



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2016-0082585  
 (43) 공개일자 2016년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H02J 5/00 (2016.01) A61F 2/88 (2006.01)  
 B81B 3/00 (2006.01) H01F 38/14 (2006.01)  
 H02J 7/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류  
 H02J 5/005 (2013.01)  
 A61F 2/885 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0082514(분할)  
 (22) 출원일자 2016년06월30일  
 심사청구일자 없음  
 (62) 원출원 특허 10-2014-0118921  
 원출원일자 2014년09월05일  
 심사청구일자 2014년12월04일

(71) 출원인  
 한국전기연구원  
 경상남도 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)

(72) 발명자  
 박영진  
 서울특별시 강남구 선릉로 120, 11동 406호(대치동, 개포2차우성아파트)  
 김진욱  
 경기도 안산시 상록구 항가울로 114, 305호 (사동)  
 (뒷면에 계속)

(74) 대리인  
 특허법인충정

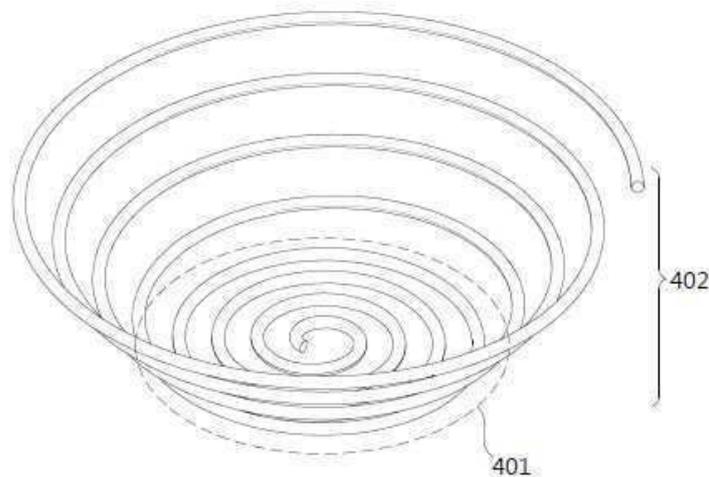
전체 청구항 수 : 총 29 항

(54) 발명의 명칭 무선 전력 송신 장치, 무선 전력 수신 장치 및 코일 구조물

**(57) 요약**

본 발명은, 무선 전력 전송을 위한 송신 장치에 관한 것으로, 보울 형상의 송신 장치 바디; 및 전력 소스로부터 공급되는 전력을 기반으로 수신 장치로 전력을 무선 전송하기 위한 송신 코일부를 포함하되, 상기 송신 코일부는, 상기 송신 장치 바디의 바닥면에 권선되는 스파이럴 코일부; 및 상기 송신 장치 바디의 옆면에 권선되는, 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선되며 상기 스파이럴 코일부의 끝단으로부터 연장되어 권선되는 헬리컬 코일부를 포함할 수 있다.

**대표도** - 도4



- (52) CPC특허분류
  - B81B 3/0091* (2013.01)
  - H01F 38/14* (2013.01)
  - H02J 7/00* (2013.01)
  - Y02B 60/50* (2013.01)

**양종렬**

경기도 과천시 별양로 12, 309동 1304호(원문동, 래미안슈르아파트)

- (72) 발명자

**김관호**

서울특별시 서초구 명달로6길 31, 101동 403호(서초동, 서초1차이편한세상)

**김도현**

경기도 안산시 상록구 후곡2길 35, 303호 (사동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711027099
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	한국전기연구원
연구사업명	한국전기연구원운영경비
연구과제명	사용자 친화형 무선통신 융합 스마트 보청기 개발
기 여 율	1/1
주관기관	한국전기연구원
연구기간	2015.01.01 ~ 2015.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

무선 전력 전송을 위한 송신 장치에 있어서,

보울 형상의 송신 장치 바디; 및

전력 소스로부터 공급되는 전력을 기반으로 수신 장치로 전력을 무선 전송하기 위한 송신 코일부를 포함하되,  
상기 송신 코일부는,

상기 송신 장치 바디의 바닥면에 권선되는 스파이럴 코일부; 및

상기 송신 장치 바디의 옆면에 권선되되, 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선되는 헬리컬 코일부를 포함하는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

제 1 항에 있어서, 상기 헬리컬 코일부는 상기 스파이럴 코일부의 끝단으로부터 연장되어 권선되는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 헬리컬 코일의 경사도는 상기 바닥면으로부터 5도 내지 90도 사이인 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 적어도 어느 하나는 소정 구간에서 반지름이 동일한 다수 개의 도선이 소정의 오차 범위 내에서 균등 간격으로 권선되는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 송신 코일부는,

상기 수신 장치의 수신 코일부에 쇄교하는 자속 밀도가 최대 또는 최소가 되는 환경조건에 따라 상기 수신 코일부의 배열이 상기 송신 코일부에 평행 또는 수직일 때의 자기장 세기에 기초하여 조정하는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전력 소스로부터 전력을 공급받아 상기 송신 코일부로 전달하는 소스 코일부를 더 포함하는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 수신 장치의 부하에 따라 상기 송신 코일부 내 임피던스 매칭을 조절하기 위한 하나 이상의 매칭 유닛을 더 포함하며,

상기 매칭 유닛은,

상기 전력 소스로부터 전력을 공급받아 상기 송신 코일부로 전달하는 송신 코일 및 상기 송신 코일과 독립된 소스 코일부를 더 포함하는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 송신 코일부의 주파수는,

상기 무선 전력 송신 장치 및 상기 수신 장치를 포함하는 무선 전력 시스템의 공진 주파수와 동일하도록 조정하는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 적어도 하나의 끝단에 하나 이상의 커패시터가 직렬 또는 병렬 연결되는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 10

제1항에 있어서,

상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 적어도 하나는 원형 코일, 다각형 코일 및 타원형 코일 중 어느 하나로 권선하는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 11

제1항에 있어서,

상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부를 구성하는 다수의 도선에 대하여 도선의 반지름, 코일부의 전체 폭 및 코일 턴수에 기초하여 도선간의 간격이 결정되는 무선 전력 전송 장치.

