



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

도난 방지 시스템용 코일의
z 성분 자기장 향상을 위한 연구

**A Study on Z-component
H-Field Enhancement of Coil
for Electronic Article Surveillance System**

2016 년 11 월

서울대학교 대학원

전기·정보 공학부

노 승 인

도난 방지 시스템용 코일의
z 성분 자기장 향상을 위한 연구

**A Study on Z-component
H-Field Enhancement of Coil
for Electronic Article Surveillance System**

지도교수 남 상 욱

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함
2016 년 11 월

서울대학교 대학원
전기·정보 공학부
노 승 인

노승인의 공학석사 학위논문을 인준함
2016 년 11 월

위 원 장 서 광 석 (인)

부위원장 남 상 욱 (인)

위 원 이 정 우 (인)

초 록

도난 방지 시스템용 코일의 z 성분 자기장 향상을 위한 연구

서울대학교 대학원

전기·정보 공학부

노 승 인

본 논문에서는 상품 도난 방지를 위한 전자 상품 감시 시스템 (Electronic Article Surveillance System)에서 쓰이는 코일을 디자인 하였다. 전자 상품 감시 시스템의 여러 동작 방식 중 EM(Electro-Magnetic) 방식을 연구하였다. 기존 영일전자의 코일과 비교하여 성능을 향상시키는 방향으로 연구를 진행하였다.

도난 방지 시스템은 구매자가 태그가 부착된 상품을 부적절한 방법으로 시스템의 코일 사이를 지나가게 될 경우 알람이 울리는 방식으로 도난을 방지한다. 이 시스템에서 핵심적인 요구 사항은 임의의 태그 방향

에 대해 모두 높은 감지율을 가지는 것이다. 기존 영일전자의 코일은 x , y 축과 평행한 방향으로의 태그는 비교적 감지율이 높은 반면, z 축과 평행한 방향으로 놓인 태그는 감지율이 현저하게 떨어진다. 이러한 문제를 해결하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 연구의 핵심 아이디어는 사람이 걸어가는 방향을 고려하여 코일을 설계한다는 점이다. 기존 영일전자의 코일은 사람이 걸어갈 경우 z 성분 자기장 분포의 변화가 없기 때문에 null 공간 일정한 높이에 그대로 유지되어 감지가 되지 않는 영역이 존재한다. 본 연구에서는 코일을 기존에 비해 비스듬히 설계함으로써 사람이 걸어감에 따라 z 성분 자기장 분포의 변화를 만들어 null 공간의 위치변화를 통해 감지가 되지 않는 영역을 최소화하였다. 그 구체적인 수치는 본문의 데이터 표를 통해 나타내었다.

주요어 : Electronic Article Surveillance(EAS) System, Tag,
Electro-magnetic system, Coil.

학 번 : 2015-20919

목 차

| | |
|----------------------------------|----|
| 제 1 장 서 론 | 1 |
| 제 2 장 코일 설계 | 4 |
| 제 1 절 송신부 코일 설계 | 4 |
| 제 2 절 기생 코일을 포함한 송신부 코일 설계 | 16 |
| 제 3 절 수신부 코일 설계 | 21 |
| 제 3 장 비선형 물질에 의한 고조파 성분 | 34 |
| 제 4 장 Conclusion | 38 |
| 참고문헌 | 39 |
| Abstract | 40 |

표 목 차

| | |
|--|----|
| [표 1] yz 평면에서 기록한 x 성분 자기장 세기 | 13 |
| [표 2] yz 평면에서 기록한 y 성분 자기장 세기 | 14 |
| [표 3] yz 평면에서 기록한 z 성분 자기장 세기 | 15 |
| [표 4] 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 세기 ... | 20 |
| [표 5] 송신부 코일의 신호에 의해 각 공간좌표에서 측정되는 z 성분 자기장 값 | 29 |
| [표 6] z 성분 자기장을 만드는 태그의 신호에 의해 수신부 코일에 유기되는 전류 값(A) | 31 |
| [표 7] 본 논문에서 제안하는 코일을 사용하여 z 성분 방향의 태그 감지여부를 실험했을 때의 성공 여부를 나타낸 그림. | 33 |

그 립 목 차

| | |
|---|---|
| [그림 1] 기존 영일전자의 도난 방지 시스템에 쓰이는 코일의 3차원 모델도 | 3 |
| [그림 2] 송신부 코일의 3차원 모델도 | 5 |
| [그림 3] 송신부 코일의 xz 평면도 | 6 |
| [그림 4] 송신부 코일의 전류 분포 | 7 |
| [그림 5] yz 평면에서 관측한 영일전자의 송신부 코일의 자기장 분포도 | 9 |

| | |
|---|----|
| [그림 6] yz 평면에서 관측한 새로 제안하는 송신부 코일의 자기장 분포도 | 10 |
| [그림 7] 기생 코일을 포함한 제안하는 코일의 3차원 모델도 | 16 |
| [그림 8] 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 분포 | 17 |
| [그림 9] 수신부 코일의 3차원 모델도 | 21 |
| [그림 10] 전체 코일의 3차원 모델도 | 23 |
| [그림 11] 수신부 코일의 xz 평면도 | 24 |
| [그림 12] 수신부 코일의 전류 분포 | 26 |
| [그림 13] 수신부 코일의 z 성분 자기장 분포도 | 27 |
| [그림 14] 코발트계 비정질 물질의 자기이력곡선 | 28 |
| [그림 15] 시간에 따른 자속의 그래프 | 29 |

제 1 장 서 론

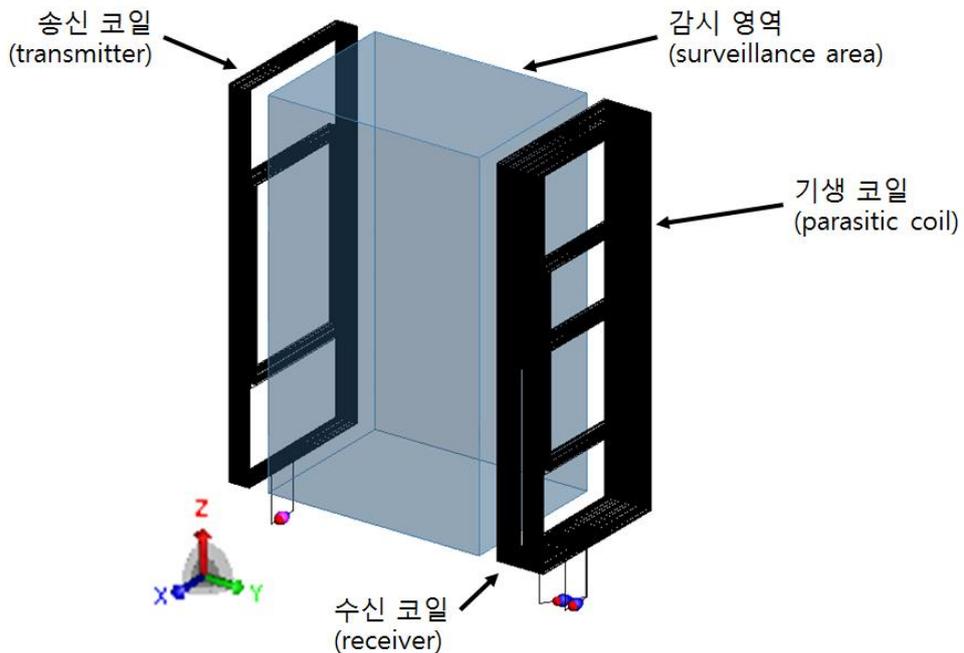
상품을 파는 여러 매장에는 도난을 방지하기 위한 Electronic Article Surveillance(EAS) 시스템이 도입되어 있다. 매장 관리자는 구매자들에게 상품을 드러내기 위해 눈에 띄는 곳에 상품을 배치하고자 한다. 그러나 이는 상품이 도난에 매우 노출되어있다는 사실 또한 의미한다. 그러므로 매장의 판매 증진과 도난의 감소를 동시에 충족시키기 위해서는 도난 방지 시스템이 필수적이다. 대형 마트부터 의류 매장, 전자기기 매장, 서점 및 도서관 까지 상품을 다루는 거의 모든 매장이 EAS 시스템을 활용하여 도난 방지에 신경 쓰고 있다.

EAS 시스템은 매장 입구에 자기장 신호를 생성하는 안테나를 두고 상품에 태그(tag)를 부착하여 부적절한 방법으로 입구를 통과 시 알람이 울리는 방식으로 도난을 방지한다. EAS 시스템은 사용 주파수 및 태그의 작동 방법에 따라 크게 세 가지 종류의 동작 방식으로 나뉜다. Acousto-Magnetic(AM) 방식, Radio-Frequency(RF) 방식 그리고 Electro-Magnetic(EM) 방식이 있다. AM 방식은 58 kHz의 주파수를 사용하고 태그의 자기변형 특성을 이용하여 알람이 울리도록 한다. 자기 에너지를 활용하여 역학적인 진동을 만들어 수신기에서 그 진동을 감지하는 방식이다. 또한 태그는 자화(magnetization), 자기 소거

(demagnetization)를 함으로써 재활용이 가능하다. RF방식에서는 1.75 MHz에서 9.5 MHz 사이의 주파수를 사용하고 주로 8.2 MHz를 사용한다. 태그에는 LC 공진회로가 있어 공진 주파수의 신호를 받을 시에 알람이 울리는 방식으로 동작한다. 태그를 비활성화 할 때에는 태그의 LC 공진회로를 구성하는 콘덴서 값을 변화(detune)시켜 공진주파수를 조정하여 알람이 울리지 못하도록 한다. EM 방식은 주로 수 kHz 주파수를 사용한다. 태그는 연자성체로 구성되어 있는데 이 연자성체가 교류 자기장 신호를 받게 되면 연자성체의 비선형성으로 인해 고조파가 발생하게 된다. 고조파를 감지하는 원리를 이용한다. 수신부에서는 이러한 고조파를 감지하도록 설계되어 있어 알람이 울리는 방식이다[1], [2]. EM 방식 또한 태그를 자화, 자기 소거를 통해 활성화, 비활성화를 함으로써 재활용이 가능하다. 그리고 태그의 크기를 AM 방식이나 RF 방식에 비해 작게 할 수 있어 도서관의 책과 같이 태그의 크기가 작아야할 필요성이 있는 물건에 사용하기 적합하다.

본 논문에서는 EAS 시스템 중 EM 방식에 대한 연구를 수행하였다. 우선 영일전자에서 사용하는 EM 방식의 도난 방지 시스템과의 성능 비교하는 방향으로 연구를 진행하였다. 현 영일전자의 EM 시스템의 문제점은 감시 영역(surveillance area) 내에 놓인 태그의 방향에 따라 감지율이 다르다는 것이다. [그림 1]에서 EAS 시스템 코일의 위치에 따른 x, y, z 축의 방향을 확인할 수 있다. 태그가 감시 영역 내에서 z 축과 평행

한 방향으로 놓였을 때 감지율이 크게 떨어지는 영역이 존재하게 된다. 이는 코일에서 생성하는 자기장의 z 성분이 부족한 영역이 발생하기 때문이다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 z 성분이 부족한 영역에서 자기장의 z 성분을 더 확보할 수 있도록 송수신 코일을 설계해야 한다. 본 논문의 2 장에서는 송신부 코일 설계에 대해 기술하고 수신부에 기생 코일을 두어 개선시킨 사항을 보인다. 그리고 제 3 장에서 결론으로 본 논문을 마무리한다. 본 연구에서는 EM 시뮬레이션 툴인 FEKO Suite 7.0을 사용하였다.



[그림 1] 기존 영일전자의 도난 방지 시스템에 쓰이는 코일의 3차원 모델도

제 2 장 코일 설계

제 1 절 송신부 코일 설계

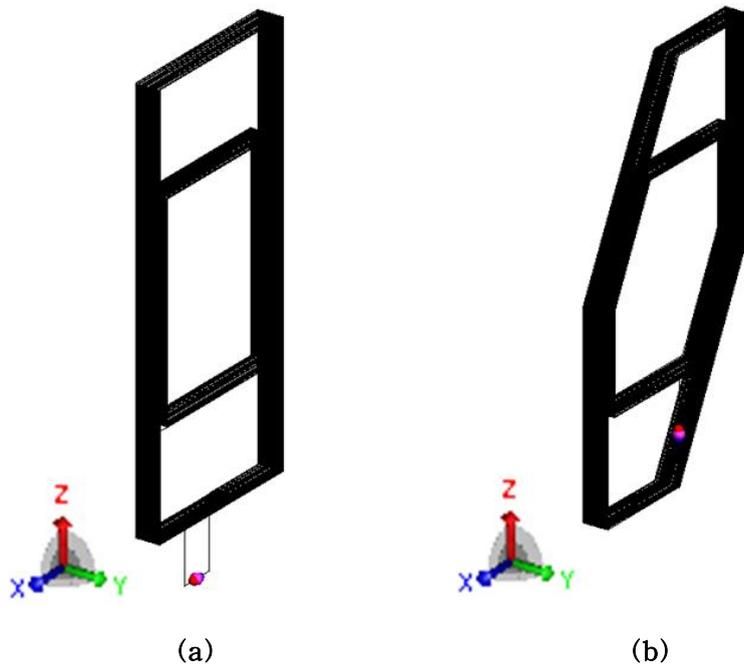
본 논문에서 연구하는 EAS 시스템은 EM 방식이고 송신부 코일의 동작주파수는 1 kHz, 수신부 코일의 수신 주파수는 2 kHz로 하였다.

제 1 장에서 [그림 1]과 같은 기존의 영일전자의 코일에서 가장 큰 문제는 z 성분의 자기장이 가장 부족한 것이라 언급하였는데, 정확하게는 감시 영역 내에서 z 성분의 자기장이 골고루 분포하지 않는다는 것이다. 즉, 자기장의 z 성분이 심각하게 약해서 태그가 감지되지 않는 영역이 존재한다. 본 연구에서는 이러한 영역을 최소화 하는 방향으로 연구를 진행하였다.

태그를 소지하고 있는 사람이 걸어가는 방향 또한 고려하여 코일을 설계해야 한다. 사람은 [그림 1]을 기준으로 했을 때 x 축 방향으로 걸어가게 된다. 보통 사람이 태그를 몸에 소지한 채로 EAS 시스템을 지나가게 될 경우 태그의 위치는 y 와 z 축은 고정된 채로 x 축으로만 이동하게 된다. 그러므로 y, z 좌표를 고정한 상태로 사람이 x 축 방향으로 진행하였을 때 측정된 자기장 값 중 가장 큰 값이 태그를 감지하도록 설계하면 된다.

