

지자장 상쇄시스템 제작 및 성능조사

한국표준과학연구원 우병철*, 박포규, 김철기, 유권상, 김창석

Construction and Characteristics of Earth Field Compensation System

Korea Research Institute of Standards and Science B.C.Woo*, P.G.Park,
C.G.Kim, K.S.Ryu, C.S.Kim

1. 서론

기본물리상수인 양성자 자기회전비율(proton gyromagnetic ratio)의 측정을 위해서는 zero-field 공간이 요구되므로 수십 μT 수준의 지자장(earth magnetic field)을 수 nT 이하로 상쇄시킬 필요가 있다 [1,2] 이를 위하여 본연구에서는 그림 1과 같이 zero-field 공간내에서 정밀자장을 발생하는 곳으로부터 멀리 떨어진 지점에서 지자장을 관측하여 시간에 따라서 비교적 변하지 않는 성분과 시간에 따라 변하는 미세자장으로 나누어서 이와 반대방향의 자장을 인가하여 이를 상쇄하는 시스템을 구성하고 그 성능을 조사하였다.

2. 3축 헬름홀츠코일 설계 및 제작

자장균일도, 코일상수 및 구조적인 문제 등을 고려하여 대형헬름홀츠코일(ϕ 2m)의 유효반경 및 코일 권선수를 결정하고, 소형(ϕ 1m)은 각 방향의 코일상수가 대형의 것과 같도록 하였다. 코일의 helical 특성과 축방향 전류 성분을 무시하고 각계의 코일을 원통형 전류 sheet 로 간주하고[3] 수치해석법을 이용하여 최대 자장균일도를 주는 두 코일 사이의 거리를 구하였다. 보빈을 홍승을 여러겹으로 접착하여 제작하고 그 위에 ϕ 1.03mm 의 Cu 에나멜선을 감았다. 헬름홀츠코일에 교류전류를 흘리고 유효면적 권선수가 같은 두 탐지코일을 이용하여 내부 축상에서 자장균일도를 조사한 결과는 중앙의 ± 60 mm 에서 자장균일도는 약 $\pm 2.5\text{ppm}$ 이었으며, 이를 그림 2에 표시하였다. 또한 각각의 헬름홀츠코일 특성을 표 1에 나타내었다.

3. 미소자장변화 상쇄용 궤환증폭기 제작

Fluxgate magnetometer에 의하여 감지되는 미소 자장변화를 상쇄하기 위하여 헬름홀츠코일의 feedback 코일에 전류를 공급하는데 이용되는 궤환증폭기는 입력전압이 저주파통과기를 거쳐서 증폭되고 출력단의 가변저항을 거쳐서 feedback 코일로 전류를 흘리도록 제작하였다. 궤환증폭기의 전압증폭도는 1이며 출력전류는 증폭기의 출력저항과 헬름홀츠코일의 저항에 의하여 결정된다. 외부 변화자장의 상쇄정도는 fluxgate magnetometer 의 감도, 헬름홀츠코일의 코일상수 및 궤환증폭기 이득에 의하여 결정되는데, 그림 1과 같이 이들을 연결하고 외부자장을 ± 150 nT 에서 변화시켰을 때 약 1/60로 외부자장을 상쇄시킬 수 있었다.

4. 지자장 상쇄시스템의 성능조사 및 검토

실험실 내에서 소형헬름홀츠코일 중앙에 3축 fluxgate magnetometer(Thorn EMI FG-4/3)를 놓고 대·소형헬름홀츠코일을 방향 및 성분별로 각각 연결한 다음, main 코일에 정전류 공급원(Fluke 382A)으로 지자장을 100 nT 이하로 상쇄시키고 궤환회로를 구성하여 지자장 상쇄시스템의 성능조사를 한 결과를 그림 3에 나타내었다. 외부 자장변화는 헬름홀츠코일의 코일상수와 이에 흐르는 전류를 측정하여 구한 것이며, 상쇄된 자장은 fluxgate magnetometer(RFL 101)로 측정하였다. 5 시간 동안 외부자장이 약 ± 100 nT 변할 때 지자장이 상쇄된 공간에서의 자장 변화는 약 ± 10 nT 정도 였는데 이는 실험실 내에서 대·소형헬름홀츠코일이 위치한 두 지점의 자장변화가 다르기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결론