#### 청구항 12

제1항 또는 제11항에 있어서,

상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부는 루프 간의 간격이 등간격이 되도록 권선되는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 13

제1항에 있어서,

상기 송신 장치 바디는,

제1 케이스; 및

상기 제1 케이스와 결합하는 제2 케이스를 포함하고,

상기 제1 케이스 및 상기 제2 케이스 사이에는 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부가 배치되기 위한 홈이 형성되되,

상기 스파이럴 코일부는 상기 제1 케이스의 바닥면 하부에 배치되고,

상기 헬리컬 코일부는 상기 제1 케이스의 옆면을 따라 권선되고,

상기 제2 케이스는 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부의 적어도 일부를 하우징하는 무선 전력 송신 장치.

#### 청구항 14

제 1 항에 있어서, 상기 스파이럴 코일부는 제 1 교류 소스로부터 전력을 공급받고, 상기 헬리컬 코일부는 제 2

교류 소스로부터 전력을 공급받고,

상기 수신 장치가 수신하는 전력의 센싱 데이터를 취득하고, 상기 센싱 데이터를 기반으로 하여 상기 제 1 교류 소스 및 상기 제 2 교류 소스의 출력 전력을 제어하는 제어 유닛을 더 포함하는 무선 전력 송신 장치.

**청구항 15**

제 14 항에 있어서, 상기 제어 유닛은 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 상기 수신 장치로 전력을 더 많이 전송하는 코일부로 더 많은 전력이 공급되도록 제어하거나, 상기 수신 장치로 전력을 더 적게 전송하는 코일부로부터 적은 전력을 공급하도록 제어 하는 무선 전력 송신 장치.

**청구항 16**

제 14 항에 있어서, 상기 제어 유닛은 상기 제 1 교류 소스 및 상기 제 2 교류 소스가 기 설정된 전력을 공급하도록 제어하고, 상기 제어를 기반으로 하여 상기 수신 장치로부터 상기 센싱 데이터를 수신하는 무선 전력 송신 장치.

**청구항 17**

보울 바디;

상기 보울 바디의 바닥면으로부터 무선 전력을 공급하기 위한 자기장을 형성하는 스파이럴 코일부; 및

상기 보울 바디의 옆면으로부터 무선 전력을 공급하기 위한 헬리컬 코일부를 포함하고,

상기 스파이럴 코일부 및 헬리컬 코일부가 각기 단독으로 구비될 때보다 더 넓은 공간적인 영역에 무선 전력을 공급하기 위한 자기장을 형성하는 무선 전력 송신 장치.

**청구항 18**

제 17 항에 있어서, 상기 스파이럴 코일부는 상기 보울 바디의 바닥면 배치되고, 상기 헬리컬 코일부는 상기 보울 바디의 옆면을 따라 권선되되 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선되는 무선 전력 송신 장치.

**청구항 19**

무선 전력 수신을 위한 수신 장치에 있어서,

보울 형상의 수신 장치 바디; 및

무선 전력 송신 장치로부터 공급되는 전력을 수신하기 위한 수신 코일부를 포함하되,

상기 수신 코일부는,

상기 수신 장치 바디의 바닥면에 권선되는 스파이럴 코일부; 및

상기 수신 장치 바디의 옆면에 권선되되, 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선되는 헬리컬 코일부를 포함하는 무선 전력 수신 장치.

**청구항 20**

제 19 항에 있어서, 상기 헬리컬 코일부는 상기 스파이럴 코일부의 끝단으로부터 연장되어 권선되는 무선 전력 수신 장치.,

**청구항 21**

제 19 항에 있어서, 상기 수신 코일부는,

상기 수신 장치의 부하에 따라 상기 수신 코일부 내 임피던스 매칭을 조절하기 위한 하나 이상의 매칭 유닛을 더 포함하며,

상기 매칭 유닛은,

송신 코일부로부터 전력을 수신하기 위한 수신 코일 및 상기 수신 장치의 부하의 병렬 공진 회로를 구성하는 임피던스 매칭 회로를 더 포함하는 무선 전력 수신 장치.

**청구항 22**

무선 전력 전송을 위한 송신 장치 또는 수신 장치에 구비되는 코일 구조물에 있어서,

2차원적인 평면에 평면적으로 권선되는 스파이럴 코일부; 및

상기 스파이럴 코일부로부터 수직 방향으로 권선되되, 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선되는 헬리컬 코일부를 포함하는 코일 구조물.

**청구항 23**

제 22 항에 있어서, 상기 헬리컬 코일부는 상기 스파이럴 코일부의 끝단으로부터 연장되어 권선되는 코일 구조물.

**청구항 24**

제22항에 있어서,

상기 스파이럴 코일부 또는 헬리컬 코일부는 소정 구간에서 반지름이 동일한 다수 개의 도선이 소정의 오차 범위 내에서 균등 간격으로 배치되고,

인접한 상기 도선의 중심 간의 거리는 다수 개의 상기 도선에 동일한 전류가 흐를 때 상기 도선에서 발생하는 표피 효과 및 인접한 상기 도선 간에 발생하는 근접 효과에 의한 손실 저항을 기반으로 하여 결정되는 코일 구조물.