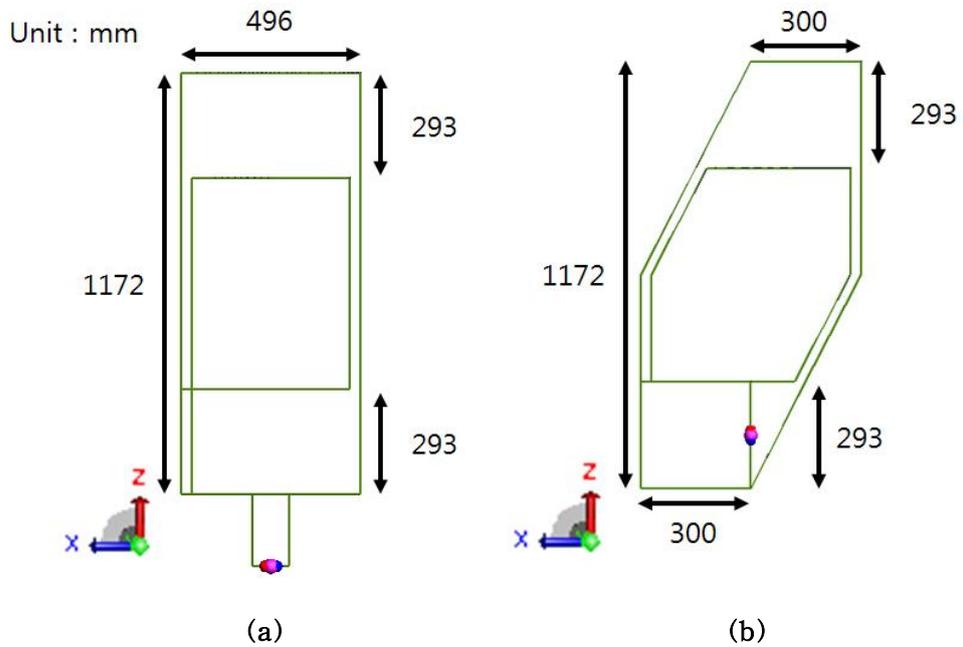
[그림 2]는 영일전자와 본 논문에서 제안하는 송신부 코일의 3차원

모델도이다. 각 코일은 모두 안쪽코일과 바깥쪽 코일로 구성되어 있고 안쪽 코일과 바깥쪽 코일을 각각 감은 후 그 둘을 서로 직렬로 연결하였다. 송신 코일의 동작 주파수는 1 kHz 이므로 해당 주파수에서 신호가 잘 유기되도록 하기 위해 공진이 발생하도록 커패시터를 연결하였다. 영일전자의 코일은 안쪽 및 바깥쪽 코일 모두 70번을 감았고, 본 논문에서 제안하는 코일은 영일전자의 코일과 같은 전력이 소모되도록 임피던스를 맞추고자 턴 수를 조정하여 안쪽 및 바깥쪽 모두 74번을 감았다. 시뮬레이션 기준으로 전류가 4 A가 흐르도록 하기 위해 입력 단에서 46 V의 전압이 걸리도록 하였다.

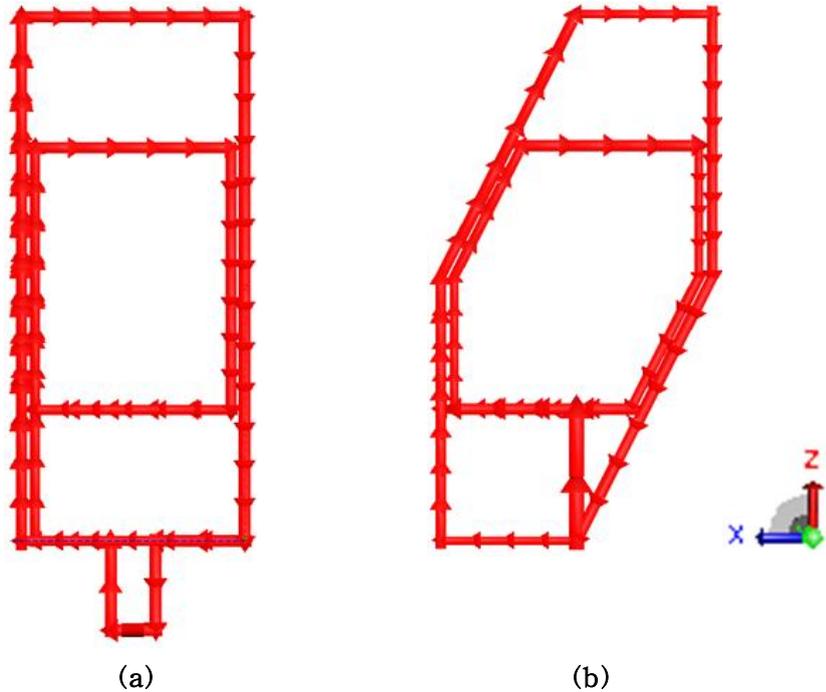


[그림 2] 송신부 코일의 3차원 모델도. (a) 영일전자의 송신부 코일. (b) 본 논문에서 제안하는 송신부 코일.

[그림 2(a)]처럼 설계한 코일의 가장 큰 문제점은 높이 중간 부분에서 z 성분 자기장이 매우 약하다는 것이다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 [그림 2(b)]와 같이 비스듬히 설계하여 사람이 진행하는 x 축에 따라 넓은 z 범위에서 z 성분 자기장이 비교적 골고루 분포하도록 하였다. [그림 3]은 두 코일에 대한 자세한 크기 정보를 담고 있다.



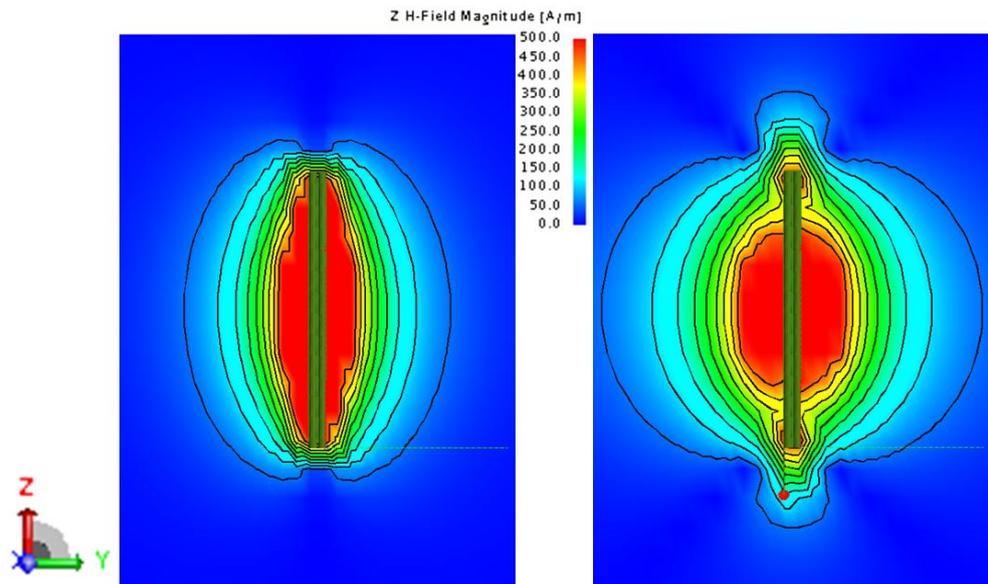
[그림 3] 송신부 코일의 xz 평면도. (a) 영일전자의 송신부 코일. (b) 본 논문에서 제안하는 송신부 코일.



[그림 4] 송신부 코일의 전류 분포. (a) 영일전자의 송신부 코일의 전류 분포. (b) 제안하는 송신부 코일의 전류 분포.

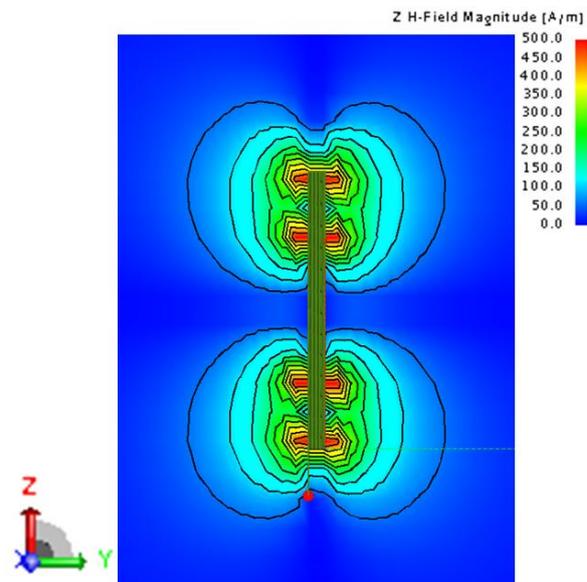
[그림 4]는 영일전자와 본 논문에서 제시하는 코일의 전류 흐름을 나타낸다. 위에서 언급한 바와 같이 안쪽 코일과 바깥쪽 코일을 직렬로 연결하였고, 안쪽과 바깥쪽 코일의 인접한 부근에서는 같은 방향으로 전류가 흐르도록 감았다. 전류의 크기는 4 A가 걸리도록 하였고 코일 전체의 전기적 길이가 파장($\lambda=300$ km) 대비 매우 짧기 때문에 모든 부분에서 같은 값의 전류가 흐른다.

[그림 5]는 영일전자의 송신부 코일의 x , y , z 성분 자기장 분포를 yz 평면에서 관측한 것을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 x , y 성분 자기장은 감시 영역 내에서 골고루 분포하여 문제가 되지 않는다. 문제가 되는 것은 z 성분 자기장이다. z 성분 자기장을 만드는 것은 x 축에 평행한 방향의 전류이다. 영일전자의 코일은 구조상 사람이 진행되는 x 축 방향에 따라 같은 z 성분 자기장 분포를 가질 수밖에 없고 그 값이 적은 null 공간이 x 좌표에 따라 변하지 않는다. [그림 5(c)]와 같이 z 성분 자기장은 중간 높이에서 null 공간이 생겨 z 축과 평행한 방향의 태그를 감지하지 못한다. 이 문제를 해결하기 위해 [그림 2(b)]와 같이 코일을 비스듬히 설계하여 x 축에 평행한 방향의 전류를 넓은 z 영역에 대해 존재하도록 하고, 이를 통해 z 성분 자기장이 존재하지 않는 null 공간이 x 좌표에 따라 변하도록 하였다. [그림 6]은 새로 제안한 송신부 코일의 x , y , z 성분 자기장 분포를 yz 평면에서 관측한 것인데, [그림 6(c)]를 통해 x 좌표에 따라 null 공간이 이동하는 것을 확인할 수 있다.



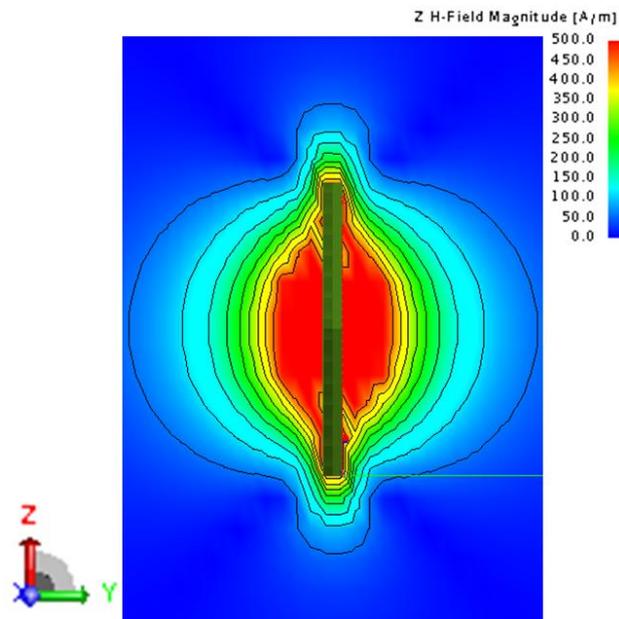
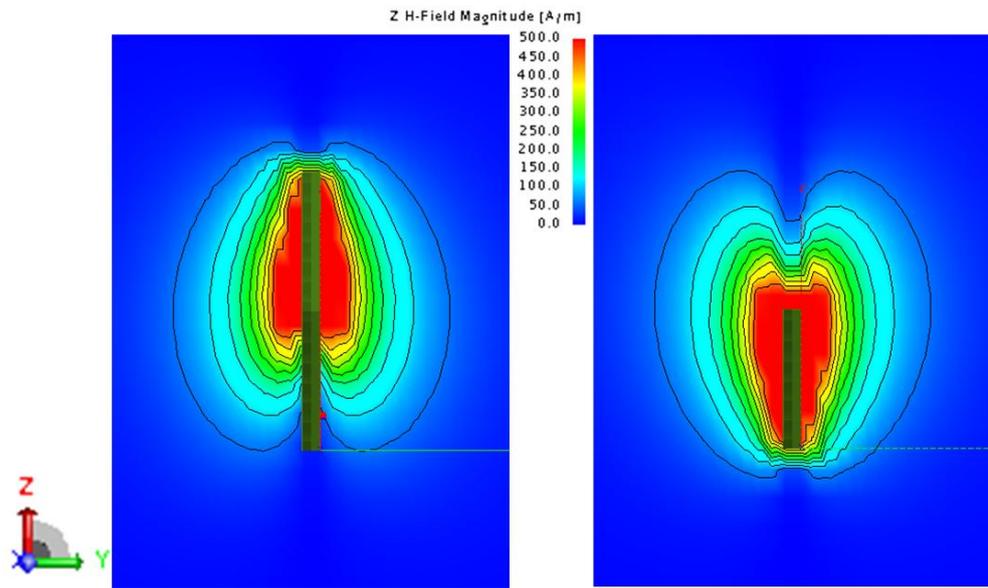
(a)

(b)

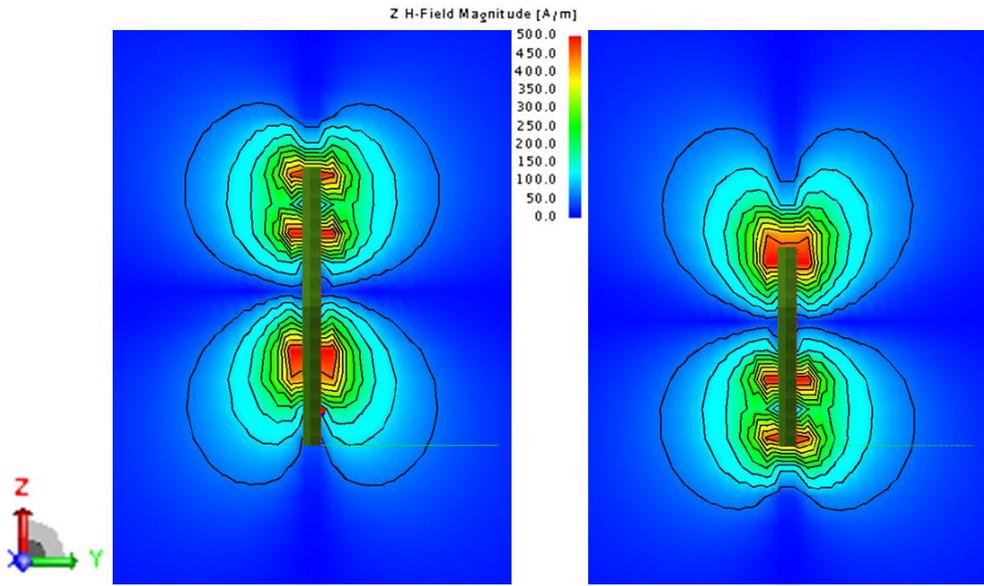


(c)

[그림 5] yz 평면에서 관측한 영일전자의 송신부 코일의 (a) x 성분 자기장 분포도, (b) y 성분 자기장 분포도, (c) z 성분 자기장 분포도.



