# Hall probe를 이용한 비접촉 임계전류 측정

김호섭, 이남진*, 하동우, 백승규, 김태형, 고락길, 하홍수, 오상수
한국전기연구원, 한국과학기술원*

## Non-contact critical current measurement using hall probe

Ho-Sup Kim, Nam-Jin Lee*, Dong-Woo Ha, Seung-Kyu Baik, Tae-Hyung Kim, Rock-Kil Ko, Hong-Soo Ha, Sang-Soo Oh
Korea Electrotechnology Research Institute, KAIST

**Abstract: Non-contact critical current measurement apparatus was developed using hall probe which measures the magnetic field distribution across the width of superconducting tape. The hall probe consists of 7 independent hall sensors which lie in a line 600 μm. The difference between maximum and minimum magnetic field in the magnetic filed distribution is a main parameter to determine the critical current. As preliminary research, we calculated the magnetic field intensity at the middle sensor, which is a minimum magnetic field and generated by the circular shielding current modeled by Bean model. We confirmed that there are some parameters that affect on the minimum magnetic field; the distance between superconducting layer and hall sensor, the width of superconducting tape, and the critical current distribution across the width of superconducting tape. Among these parameters, the distance between superconducting layer and hall sensor highly influences on the minimum magnetic field.**

**Key Words : superconducting tape, hall probe, non-contact measurement.**

## 1. 서 론

현재 초전도 선재의 성능은 급속도로 발전되어 상용화 단계에 도달하였다. 상용화를 위해서는 초전도 선재의 높은 제조속도 뿐만 아니라, 빠르고 정확한 품질 측정 방법이 요구된다. 초전도 선재의 품질을 결정짓는 가장 중요한 요소는 임계전류이다. 임계전류를 측정하는 방법은 크게 두가지가 존재한다. 첫 번째는 DC 통전 전류 4단자 방법이다. 정확하고 신뢰성이 있는 방법이기는 하나, 전류리드선을 초전도선재에 접촉하여 DC 전류를 흘려주어야 하므로 선재에 손상을 줄 수가 있다. 두 번째 방법은 Hall probe를 이용한 비접촉 임계전류 측정방법이다. 비접촉방법이므로 선재에 손상은 주지 않으나, shielding current에 의한 자기장 분포를 통하여 임계전류를 결정하므로, 결함 등에 의하여 전류분포가 왜곡될 경우 실제 임계전류와 오차가 발생할 수가 있다. 본 연구에서는 측정에 있어서 어떤 변수가 오차를 발생시키는지 계산을 통하여 예측하고, 이 오차를 최소화하기 위한 방법에 관하여 언급할 것이다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험장치

Hall probe를 이용하여 비접촉 임계전류 측정장치를 제작하였다. Hall probe는 7개의 센서로 이루어져 있고 선재의 폭 방향으로 나열되어 있다. 센서 사이의 거리는 300 μm 이며, 표면에서 300 μm 깊이에 위치하고 있다. 센서와 선재의 기하학적인 형상과 배치가 측정 결과에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Bean model을 이용하여 shielding current 모델을 정한 후 비오사바르 법칙을 이용하여 중앙 센서에 미치는 수직 자기장의 크기를 계산하였다. 임계전류는 외부에서 자기장을 가하였을 때, 자기장 분포의 최대치와 최소치 차이에 비례하여, 비례상수는 실제 초전도선재의 DC transport 방법에 의한 임계전류 측정을 통해서 얻었다. 일반적으로 자기장의 최소값은 중심 hall sensor에서 얻어진다.

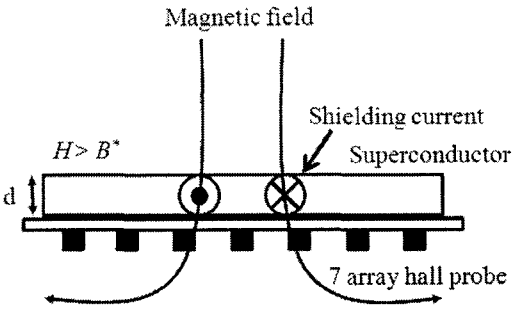


그림 1. 7 array hall probe를 이용한 임계전류측정장치 개략도

## 3. 결과 및 고찰

외부에서 초전도체에 자기장을 가하고, 중심까지 침투하였을 때 그림 2와 같은 원형 shielding current 가 흐른다고 가정하자. Bean 모델에 의하면 shielding current는 임계전류를 형성하며 흐른다.