**청구항 25**

제 24항에 있어서,

단일 도선이 상기 균등 간격에 따라 상기 소정 구간에서의 다수 개의 상기 도선의 개수만큼의 턴 횟수로 권선되는 코일 구조물.

**청구항 26**

제 24항에 있어서, 상기 인접한 도선의 중심 간의 거리는 하기 수학식에 따라 결정되는 코일 구조물.

<수학식>

$$P = (W - 2r_0) / (N-1)$$

상기 수학식에서 P는 상기 도선의 중심 간의 거리,  $r_0$ 는 상기 도선의 반지름, W는 상기 코일부의 전체폭 및 N은 상기 도선의 개수를 나타냄.

**청구항 27**

제 24 항에 있어서, 상기 도선의 반지름과 상기 코일부의 전체폭의 비율은 0.0018 내지 0.25인 코일 구조물.

**청구항 28**

제 24 항에 있어서, 상기 인접한 도선 중심 간의 거리는 상기 도선의 개수 N에 따른 단위 길이당 최소 저항을 기반으로 결정되는 코일 구조물.

**청구항 29**

제 24항에 있어서,

상기 도선의 반지름, 상기 코일부의 전체폭 및 상기 도선의 개수는 하기 수학식에 따른 조건을 만족하며,

<수학식>

$$r_0/W = \alpha N^\beta + \gamma$$

상기 수학식에서  $r_0$ 는 상기 도선의 반지름, W는 상기 코일부의 전체폭, N은 상기 도선 개수,  $\alpha = 0.6534$ ,  $\beta = -$

1.397,  $\gamma=0.001815$ 를 나타내 코일 구조물.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 무선 전력 송신 장치, 무선 전력 수신 장치 및 코일 구조물에 관한 것으로, 구체적으로는, 비방사형 근거리 자기 결합을 기반으로 하여 무선 전력 송신 장치로부터 적어도 하나의 무선 전력 수신 장치로 전력을 효율적으로 무선 전송할 수 있는 무선 충전 기술에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 일반적으로, 근거리 자기 결합 무선전력전송 기술은 일정 주파수를 갖는 전원 소스와 전자 기기 사이에 무선으로 전력을 전달하는 기술로서, 소스에서 송신 코일에 전력이 인가되면, 송신코일에서는 비방사형 시변 자기장이 일정 공간에 형성되고, 형성된 자기장 속에 수신 코일을 위치시키는 경우 시변 자기장에 의해 수신 코일로 전압 또는 전류가 유도되면서 전력이 무선으로 전달된다.

[0003] 무선전력전송 기술의 일 예로, 스마트폰이나 태블릿 등의 무선 단말기를 고주파 시변 교류 자기장을 발생하는 무선 충전 패드 상에 올려놓는 것만으로 무선단말기의 배터리를 충전할 수 있다. 따라서, 무선전력전송 기술은 기존의 유선 충전 커넥터를 이용하는 유선 충전 환경에 비하여 보다 뛰어난 이동성과 편의성 및 안전성을 제공할 수 있다. 이와 같은 무선전력전송 기술은 무선 단말기의 무선 충전 이외에도, 전기 자동차, 블루투스 이어폰이나 3D 안경 등 각종 웨어러블 디바이스(wearable device), 가전기기, 지중시설물, 건물, 휴대용 의료기기, 로봇, 레이저 등의 다양한 분야에서 기존의 유선 전력 전송 환경을 대체할 것으로 전망된다.

[0004] 일반적으로, 비방사 시변 자기장을 이용한 무선 전력 송수신 시스템은 송신 코일을 구비하여 무선 전력 전송방식으로 전력을 공급하는 무선 전력 전송 장치 및 수신 코일을 구비하여 무선 전력 전송 장치로부터 무선으로 공급되는 전력으로 배터리 셀을 충전하는 무선 전력 수신장치 또는 실시간으로 다양한 전기기에 전력을 공급하는 것을 포함한다.

[0005] 그런데, 이와 같은 무선 전력 송수신 시스템에서 송수신 코일들 사이의 자기장 결합의 세기는 송신 코일에 대한 송수신 코일 구조, 송수신 코일 사이의 기하학적 배치 및 위치등과 같은 다양한 환경 변수에 따라 변동될 수 있고, 환경 변수에 따라 송수신 코일 사이의 자기장 결합 세기가 변경되는 경우 무선 전력 송수신 시스템의 최적 전력 전달 조건이 변경될 수 있다. 예를 들어, 송신 코일에 대한 수신 코일의 위치 및 배열에 따라서 두 코일 사이의 상호 인덕턴스가 영이 되는 데드 존(dead zone)이 발생할 수 있는데, 송수신 코일 사이의 상호 인덕턴스가 영이 되는 영역에서는 송신 코일에서 수신 코일로 유도전류가 생성되지 못하기 때문에 무선 전력 전송이 이루어지지 않는다. 따라서, 무선 전력전송에 있어 데드 존을 최소화하는 것이 매우 중요하다.

[0006] 한편, 3차원 무선전력전송 기술은 x, y, z축을 갖는 3차원적인 공간 내 수신기가 임의의 방향으로 위치하더라도 무선 전력 전송이 이루어지도록 함으로써, 데드 존이 되는 영역을 줄여 수신 코일의 위치 및 배열에 상관없이 안정적으로 전력 전달이 수행되도록 하는 기술이다. 3차원 무선전력전송 기술은 주로 캡슐형 내시경, 인공 심장 등과 같은 인체 이식형 기기, 이차전지를 사용하는 스마트폰, 무선 헤드셋 및 웨어러블 정보 통신기기 또는 웨어러블 의료단말 기기에 대한 전력 전송을 위한 기술로 연구되고 있다.