[그림 6] yz 평면에서 관측한 새로 제안하는 송신부 코일의 (a) x 성분 자기장 분포도, (b) y 성분 자기장 분포도, (c) z 성분 자기장 분포도.



[그림 6] yz 평면에서 관측한 새로 제안하는 송신부 코일의 (a) x 성분 자기장 분포도, (b) y 성분 자기장 분포도, (c) z 성분 자기장 분포도.

[표 1]-[표 3]은 영일전자와 제안하는 코일의 x, y, z 성분 자기장 분포를 좌표에 따라 표로 정리한 것이다. 감시 영역을 yz 평면으로 보았을 때 z 축 방향으로 8칸, y 축 방향으로 7칸 하여 $8 \times 7 = 56$ 칸이 되게 하였다. y축 감시 영역 너비는 80 cm이다. 그리하여 각 칸에서 x 축 방향으로 진행 시 가장 높은 자기장 값을 입력하였다. 코일에 흐르는 전류는 4 A로 유지하도록 하였다. 표의 좌측이 송신부 코일이고 우측으로 갈수록 그 코일에서 멀어지는 위치이다. 표에서 볼 수 있듯이 x, y 성분 자기장은 영일전자와 제안하는 코일이 거의 차이가 없게 유지되면서 z 성분 자기장은 위치에 따라 큰 변화가 있는 것을 확인할 수 있다. 특히, 중간 높이 부분에서 z 성분 자기장 값이 상당히 향상되었다. 그러나 송신부 코일에서 멀어질수록 향상되는 차이가 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이 문제는 다음 절에서 기술할 기생 코일(parasitic coil)을 통해 해결하였다.

단위 : A/m

| | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 송 신 부 | 252 | 103 | 59.2 | 37 | 24 | 16.1 | 11.1 |
| | 506 | 195 | 101 | 58.3 | 35.5 | 22.5 | 14.8 |
| | 831 | 288 | 141 | 77.9 | 45.7 | 28.1 | 18 |
| | 948 | 339 | 165 | 89.5 | 51.7 | 31.4 | 19.8 |
| | 948 | 339 | 165 | 89.5 | 51.7 | 31.4 | 19.8 |
| | 831 | 287 | 141 | 77.9 | 45.7 | 28.1 | 18 |
| | 501 | 195 | 101 | 58.3 | 35.4 | 22.5 | 14.8 |
| | 250 | 103 | 59.3 | 37 | 24 | 16.1 | 11.1 |

(a)

| | | | | | | | |
|-------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 송 신 부 | 258 | 100 | 55.9 | 34.8 | 24.6 | 17.6 | 12.7 |
| | 523 | 196 | 100 | 57.8 | 36.9 | 24.7 | 16.9 |
| | 823 | 294 | 145 | 80.7 | 48.8 | 31.2 | 20.5 |
| | 929 | 345 | 171 | 94.9 | 56.1 | 34.8 | 22.4 |
| | 927 | 344 | 171 | 94.8 | 56.1 | 34.8 | 22.4 |
| | 819 | 293 | 145 | 80.5 | 48.7 | 31.1 | 20.5 |
| | 513 | 194 | 100 | 57.6 | 36.8 | 24.7 | 16.8 |
| | 253 | 99.4 | 55.5 | 34.6 | 24.5 | 17.6 | 12.6 |



(b)

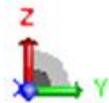
[표 1] yz 평면에서 기록한 x 성분 자기장 세기. 표의 좌측에 송신부 코일이 존재하고 x 축 방향으로 진행하였을 때 최댓값을 기록함. (a) 영일전자의 송신부 코일의 x 성분 자기장 세기. (b) 제안하는 송신부 코일의 x 성분 자기장 세기.

단위 : A/m

| | | | | | | | |
|-------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 송 신 부 | 148 | 96.2 | 70.6 | 53 | 40.5 | 31.4 | 24.8 |
| | 363 | 245 | 157 | 102 | 69.9 | 49.6 | 36.4 |
| | 817 | 412 | 241 | 149 | 96.9 | 66 | 46.7 |
| | 845 | 495 | 290 | 176 | 112 | 75.6 | 52.7 |
| | 845 | 496 | 290 | 176 | 112 | 75.6 | 52.6 |
| | 818 | 412 | 241 | 148 | 96.8 | 65.9 | 46.7 |
| | 359 | 244 | 156 | 102 | 69.8 | 49.6 | 36.4 |
| | 147 | 96.4 | 70.6 | 52.9 | 40.5 | 31.4 | 24.8 |

(a)

| | | | | | | | |
|-------------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 송 신 부 | 168 | 90.8 | 60.8 | 46.1 | 35.5 | 29.1 | 23.4 |
| | 392 | 239 | 147 | 96.8 | 66.8 | 48.1 | 35.7 |
| | 845 | 422 | 244 | 150 | 98 | 66.7 | 47.1 |
| | 889 | 519 | 305 | 185 | 117 | 78.2 | 54.1 |
| | 890 | 519 | 305 | 185 | 117 | 78.2 | 54.1 |
| | 846 | 421 | 244 | 150 | 97.8 | 66.6 | 47 |
| | 382 | 236 | 146 | 96.2 | 66.5 | 48 | 35.6 |
| | 164 | 89 | 60 | 45.6 | 36.2 | 29 | 23.3 |



(b)

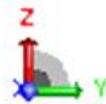
[표 2] yz 평면에서 기록한 y 성분 자기장 세기. 표의 좌측에 송신부 코일이 존재하고 x 축 방향으로 진행하였을 때 최댓값을 기록함. (a) 영일전자의 송신부 코일의 y 성분 자기장 세기. (b) 제안하는 송신부 코일의 y 성분 자기장 세기.

단위 : A/m

| | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 송 신 부 | 512 | 204 | 115 | 72.2 | 47.6 | 32.5 | 22.8 |
| | 218 | 189 | 118 | 73.5 | 46.9 | 31 | 21.1 |
| | 387 | 171 | 92.9 | 55.2 | 34.5 | 22.4 | 14.9 |
| | 43.7 | 47.8 | 32.3 | 20.1 | 12.6 | 8.1 | 5.4 |
| | 43.5 | 47.8 | 32.4 | 20.2 | 12.6 | 8.1 | 5.4 |
| | 388 | 172 | 93.1 | 55.3 | 34.5 | 22.4 | 14.9 |
| | 218 | 189 | 118 | 73.5 | 46.9 | 30.9 | 21 |
| | 507 | 203 | 115 | 72 | 47.5 | 32.5 | 22.8 |

(a)

| | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 송 신 부 | 501 | 195 | 112 | 71.9 | 48.2 | 33.2 | 23.4 |
| | 365 | 219 | 131 | 80.6 | 51 | 33.4 | 22.5 |
| | 537 | 225 | 118 | 67.7 | 40.8 | 25.6 | 16.7 |
| | 380 | 131 | 62.5 | 33 | 18.6 | 11 | 6.9 |
| | 381 | 132 | 62.8 | 33.2 | 18.7 | 11.1 | 7 |
| | 536 | 226 | 118 | 68 | 40.9 | 25.7 | 16.8 |
| | 368 | 219 | 132 | 80.7 | 51.1 | 33.4 | 22.5 |
| | 494 | 194 | 112 | 71.8 | 48 | 33.2 | 23.4 |

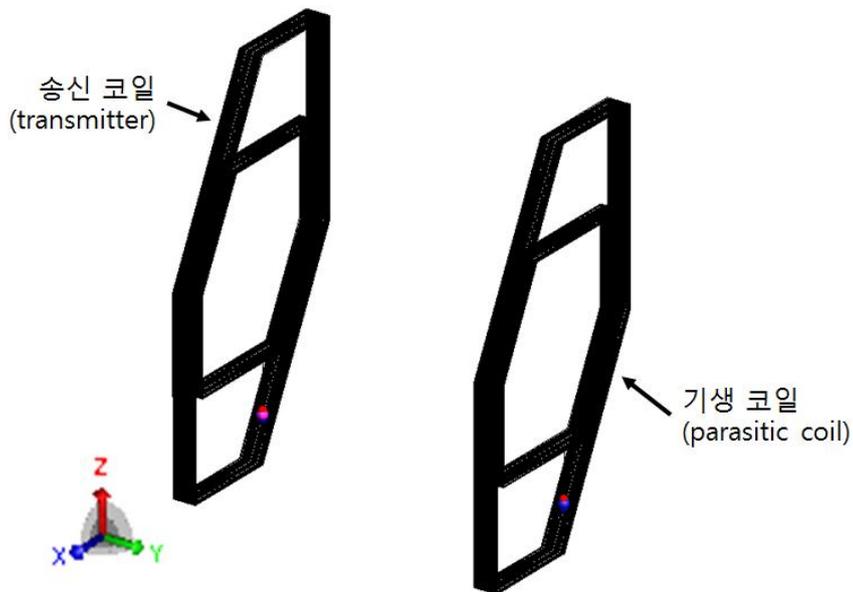


(b)

[표 3] yz 평면에서 기록한 z 성분 자기장 세기. 표의 좌측에 송신부 코일이 존재하고 x 축 방향으로 진행하였을 때 최댓값을 기록함. (a) 영일전자의 송신부 코일의 z 성분 자기장 세기. (b) 제안하는 송신부 코일의 z 성분 자기장 세기.

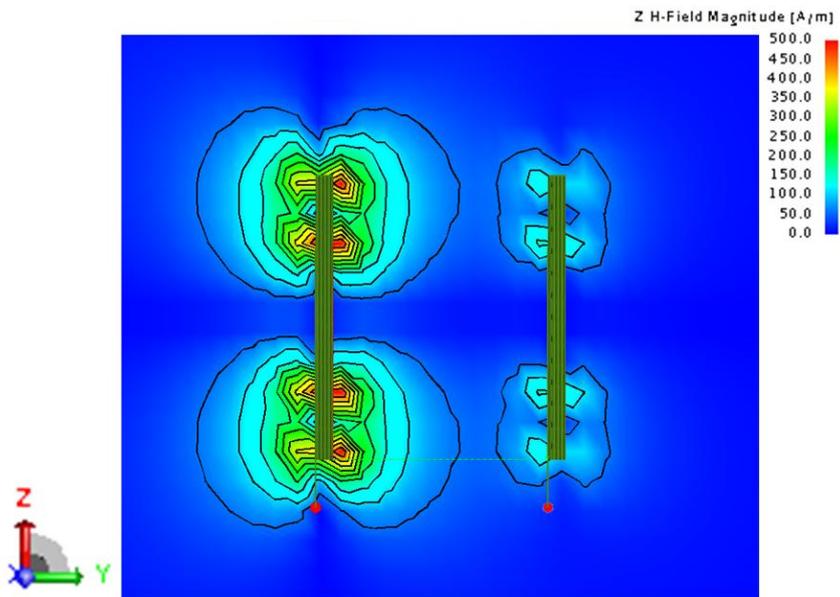
제 2 절 기생 코일을 포함한 송신부 코일 설계

송신부에만 송신을 담당하는 코일을 놓게 되면 1 절에서 기술한 바와 같이 먼 감시 영역에서의 감지율이 떨어지게 된다. 이를 해결하기 위해 수신부에 기생 코일(parasitic coil)을 두었다. 송신부의 코일에서 자기장이 발생하게 되면 수신부 기생 코일에서 그 자기장으로 인해 전류가 인가되고 그 전류를 통해 새로운 자기장을 발생하여 수신부의 감지율을 확보하였다. 기생 코일은 기존의 송신부 코일과 같은 코일을 채택하였고, 송신부 코일과 마찬가지로 1 kHz에서 공진하도록 커패시터를 연결하였다. [그림 7]은 기생코일을 포함한 모델을 나타낸다.



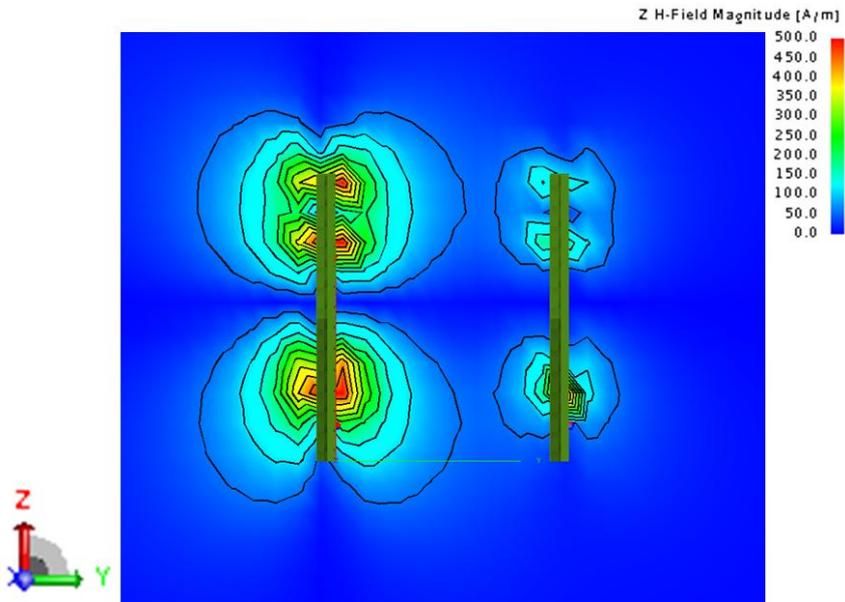
[그림 7] 기생 코일을 포함한 제안하는 코일의 3차원 모델도.

