

## 생체실험용 大形 2축 자기장 발생장치의 설계

성기연 · 김윤명  
단국대학교 전자공학과

### Design of Large 2-Axis Magnetic Fields Driving Apparatus for *In Vivo* Experiments

Ki-Yeon Sung · Yun-Myung Gimm  
Department of Electronics Engineering, Dankook University

#### 요 약

본 논문에서 생체실험용 대형 2축 자기장 발생장치를 설계하였다. 생체실험 대상이 유동적이지 않고 홀더(holder)내에 고정될 경우 이는 방향성(orientation)의 논란이 불가피하며 이 영향을 줄이기 위해 각 축에 4개씩 총 8개의 코일을 사용하여 2축 4중코일 구조로 장치를 설계하였다. 원하는 특정 자기장에 대한 권선수 및 전류치를 결정하기 위해 정육면체 구조의 자기장 발생장치를 원통형으로 근사화시켜 간소하게 수식을 유도하였으며 각 코일의 최적위치 및 최적 권선비는 별도의 최적화 시뮬레이션을 통하여 수치를 추출하였다. 이렇게 얻어진 수치들을 MATLAB으로 제작한 시뮬레이터에 적용하여 설계 조건과 동일하게 모델링한 발생장치 주변에서의 자기장 분포를 시뮬레이션 해보았으며, 각 축에서의 균일도를 평가하여 균일 자기장 분포영역 또는 사용가능영역을 도출하였다. 장치해석 결과, 임의의 기준 자기장에 대해 약 5%의 오차범위를 인정할 경우, 최소 60% 이상의 사용가능영역을 확보할 수 있었으며, 이 영역 내에서는 고도의 균일 자기장이 분포함을 확인할 수 있었다.

#### I. 서 론

현재까지 각종 주파수대에서 발생하는 자기장이 생체에 미치는 영향을 평가하기 위한 갖가지 실험들이 행해져 왔으며, 이는 주로 실험대상이 일정공간 내에서 자유롭게 움직일 수 있는 조건 하에 수행되었다. 최근에는 이와는 다른 조건, 즉 실험대상이 유동적이지 않고 특정 형태의 홀더(holder)내에 고정되어 있을 경우 자기장의 생체영향에 대한 연구가 요구되고 있다. 이 경우 실험대상은 항상 일정한 지향성을 갖게 되며 기존의 단축(單軸) 자기장 발생장치로 실험할 경우 방향성(orientation)에 대한 논란이 불가피할 것이므로 이의 영향을 가능한 최소화하기 위해서 2축 이상의 자기장 발생장치가 필요하게 된다.

본 논문에서는 각 축의 수직 자기장이 5 Gauss (0.5 mT)이고 총 합성 자기장이 약 7 Gauss (0.7 mT)인 대형 2축 자기장 발생장치를 설계하고 그 특성을 고찰해 보고자 한다.

#### II. 장치 설계 및 시뮬레이션

##### 2-1. 자기장 발생 이론

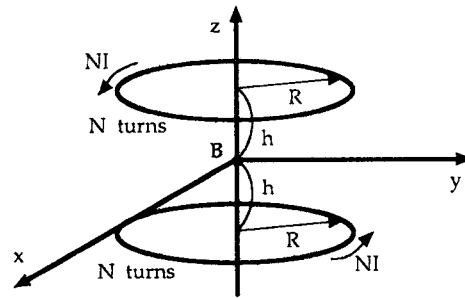


그림 1. 상하 두 개의 동일 복수권선에 의해 자기장을 발생시키는 구조

그림 1과 같이 상하 두 개의 동일 복수(複數)권선(N turns)에 의해 자기장을 발생시키는 경우, 원점에서는 자기장의 수평성분들이 모두 상쇄되어 0이 되며 수직 성분만이 존재한다. 따라서, 원점에서의 자기장  $B$ 는 비오-사바르 법칙(Biot-Savart's law)을 적용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B = \mu_0 \frac{N \cdot I \cdot R^2}{(h^2 + R^2)^{3/2}} \quad (1)$$