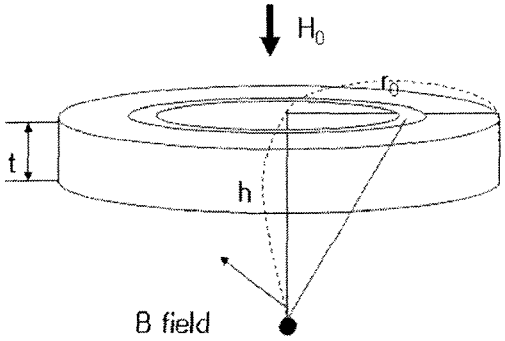


**그림 2. 외부에서 초전도선재에 자기장을 가해주었을 때 shielding current 분포**

선재 표면 중심에서 h 만큼 떨어진 곳의 수직 자기장 크기를 비오-사바르 법칙을 이용하여 풀어보면 다음과 같다.

$$\int_0^{2\pi}\int_0^{r_0}\frac{\mu o}{4\pi}\frac{r}{(r^2+h^2)^{3/2}}Jtrd\theta dr$$

$$=\frac{\mu Jt}{2}\left[-\frac{r_0}{\sqrt{r_0^{\,2}+h^2}}+\ln\left|r_0+\sqrt{r_0^{\,2}+h^2}\right|-\ln h\right]$$

위의 결과를 그래프로 표현하면 그림 3과 같다. 거리가 멀어질수록 수직자기장의 크기가 급격하게 감소한다. 측정시 초전도층과 hall sensor 사이의 거리를 일정하게 유지하는 것이 상당히 중요함을 보여준다.

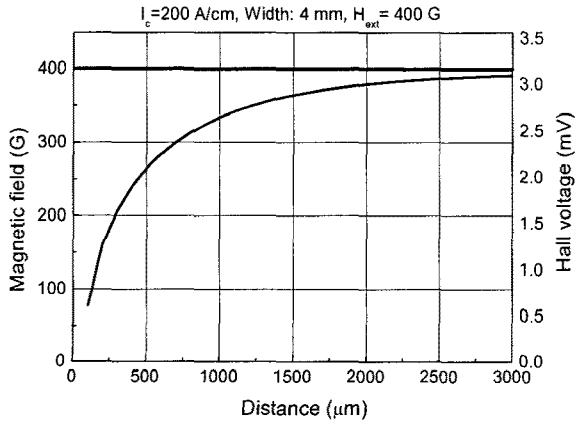


**그림 3. 선재 표면 중심에서 h 만큼 떨어진 곳의 수직 자기장 크기**

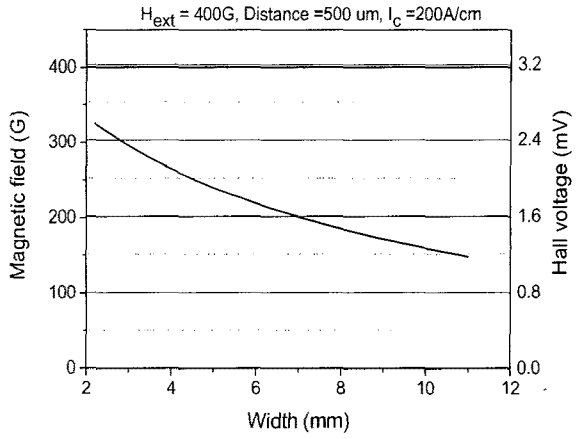


**그림 4. 선재 폭의 크기에 따른 중심 수직자기장의 크기**

그림 4는 외부에서 400 G 크기의 자기장을 가해주었을 때 선재 표면 중심에서 500 μm 떨어진 곳에서 선재 폭을 변화시키면서 수직자기장의 크기를 측정한 것이다. 선재 폭이 증가할수록 중심자기장의 크기가 작아짐을 알 수 있다.

## 4. 결 론

7 array hall probe를 이용하여 비접촉 임계전류 측정장치를 개발하였다. Bean 모델을 이용하여 shielding current를 모델화 한 후, 센서와 선재의 기하학적인 형상과 배치가 측정 결과에 미치는 영향을 조사하였다. 초전도층과 hall sensor 사이의 거리가 상당히 중요한 변수임을 알았으며, 선재 폭에 따라 측정 결과가 달라짐을 알 수 있었다.


## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어사업 지원에 의한 것입니다.