기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 분포를 [그림 8]에 나타내었다. [그림 8(a)]는 영일전자의 자기장 분포를 나타내는데 기생 코일이 없는 경우와 마찬가지로 x 좌표에 따라 자기장 분포가 변하지 않아 null 공간의 위치가 변하지 않는다. 그러나 제안하는 코일에서는 [그림 8(a)]-[그림 8(c)]에서 볼 수 있듯이 x 좌표에 따라 자기장 분포가 변하게 되고 그에 따라 null의 위치 또한 변하여 영일전자의 코일보다 더욱 폭 넓은 z 영역에서 유효한 z 성분 자기장 값을 가진다.

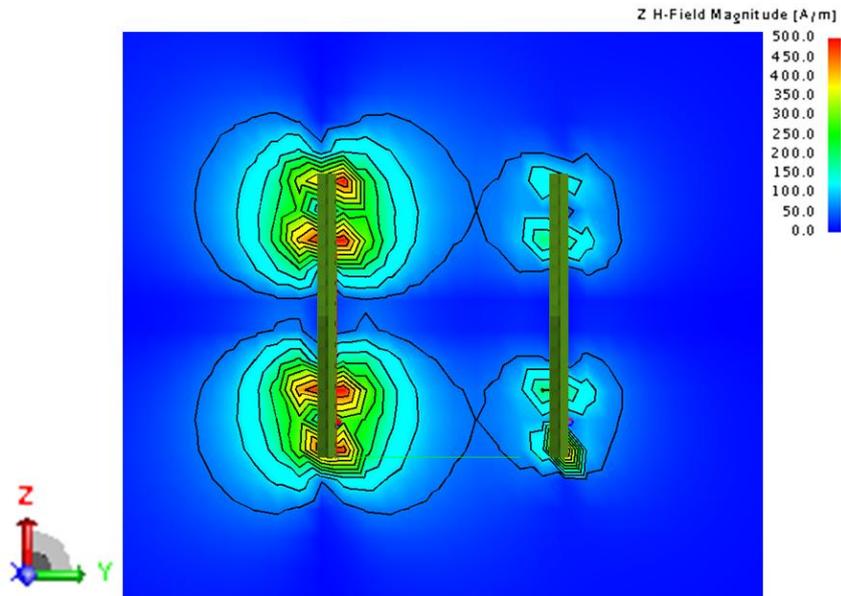


(a)

[그림 8] 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 분포. (a) 영일전자 코일의 자기장 분포.

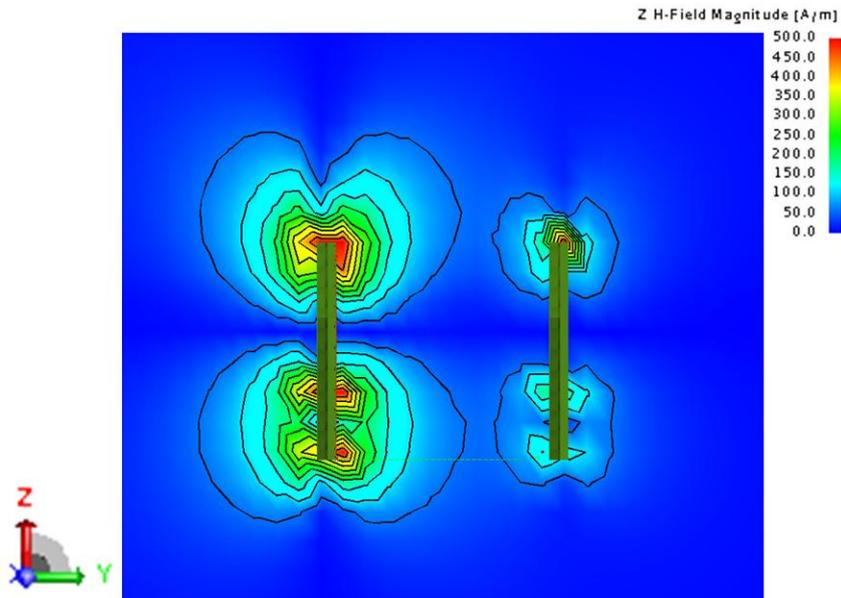


(b)



(c)

[그림 8] 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 분포. (b), (c) 서로 다른 x 좌표에 따른 제안하는 코일의 자기장 분포.



(d)

[그림 8] 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 분포. (d) 서로 다른 x 좌표에 따른 제안하는 코일의 자기장 분포.

[표 4]에서는 [표 3]과 마찬가지로의 조건에서 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장의 세기를 기록하였다. 기생 코일이 없던 [표 3]에 비해 [표 4]에서는 송신부에서 먼 감시 영역에서도 비교적 큰 차이로 z 성분 자기장 값이 측정되었다.

단위 : A/m

| | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| 송 신 부 | 478 | 190 | 108 | 68.7 | 48.8 | 44.8 | 64.6 | 수 신 부 |
| | 204 | 177 | 111 | 69.9 | 48.5 | 44.5 | 56.2 | |
| | 341 | 160 | 87.2 | 52.5 | 35.9 | 34.1 | 53.5 | |
| | 40.9 | 44.8 | 30.3 | 19.1 | 13.1 | 11.9 | 13.7 | |
| | 40.8 | 44.8 | 30.4 | 19.2 | 13.1 | 11.8 | 13.7 | |
| | 363 | 161 | 87.3 | 52.6 | 35.9 | 34 | 53.3 | |
| | 204 | 177 | 111 | 69.9 | 48.5 | 44.4 | 56 | |
| | 473 | 190 | 108 | 68.6 | 48.8 | 44.8 | 64.5 | |

(a)

| | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------------|
| 송 신 부 | 463 | 180 | 104 | 68.1 | 49.7 | 46.8 | 69.9 | 수 신 부 |
| | 339 | 202 | 122 | 76.2 | 53.5 | 51.9 | 71.7 | |
| | 497 | 208 | 109 | 63.9 | 43.5 | 45.5 | 78.7 | |
| | 367 | 121 | 57.8 | 31.1 | 20.3 | 23.4 | 47.7 | |
| | 349 | 122 | 58.1 | 31.3 | 20.5 | 23.5 | 47.8 | |
| | 496 | 209 | 110 | 64.1 | 43.6 | 45.6 | 79 | |
| | 342 | 202 | 122 | 76.3 | 53.5 | 51.9 | 71.6 | |
| | 457 | 179 | 104 | 67.9 | 49.6 | 46.6 | 69.3 | |

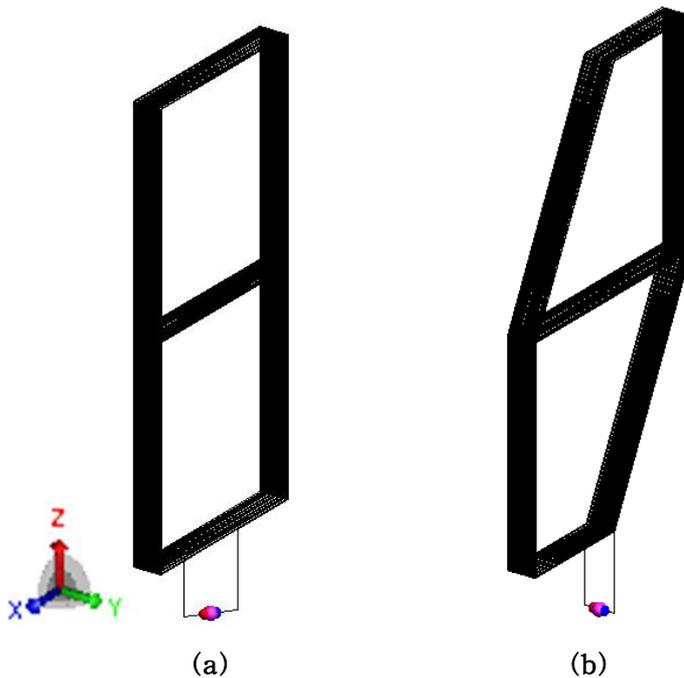


(b)

[표 4] 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 세기. (a) 영일전자의 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 세기. (b) 제안하는 기생 코일을 포함한 코일의 z 성분 자기장 세기.

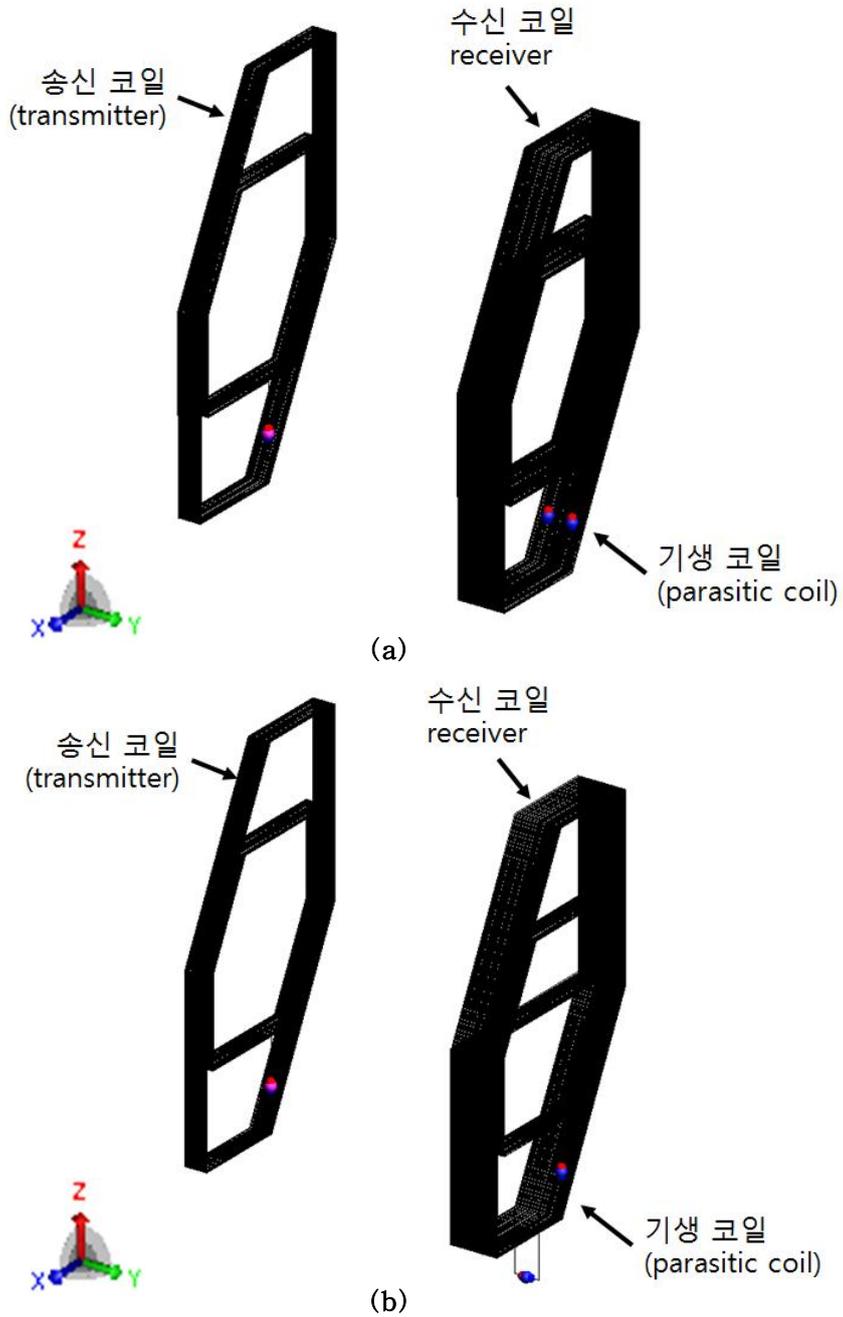
제 3 절 수신부 코일 설계

앞에서 언급한 바와 같이 고르게 자기장을 분포시키기 위해 송신부의 코일 모양이 중요하지만, 마찬가지로 수신부의 코일 모양 또한 중요하다. 송신부에서 발생한 신호가 태그를 거쳐서 수신부 코일을 통해 받아들여야만 최종적으로 EAS 시스템에서 감지하기 때문이다. [그림 9]는 영일전자의 수신부 코일과 본 논문에서 제안하는 수신부 코일의 3차원 모델도이다.



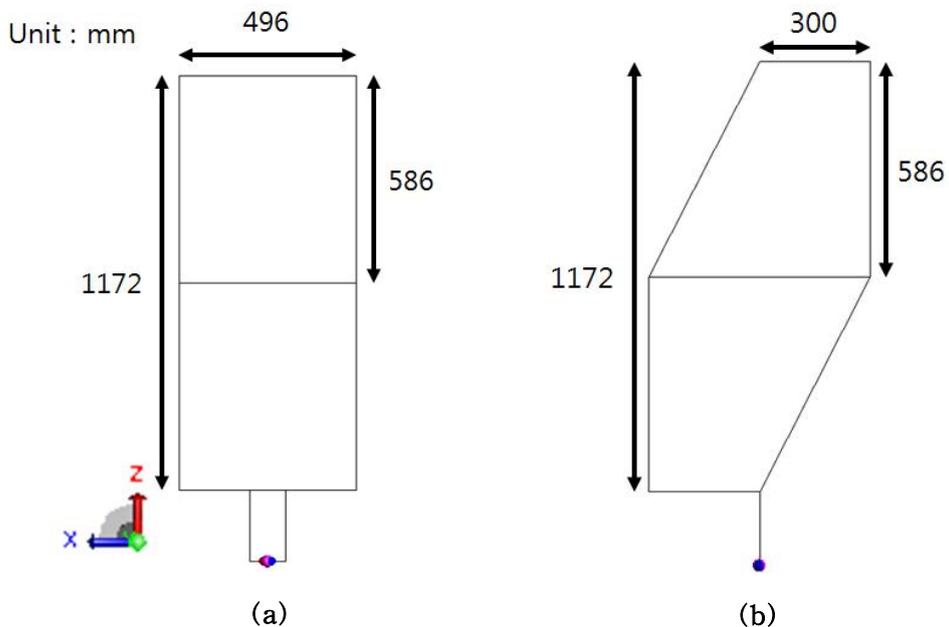
[그림 9] 수신부 코일의 3차원 모델도. (a) 영일전자의 수신부 코일. (b) 제안하는 수신부 코일.