[0007] 도 1은 종래기술에 따라 3축으로 감은 형태의 수신 코일의 일 예를 나타내는 도면이다. 도 1에 도시된 예는, R. Carta, G. Tortora, J. Thone, B. Lenaerts, P. Valdastrri, A. Menciassi, P. Dario, and R. Puers의 "Wireless powering for a self-propelled and steerable endoscopic capsule for stomach inspection(Biosensors and Bioelectronics, vol. 25, pp. 845-851, 2009)"에서 개시된 바 있다.

[0008] 이러한 도 1에 도시된 3축 수신 코일(101)은 무선 전력 전송 시스템의 구현 시 세 개의 수신 코일에 대해서 각각 정류 회로가 포함되기 때문에 수신 회로가 복잡해지는 단점이 있다.

[0009] 도 2는 종래기술에 따른 배열 형태의 송신 코일 구조의 일 예를 나타내는 도면이다. 도 2에 도시된 예는, Q. Xu, H. Wang, Z. Gao, Z.-H. Mao, J. He, and M. Sun의 "A novel mat-based system for position-varying wireless power transfer to biomedical implants(IEEE Transactions on Magnetics, vol. 49, no. 8, pp. 4774-4779, August 2013)"에 개시된 바 있다.

[0010] 도 2에 도시된 배열형 송신 코일(201)의 경우, 송신 평면 위에서 전력전송이 가능하지만 수신기가 송신부와 경

사진 경우에는 사용하기 어렵다는 문제점이 있다.

[0011] 최근에는, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 근거리 자기 결합 무선전력전송 기술과 관련하여 수㎞ 이상의 주파수를 갖는 고주파 교류 신호를 사용한 고효율 시스템이 제안되고 있다. 고주파 교류 신호를 사용한 고효율 시스템은 수 ㎞ 이상의 주파수를 사용하고, 코일의 저항 손실을 작게 하여 높은 품질 계수(Q-factor)를 갖는 공진 코일을 활용함으로써, 고효율로 수 미터까지의 전력전송을 가능케 한다.

[0012] 한편, 수 ㎞ 주파수 대역을 사용하는 고효율 무선전력전송 시스템을 구현하기 위해서는 전송 효율 측면에서 저손실 코일 설계가 중요하다. 그런데, 실제 수 ㎞ 이상의 주파수 대역에서 무선전력 전송시 와류 전류(eddy current)로 인한 도선의 표피로 전류가 몰리는 표피 효과가 문제된다. 또한, 코일의 자기장 세기를 크게 하기 위해 도선 사이의 간격을 작게 하고 도선의 턴 수를 증가시킬 경우, 인접 도선에 흐르는 자기장에 의한 근접 효과(Proximity effect)에 의해 도선의 단면의 전류 분포가 한 곳으로 몰리는 현상이 급격하게 증가할 수 있는 문제가 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0013] 본 발명의 목적은 상술한 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 제 1 코일부 및 제 2 코일부의 개선된 구조를 기반으로 데드 존을 최소화함으로써 효율적인 무선 전력 전송 또는 수신을 수행할 수 있는 무선 전력 송신 장치 또는 수신 장치를 제공하는 것이다. 또한, 본 발명의 다른 목적은 송수신 코일의 위치가 서로 일치하지 않더라도 무선 충전이 가능하며, 복수의 수신 장치로 동시에 무선 전력 전송을 수행할 수 있는 무선 전력 송수신 시스템을 제공하는 것이다.

[0014] 또한, 본 발명의 또 다른 목적은 무선 전력 전송에서의 전송 효율을 높이기 위하여 자기장 세기는 증가시키고, 코일의 손실 저항을 낮추는 도선 권선 방법 및 이를 적용하는 코일 구조를 제시하는 것이다.

[0015] 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0016] 상술한 기술 상술한 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 일 측면(Aspect)에서 무선 전력 송신 장치를 제공한다. 상기 무선 전력 송신 장치는 보울 형상의 송신 장치 바디; 및 전력 소스로부터 공급되는 전력을 기반으로 수신 장치로 전력을 무선 전송하기 위한 송신 코일부를 포함할 수 있다. 상기 송신 코일부는, 상기 송신 장치 바디의 바닥면에 권선되는 스파이럴 코일부; 및 상기 송신 장치 바디의 옆면에 권선되며, 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선되는 헬리컬 코일부를 포함한다.

[0017] 상기 헬리컬 코일부는 상기 스파이럴 코일부의 끝단으로부터 연장되어 권선될 수 있다. 상기 헬리컬 코일의 경사도는 상기 바닥면으로부터 5도 내지 90도 사이일 수 있다. 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 적어도 어느 하나는 소정 구간에서 반지름이 동일한 다수 개의 도선이 소정의 오차 범위 내에서 균등 간격으로 권선될 수 있다. 상기 송신 코일부는, 상기 수신 장치의 수신 코일부에 쇄교하는 자속 밀도가 최대 또는 최소가 되는 환경조건에 따라 상기 수신 코일부의 배열이 상기 송신 코일부에 평행 또는 수직일 때의 자기장 세기에 기초하여 조정할 수 있다.

