

균등 자계 발생용 마그네트의 제작 및 특성

최세용, 나완수, 이세희, 박일한  
 성균관대학교 전기전자 컴퓨터 공학부

Manufacturing and characteristic of the magnet for generating a homogeneous magnetic field

Seyong CHOI, Wansoo Nah, Se-Hee Lee, Il-Han Park  
 Sungkyunkwan Univ. Dept of Electrical Eng.

conny1@nature.skku.ac.kr

**Abstract** - Superconductors are dissipative when exposed to time-varying magnetic fields. To analyze the AC characteristics of the superconductor, one usually needs to know magnetization curves of it. A good magnetization curves can be obtained only in a homogeneous magnetic field. In this paper, we report the fabrication and test results of a homogeneous magnet, which aims to give background magnetic fields for the superconductor.

에 철을 사용한다. 여기서 제작하려는 마그네트는 C자형으로, 가운데의 공극 부분에서 목적한 자장을 발생시키려 한다. 개략적인 사양 결정에 있어서 마그네트의 모델은 철의 자기저항을 무시했고, 가운데 공극 이외의 곳에서는 누설되는 자속 성분이 없는 아주 이상적인 형태로 가정하였다. 마그네트의 형태와 사양을 그림 1과 표 1에 나타내었다.

한편 어떤 물질의 자화 특성을 살펴보면 그 물질이 어떤 점에서 포화되는 지를 알 수 있다. 실제로 제작될 마그네트의 시편으로 재질의 자화 특성을 살펴 보기 위해서 마그네트 제작에 사용

1. 서 론

초전도체는 무저항성 때문에 직류에서는 전기적인 손실이 없지만, 교류에서는 히스테리시스 손, 와전류손, 그리고 결합손등의 손실을 가지고 있다. 교류에서의 손실을 계산하기 위해서 여러 가지 방법이 연구, 개발되고 있다. 이것들 중에서 자화법을 통한 교류손실 해석은 가장 널리 사용되는 방법중의 하나이다. 이 방법에는 초전도 시료에 인가하는 균등한 자계 발생용 장치가 필수적이라 할 수 있다. 균등한 자계로부터 정확한 자화곡선을 산출해 낼수가 있기 때문이다.

이러한 목적을 위해서 본 연구실에서는 균등한 자계를 발생시키는 마그네트를 설계, 제작하였으며 이것과 주파수 가변 전원장치를 이용하여 고온 초전도체의 교류손실 실험을 수행하고 있다. 본 논문에서는 이러한 목적으로 제작된 C자형 마그네트에 대하여 기술한다.

2. 마그네트의 제작

2.1 마그네트의 사양 결정

마그네트는 일반적으로 직류 혹은 교류 전원을 인가하여 특정 공간에 자기장을 발생시키는 장치를 말한다. 이 때 코일에 철심을 사용하는 것이 일반적이지만, 초전도 선재로 권선을 하는 경우에는 철심을 사용하지 않고 공심코일로 하기도 한다. 여기에서는 구리선으로 권선을 하기 때문

Input data		Output data	
목적자장	1 [Tesla]	총저항	0.0902 [ $\Omega$ ]
인가전류	0~140 [A]	총인덕턴스	0.0284 [H]
코일의 전류밀도	2 [A/mm <sup>2</sup> ]	Ampere Turns	55704.2031 [A*Turns]
공극	0.07 [m]	권선수	398[Turns]

