

지자계 차폐를 위한 균일 자기장 공간의 설계와 제작

신동혁* 백정길 권태준 박현종 신순휴 서강 박관수
한국해양대학교 전기전자 공학부

Design and Fabrication of a Uniform Magnetic Field Space for Compensating Earth Magnetic Field

Dong Hyuk Shin, Jung Kil Back, Tae Jun Kwan, Hyun Jong Park, Soon Hyu Shin, Kang Seo, Gwan Soo Park
Dept. of Electrical Engineering Korea Maritime University

Abstract - 지구는 하나의 거대한 자석으로 지구 상의 어디에서나 지자계가 존재한다. 이러한 지구 자계는 우리나라의 경우 Vertical $40\mu\text{T}$, Horizontal $0.2\mu\text{T}$ 이다. 최근 미세 자기장을 이용한 첨단 기기들에 대한 응용 연구가 활발히 전개되고 있다.

따라서 본 논문에서는 지자계의 상쇄뿐만 아니라 자계의 방향과 크기를 조절하여 균일한 자기장이 존재하는 공간을 설계하고 제작하였다.

형으로 제작하였다. 여기에 맞추어 우선 원형 코일에서의 자계를 계산하여야 한다.

식 (1)은 Single turn coil에 의한 자계를 나타내었다.

$$H_z = \frac{Ia^2}{2(a^2+z^2)^{\frac{3}{2}}} a_z \quad (1)$$

1. 서 론

지구는 우리가 주위에서 자주 볼 수 있는 자석의 원리와 같다. 지구 어디에서나 지자계가 존재하며 지구 내의 모든 물리적 현상이나 생물, 생명체의 현상은 지자계 속에서 발생, 존재하여 왔다. 지구 자장의 크기는 우리나라의 경우, 시간에 따라 변하지 않는 직류성분이 Vertical $40\mu\text{T}$, Horizontal $0.2\mu\text{T}$ 이며 태양풍 등이 없는 정상적인 날의 시간에 따라 변하는 성분은 100 nT/day 이다.

지자계는 사람이 직접 느낄 수 없으며, 태양으로부터 지구 내부에 이르는 넓은 범위의 환경에 관계되어 있고, 자계에 의한 영향에 대한 연구가 계속되어왔다. 국내에서는 지자계가 차폐된 무지자계 공간에서 일어나는 물리적 생체적 현상에 대한 연구가 최근 들어 활발히 이루어지고 있다. 이러한 지자계 상쇄장치는 관련 산업체 및 연구소 등에서 사용되는 정밀 자기장 측정기(인공위성, 우주항공)와 모니터의 브라운관, TV브라운관등에 적용되어 실제 사용되고 있다.

따라서 본 논문에서는 지자계의 상쇄뿐만 아니라 자계의 방향과 크기를 조절하여 균일한 자기장이 존재하는 공간을 설계하고 제작하였다.

2. 관련 이론

지구 자계는 차폐 공간은 원형, 사각, 팔각형 등 목적이나 용도에 따라 사용된다. 본 논문에서는 원

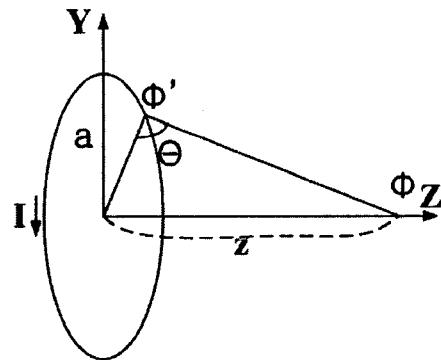


Fig. 1. Single turn Coil.

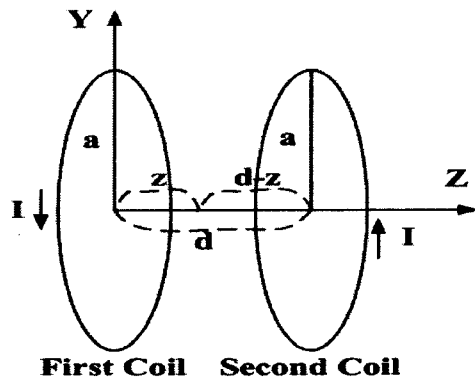


Fig. 2. Double turn coil.