[0018] 상기 무선 전력 송신 장치는 상기 전력 소스로부터 전력을 공급받아 상기 송신 코일부로 전달하는 소스 코일부를 더 포함할 수 있다. 상기 무선 전력 송신 장치는 수신 장치의 부하에 따라 상기 송신 코일부 내 임피던스 매칭을 조절하기 위한 하나 이상의 매칭 유닛을 더 포함할 수 있다. 상기 매칭 유닛은, 상기 전력 소스로부터 전력을 공급받아 상기 송신 코일부로 전달하는 송신 코일 및 상기 송신 코일과 독립된 소스 코일부를 더 포함할 수도 있다. 상기 송신 코일부의 주파수는, 상기 무선 전력 송신 장치 및 상기 수신 장치를 포함하는 무선 전력 시스템의 공진 주파수와 동일하도록 조정할 수 있다.

[0019] 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 적어도 하나의 끝단에 하나 이상의 커패시터가 직렬 또는 병렬 연결될 수 있다. 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 적어도 하나는 원형 코일, 다각형 코일 및 타원형 코일 중 어느 하나로 권선할 수 있다.

- [0020] 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부를 구성하는 다수의 도선에 대하여 도선의 반지름, 코일부의 전체 폭 및 코일 턴수에 기초하여 도선간의 간격이 결정될 수 있다. 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 적어도 하나는 루프 간에 간격이 균등하도록 권선될 수 있다.
- [0021] 상기 송신 장치 바디는, 제1 케이스; 및 상기 제1 케이스와 결합하는 제2 케이스를 포함하고, 상기 제1 케이스 및 상기 제2 케이스 사이에는 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부가 배치되기 위한 홈이 형성될 수 있다. 상기 스파이럴 코일부는 상기 제1 케이스의 바닥면 하부에 배치되고, 상기 헬리컬 코일부는 상기 제1 케이스의 옆면을 따라 권선되고, 상기 제2 케이스는 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부의 적어도 일부를 하우징할 수 있다.
- [0022] 상기 스파이럴 코일부는 제 1 교류 소스로부터 전력을 공급받고, 상기 헬리컬 코일부는 제 2 교류 소스로부터 전력을 공급받을 수 있다. 상기 수신 장치가 수신하는 전력의 센싱 데이터를 취득할 수 있다. 상기 무선 전력 송신 장치는 상기 센싱 데이터를 기반으로 하여 상기 제 1 교류 소스 및 상기 제 2 교류 소스의 출력 전력을 제어하는 제어 유닛을 더 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 제어 유닛은 상기 스파이럴 코일부 및 상기 헬리컬 코일부 중 상기 수신 장치로 전력을 더 많이 전송하는 코일부로 더 많은 전력이 공급되도록 제어하거나, 상기 수신 장치로 전력을 더 적게 전송하는 코일부로 더 적은 전력을 공급하도록 제어할 수 있다. 상기 제어 유닛은 상기 제 1 교류 소스 및 상기 제 2 교류 소스가 기 설정된 전력을 공급하도록 제어하고, 상기 제어를 기반으로 하여 상기 수신 장치로부터 상기 센싱 데이터를 수신할 수 있다.
- [0024] 한편, 상술한 본 발명의 기술적 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 다른 측면에서 무선 전력 송신 장치를 제공한다. 상기 무선 전력 송신 장치는, 보울 바디; 상기 보울 바디의 바닥면으로부터 무선 전력을 공급하기 위한 자기장을 형성하는 스파이럴 코일부; 및 상기 보울 바디의 옆면으로부터 무선 전력을 공급하기 위한 헬리컬 코일부를 포함할 수 있다. 상기 스파이럴 코일부 및 헬리컬 코일부가 각기 단독으로 구비될 때보다 더 넓은 공간적인 영역에 무선 전력을 공급하기 위한 자기장을 형성할 수 있다.
- [0025] 상기 스파이럴 코일부는 상기 보울 바디의 바닥면 배치되고, 상기 헬리컬 코일부는 상기 보울 바디의 옆면을 따라 권선되되 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선될 수 있다.
- [0026] 한편, 상술한 본 발명의 기술적 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 또 다른 측면에서 무선 전력 수신 장치를 제공한다. 상기 무선 전력 수신 장치는, 보울 형상의 수신 장치 바디; 및 무선 전력 송신 장치로부터 공급되는 전력을 수신하기 위한 수신 코일부를 포함할 수 있다. 상기 수신 코일부는, 상기 수신 장치 바디의 바닥면에 권선되는 스파이럴 코일부; 및 상기 수신 장치 바디의 옆면에 권선되되, 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선되는 헬리컬 코일부를 포함할 수 있다.
- [0027] 상기 헬리컬 코일부는 상기 스파이럴 코일부의 끝단으로부터 연장되어 권선될 수 있다. 상기 수신 코일부는, 상기 수신 장치의 부하에 따라 상기 수신 코일부 내 임피던스 매칭을 조절하기 위한 하나 이상의 매칭 유닛을 더 포함할 수 있다. 상기 매칭 유닛은, 상기 송신 코일부로부터 전력을 수신하기 위한 수신 코일 및 상기 수신 장치의 부하와 병렬-직렬 커패시터를 구성된 임피던스 매칭 회로를 더 포함할 수도 있다.
- [0028] 한편, 상술한 본 발명의 기술적 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 또 다른 측면에서 코일 구조물을 제공한다. 상기 코일 구조물은, 무선 전력 전송을 위한 송신 장치 또는 수신 장치에 구비되는 코일 구조물에 있어서, 2차원적인 평면에 평면적으로 권선되는 스파이럴 코일부; 및 상기 스파이럴 코일부로부터 수직 방향으로 권선되되, 상부로 갈수록 코일 루프의 반경이 커지도록 권선되는 헬리컬 코일부를 포함할 수 있다. 상기 헬리컬 코일부는 상기 스파이럴 코일부의 끝단으로부터 연장되어 권선될 수 있다.
- [0029] 한편, 상술한 본 발명의 기술적 과제를 해결하기 위하여 본 발명은 또 다른 측면에서 코일 구조물을 제공한다. 무선 전력 전송 또는 수신을 위한 코일부를 포함하는 코일 구조물에 있어서, 상기 코일부는 소정 구간에서 반지름이 동일한 다수 개의 도선이 소정의 오차 범위 내에서 균등 간격으로 배치되고, 인접한 상기 도선의 중심 간의 거리는 다수 개의 상기 도선에 동일한 전류가 흐를 때 상기 도선에서 발생하는 표피 효과 및 인접한 상기 도선 간에 발생하는 근접 효과에 의한 손실 저항을 기반으로 하여 결정될 수 있다.
- [0030] 상기 코일부는 스파이럴 코일 및 헬리컬 코일 중 적어도 하나하고, 단일 도선이 상기 균등 간격에 따라 상기 소정 구간에서의 다수 개의 상기 도선의 개수만큼의 턴 횡수로 권선될 수 있다.
- [0031] 상기 인접한 도선의 중심 간의 거리  $P$ 는  $(W - 2r_0) / (N-1)$ 이다. 여기서,  $r_0$ 는 상기 도선의 반지름,  $W$ 는 상기