Table1. Specification of the magnet

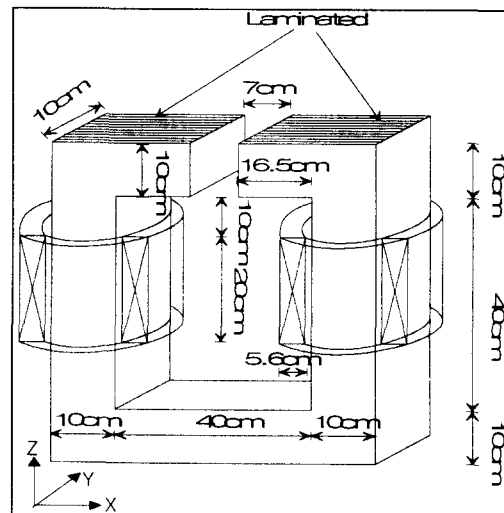


Figure1. Brief drawing of the magnet

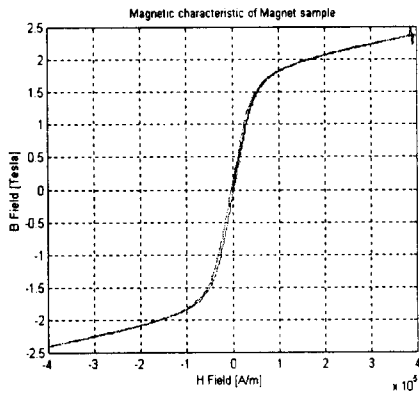


Figure2. Initial & Hysteresis loop of the magnet sample

될 철의 자기 이력곡선을 VSM (Vibration Sample Magnetometer)을 이용하여 측정하였으며 그림 2에서 이것을 보이고 있다.

그림 2로부터 제작에 앞서 완성될 마그네트의 포화 특성을 예측할 수 있는 자료를 얻을 수 있으며, 이 자료들은 유한요소법을 통한 마그네트 형상의 자장 분포 해석에 비선형성을 반영하는 데이터로 사용된다.

## 2.2 마그네트의 제작 및 자장 분포 특성

위에서 주어진 사양으로 제작한 마그네트의 사진을 그림 3에 나타내었다. 철심에서 발생하는 전력 손실을 줄이기 위한 가장 좋은 방법은 가능한 형상의 두께를 얇게 만들어 성층시키는 것이다. 전력 손실은 형상의 두께의 제곱에 반비례해서 줄어들게 되므로, 코어를 가능한 얇게 만들어 성층시켜서 설계된 형상을 제작했다. 실제로 마그네트의 제작에 쓰인 코어는 두께가 0.5[mm]인 S18 규소강을 사용하였다. 그리고, 형상 제작에는 위의 코어를 제작 두께인 10 cm 까지 성층시켜서 사용했다. 권선의 두께는 절연 문제로 인해서 설계된 두께보다 더 두껍게 제작되었다. 두 부분으로 감은 권선은 직렬로 연결 시켰고, 권선 부분에서 발생하는 열을 냉각하기 위하여 냉각유를 주입하였다.

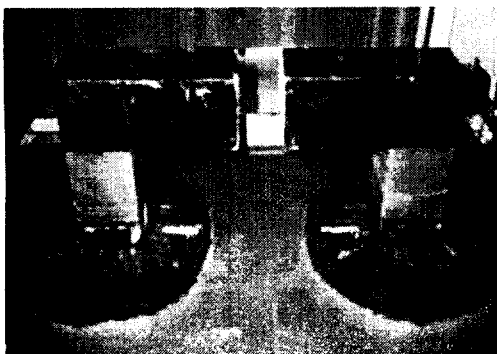


Figure3. Completed magnet shape

제작된 마그네트의 자장 분포 측정은 홀 소자를 이용했다. 측정은 그림 1에서 나타낸 X, Y, Z의 직교 좌표로 볼 때, 공극의 왼쪽 끝을 원점이라고 가정하면 X=2, 3.5, 5 cm 인 부분을, Z축으로는 Z=0, 2, 4, 6, 8, 10 cm 인 부분을 측정 했다. 그리고 공극의 중심부에서의 자장을 측정하기 위하여 Y=4, 6 cm 부분에서 측정을 했다. 이렇게 측정된 자장의 분포를 그림 4의 (a), (b), (c)에 나타냈다. 각각의 그림 중에서 첫 번째 그림은 Y=4cm, 두 번째 그림은 Y=6cm에서의 자장 분포를 나타낸다.