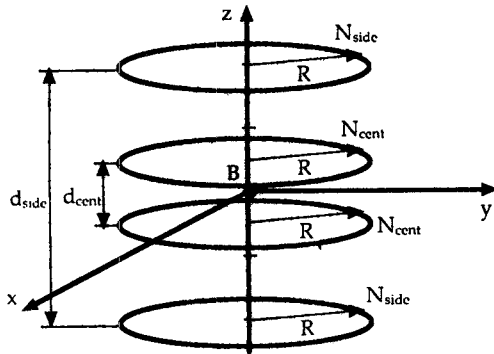


그림 2. 권선수가 다른 4중 코일에 의해 자기장을 발생시키는 구조

그림 2처럼, 측면과 중심의 권선수가 각기 다른 4중 코일에 의해 원점에서 발생되는 자기장 B는 식 2와 같이 된다.

$$B = \mu_0 R^2 I \left[ \frac{N_{side}}{[(d_{side})^2 + R^2]^{3/2}} + \frac{N_{cent}}{[(d_{cent})^2 + R^2]^{3/2}} \right] \quad (2)$$

## 2-2. 자기장 발생장치의 설계

설계하고자 하는 장치는 생체실험 대상이 유동적이 아니고 홀더(holder) 내에 고정된 상태에서 특정 자기장에 대한 반응을 실험하기 위한 목적으로 사용될 것이다. 따라서, 장치내에 발생하는 자기장은 고정된 실험대상의 방향성(orientation)에 가능한 무관하여야 하며 이를 최소화하기 위해 수직 및 수평코일에 의한 2축 자기장 발생장치를 설계한다.

### 2-2-1. 2축 자기장 발생장치의 간단한 구조

가장 쉽게 생각할 수 있는 2축 자기장 발생구조는 그림 3의 형태일 것이며 정사각형 코일을 동일면적을 갖는 원형 코일로 근사화할 때 특정 자기장에 대한 권선수와 전류치는 식 1에서 구할 수 있다. 임의의 파라미터(Spec 1)에 의해 장치 내부에 발생하는 자기장은 그림 4와 같고 발생 자기장이 포물선 형태로 매우 불균일함을 알 수 있다. 따라서, 이러한 구조로는 장치의 실용성을 보장받을 수 없으며 균일 자기장 영역을 최대화하기 위해 불균일 영역을 보상할 수 있는 개선된 구조의 장치가 요구된다.

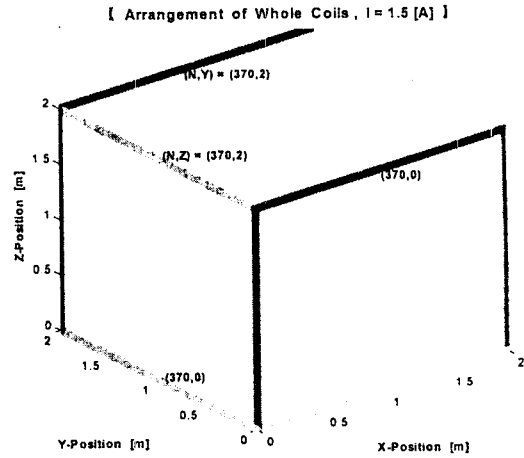


그림 3. 2축 자기장 발생장치의 간단한 구조

Spec 1. 그림 3의 구조에 대한 파라미터

Parameter	Value
Case Size	2m × 2m × 2m (가로 a × 세로 b × 높이 c)
각 루프의 권선수비*	1 : 1
Side Coil간의 거리*	d [m] (= 2m)
각 루프의 위치*	0 : d
코일 연결방식	Whole Helmholtz
코일 최대허용전류	3 [A]
通電電流 (코일당 전류)*	1.5 [A]
각 루프별 권선수*	370/370 [Turns]

\* : 수평, 수직코일 모두에 동일하게 적용됨.