코일부의 전체폭 및 N은 상기 도선의 개수를 나타낸다 예를 들어, W는 스파이럴 코일의 경우는 평면상의 코일부의 반지름에 해당하는 폭이며, 헬리컬 코일의 경우는 도선이 감겨진 높이 일수 있다.

[0032] 상기 도선의 반지름과 상기 코일부의 전체폭의 비율은 0.0018 내지 0.25일 수 있다. 상기 인접한 도선 중심 간의 거리는 상기 도선의 개수 N에 따른 단위 길이당 최소 저항을 기반으로 결정될 수 있다.

[0033] 상기 도선의 반지름 r0, 상기 코일부의 전체폭 W 및 상기 도선의 개수 N는 " $r_0/w = \alpha N^\beta + \gamma$ "만족할 수 있다. 여기서,  $\alpha = 0.6534$ ,  $\beta = -1.397$ ,  $\gamma = 0.001815$ 를 나타낼 수 있다.

[0034] 상기 실시형태들은 본 발명의 바람직한 실시예들 중 일부에 불과하며, 본원 발명의 기술적 특징들이 반영된 다양한 실시예들이 당해 기술분야의 통상적인 지식을 가진 자에 의해 이하 상술할 본 발명의 상세한 설명을 기반으로 도출되고 이해될 수 있다.

### 발명의 효과

[0035] 본 발명의 실시예에 따르면, 본 발명은 송수신 코일의 위치가 서로 일치하지 않더라도 무선 충전이 가능하며, 복수의 수신 장치로 동시에 무선전력 전송을 수행할 수 있는 무선전력 송수신 시스템을 제공할 수 있다.

[0036] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 수평 코일부 및 수직 코일부의 개선된 구조를 기반으로 테드 존을 최소화한 무선 전력 송신 장치 및 이와 효율적으로 연동할 수 있는 구조의 무선 전력 수신 장치를 제공할 수 있다.

[0037] 또한, 본 발명의 실시예에 따르면, 전송 효율을 높이기 위해 자기장 세기는 증가시키고, 코일의 손실 저항을 낮추는 권선 방법을 제시할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0038] 본 발명에 관한 이해를 돕기 위해 상세한 설명의 일부로 포함되는, 첨부도면은 본 발명에 대한 실시예를 제공하고, 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 설명한다.

도 1은 종래기술에 따라 3축으로 감은 형태의 수신 코일의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 2는 종래기술에 따른 배열 형태의 송신 코일 구조의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 개념을 설명하기 위한 회로 구성의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 코일 구조의 일 예를 나타내는 사시도이다.

도 5는 도 4에 도시되어 있는 코일 구조를 예시적으로 설명하기 위한 예시도이다.

도 6은 상기 도 4 내지 도 5에서 도시한 무선 송신 코일의 구조를 적용한 보울형 송신기의 기구적 형상의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 7은 상기 도 6에 도시된 원형 보울형 송신기의 단면의 일 예를 나타내는 도면이다.

도 8 및 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 코일부 형상의 다양한 실시예를 나타내는 도면으로, 3차원 무선 송신 코일에서 헬리컬 코일부의 경사도를 다양하게 조정하는 실시예들을 나타낸다.

도 10은 본 발명의 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일과 일반 송신 코일에서의 자기장 세기를 비교한 시뮬레이션 결과의 예시적으로 나타내는 도면이다.

도 11은 본 발명의 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일과 일반 송신 코일에서의 자기장 세기를 비교한 시뮬레이션 결과의 다른 예를 나타내는 도면이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일이 제작된 형태의 일 예를 나타낸다.

도 13 및 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 무선 송신 코일의 구조를 적용한 보울형 송신기의 기구적 형상의 다른 예를 나타낸다.

도 15는 본 발명의 다른 실시예로서 다수의 수신기와 그 다수의 수신기를 수용 및 보관할 수 있는 송신기를 구현한 예를 나타내는 사시도이다.