‘8’자 코일을 설계하기 전에 송신부 코일과 같은 형태의 코일을 수신부 코일로 설계해 보았다. 그러나 실제 실험 측정 시 1 kHz의 신호가 수신부 코일에 너무 많이 유기되어 동작하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 태그를 거쳐서 나오는 미약한 고조파 신호를 수신부에서 감지해야 하는데 애초에 수신부 코일에 너무 많은 전류가 유기되어 흐르면 이를 감지하지 못하는 상황이 발생한다. 따라서 송신부에서 1 kHz 신호를 인가하였을 때 수신부에 인가되는 전류 값이 낮을수록 태그에 대한 감지율이 올라가게 된다. [그림 10(a)]는 송신부 코일과 같은 형태로 수신부 코일을 설계한 모습이고, [그림 10(b)]는 새로 제안하는 ‘8’자 형태의 코일을 수신부 코일로 설계한 모습이다. [그림 10(a)]에서 형태는 송신부 코일과 같게 수신부 코일을 설계하였지만 2 kHz에서 공진이 발생하도록 커패시터를 연결하였다.



[그림 10] 전체 코일의 3차원 모델도. (a) 송신 코일과 같은 형태의 코일을 수신 코일로 사용한 모델. (b) '8'자 코일을 수신부 코일로 사용한 모델.

수신부 코일은 ‘8’자 형태를 띠고 있다. [그림 11]에서 수신부 코일의 상세한 크기를 확인할 수 있다. 전류 또한 ‘8’자를 그리는 방향으로 흐르고 이는 [그림 12]을 통해 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 수신부 코일은 영일전자의 코일과 같은 임피던스를 가지도록 설계 하였다. 수신부 코일은 송신부 및 기생 코일과는 다르게 2 kHz의 신호를 받아들여야 하기 때문에 해당 주파수에서 공진이 일어나도록 커패시터를 연결하였다. 수신부 코일을 ‘8’자 형태로 설계한 것은 송신부 코일 및 기생 코일과의 상호 간섭을 최소화하여 1 kHz의 신호가 수신부 코일에 유기되지 않게 하기 위함이다.

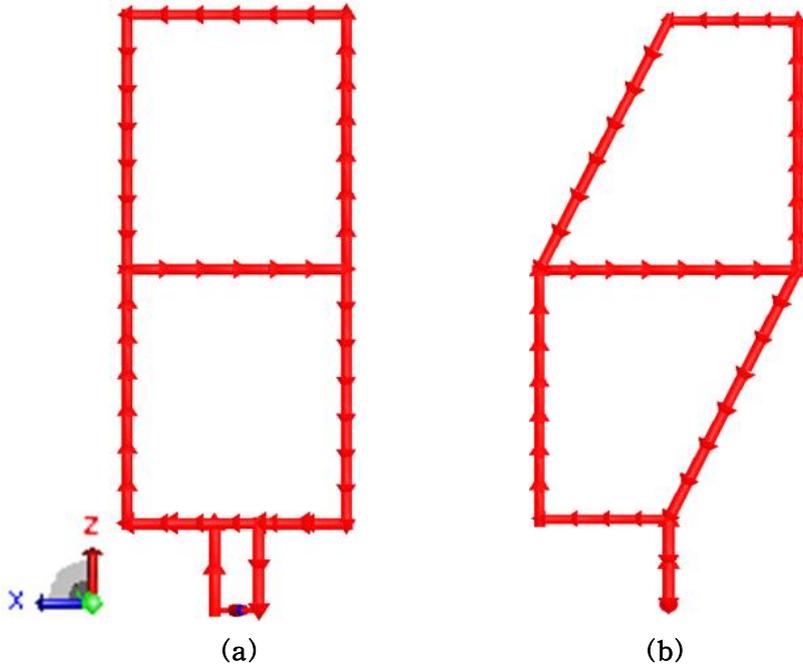


[그림 11] 수신부 코일의 xz 평면도. (a) 영일전자의 수신부 코일. (b) 제안하는 수신부 코일.

| | 송신 코일에 흐르는 전류 값 | 기생 코일에 흐르는 전류 값 | 수신 코일에 흐르는 전류 값 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 영일전자 | 3.72 A | 1.02 A | 0.00044 A |
| 송신 코일과 같은 코일을 수신코일로 사용한 경우 | 3.86 A | 0.721 A | 0.119 A |
| '8'자 코일을 수신 코일로 사용한 경우 | 3.7 A | 1.05 A | 0.000952 A |

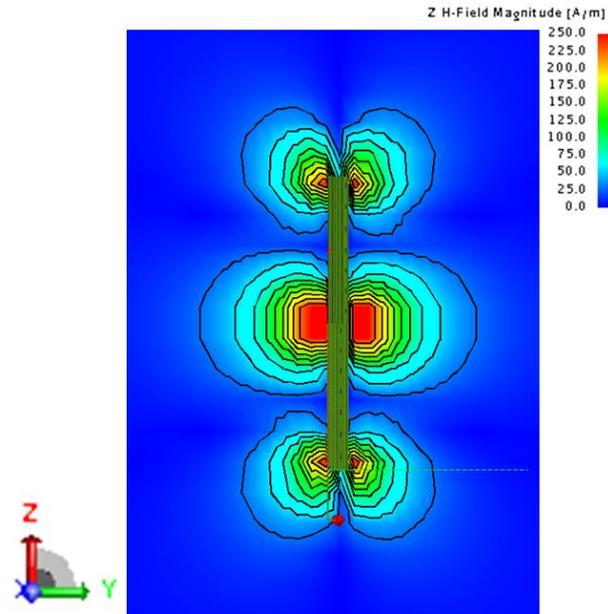
[표 3] 같은 전압 46 V를 인가하였을 때 각 코일에 흐르는 전류 값.

[표 3]은 송신부 코일에 전압 46 V를 인가하였을 때 송신부 코일, 기생 코일 그리고 수신부 코일에 흐르는 전류 값을 나타낸 것이다. 송신 코일과 같은 코일을 수신 코일로 사용한 경우, 수신 코일에 비교적 매우 높은 값의 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다. '8'자 코일을 수신 코일로 사용한 경우에 유기되는 전류 값이 앞의 경우의 약 8 % 가량으로 상당히 줄어들어졌고, 상호 간섭이 줄어들었음을 확인할 수 있다.

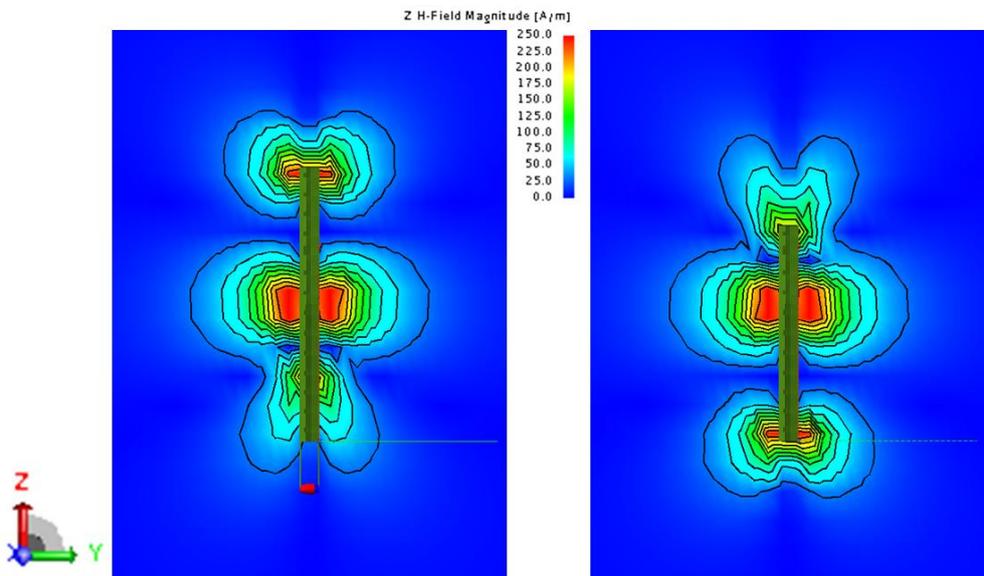


[그림 12] 수신부 코일의 전류 분포. (a) 영일전자의 수신부 코일의 전류 분포. (b) 제안하는 수신부 코일의 전류 분포.

또한 송신부와 마찬가지로 수신부 코일은 송신 및 기생 코일과의 상호 간섭을 최소화 하는 '8'자 형태를 유지하면서 영일전자의 수신부 코일에 비해 넓은 z 범위에서 z 성분 자기장을 수신 가능하도록 설계하였다. 이는 [그림 13]을 통해 확인 가능하다. 송신부 코일과 같이 x 좌표에 따라 null 공간이 바뀐다.



(a)



(b)

[그림 13] 수신부 코일의 z 성분 자기장 분포도. (a) 영일전자의 수신부 코일의 자기장 분포도. (b) 제안하는 수신부 코일의 자기장 분포도.

[표 5]는 송신부 코일에서 전류를 인가하여 신호를 내보냈을 시에 각 공간좌표에서 측정되는 z 성분 자기장 값을 기록한 것이다. 50 A/m 이상인 값을 가지는 좌표는 음영 처리하여 그렇지 않은 부분과의 차이를 시각적으로 눈에 띄도록 하였다.

[표 6]은 태그를 루프로 가정하여 일정한 전류 1 A가 흐르도록 하였을 때 z 성분 자기장이 발생되도록 하고, 그로 인해 수신부 코일에 유기되는 전류 값을 측정하였다. 우선 y 좌표를 고정시킨 후 x, z 좌표를 변화시켰다. 그리고 [표 5]와 마찬가지로 시각적으로 눈에 띄도록 4 nA 이상인 값을 가지는 좌표는 음영 처리하였다.

[표 7]은 본 논문에서 제안하는 코일을 사용하여 실제 z 성분 방향의 태그가 감지되는 성공 여부를 실험한 결과를 O, X로 표시한 것이다.

송신부 코일의 신호에 의해 태그에서 고조파 성분이 발생되고, 그 신호로 인해 수신부 코일에 전류를 유기시키는 원리를 고려하였을 때 [표 5]와 [표 6]의 값과 [표 7]의 결과가 상관관계가 있다고 볼 수 있다.

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 31.97247 | 41.7417 | 55.79132 | 76.96854 | 110.6693 | 166.6507 | 256.6183 | 364.0155 | 430.4873 | 454.7722 | 458.2043 | 447.7126 | 419.5343 | 358.7485 | 249.9892 |
| | 0.16743 | 64.5122 | 91.58126 | 132.8289 | 195.034 | 278.6884 | 341.3419 | 322.5817 | 278.8459 | 248.7892 | 229.599 | 213.6566 | 195.4634 | 171.6355 | 141.6088 | 108.9124 |
| | 0.33486 | 134.2078 | 213.2132 | 334.7269 | 462.4431 | 496.3203 | 462.3099 | 431.5715 | 412.1919 | 398.2385 | 384.6368 | 367.7682 | 342.1739 | 297.9234 | 224.1768 | 138.2676 |
| | 0.50229 | 245.2207 | 353.3799 | 346.9253 | 250.5113 | 166.579 | 114.4154 | 83.15979 | 62.91837 | 47.56994 | 33.43894 | 18.27446 | 1.39858 | 16.8407 | 30.07741 | 32.47388 |
| | 0.66971 | 32.76512 | 30.40752 | 17.23248 | 1.075101 | 17.75174 | 32.89183 | 47.02587 | 62.40111 | 82.69396 | 114.0474 | 166.4416 | 250.9394 | 347.7816 | 352.9911 | 244.1101 |
| | 0.83714 | 136.3148 | 220.5358 | 293.175 | 337.2226 | 363.0644 | 380.5001 | 395.2123 | 411.1615 | 432.4601 | 464.0054 | 497.6165 | 461.3592 | 333.4337 | 212.6392 | 133.9644 |
| | 1.00457 | 108.6531 | 141.2541 | 171.2139 | 195.0275 | 213.2521 | 229.2477 | 248.4452 | 278.2239 | 320.8448 | 338.3469 | 276.9675 | 194.5029 | 132.689 | 91.55814 | 64.51492 |
| | 1.172 | 254.1625 | 365.4338 | 426.8679 | 454.4171 | 464.1365 | 459.6555 | 433.8174 | 365.2238 | 257.1906 | 167.3476 | 111.2785 | 77.42199 | 56.11032 | 41.96259 | 32.12567 |

(a)

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 49.38532 | 60.28693 | 73.59093 | 89.33358 | 107.5611 | 127.3601 | 146.8556 | 163.4326 | 174.7944 | 179.8359 | 178.4408 | 170.7965 | 157.1348 | 138.1349 | 115.6276 |
| | 0.16743 | 81.15427 | 101.5388 | 125.0752 | 150.0779 | 173.3463 | 191.0647 | 200.8962 | 203.2154 | 199.9322 | 192.6094 | 181.8037 | 167.4742 | 149.6773 | 129.1359 | 107.4063 |
| | 0.33486 | 113.6223 | 141.716 | 169.3674 | 191.7946 | 205.2909 | 209.5025 | 206.8183 | 199.9665 | 190.5621 | 179.0417 | 165.1145 | 148.2509 | 128.2596 | 105.9739 | 83.49796 |
| | 0.50229 | 101.1949 | 116.4354 | 122.3798 | 118.1576 | 106.8815 | 92.65259 | 78.17189 | 64.41313 | 51.31679 | 38.52083 | 25.87041 | 13.74822 | 3.272765 | 4.864756 | 9.010808 |
| | 0.66971 | 9.424552 | 5.326254 | 2.777307 | 13.18868 | 25.29422 | 37.95231 | 50.77981 | 63.92687 | 77.74829 | 92.29525 | 106.5826 | 117.8919 | 122.1088 | 116.1383 | 100.8939 |
| | 0.83714 | 82.59919 | 104.8182 | 126.9054 | 146.8073 | 163.7069 | 177.789 | 189.5604 | 199.2602 | 206.3698 | 209.2038 | 205.0241 | 191.4974 | 169.0514 | 141.4241 | 113.382 |
| | 1.00457 | 107.2405 | 128.9197 | 149.4158 | 167.182 | 181.4963 | 192.2942 | 199.6024 | 202.8536 | 200.4948 | 190.6515 | 172.9758 | 149.7889 | 124.8712 | 101.4016 | 81.06278 |
| | 1.172 | 116.5777 | 139.335 | 158.4911 | 172.1877 | 179.7512 | 180.9681 | 175.6811 | 164.0598 | 147.2719 | 127.642 | 107.7674 | 89.44441 | 73.65885 | 60.38812 | 49.46429 |

(b)