지자장 상쇄시스템을 제작하고 그 성능조사를 실험실 내에서 수행한 결과 약 10 nT 이하로 지자장이 상쇄된 공간을 얻을 수 있었으며, 비자성 실험실이 완공되면 그 성능을 개선하여 ± 1 nT 이하로 지자장이 상쇄된 공간을 얻을 수 있으리라 본다.

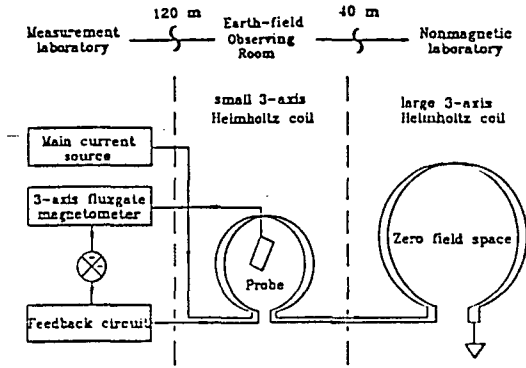


Fig.1. Schematics of earth field compensation system.

Table 1. Characteristics of the large and the small 3-axis Helmholtz coils.

coil		main coil			feedback coil	
type	axis	effect dia mm	coil turn	coil const nT/mA	coil turn	coil const nT/mA
large	x	1,500	180	216	36	43.9
	y	1,730	180	186	36	37.2
	z	1,960	180	163	36	32.6
small	x	740	90	218	18	43.4
	y	860	90	188	18	37.4
	z	980	90	165	18	32.8

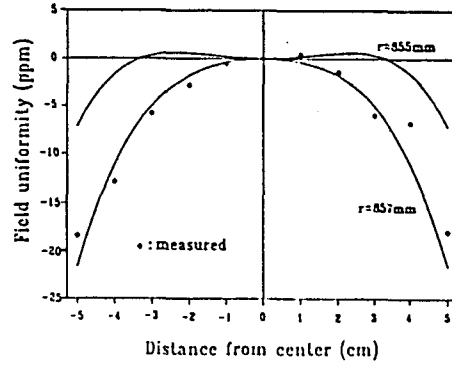


Fig.2. Field uniformity on the center axis of large 3-axis Helmholtz coil ($\phi=1730$).

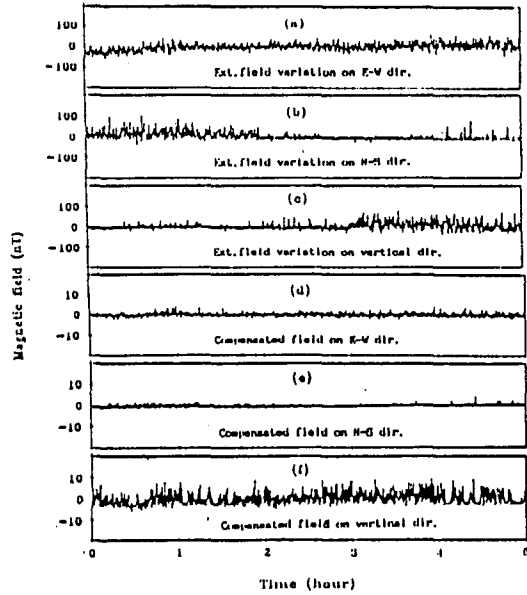


Fig.3. Performance test results of earth field compensation system in the laboratory.

5. 참고문헌

1. E. R. Williams, et. al., IEEE Trans. Instrum. Meas., IM-38, 233-237 (1989).
2. R. L. Driscoll and P. T. Oslen, Rev. Sci. Instrum., 42, 1427-1431(1971).
3. C. Snow, NBS Appl. Math. Series, 30, 1-15(1953).