- 도 16은 도 15에 도시된 송신기의 단면으로서 좌측 수납 공간에 대응하는 위치의 단면을 도시하고 있다.
- 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 수신 코일을 구성하는 각 구성의 일 예를 나타내는 도면이다.
- 도 18 및 도 19는 본 발명의 실시예에 따른 수신 코일의 다양한 다른 실시예를 나타내는 도면이다.
- 도 20은 본 발명의 실시예에 따른 송신 코일 및 수신 코일간의 상호 인덕턴스 측정 결과의 일 예를 나타낸다.
- 도 21는 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 회로적 구성의 다른 예를 나타낸다.
- 도 22는 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 회로적 구성에 기초한 소형 보청기 무선 충전 시스템 형상의 일 예를 도시하는 도면이다.
- 도 23은 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 회로적 구성의 다른 예를 나타낸다.
- 도 24는 본 발명의 다른 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일 구조의 일 예를 나타내는 사시도이다.
- 도 25은 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 구성을 도시하는 블록도이다.
- 도 26은 도선에 전류를 인가할 때 발생하는 표피 효과를 설명하기 위한 단면도이다.
- 도 27은 두 개 이상의 도선들이 인접하는 경우 근접효과를 설명하기 위한 단면도이다.
- 도 28는 본 발명의 실시예에 따라 단면이 원형인 다수의 도선이 균일 간격으로 나란히 배열된 코일부 구조의 단면도이다.
- 도 29 내지 도 32는 도 28에 도시된 단면 구조를 형성할 수 있는 코일부 또는 도선 구조를 각각 예시적으로 나타내고 있다
- 도 33은 원형 도선(circular wire) 구조와 무한 직선 도선(Infinite straight wire)에서 자기장 형성을 설명하기 위한 예시도이다.
- 도 34은 원형 루프의 인사이드 및 아웃 사이드, 무한 직선 도선에서 D의 변화에 따라 발생하는 |Hz|의 커브를 각각 나타내는 그래프이다.
- 도 35는 원형 루프 및 무한 직선 도선에서 D의 변화에 따라 발생하는 |Hp|의 커브를 각각 나타내는 그래프이다.
- 도 36는 코일부의 도선 중심 간의 거리가 균등한 경우와 비균등할 경우 각각 발생하는 손실 저항을 비교하기 위한 그래프이다.
- 도 37는 코일부의 턴수 N에 따라 손실 저항이 최소화되는 도선의 반지름과 코일부의 전체폭의 비율을 나타내고 있다.
- 도 38은 도선 중심 간의 간격 P와 도선 지름 2r<sub>0</sub>의 비율 P/2r<sub>0</sub>의 변화에 따른 코일부의 턴수 N별 단위 길이 별 손실 저항 값의 커브를 나타내는 그래프이다.
- 도 39은 턴수 N에 따른 최소 손실 저항을 갖도록 하는 P/2r<sub>0</sub>의 값을 나타낸다.
- 도 40은 턴수 N에 따른 단위 길이당 최적(최소) 손실 저항을 나타내는 그래프이다.
- 도 41은 턴수 N에 따른 단위 길이당 최소 손실 저항을 위한 P/2r<sub>0</sub>의 값을 나타내는 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0039] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0040] 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시 형태를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 첨부된 도면과 함께 이하에 개시될 상세한 설명은 본 발명의 예시적인 실시형태를 설명하고자 하는 것이며, 본 발명이 실시될 수 있는 유일한 실시형태를 나타내고자 하는 것이 아니다. 이하의 상세한 설명은 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해서 구체적 세부사항을 포함한다. 그러나, 당업자는 본 발명이 이러한 구체적 세부사항 없이도 실시될 수 있

음을 안다.