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 48.10667 | 55.54869 | 63.60509 | 72.03872 | 80.47797 | 88.42249 | 95.29035 | 100.5056 | 103.5969 | 104.2664 | 102.4103 | 98.11142 | 91.63423 | 83.42649 | 74.09882 |
| | 0.16743 | 66.28681 | 76.99899 | 88.00058 | 98.60816 | 108.0236 | 115.4933 | 120.4759 | 122.7242 | 122.2467 | 119.2009 | 113.8102 | 106.3493 | 97.18293 | 86.80265 | 75.81548 |
| | 0.33486 | 73.31543 | 84.10232 | 93.94518 | 101.9611 | 107.4953 | 110.2704 | 110.3737 | 108.1136 | 103.8541 | 97.91522 | 90.56121 | 82.05123 | 72.70793 | 62.95741 | 53.3039 |
| | 0.50229 | 50.45558 | 55.24171 | 57.95157 | 58.2531 | 56.25685 | 52.38837 | 47.17953 | 41.10824 | 34.54936 | 27.8078 | 21.18012 | 14.99435 | 9.596969 | 5.288525 | 2.27119 |
| | 0.66971 | 1.979291 | 4.934339 | 9.210479 | 14.58783 | 20.76503 | 27.39545 | 34.14988 | 40.72929 | 46.82545 | 52.06007 | 55.95229 | 57.96948 | 57.68611 | 54.99411 | 50.22812 |
| | 0.83714 | 52.89914 | 62.48954 | 72.19196 | 81.5102 | 90.02215 | 97.40407 | 103.9907 | 107.7079 | 110.0249 | 109.9696 | 107.2307 | 101.7233 | 93.72973 | 83.9087 | 73.14471 |
| | 1.00457 | 75.73349 | 86.70533 | 97.07062 | 106.224 | 113.6745 | 119.0576 | 122.098 | 122.5721 | 120.3231 | 115.344 | 107.883 | 98.48107 | 87.88985 | 76.90526 | 66.20888 |
| | 1.172 | 74.43532 | 83.81574 | 92.05757 | 98.54438 | 102.8269 | 104.6437 | 103.919 | 100.7658 | 95.49148 | 88.57365 | 80.59061 | 72.1232 | 63.66927 | 55.59799 | 46.14472 |

(c)

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 40.41545 | 44.99789 | 49.63195 | 54.15328 | 58.36611 | 62.05623 | 65.0103 | 67.03821 | 67.99484 | 67.79546 | 66.42741 | 63.95092 | 60.49667 | 56.25559 | 51.46134 |
| | 0.16743 | 49.17032 | 54.80724 | 60.28181 | 65.32885 | 69.676 | 73.0756 | 75.3335 | 76.32708 | 76.00999 | 74.40707 | 71.60597 | 67.7498 | 63.03076 | 57.68106 | 51.95728 |
| | 0.33486 | 47.31951 | 52.19397 | 56.53195 | 60.06866 | 62.5947 | 63.98164 | 64.18843 | 63.25033 | 61.25891 | 58.34325 | 54.65739 | 50.37477 | 45.685 | 40.7877 | 35.86047 |
| | 0.50229 | 28.09584 | 29.94855 | 31.07108 | 31.34844 | 30.75316 | 29.34093 | 27.23005 | 24.57623 | 21.55213 | 18.33472 | 15.09771 | 12.00393 | 9.194194 | 6.773482 | 4.799253 |
| | 0.66971 | 4.57525 | 6.529357 | 8.933479 | 11.73102 | 14.81751 | 18.0522 | 21.27191 | 24.30223 | 26.96528 | 29.08753 | 30.51255 | 31.12162 | 30.85891 | 29.75191 | 27.91561 |
| | 0.83714 | 35.66756 | 40.55302 | 45.4333 | 50.1124 | 54.39155 | 58.08102 | 61.00627 | 63.01152 | 63.96581 | 63.77586 | 62.40538 | 59.89501 | 56.37327 | 52.04981 | 47.18957 |
| | 1.00457 | 51.90557 | 57.62327 | 62.96693 | 67.69035 | 71.53162 | 74.32879 | 75.92888 | 76.24437 | 75.2505 | 72.99372 | 69.59667 | 65.2534 | 60.21131 | 54.74241 | 49.11152 |
| | 1.172 | 51.59843 | 56.40683 | 60.65677 | 64.11337 | 66.58536 | 67.94268 | 68.12634 | 67.15153 | 65.10441 | 62.13205 | 58.42564 | 54.19908 | 49.66567 | 45.02363 | 40.43421 |

(d)

[표 5] 송신부 코일의 신호에 의해 각 공간좌표에서 측정되는 z 성분 자기장 값(A/m). y 좌표를 고정시켰을 때 각 x, z 좌표를 변화시켜 기록하였다. (a) y=57.1429mm. (b) y=171.429 mm, (c) y=285.714 mm, (d) y=400 mm, (e) y=514.286, (f) y=628.571 mm, (g) y=742.857 mm

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 32.7462 | 35.76486 | 38.72993 | 41.54175 | 44.08891 | 46.25522 | 47.92902 | 49.01383 | 49.43851 | 49.1652 | 48.19395 | 46.56383 | 44.35053 | 41.66045 | 38.62132 |
| | 0.16743 | 37.14387 | 40.6245 | 43.93626 | 46.93639 | 49.48107 | 51.44009 | 52.71055 | 53.22621 | 52.96127 | 51.92934 | 50.18017 | 47.79564 | 44.88517 | 41.57938 | 38.02088 |
| | 0.33486 | 33.45793 | 36.31884 | 38.84346 | 40.89477 | 42.36189 | 43.17278 | 43.2988 | 42.75153 | 41.57515 | 39.83827 | 37.62756 | 35.04321 | 32.195 | 29.19717 | 26.16134 |
| | 0.50229 | 18.52955 | 19.5355 | 20.14001 | 20.28408 | 19.9507 | 19.16396 | 17.98079 | 16.48006 | 14.75314 | 12.89682 | 11.00778 | 9.176662 | 7.481093 | 5.978352 | 4.700285 |
| | 0.66971 | 4.537373 | 5.799313 | 7.287858 | 8.971913 | 10.79471 | 12.67887 | 14.53375 | 16.26252 | 17.76808 | 18.9587 | 19.75508 | 20.09984 | 19.96838 | 19.37721 | 18.38488 |
| | 0.83714 | 26.01664 | 29.03993 | 32.02746 | 34.86831 | 37.44868 | 39.65895 | 41.39877 | 42.58111 | 43.13671 | 43.02066 | 42.22064 | 40.7646 | 38.72412 | 36.20979 | 33.35858 |
| | 1.00457 | 37.98219 | 41.53773 | 44.84083 | 47.74901 | 50.13176 | 51.87972 | 52.91103 | 53.17587 | 52.66053 | 51.39069 | 49.4325 | 46.88884 | 43.88997 | 40.57977 | 37.10103 |
| 1.172 | 38.69865 | 41.74518 | 44.44047 | 46.65621 | 48.28568 | 49.25317 | 49.51994 | 49.08652 | 47.99154 | 46.30702 | 44.13022 | 41.57341 | 38.75317 | 35.78105 | 32.75671 | |

(e)

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 26.97807 | 29.59886 | 32.34503 | 35.16298 | 37.95813 | 40.5856 | 42.85625 | 44.56554 | 45.53684 | 45.65621 | 44.88329 | 43.24631 | 40.83906 | 37.82423 | 34.42784 |
| | 0.16743 | 31.34989 | 35.01394 | 38.79106 | 42.46218 | 45.73925 | 48.32995 | 50.02085 | 50.72378 | 50.45712 | 49.29156 | 47.31078 | 44.60858 | 41.31006 | 37.59081 | 33.6712 |
| | 0.33486 | 30.82097 | 34.67705 | 38.25262 | 41.18553 | 43.19708 | 44.17501 | 44.1693 | 43.31767 | 41.76605 | 39.62823 | 36.98756 | 33.9239 | 30.54704 | 27.01654 | 23.5286 |
| | 0.50229 | 19.85481 | 21.64168 | 22.61483 | 22.6396 | 21.79515 | 20.294 | 18.36741 | 16.19651 | 13.90594 | 11.59385 | 9.367868 | 7.363992 | 5.727696 | 4.544085 | 3.759903 |
| | 0.66971 | 3.663578 | 4.4073 | 5.55007 | 7.154957 | 9.139102 | 11.35519 | 13.66505 | 15.95948 | 18.13927 | 20.07908 | 21.59727 | 22.46187 | 22.45896 | 21.50712 | 19.73871 |
| | 0.83714 | 23.35727 | 26.82196 | 30.33334 | 33.69679 | 36.75373 | 39.39507 | 41.54136 | 43.10911 | 43.98352 | 44.01648 | 43.06682 | 41.08058 | 38.16704 | 34.60422 | 30.75567 |
| | 1.00457 | 33.63439 | 37.55169 | 41.26995 | 44.569 | 47.27353 | 49.25871 | 50.43076 | 50.70527 | 50.00874 | 48.32348 | 45.73327 | 42.45301 | 38.77677 | 34.99446 | 31.32637 |
| 1.172 | 34.54627 | 37.96546 | 40.99992 | 43.42114 | 45.06449 | 45.835 | 45.70404 | 44.71289 | 42.97804 | 40.67986 | 38.02658 | 35.20974 | 32.37501 | 29.61661 | 26.98728 | |

(f)

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 21.8233 | 24.63658 | 28.16271 | 32.64693 | 38.30091 | 45.09648 | 52.43811 | 59.07474 | 63.74133 | 65.91021 | 65.65626 | 63.11437 | 58.27074 | 51.2008 | 42.63058 |
| | 0.16743 | 28.74723 | 34.87488 | 42.52164 | 51.2776 | 59.82777 | 66.19362 | 69.1146 | 69.05233 | 67.25272 | 64.48361 | 60.85983 | 56.20671 | 50.41035 | 43.67208 | 36.59262 |
| | 0.33486 | 38.16359 | 48.69507 | 59.81653 | 69.05239 | 74.20517 | 75.20237 | 73.60774 | 70.84526 | 67.54465 | 63.75273 | 59.20861 | 53.52393 | 46.40996 | 38.09554 | 29.63644 |
| | 0.50229 | 36.75266 | 43.36202 | 45.32814 | 42.37932 | 36.73586 | 30.67342 | 25.24971 | 20.58007 | 16.40532 | 12.44624 | 8.60963 | 5.260444 | 3.761863 | 4.52031 | 5.168339 |
| | 0.66971 | 5.290265 | 4.633472 | 3.72752 | 5.020519 | 8.310943 | 12.13811 | 16.10251 | 20.28925 | 24.97377 | 30.41276 | 36.49198 | 42.16413 | 45.17001 | 43.27567 | 36.70523 |
| | 0.83714 | 29.26952 | 37.65409 | 45.91801 | 52.99719 | 58.86041 | 63.20068 | 67.01118 | 70.35617 | 73.19183 | 74.89209 | 74.02808 | 68.99798 | 59.82091 | 48.70398 | 38.15804 |
| | 1.00457 | 36.52306 | 43.59013 | 50.3212 | 56.11521 | 60.77205 | 64.41064 | 67.21398 | 69.07386 | 69.21253 | 66.3412 | 59.95997 | 51.36037 | 42.55971 | 34.88374 | 28.73948 |
| 1.172 | 42.98443 | 51.66927 | 58.83376 | 63.7465 | 66.32881 | 66.58736 | 64.37449 | 59.60236 | 52.81436 | 45.32842 | 38.42857 | 32.71096 | 28.19162 | 24.64711 | 21.82445 | |

(g)

[표 5] 송신부 코일의 신호에 의해 각 공간좌표에서 측정되는 z 성분 자기장 값(A/m). y 좌표를 고정시켰을 때 각 x, z 좌표를 변화시켜 기록하였다. (a) y=57.1429mm. (b) y=171.429 mm, (c) y=285.714 mm, (d) y=400 mm, (e) y=514.286, (f) y=628.571 mm, (g) y=742.857 mm

| | | x (m) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z (m) | 0 | 2.05E-10 | 2.88E-10 | 3.74E-10 | 4.61E-10 | 5.44E-10 | 6.22E-10 | 6.91E-10 | 7.50E-10 | 7.95E-10 | 8.25E-10 | 8.39E-10 | 8.38E-10 | 8.21E-10 | 7.91E-10 | 7.49E-10 |
| | 0.16743 | 9.86E-10 | 9.88E-10 | 9.83E-10 | 9.71E-10 | 9.53E-10 | 9.31E-10 | 9.04E-10 | 8.73E-10 | 8.41E-10 | 8.07E-10 | 7.72E-10 | 7.37E-10 | 7.02E-10 | 6.69E-10 | 6.36E-10 |
| | 0.33486 | 2.47E-09 | 2.60E-09 | 2.71E-09 | 2.80E-09 | 2.88E-09 | 2.93E-09 | 2.96E-09 | 2.96E-09 | 2.94E-09 | 2.89E-09 | 2.82E-09 | 2.72E-09 | 2.61E-09 | 2.48E-09 | 2.34E-09 |
| | 0.50229 | 3.57E-09 | 3.78E-09 | 3.98E-09 | 4.15E-09 | 4.30E-09 | 4.40E-09 | 4.46E-09 | 4.48E-09 | 4.46E-09 | 4.40E-09 | 4.29E-09 | 4.14E-09 | 3.97E-09 | 3.76E-09 | 3.54E-09 |
| | 0.66971 | 3.54E-09 | 3.77E-09 | 3.97E-09 | 4.15E-09 | 4.29E-09 | 4.40E-09 | 4.46E-09 | 4.48E-09 | 4.46E-09 | 4.40E-09 | 4.29E-09 | 4.15E-09 | 3.98E-09 | 3.78E-09 | 3.56E-09 |
| | 0.83714 | 2.34E-09 | 2.49E-09 | 2.61E-09 | 2.73E-09 | 2.82E-09 | 2.89E-09 | 2.94E-09 | 2.96E-09 | 2.96E-09 | 2.93E-09 | 2.87E-09 | 2.80E-09 | 2.70E-09 | 2.59E-09 | 2.47E-09 |
| | 1.00457 | 6.41E-10 | 6.73E-10 | 7.07E-10 | 7.41E-10 | 7.75E-10 | 8.09E-10 | 8.43E-10 | 8.75E-10 | 9.04E-10 | 9.31E-10 | 9.53E-10 | 9.70E-10 | 9.81E-10 | 9.85E-10 | 9.83E-10 |
| 1.172 | 7.45E-10 | 7.87E-10 | 8.17E-10 | 8.34E-10 | 8.35E-10 | 8.21E-10 | 7.91E-10 | 7.49E-10 | 6.89E-10 | 6.20E-10 | 5.42E-10 | 4.59E-10 | 3.73E-10 | 2.87E-10 | 2.04E-10 | |