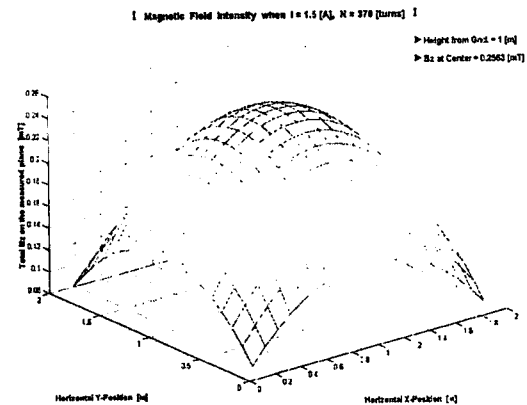


그림 4. 간단한 구조에서 XY-평면상의 자기장 분포

### 2-2-2. 2축 자기장 발생장치의 개선된 구조

이러한 불균일 영역은 다중 코일을 이용하여 훌륭히

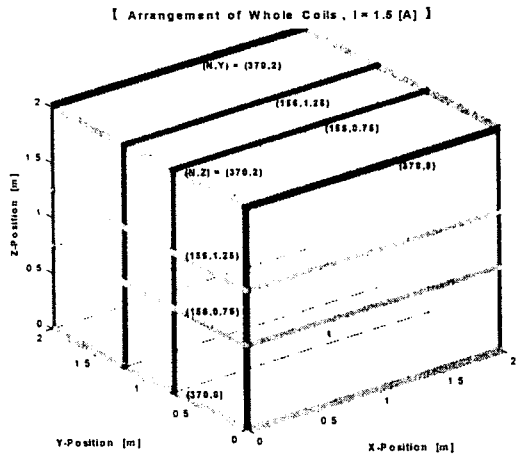


그림 5. 2축 자기장 발생장치의 개선된 구조

보상될 수가 있다. 즉, 그림 5처럼 각 축의 중간에 임의 권선수의 2중 코일(중심코일)을 추가함으로써 최대 사용영역을 보장받도록 하였다. 이 때, 각 코일의 최적 위치 및 최적 권선비는 별도의 최적화 시뮬레이션을 통해 구할 수 있으며 이렇게 구해진 최적의 파라미터들은 Spec 2와 같다.

Spec 2. 그림 5의 구조에 대한 최적 파라미터

Parameter	Value
Case Size	2m × 2m × 2m (a × b × c)
각 루프의 권선수비*	26 : 11 : 11 : 26
Side Coil간의 거리*	d [m] (= 2m)
각 루프의 위치*	0 : 0.375d : 0.625d : d
중심 발생 자기장 (= B <sub>z</sub> or B <sub>y</sub> )	0.5 [mT] or 5 [Gauss] (횡축 · 종축 동일)
2축 발생 총 합성 자기장 (=  B )	0.5 × √2 = 0.707 [mT] or 7.07 [Gauss]
코일 연결방식	Whole Helmholtz
코일의 최대허용전류	3 [A]
通電電流 (코일당 전류)*	1.5 [A]
각 루프별 권선수*	370/156/156/370 [Turns]

\* : 수평, 수직코일 모두에 동일하게 적용됨.

### 2-3. 시뮬레이션 결과 및 분석

2축 자기장 발생장치의 시뮬레이션을 위해 설계 조건과 동일한 수치로 장치를 모델링하고 비오-사바르 법칙을 적용하여 유도한 식을 이용해 임의의 XY-평면상에서의 자기장 분포를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이터의 구성은 MATLAB을 이용하였으며, 결과는 그림 8~10과 같다. 여기서, 좌측은 측정될 XY-평면상에서 B<sub>z</sub> 성분의 전체적 분포도이고, 우측은 각 분포도에 대한 단