Single turn coil 2개를 평행으로 놓으면 Fig.2와 같이 Double turn coil이 된다. First coil에 의한 자계는

$$H_{z1} = \frac{Ia^2}{2(a^2+z^2)^{3/2}} a_z \quad (2)$$

이다. 또 Second coil에 의한 자계는

$$H_{z2} = \frac{Ia^2}{2(a^2+(z-d)^2)^{3/2}} a_z \quad (3)$$

이다. Double turn coil 관계식은 First coil에 의한 자계와 Second coil에 의한 자계를 합하여 나타낼 수 있으며 식 (5)에 나타내었다.

$$H_{z1} + H_{z2} = H_z \quad (4)$$

$$H_z = \frac{Ia^2}{2} \left[\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} + \frac{1}{(a^2+(z-d)^2)^{3/2}} \right] \quad (5)$$

$$H_z = \frac{Ia^2}{2} \left[\frac{1}{(a^2+z^2)^{3/2}} + \frac{1}{(a^2+(z-a)^2)^{3/2}} \right] \quad (6)$$

d는 두 코일사이의 거리를 의미하며, z는 First coil에서의 거리를 의미한다. 헬름홀츠 코일은 한 쌍의 코일로 이루어져 있고, 원형인 경우 식 (6)과 같이 두 코일의 위치한 거리(d)와 헬름홀츠 코일의 반경(a)가 같은 것을 말하며, 두 개의 코일을 직렬로 연결하여 각각에서 발생하는 자장이 더해져서 중심부근에서 균일한 자장공간을 만들어진다. 헬름홀츠 코일에서 균일한 자장 공간은 식 (5)를 미분하여 0이 되는 부분이다. 식 (6)에서 형성된 자기장의 균일도를 조사해 보면

$$\frac{dH_z}{dz} = -\frac{3}{2} Ia^2 \left[\frac{z}{(a^2+z^2)^{5/2}} + \frac{z-a}{(a^2+(z-a)^2)^{5/2}} \right] \quad (7)$$

가 되므로 z=a/2인 코일 중간 부분은 미분값이 zero가 되며, 또한 z값에 대한 두 번 미분한 값도 zero가 되므로 매우 균일한 자기장의 분포를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그리고 이때의 자계는

$$H_z |_{z=a/2} = \frac{1}{2} Ia^2 \left[\frac{2}{\left(\frac{5}{4}\right)^{3/2} \cdot a^3} \right] \approx 0.7 \frac{NI}{a} \quad (8)$$

이 된다. 여기서 자속 밀도는

$$B = \mu_0 H \quad (9)$$

이므로, 식 (8)를 식 (9)에 대입하면

$$B = 0.7 \mu_0 \cdot \frac{NI}{a} \approx 8.8 \frac{NI}{a} [mG] \quad (11)$$

이 된다. 식 (10)을 이용하여 지구 자계 차폐 공간의 X축과 Y축인 수평 성분과 z축인 수직 성분의 공간을 설계할 수 있다.

3. 지구 자계 차폐 공간의 설계와 제작

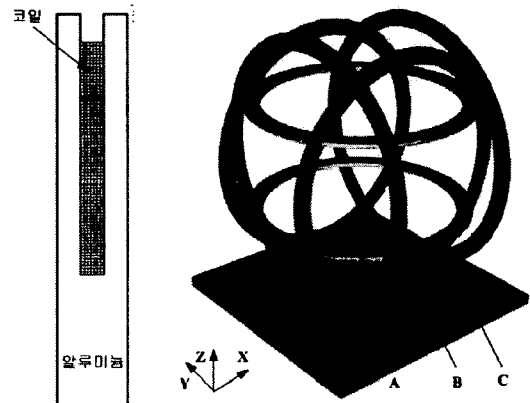
3.1. 지구 자계 차폐 공간의 설계

지구 자계의 크기가 0.5 [G]이내이므로 헬름홀츠 코일이 발생하는 자기장을 1 [G]가 되게 설계하였다. 가장 큰 원형 코일의 반지름을 250mm로 정하였다.

식 (11)을 이용하여 각각의 원형 코일을 설계하였고, 이것을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Size of a Uniform Magnetic Field Space.

	A	B	C
자속밀도	1 [G]	1 [G]	1 [G]
반지름	250 [mm]	220 [mm]	190 [mm]
턴수	168 [Turn]	156 [Turn]	144 [Turn]
전류	0.7 [A]	0.7 [A]	0.7 [A]



(a) (b) 3D Design of a Uniform Magnetic Cross Section. Field Space.

