과 졸업. 2006년 KAIST 대학원 물리학과 졸업 (이학석사). 현재 KAIST 물리학과 박사과정.

이상무(李相武)



1973년 03월 01일생. 2001년 고려대학교 물리학과, 화학과 졸업. 현재 KAIST 대학원 물리학과 석박사통합과정.

엄도준(洪吉童)



1952년 02월 15일생, 1974년 서울대학교 물리학과 졸업, 1979년 동 대학원 물리학과 졸업(이학석사), 1986년 캘리포니아주립대학, 샌디에고 이학박사 (물리학), 현재 KAIST 물리학과 교수.