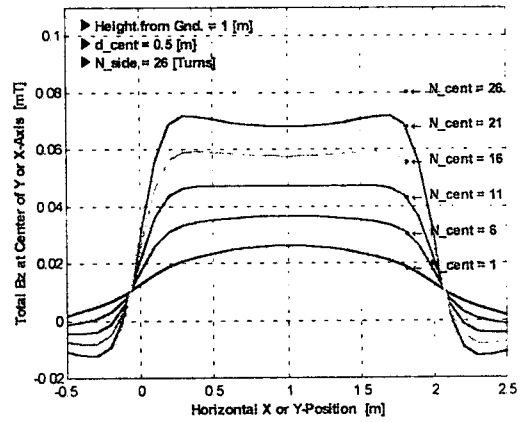


그림 6. 최적의 권선비를 결정하기 위한 그래프

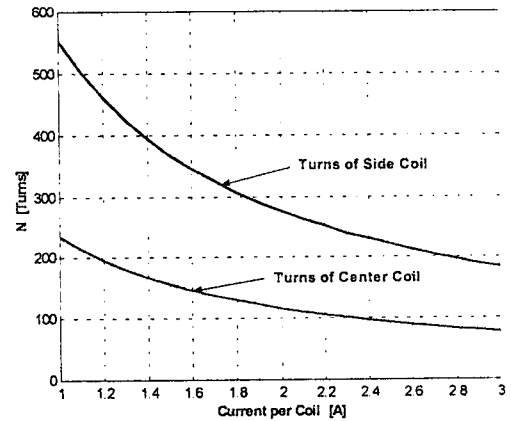


그림 7. 0.5 mT 발생을 위한 전류별 각 코일의 권선수

면도이다. 다음은 전체 코일에 의해 발생하는 수직 자기장 B<sub>z</sub>의 기준 발생 자기장을 0.5 mT 라고 했을 때, 각 높이에 따른 발생 자기장의 Error Rate를 그림 11~14에 표시하였다. 허용 자기장 범위를 기준 자기장에 대해 100% ± 5% 이내라고 하면, 육안으로 식별되는 자기장 발생장치의 사용 가능영역은 Spec 3과 같이 추정할 수 있다.

Spec 3. Error Rate에 의해 추정된 사용가능영역

Parameter	Value	
Case Size	2m × 2m × 2m (a × b × c)	
Reference B <sub>z</sub>	0.5 [mT] or 5 [Gauss]	
허용 오차범위	± 5 [%] 이내	
사용 가능영역	X-축	0.3 ~ 1.7 [m] (70 %)
	Y-축	0.4 ~ 1.6 [m] (60 %)
	Z-축	0.4 ~ 1.6 [m] (60 %)