Fig. 3 Design of a Uniform Magnetic Field Space

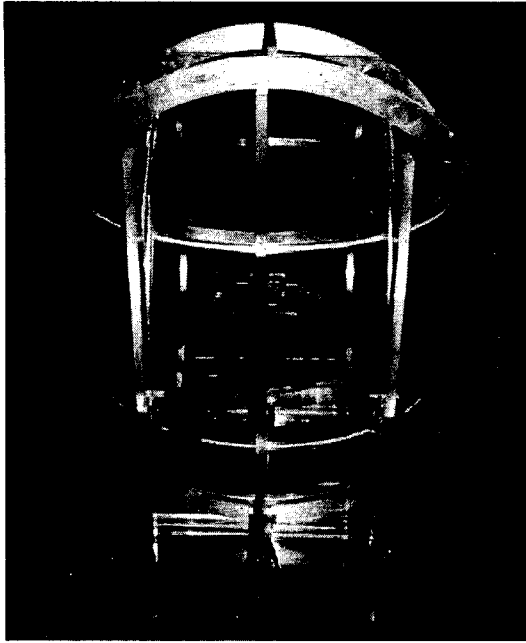


Fig. 4. Developed Coil Set.

3.2. 지구 자계 차폐 공간의 제작

3.1절에서 설계한 치수를 적용하여 원형 코일을 감기 위한 공간을 비 자성체인 알루미늄으로 제작하였다. 코일은 직경 0.5mm를 사용하였다. 코일과 알루미늄 사이에 절연지를 이용하여 절연을 하고, 원형 코일이 감긴 알루미늄을 고정하기 위하여 알루미늄을 이용하였다. 또한 균일 자기장 공간이므로 그 거리의 위치를 확인하기 위하여 아크릴을 이용하여 공간을 위치시켰다. Fig. 4는 실제 제작한 지구 자계 차폐 공간의 사진이다.

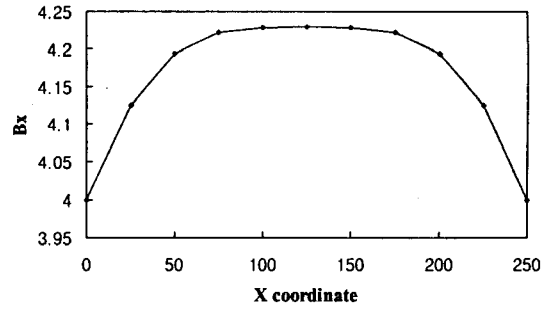
4. 지구 자계 차폐 공간의 실험 및 고찰

4.1. 지구 자계 차폐 공간의 실험 방법

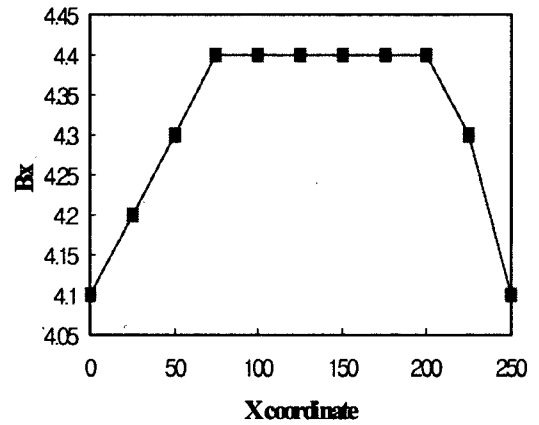
지구 자계 차폐 공간의 각 원형 코일에서 설계한 턴수는 일치하나 저항 값이 약간의 차이를 보였다. 따라서, 실험을 위해 각 원형 코일의 저항 값을 측정하고 여기에 맞추어 전압을 인가하고 전류를 흘렸다. 실험에는 30 [V], 10 [A]의 용량을 가지는 전원 공급 장치 6대를 이용하여 각각의 원형 코일에 전류를 흘렸다. 자기장의 측정은 아크릴로 위치시킨 균일 자기장의 공간에 Gauss meter를 이용하여 각 방향의 자기장 값을 측정하였다.

4.2. 지구 자계 차폐 공간의 실험

실제 제작한 지구 자계 차폐 공간에서의 자기장 값과 설계하여 해석한 자기장 값을 비교하였다. Fig. 5는 X 성분의 자기장을 비교하여 나타내었고, Fig. 6은 Y 성분의 자기장을 비교하였으며, Fig. 7은 Z 성분의 자기장을 비교하여 나타낸 것이다.