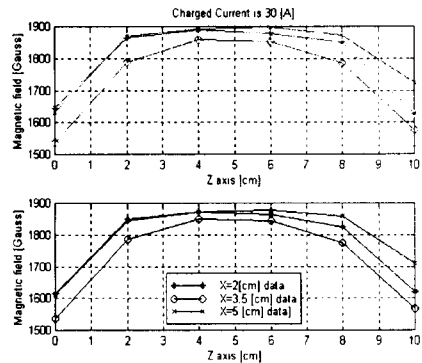


Figure 4-(a) Experimental magnetic field distribution in 30 [A]

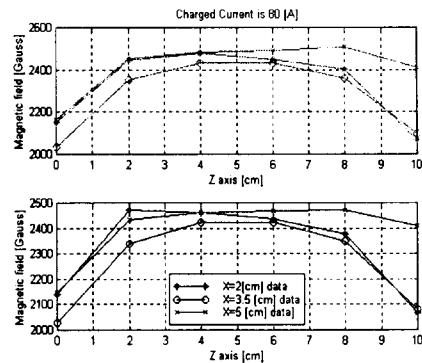


Figure 4-(b) Experimental magnetic field distribution in 80 [A]

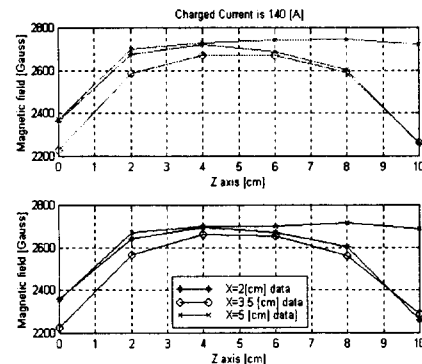


Figure 4-(c) Experimental magnetic field distribution in 140 [A]

측정 결과 균등도에 있어서는 그림 4에서 보는 것처럼, 공극의 아래 단면부터 위쪽 끝사이의 자장의 변화도가 400 [Gauss]에서 500[Gauss]의 차이를 나타내면서 심하게 변동하는 모습을 보였다. 자장의 세기에 있어서는 목적했던 크기에는 도달하는 못했지만 교류 손실 해석을 위한 실험의 세기에는 충분할 만한 크기였다.

### 3 마그네트의 균등도 향상

실제로 제작된 마그네트의 자장 분포를 살펴본 결과 사양 결정 단계에서 계산된 자장 분포와는 다른 모습을 보였으며 균등도에 있어서도 문제점을 나타냈다. 특히 균등도 측면에서의 향상이 필요하게 되어 마그네트의 균등한 자장 균일도 향상을 위한 형상의 재설정 작업을 했다.

공극의 넓이가 대체적으로 큰 편이어서 사양 결정단계에서 예측했던 누설 성분이 예상외로 크게 작용해 균등도에 문제점을 나타낸 것으로 가정하고, 최대한 누설을 줄이기 위해서 새로 제작될 마그네트의 형상은 공극에다 철판을 더 넓게 붙여서 균등도를 향상시키고자 설계했다. 공극이 시작되는 부분에 도우넛 모양의 가로, 세로, 높이가 10 cm인 철판을 더 붙이고, 철판을 붙이는 방향도 기존의 철판 내부의 자장이 새로운 형상과 마찰을 일으키지 않도록 기존의 성층된 방향과 같은 쪽으로 재 설정했다. 그림 5는 이렇게 균등도 향상을 위해서 재 설정된 마그네트의 형상을 나타낸다.

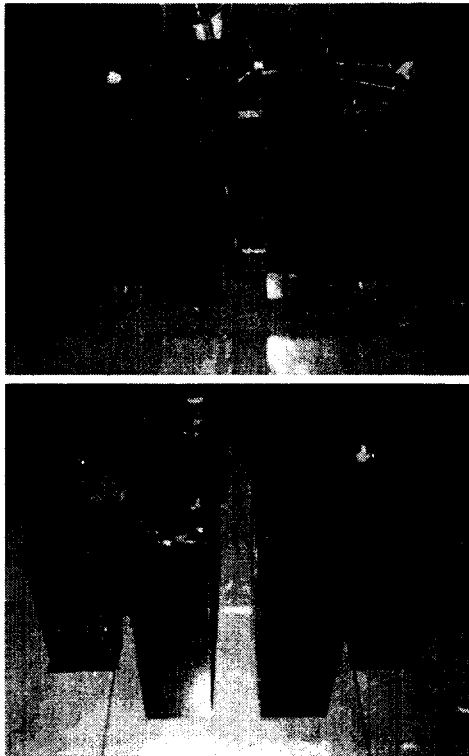


Figure5. Rebuilding shape of the magnet

기존의 형상에서와 마찬가지로 새로운 형상에서도 원래 있던 공극 부분의 자장을 X=2, 3.5, 5 cm 인 부분과, Z축으로는 Z=0, 2, 4, 6, 8, 10 cm, 그리고 Y=4, 6 cm인 부분을 측정했다. 그림 6의 (a),(b),(c)는 그 측정 결과이다. 그림 4에서와 마찬가지로 각각의 그림 중에서 첫 번째 그림은 Y=4cm, 두 번째 그림은 Y=6cm에서의 자장 분포를 나타낸다.