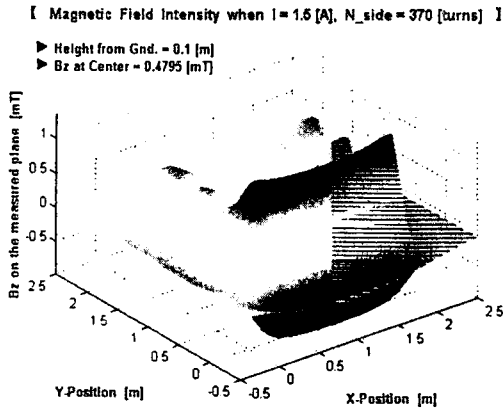


그림 8-1. Height = 0.1 m

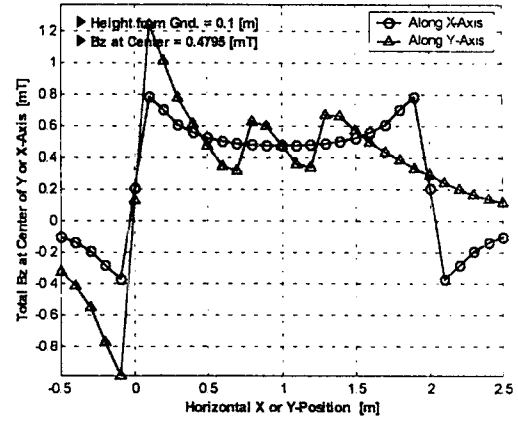


그림 8-2. Height = 0.1 m

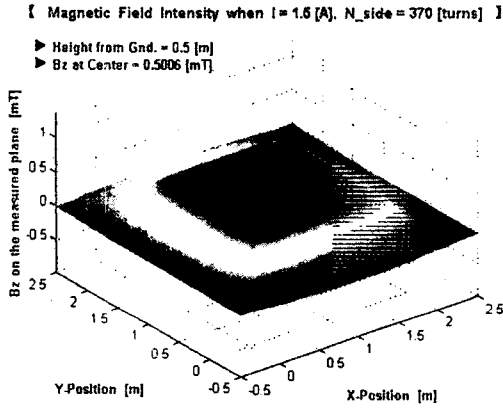


그림 9-1. Height = 0.5 m

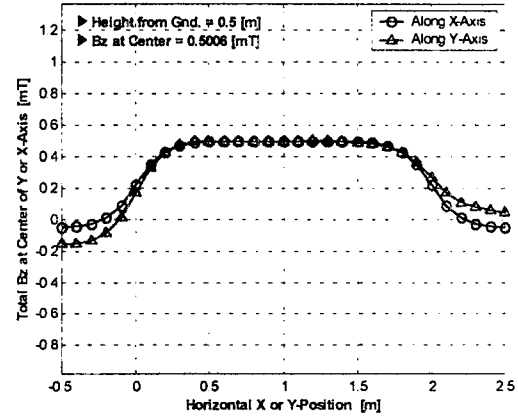


그림 9-2. Height = 0.5 m

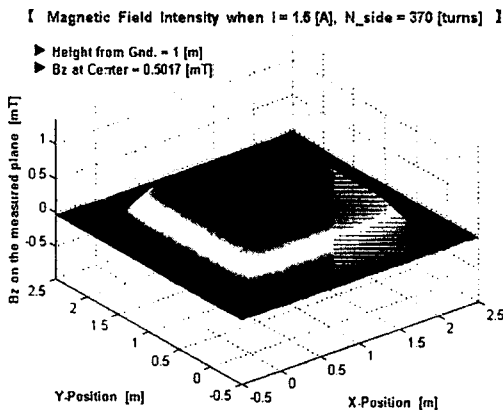


그림 10-1. Height = 1 m

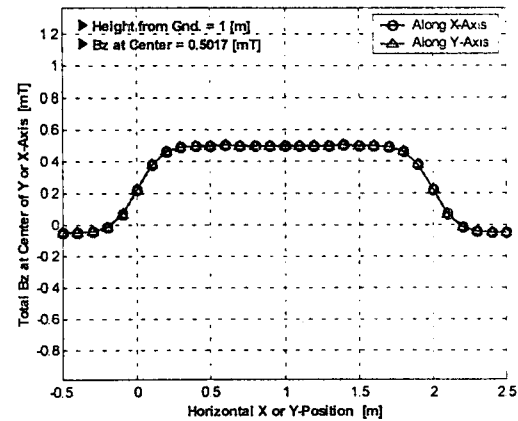


그림 10-2. Height = 1 m

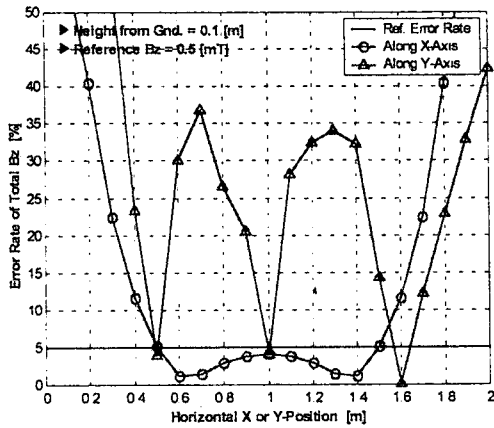


그림 11. Height = 0.1 m

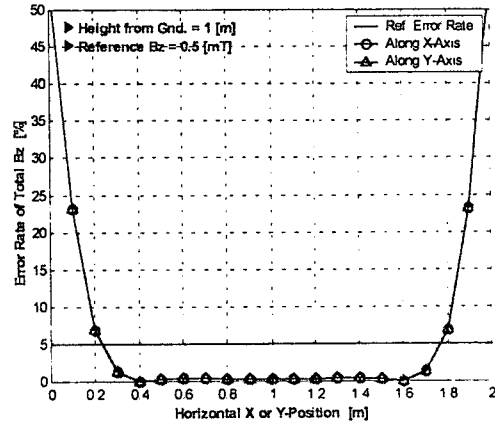


그림 14. Height = 1 m

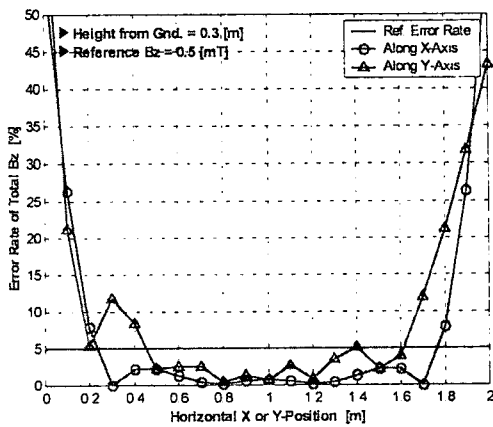


그림 12. Height = 0.3 m

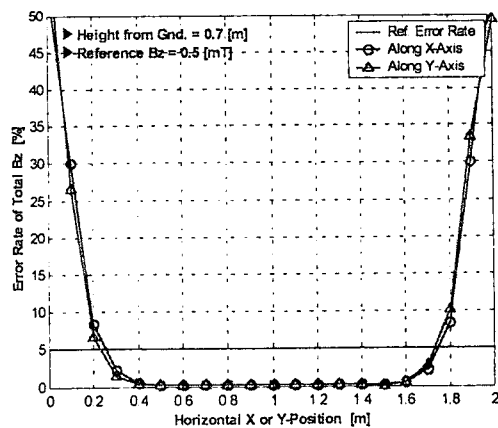


그림 13. Height = 0.7 m