(a)

| | | x (m) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z (m) | 0 | 7.14E-10 | 8.87E-10 | 1.07E-09 | 1.24E-09 | 1.42E-09 | 1.58E-09 | 1.71E-09 | 1.83E-09 | 1.91E-09 | 1.95E-09 | 1.96E-09 | 1.93E-09 | 1.87E-09 | 1.78E-09 | 1.66E-09 |
| | 0.16743 | 9.82E-10 | 9.54E-10 | 9.16E-10 | 8.71E-10 | 8.21E-10 | 7.68E-10 | 7.14E-10 | 6.62E-10 | 6.14E-10 | 5.71E-10 | 5.34E-10 | 5.03E-10 | 4.78E-10 | 4.58E-10 | 4.43E-10 |
| | 0.33486 | 3.40E-09 | 3.61E-09 | 3.80E-09 | 3.97E-09 | 4.11E-09 | 4.21E-09 | 4.28E-09 | 4.30E-09 | 4.27E-09 | 4.20E-09 | 4.09E-09 | 3.93E-09 | 3.75E-09 | 3.53E-09 | 3.30E-09 |
| | 0.50229 | 5.39E-09 | 5.77E-09 | 6.14E-09 | 6.48E-09 | 6.75E-09 | 6.96E-09 | 7.10E-09 | 7.14E-09 | 7.11E-09 | 6.99E-09 | 6.79E-09 | 6.51E-09 | 6.18E-09 | 5.80E-09 | 5.38E-09 |
| | 0.66971 | 5.39E-09 | 5.80E-09 | 6.19E-09 | 6.52E-09 | 6.79E-09 | 6.99E-09 | 7.11E-09 | 7.14E-09 | 7.09E-09 | 6.96E-09 | 6.75E-09 | 6.47E-09 | 6.14E-09 | 5.76E-09 | 5.35E-09 |
| | 0.83714 | 3.31E-09 | 3.54E-09 | 3.75E-09 | 3.94E-09 | 4.09E-09 | 4.20E-09 | 4.27E-09 | 4.29E-09 | 4.27E-09 | 4.21E-09 | 4.10E-09 | 3.97E-09 | 3.80E-09 | 3.60E-09 | 3.39E-09 |
| | 1.00457 | 4.51E-10 | 4.66E-10 | 4.84E-10 | 5.09E-10 | 5.39E-10 | 5.75E-10 | 6.17E-10 | 6.64E-10 | 7.14E-10 | 7.67E-10 | 8.19E-10 | 8.68E-10 | 9.13E-10 | 9.50E-10 | 9.77E-10 |
| 1.172 | 1.66E-09 | 1.77E-09 | 1.87E-09 | 1.93E-09 | 1.96E-09 | 1.95E-09 | 1.90E-09 | 1.82E-09 | 1.71E-09 | 1.57E-09 | 1.41E-09 | 1.24E-09 | 1.06E-09 | 8.85E-10 | 7.13E-10 | |

(b)

| | | x (m) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z (m) | 0 | 1.64E-09 | 2.00E-09 | 2.38E-09 | 2.76E-09 | 3.13E-09 | 3.47E-09 | 3.77E-09 | 4.01E-09 | 4.19E-09 | 4.25E-09 | 4.24E-09 | 4.14E-09 | 3.97E-09 | 3.72E-09 | 3.42E-09 |
| | 0.16743 | 6.61E-10 | 5.39E-10 | 4.04E-10 | 2.63E-10 | 1.23E-10 | 7.00E-12 | 1.21E-10 | 2.13E-10 | 2.80E-10 | 3.22E-10 | 3.36E-10 | 3.27E-10 | 2.95E-10 | 2.46E-10 | 1.84E-10 |
| | 0.33486 | 4.60E-09 | 4.96E-09 | 5.29E-09 | 5.60E-09 | 5.86E-09 | 6.07E-09 | 6.22E-09 | 6.30E-09 | 6.30E-09 | 6.21E-09 | 6.04E-09 | 5.80E-09 | 5.48E-09 | 5.12E-09 | 4.72E-09 |
| | 0.50229 | 8.25E-09 | 9.05E-09 | 9.81E-09 | 1.05E-08 | 1.11E-08 | 1.15E-08 | 1.18E-08 | 1.19E-08 | 1.19E-08 | 1.16E-08 | 1.13E-08 | 1.07E-08 | 1.00E-08 | 9.29E-09 | 8.46E-09 |
| | 0.66971 | 8.47E-09 | 9.29E-09 | 1.00E-08 | 1.07E-08 | 1.13E-08 | 1.16E-08 | 1.19E-08 | 1.19E-08 | 1.18E-08 | 1.15E-08 | 1.11E-08 | 1.05E-08 | 9.80E-09 | 9.04E-09 | 8.24E-09 |
| | 0.83714 | 4.73E-09 | 5.13E-09 | 5.49E-09 | 5.80E-09 | 6.04E-09 | 6.21E-09 | 6.30E-09 | 6.30E-09 | 6.22E-09 | 6.07E-09 | 5.85E-09 | 5.59E-09 | 5.28E-09 | 4.94E-09 | 4.59E-09 |
| | 1.00457 | 1.71E-10 | 2.34E-10 | 2.84E-10 | 3.17E-10 | 3.28E-10 | 3.16E-10 | 2.77E-10 | 2.12E-10 | 1.22E-10 | 1.09E-11 | 1.17E-10 | 2.59E-10 | 3.96E-10 | 5.31E-10 | 6.52E-10 |
| 1.172 | 3.41E-09 | 3.71E-09 | 3.95E-09 | 4.13E-09 | 4.23E-09 | 4.24E-09 | 4.17E-09 | 4.00E-09 | 3.77E-09 | 3.47E-09 | 3.12E-09 | 2.75E-09 | 2.37E-09 | 2.00E-09 | 1.64E-09 | |

(c)

| | | x (m) | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z (m) | 0 | 3.18E-09 | 3.91E-09 | 4.71E-09 | 5.55E-09 | 6.40E-09 | 7.19E-09 | 7.90E-09 | 8.46E-09 | 8.85E-09 | 9.02E-09 | 8.96E-09 | 8.69E-09 | 8.21E-09 | 7.57E-09 | 6.81E-09 |
| | 0.16743 | 3.88E-10 | 7.80E-10 | 1.20E-09 | 1.62E-09 | 2.00E-09 | 2.33E-09 | 2.59E-09 | 2.75E-09 | 2.83E-09 | 2.81E-09 | 2.72E-09 | 2.55E-09 | 2.33E-09 | 2.05E-09 | 1.75E-09 |
| | 0.33486 | 5.87E-09 | 6.43E-09 | 6.98E-09 | 7.54E-09 | 8.06E-09 | 8.53E-09 | 8.91E-09 | 9.18E-09 | 9.29E-09 | 9.25E-09 | 9.03E-09 | 8.65E-09 | 8.13E-09 | 7.50E-09 | 6.80E-09 |
| | 0.50229 | 1.30E-08 | 1.47E-08 | 1.63E-08 | 1.77E-08 | 1.90E-08 | 2.00E-08 | 2.07E-08 | 2.10E-08 | 2.10E-08 | 2.05E-08 | 1.97E-08 | 1.89E-08 | 1.71E-08 | 1.55E-08 | 1.38E-08 |
| | 0.66971 | 1.38E-08 | 1.55E-08 | 1.71E-08 | 1.86E-08 | 1.97E-08 | 2.05E-08 | 2.10E-08 | 2.10E-08 | 2.07E-08 | 2.00E-08 | 1.90E-08 | 1.77E-08 | 1.63E-08 | 1.47E-08 | 1.30E-08 |
| | 0.83714 | 6.81E-09 | 7.51E-09 | 8.13E-09 | 8.65E-09 | 9.03E-09 | 9.24E-09 | 9.29E-09 | 9.18E-09 | 8.89E-09 | 8.51E-09 | 8.03E-09 | 7.51E-09 | 6.95E-09 | 6.40E-09 | 5.84E-09 |
| | 1.00457 | 1.73E-09 | 2.03E-09 | 2.30E-09 | 2.53E-09 | 2.70E-09 | 2.80E-09 | 2.82E-09 | 2.78E-09 | 2.60E-09 | 2.35E-09 | 2.02E-09 | 1.63E-09 | 1.22E-09 | 7.98E-10 | 4.05E-10 |
| 1.172 | 6.78E-09 | 7.54E-09 | 8.18E-09 | 8.69E-09 | 8.94E-09 | 8.99E-09 | 8.82E-09 | 8.45E-09 | 7.88E-09 | 7.18E-09 | 6.39E-09 | 5.55E-09 | 4.71E-09 | 3.91E-09 | 3.17E-09 | |

(d)

[표 6] z 성분 자기장을 만드는 태그의 신호에 의해 수신부 코일에 유기되는 전류 값(A). y 좌표를 고정시켰을 때 각 x, z 좌표의 변화시켜 기록하였다. (a) y=57.1429mm. (b) y=171.429 mm, (c) y=285.714 mm, (d) y=400 mm, (e) y=514.286, (f) y=628.571 mm, (g) y=742.857 mm

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 5.30E-09 | 6.77E-09 | 8.46E-09 | 1.04E-08 | 1.24E-08 | 1.44E-08 | 1.62E-08 | 1.78E-08 | 1.89E-08 | 1.94E-08 | 1.93E-08 | 1.86E-08 | 1.73E-08 | 1.56E-08 | 1.35E-08 |
| | 0.16743 | 2.82E-09 | 3.97E-09 | 5.22E-09 | 6.46E-09 | 7.56E-09 | 8.42E-09 | 8.97E-09 | 9.20E-09 | 9.14E-09 | 8.85E-09 | 8.37E-09 | 7.73E-09 | 6.94E-09 | 6.05E-09 | 5.09E-09 |
| | 0.33486 | 6.17E-09 | 6.79E-09 | 7.52E-09 | 8.41E-09 | 9.46E-09 | 1.06E-08 | 1.17E-08 | 1.26E-08 | 1.32E-08 | 1.34E-08 | 1.33E-08 | 1.27E-08 | 1.19E-08 | 1.08E-08 | 9.61E-09 |
| | 0.50229 | 2.09E-08 | 2.46E-08 | 2.82E-08 | 3.16E-08 | 3.46E-08 | 3.70E-08 | 3.87E-08 | 3.96E-08 | 3.96E-08 | 3.87E-08 | 3.69E-08 | 3.44E-08 | 3.11E-08 | 2.74E-08 | 2.35E-08 |
| | 0.66971 | 2.35E-08 | 2.74E-08 | 3.11E-08 | 3.43E-08 | 3.69E-08 | 3.86E-08 | 3.95E-08 | 3.96E-08 | 3.87E-08 | 3.70E-08 | 3.46E-08 | 3.16E-08 | 2.82E-08 | 2.45E-08 | 2.06E-08 |
| | 0.83714 | 9.63E-09 | 1.09E-08 | 1.19E-08 | 1.28E-08 | 1.33E-08 | 1.34E-08 | 1.32E-08 | 1.25E-08 | 1.16E-08 | 1.05E-08 | 9.39E-09 | 8.34E-09 | 7.45E-09 | 6.72E-09 | 6.11E-09 |
| | 1.00457 | 5.05E-09 | 6.01E-09 | 6.90E-09 | 7.69E-09 | 8.34E-09 | 8.83E-09 | 9.14E-09 | 9.21E-09 | 9.00E-09 | 8.46E-09 | 7.61E-09 | 6.50E-09 | 5.26E-09 | 4.01E-09 | 2.85E-09 |
| | 1.172 | 1.35E-08 | 1.55E-08 | 1.72E-08 | 1.85E-08 | 1.92E-08 | 1.93E-08 | 1.88E-08 | 1.77E-08 | 1.62E-08 | 1.44E-08 | 1.24E-08 | 1.03E-08 | 8.45E-09 | 6.75E-09 | 5.29E-09 |

(e)

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 7.07E-09 | 9.60E-09 | 1.29E-08 | 1.71E-08 | 2.22E-08 | 2.79E-08 | 3.39E-08 | 3.92E-08 | 4.31E-08 | 4.51E-08 | 4.53E-08 | 4.36E-08 | 4.00E-08 | 3.48E-08 | 2.84E-08 |
| | 0.16743 | 6.83E-09 | 9.90E-09 | 1.36E-08 | 1.76E-08 | 2.12E-08 | 2.35E-08 | 2.42E-08 | 2.36E-08 | 2.22E-08 | 2.07E-08 | 1.90E-08 | 1.73E-08 | 1.53E-08 | 1.30E-08 | 1.06E-08 |
| | 0.33486 | 2.07E-09 | 1.11E-09 | 6.09E-10 | 1.32E-09 | 3.56E-09 | 6.91E-09 | 1.05E-08 | 1.36E-08 | 1.59E-08 | 1.71E-08 | 1.74E-08 | 1.69E-08 | 1.57E-08 | 1.41E-08 | 1.21E-08 |
| | 0.50229 | 3.33E-08 | 4.19E-08 | 5.10E-08 | 5.97E-08 | 6.73E-08 | 7.33E-08 | 7.73E-08 | 7.94E-08 | 7.97E-08 | 7.80E-08 | 7.45E-08 | 6.88E-08 | 6.12E-08 | 5.20E-08 | 4.19E-08 |
| | 0.66971 | 4.19E-08 | 5.19E-08 | 6.11E-08 | 6.87E-08 | 7.43E-08 | 7.80E-08 | 7.96E-08 | 7.94E-08 | 7.73E-08 | 7.33E-08 | 6.74E-08 | 5.98E-08 | 5.10E-08 | 4.19E-08 | 3.32E-08 |
| | 0.83714 | 1.22E-08 | 1.41E-08 | 1.57E-08 | 1.69E-08 | 1.74E-08 | 1.71E-08 | 1.59E-08 | 1.36E-08 | 1.04E-08 | 6.77E-09 | 3.38E-09 | 1.11E-09 | 4.13E-10 | 9.41E-10 | 1.94E-09 |
| | 1.00457 | 1.06E-08 | 1.30E-08 | 1.52E-08 | 1.72E-08 | 1.90E-08 | 2.06E-08 | 2.23E-08 | 2.37E-08 | 2.44E-08 | 2.37E-08 | 2.13E-08 | 1.77E-08 | 1.37E-08 | 9.96E-09 | 6.87E-09 |
| | 1.172 | 2.83E-08 | 3.46E-08 | 3.97E-08 | 4.33E-08 | 4.50E-08 | 4.49E-08 | 4.29E-08 | 3.91E-08 | 3.38E-08 | 2.79E-08 | 2.21E-08 | 1.70E-08 | 1.29E-08 | 9.57E-09 | 7.04E-09 |