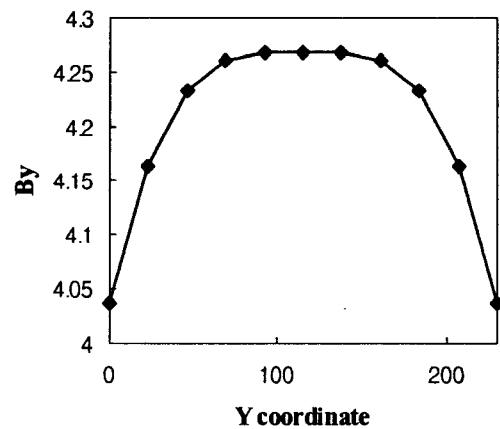


(a) Analyzed Data

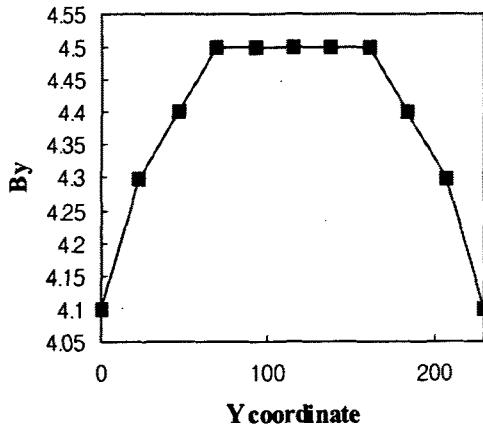


(b) Measurement Data

Fig. 5. Magnetic Field Distribution of X coordinate.

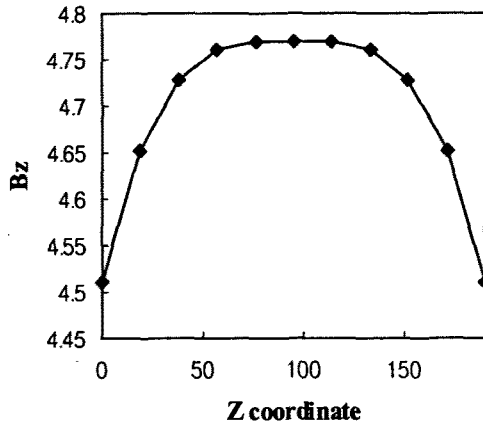


(a) Analysis Data

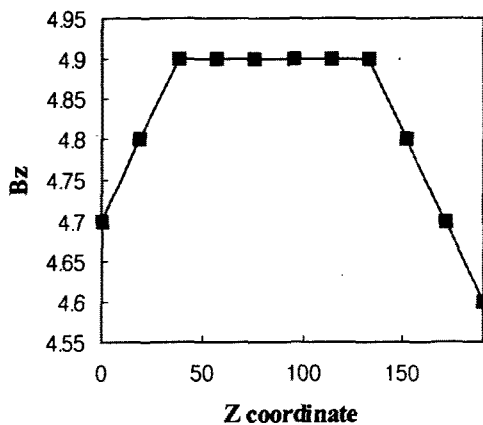


(b) Measurement Data

Fig. 6. Magnetic Field Distribution of Y coordinate.



(a) Analysis Data



(b) Measurement Data

Fig. 7. Magnetic Field Distribution of Z coordinate.

4.3. 고찰

4.2절에서 알 수 있듯이 실험 치와 계산치가 거의 일치함을 알 수 있었다. 균일한 자기장이 존재하는 공간의 위치 또한 거의 일치함을 확인하였다. 실질적인 제작을 함에 있어 한 쌍이 되는 원형 코일의 평행을 맞추고 지탱시키는데 많은 어려움이 있었다. 원형 코일을 감고 나서 실제 계산한 저항치와 실제 저항치가 틀려서 최초 전원 공급 장치를 3개 사용할 계획이었으나 저항 값의 오차로 인하여 각각 전원을 공급해야 했다. 균일한 자기장 공간을 측정하기 위하여 Gauss meter를 사용하였으나 공간에서의 측정이므로 정확한 위치를 선정하는데 어려움이 있었으며, 그로 인하여 약간의 측정치의 오차가 발생하였다.

5. 결론

본 논문에서는 지구 자계 차폐 공간을 설계하고 제작하였다. 설계 과정에서의 균일한 자기장 공간과 제작후의 측정에 의한 균일 자기장 공간이 거의 일치함을 확인하였다. 또한 두 원형 코일의 반지름의 20% 정도 되는 위치에서는 균일한 자기장이 만들어짐을 확인하였다.

차후 지구 자계 차폐 공간을 제작함에 있어 한 쌍이 되는 원형코일의 평행을 맞추는 방법에 대한 개선이 필요할 것이다. 균일한 자기장이 존재하는 공간에서의 정확한 위치를 지정하고 측정하기 위한 장치의 제작이 필요할 것이다.

(참고 문헌)

- [1] Murano K, Kami Y, " Low frequency radiated immunity test using three-dimensional Helmholtz-coil set ", IEICE Transactions on Communications , V.E83-B N.3 , 467-473 , 20000301
- [2] Theodore Anderson, " Design of a Helmholtz Coil For Susceptibility Testing using Variational Calculus and Experimental Verification ", Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility - Volume 2 , 601-604 , 19990802