### III. 결 론

별도의 시뮬레이션을 통해 구한 최적의 파라미터 값을 이용하여 2축 4중코일 형태의 장치를 설계·분석해 본 결과, 최소 60% 이상의 사용가능영역 확보로 매우 양호한 활용성을 나타냈으며 이 영역 내에서는 고도의 균일성을 보장받을 수 있었다. 또한, 단축 구조에서는 각 경로에 따른 순간전류의 방향이 항상 동일하나, 2축 구조에서는 수평/수직 코일이 접치는 부분의 순간전류 방향이 경로에 따라 불가피하게 동일 혹은 반대가 되므로 시뮬레이션 결과처럼 측정높이가 중심으로부터 멀어질수록 Y-축에 따른 장치내부 자기장 분포의 비대칭성이 두드러지는 특성을 확인할 수 있었다.

### [ 참고 문헌 ]

- [1] 성기연·김윤명, "생체실험용 극저주파 자기장 발생 장치의 설계 및 제작," 마이크로파 및 電波 學術大會 論文集, 23(2), 267~270, 2000. 9.
- [2] Kato M. & Shigemitsu T., "Effects of Exposure to a 50Hz Magnetic Field on Melatonin in Rats," Biological Effects of Magnetic and Electromagnetic Fields, 121~129, Plenum Press, New York, 1996.
- [3] Shigemitsu T., Takeshita K., Shiga Y. & Kato M., "50Hz magnetic field exposure system for small animals," Bioelectromagnetics, 14, 107~116, 1993.