새로운 형상을 설계하는 과정에서 논의되었던 문제는 공극부분을 넓히는 형상이 자장 균일도에서는 만족할 만한 향상을 본다 하더라도 전체적인 자장의 감소 문제가 어떻게 될 것인가 하는 점이었다. 실제로 재 제작된 마그네트의 공극 부

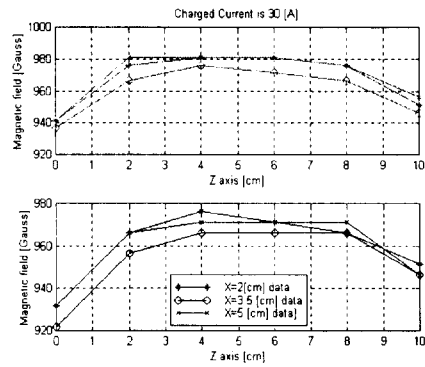


Figure 6-(a) Experimental magnetic field distribution in 30 [A]

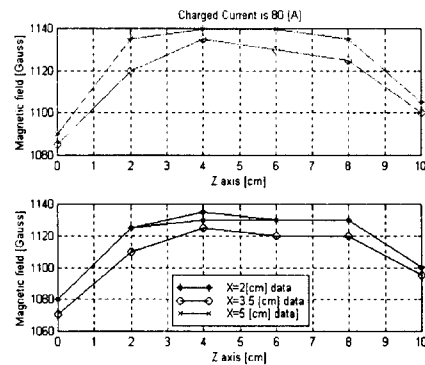


Figure 6-(b) Experimental magnetic field distribution in 80 [A]

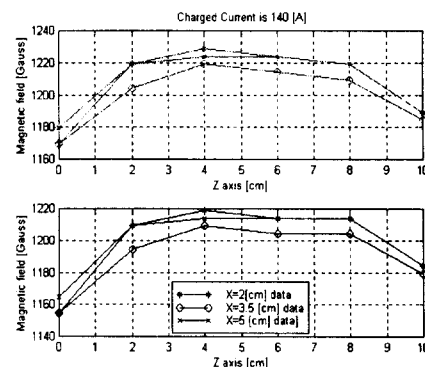


Figure 6-(c) Experimental magnetic field distribution in 140 [A]

분에서 자장을 측정해본 결과(그림 6 의(a), (b), (c)) 균일도는 눈에 띄게 좋아졌으나 전체적으로 자장의 세기는 매우 약해졌다는 것을 알 수 있었다. 원래의 형상에서의 자장 변화도가 400~600[Gauss]였으나, 그림 6에서는 40~60[Gauss]정도로 균등도가 확연히 개선됐음을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

마그네트의 사양 과정에서 모든 조건을 이상적으로 가정하고 설계된 마그네트가 제작된 상태에서는 초기의 조건을 많은 부분에서 만족시키지 못했다. 서론에서 언급했던 것처럼 교류 손실 해석을 위한 여러 시스템 장비들 중 하나로 만들어진 마그네트는, 목적했던 자장을 얻어낼 수는 없었지만 실험 환경의 목적 자장에는 도달했고, 균등도면에서도 처음에 제작했던 형태보다 형상의

변형을 통해서 훨씬 좋은 균일성을 얻어낼 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학재단의 97 핵심전문연구 지원에 의하여 수행된 연구결과중 일부입니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Yukikazu Iwasa, "Case studies in superconducting magnets design and operational issues", Plenum Press, PP 40~61, 1994
- [2] Martin N. Wilson, "Superconducting Magnets", Clarendon Prdss Oxford, PP159~199, 1983
- [3] 中田高義외 2인, "直交 電磁石의 設計と應用", 森北出版株式會社, PP28~46, 1991
- [4] 임달호, "전기계의 유한요소법", 동명사.