(e)

| | | x(m) | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | -0.3 | -0.2571 | -0.2143 | -0.1714 | -0.1286 | -0.0857 | -0.0429 | 0 | 0.04286 | 0.08571 | 0.12857 | 0.17143 | 0.21429 | 0.25714 | 0.3 |
| z(m) | 0 | 5.56E-09 | 8.17E-09 | 1.22E-08 | 1.66E-08 | 2.93E-08 | 4.74E-08 | 7.68E-08 | 1.13E-07 | 1.37E-07 | 1.46E-07 | 1.47E-07 | 1.44E-07 | 1.35E-07 | 1.16E-07 | 7.92E-08 |
| | 0.16743 | 8.17E-09 | 1.36E-08 | 2.24E-08 | 3.68E-08 | 5.70E-08 | 7.08E-08 | 6.10E-08 | 4.48E-08 | 3.41E-08 | 2.82E-08 | 2.47E-08 | 2.21E-08 | 1.94E-08 | 1.62E-08 | 1.27E-08 |
| | 0.33486 | 9.46E-09 | 2.10E-08 | 3.82E-08 | 4.88E-08 | 3.56E-08 | 1.58E-08 | 1.88E-09 | 6.47E-09 | 1.12E-08 | 1.35E-08 | 1.43E-08 | 1.41E-08 | 1.31E-08 | 1.15E-08 | 9.64E-09 |
| | 0.50229 | 3.35E-08 | 4.64E-08 | 7.59E-08 | 1.05E-07 | 1.25E-07 | 1.36E-07 | 1.43E-07 | 1.46E-07 | 1.46E-07 | 1.44E-07 | 1.40E-07 | 1.31E-07 | 1.18E-07 | 9.62E-08 | 6.92E-08 |
| | 0.66971 | 6.94E-08 | 9.62E-08 | 1.17E-07 | 1.31E-07 | 1.40E-07 | 1.44E-07 | 1.46E-07 | 1.46E-07 | 1.43E-07 | 1.36E-07 | 1.25E-07 | 1.05E-07 | 7.55E-08 | 4.55E-08 | 3.26E-08 |
| | 0.83714 | 9.75E-09 | 1.16E-08 | 1.32E-08 | 1.42E-08 | 1.44E-08 | 1.36E-08 | 1.12E-08 | 6.50E-09 | 1.90E-09 | 1.60E-08 | 3.62E-08 | 4.98E-08 | 3.88E-08 | 2.12E-08 | 9.58E-09 |
| | 1.00457 | 1.28E-08 | 1.63E-08 | 1.94E-08 | 2.21E-08 | 2.48E-08 | 2.83E-08 | 3.42E-08 | 4.50E-08 | 6.16E-08 | 7.18E-08 | 5.76E-08 | 3.70E-08 | 2.24E-08 | 1.35E-08 | 8.15E-09 |
| | 1.172 | 7.82E-08 | 1.14E-07 | 1.33E-07 | 1.42E-07 | 1.45E-07 | 1.44E-07 | 1.35E-07 | 1.12E-07 | 7.69E-08 | 4.74E-08 | 2.92E-08 | 1.85E-08 | 1.21E-08 | 8.08E-09 | 5.48E-09 |

(f)

[표 6] z 성분 자기장을 만드는 태그의 신호에 의해 수신부 코일에 유기되는 전류 값(A). y 좌표를 고정시켰을 때 각 x, z 좌표의 변화시켜 기록하였다. (a) y=57.1429mm. (b) y=171.429 mm, (c) y=285.714 mm, (d) y=400 mm, (e) y=514.286, (f) y=628.571 mm, (g) y=742.857 mm

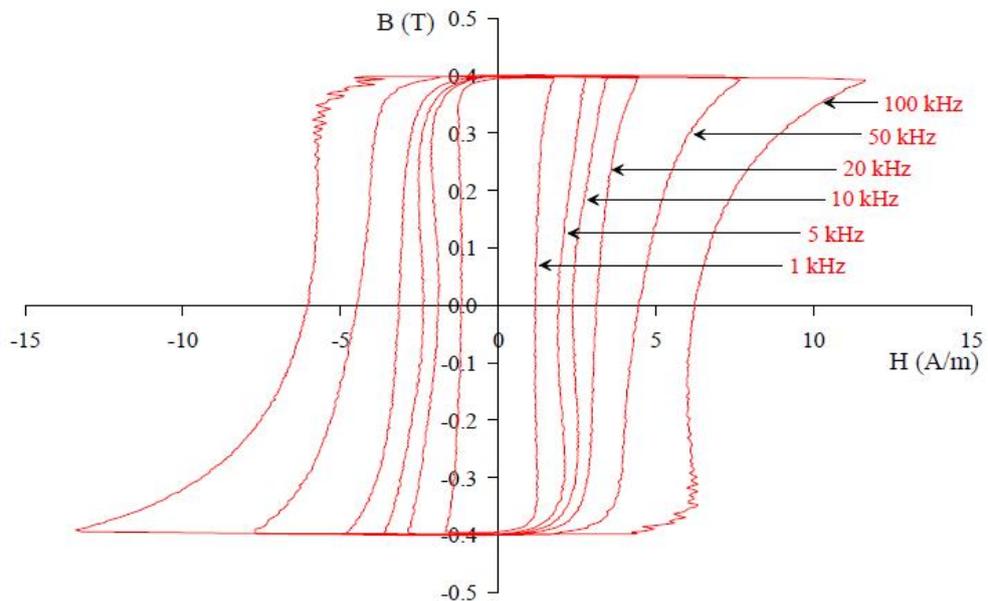
| | | | | | | | | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|-------------|
| 송 신 부 | X | X | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 수 신 부 |
| | ○ | ○ | X | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | ○ | ○ | ○ | X | X | ○ | ○ | |
| | ○ | ○ | ○ | X | X | ○ | ○ | |
| | ○ | ○ | X | X | X | ○ | ○ | |
| | ○ | ○ | X | X | X | ○ | ○ | |
| | X | X | X | X | X | ○ | ○ | |
| | X | ○ | X | X | X | ○ | ○ | |

[표 7] 본 논문에서 제안하는 코일을 사용하여 z 성분 방향의 태그 감지여부를 실험했을 때의 성공 여부를 나타낸 그림.

제 3 장 비선형 물질에 의한 고조파 성분

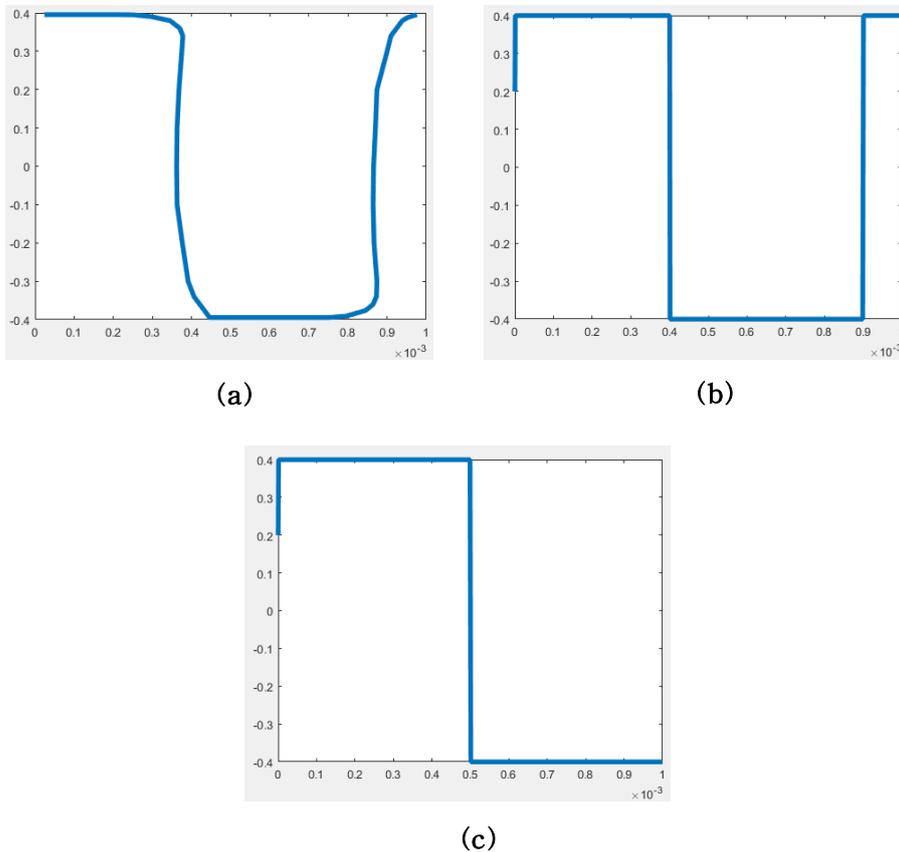
비선형 물질인 태그에 1 kHz의 신호가 인가되면 2 kHz, 3 kHz 와 같은 고조파 성분이 나오게 된다. 이를 푸리에 급수를 통해 확인하고자 하였다.

본 연구에서 사용한 태그는 코발트계 비정질 물질로 이루어져 있다. 이 물질의 주파수에 의한 자기이력곡선은 아래 [그림 14]와 같다[3].



[그림 14] 코발트계 비정질 물질의 자기이력곡선

본 연구에서는 1 kHz의 신호를 인가하였으므로 [그림 14]의 자기이력곡선 중 1 kHz에 해당하는 그래프를 사용하였다. 인가되는 1 kHz의 신호가 이상적인 사인과 형태의 그래프라 가정하였을 때, 위 그래프를 통해 시간에 따른 자속 B의 그래프를 Matlab을 사용하여 [그림 15]로 표현하였다.



[그림 15] 시간에 따른 자속의 그래프. (a) [그림 14]에 의한 시간에 따른 자속의 그래프. (b) (a)에 근사하는 계단함수 그래프. (c) 기함수로 만들기 위해 (b) 그래프를 평행이동 시킨 그래프.

[그림 15(a)]를 통해 시간에 따른 자속의 그래프가 계단함수에 근사함을 확인하였고, 그 계단함수를 [그림 15(b)]와 같이 표현할 수 있다. [그림 15(c)]와 같이 그래프를 평행이동 시킨 이유는 함수를 기함수로 만들어 푸리에 급수를 반 구간 전개로 간단하게 표현하기 위함이다. 그 식을 아래와 같이 나타내었다.

$$B(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) \quad (1)$$

$$a_n = 2\left(\frac{2}{T}\right) \int_0^{\frac{T}{2}} B(t) \sin\left(\frac{2n\pi}{T}t\right) dt \quad (2)$$

위 식의 T는 주기를 나타낸다. T에 주기 값을 대입하면 아래와 같이 된다.

$$a_n = \frac{0.8}{n\pi} (1 - (-1)^n) \quad (3)$$

위 식을 통해 푸리에 급수의 홀수 항은 존재하고 짝수 항은 모두 0이 됨을 확인할 수 있다.

이를 통해 본 연구에서 사용한 코발트계 비정질 물질에서는 매우 작은 짝수 항의 고조파가 발생됨을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 홀수

항이 아닌 짝수 항의 고조파를 수신부에서 사용하는 이유에 대한 상세한 연구가 요구된다.

제 4 장 Conclusion

본 연구에서는 EAS 시스템 중 EM 방식으로 동작하는 코일을 설계하였다. 기존 영일전자의 코일의 문제점을 개선한 코일을 제안하였다. 감시 영역에서 z 성분 자기장의 값을 키워 z 성분과 평행한 방향의 태그가 감시 영역에 들어올 시 감지율이 향상될 수 있도록 하였다. 본 연구의 주된 아이디어는 사람이 진행하는 방향의 좌표를 변수로 생각하였다는 점이다. 기존 영일전자의 코일은 사람이 진행하는 x 축 좌표에 따라 z 성분 자기장의 세기만 달라질 뿐이고 분포가 변하지 않았지만, 본 연구에서 제안하는 코일은 x 축 좌표에 따라 z 성분 자기장의 분포가 변하도록 설계되었다. 더 정확하게 기술하면, z 성분 자기장의 null 공간의 위치가 x 좌표에 따라 변하도록 하였다. 그리하여 y, z 좌표가 고정된 채로 z 축에 평행한 방향으로 고정된 태그가 코일 사이를 지나갈 때의 감지율을 향상시킬 수 있다. 본 연구는 EM 방식 도난 방지 시스템의 성능 향상에 크게 일조할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] 송용설, “상품 도난 방지 시스템용 자기 센서”, Journal of the Korean magnetics society, vol. 7, no. 5, pp. 280-283, 1997.
- [2] Alex Goldman, *Handbook of Modern Ferromagnetic Materials*, New York, Springer Science+Business Media, pp. 572-576, 1999.
- [3] Wieserman, William, Gene Schwarze, and Janis Niedra. "Magnetic and electrical characteristics of cobalt-based amorphous materials and comparison to a permalloy type polycrystalline material." 3rd International Energy Conversion Engineering Conference. 2005.

Abstract

**A Study on Z-component
H-Field Enhancement
of Coil for Electronic
Article Surveillance System**

Seungin No(14p)

Department of Electrical and Computer Engineering

The Graduate School

Seoul National University

In this paper, we design a coil used in Electronic Article Surveillance System to prevent shoplifting. We have studied Electro-Magnetic(EM) method among various operation methods of Electronic Article Surveillance System. The research was carried out

in order to improve the performance compared with the existing coil of Youngil Electronics.

Anti-theft systems prevent shoplifting by way of an alarm when the buyer passes the tagged item through the coils of the system in an improper way. The key requirement in this system is to have a high detection rate for any tag direction. In conventional coils of Youngil Electronics, the tags in the direction parallel to the x and y axes have a relatively high detection rate, whereas the tags in the direction parallel to the z axis deteriorate the detection rate significantly. The purpose of this study is to solve these problems.

The key idea of this study is to design the coil considering the walking direction of the person. Since the coil of the former Youngil Electronics does not change the distribution of the z -component magnetic field as the person walks, the null space is maintained at a constant height and there is an area which is not detected. In this study, by designing the coil obliquely compared with the conventional one, the change of the z -component magnetic field distribution as the person walks is made to minimize the area which is not detected through the change of the null space. The specific figures are shown in the data table of the text.

Keywords : Electronic Article Surveillance(EAS) System, Tag,
Electro-Magnetic(EM) system, Coil.

Student Number : 2015-20919