- [0041] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 개념을 설명하기 위한 회로 구성의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0042] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 등가회로(300)는 교류 소스 신호  $V_s(314)$ 를 공급받는 송신측 공진 코일단(이하, '송신단'이라 칭함; 310) 및 수신측 공진 코일단(이하, '수신단'이라 칭함; 320)으로 구성되며, 송신단(310)과 수신단(320)간의 상호인덕턴스( $M_{12}$ )에 따른 자기 유도 또는 자기장 결합으로 무선 전력을 전송할 수 있다.
- [0043] 교류 소스 신호  $V_s(314)$ 는 도 3에 도시되지는 않았으나 전력소스로부터 출력되며, 전력소스는 구형파 신호를 입력받으며 드라이빙 증폭기, 스위칭 전력증폭기 및 시스템 주파수의 신호만을 송신 코일부에 전달하기 위한 LC필터를 포함할 수 있다. 송신단(310)은 자기 인덕턴스  $L_1(311)$ , 저항  $R_1(312)$  및 공진을 위한 커패시터  $C_1(313)$ 을 포함한다. 수신단(320)은 자기 인덕턴스  $L_2(321)$ , 저항  $R_2(322)$  및 공진을 위한 커패시터  $C_2(323)$ 를 포함한다.
- [0044] 도 3의 회로도, 송신단(310)의 정전용량  $C_1(313)$ 은 인덕턴스  $L_1(311)$  및 저항  $R_1(312)$ 에 직렬 연결된 직렬 회로를 도시하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 다른 실시예에 따르면 송신단(310)의 정전용량  $C_1(313)$ 은 인덕턴스  $L_1(311)$  및 저항  $R_1(312)$ 에 병렬로 연결될 수도 있다. 마찬가지로, 수신단(320)의 커패시터  $C_2(323)$ 는 인덕턴스  $L_2(321)$  및 저항  $R_2(322)$ 에 병렬 연결된 직렬 회로를 도시하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 다른 일 실시예에 따르면 커패시터  $C_2(323)$ 는 인덕턴스  $L_2(321)$  및 저항  $R_2(322)$ 에 직렬 연결될 수 있다.
- [0045] 바람직하게는, 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 등가회로(300)는 송신 코일이 수신 코일로 전자기 유도 또는 자기장 결합 방식을 통해 최대 전력을 전송할 수 있도록, 송신단(310) 및 수신단(320)에 임피던스 매칭을 위한 임피던스 매칭 유닛, 예컨대 송신단 임피던스 매칭 유닛(Tx matching unit; 315) 및 수신단 임피던스 매칭 유닛(Rx matching unit; 324)을 더 포함한다.
- [0046] 최대 전력 전달을 위하여, 송신단 임피던스 매칭 유닛(315)은 송신 코일(Tx coil)로 바라보는 임피던스를 입력 임피던스( $Z_{in}$ )와 공액 정합(conjugate matching)시켜 주는 역할을 하며, 송신부 임피던스 매칭을 통하여 송신되는 소스 신호의 반사를 최소화 또는 제거한다. 또한, 수신단 임피던스 매칭 유닛(324)은 임피던스  $Z_L(325)$ 에 대한 임피던스 매칭 효과를 얻기 위하여 수신 코일(Rx coil)로부터 송신 쪽으로 바라보는 임피던스와 공액 정합(conjugate matching) 조건이 성립되도록 한다. 이때, 임피던스  $Z_L(325)$ 은 정류회로, DC-DC변환기, 배터리, 저항 또는 전기기기 등과 같은 부하를 의미한다.
- [0047] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 도 3에 예시된 무선 전력을 수신 및 송신하기 위한 수신단(320) 및 송신단(310)은 각각 소형 기기 및 소형 기기들로 최대 전력을 전달하기 위한 거치 수단 장치에 대응될 수 있다. 예컨대, 수신단(320)은 보청기 등의 소형 의료기기를 비롯하여 스마트폰 등과 같은 휴대용 정보 통신 기기, 충전용 전지를 포함한 모든 웨어러블 단말 장치 및 이와 관련된 다양한 형태의 주변기기일 수 있다. 송신단(310)은 이러한 수신단(320)으로 최대 전력 전달 효율로 무선 전력을 공급할 수 있는 거치 수단 또는 수납 수단이라 할 수 있다. 상기 송신단(310)의 송신 코일 Tx Coil과 상기 수신단(320)의 수신 코일 Rx coil 중 적어도 하나는 본 발명에서 제안된 새로운 코일 구조물이 적용될 수 있다.
- [0048] 본 발명의 실시예에 따른 송신부 또는 수신부의 코일 구조는 2차원적인 평면상에 평면적으로 권선되는 스파이럴 코일부(Spiral Loops) 및 상기 스파이럴 코일부가 권선된 평면으로부터 입체적(또는 3차원적)으로 권선되는 헬리컬 코일부(Helical loops)를 포함하며, 이를 기반으로 3차원 상의 무선 전력 송신에 있어서 송신 코일로부터 수신 코일로 유도 전류가 생성되지 않는 데드 존을 최소화할 수 있다.
- [0049] 상기 스파이럴 코일부는 2차원적인 평면, 예를 들어, x, y, z 축의 공간에서 x, y 축 평면상에 스파이럴 형상으로 코일이 감겨진 코일부일 수 있다. 상기 스파이럴 코일부는 각 루프 코일의 평면 형상이 원형 형태인 원형 스파이럴 코일, 각 루프 코일의 평면 형상이 다각형 형태인 다각형 스파이럴 코일 및 각 루프 코일의 평면 형상이 타원형 형태인 타원형 스파이럴 코일 등 다양한 형태로 구현될 수 있다.
- [0050] 상기 헬리컬 코일부는 스파이럴 코일부가 구현된 평면으로부터 수직 방향, 예컨대 x, y, z 축의 공간에서 z 축 방향으로 코일이 감겨진 헬릭스 코일 형태일 수 있다. 상기 헬리컬 코일부는 각 루프 코일의 평면 형상이 원형

형태인 원형 헬리컬 코일, 각 루프 코일의 평면 형상이 다각형 형태인 다각형 헬리컬 코일 및 각 루프 코일의 평면 형상이 타원형 형태인 타원형 헬리컬 코일 등 다양한 형태로 구현될 수 있다.

- [0051] 이하에서는, 본 발명의 실시예에 따른 코일 구조에 대한 다양한 실시예에 대하여 상세히 살펴보기로 한다.
- [0052] 도 4 는 본 발명의 실시예에 따른 코일 구조의 일 예를 나타내는 사시도이고, 도 5는 도 4에 도시된 코일 구조를 설명하기 위한 예시도로서, 구체적으로는 무선 전력 전송에서 데드 존을 최소화하기 위한 3차원 무선 송신 코일 구조의 일 예를 나타내는 도면들이다.
- [0053] 도 4 내지 도 5에 도시된 본 발명의 실시예에 따른 송신 코일(400)은 2차원적인 평면, 예컨대 바닥면에 원형 스파이럴 코일 형태로서 형성되는 스파이럴 코일부(401) 및 상기 스파이럴 코일부(401)이 형성된 평면, 예컨대 바닥면으로부터 수직 방향으로 권선되되, 코일 루프의 반지름이 서서히 증가하는 형태의 유사 원뿔형(Conical-like)으로 권선되는 헬리컬 코일부(402)를 포함할 수 있다.
- [0054] 이때, 송신 코일(400)을 구성하는 스파이럴 코일부(401)과 헬리컬 코일부(402)는 수 MHz 대역에서 사용하기 위해 단일 도선을 사용할 수 있다. 예를 들어, 헬리컬 코일부(402)는 스파이럴 코일부(401)의 최 외곽 루프의 끝단으로부터 연장되어 형성될 수 있다. 상기 스파이럴 코일부(401) 및 헬리컬 코일부(402)의 도선 반지름은 동일하되, 여러 턴(turn)을 갖는 구조로 구현할 수 있다.
- [0055] 이와 같이 여러 턴을 갖는 구조로 구현할 경우, 바람직하기로는, 전류 전송 시 가장 낮은 저항을 갖도록 하기 위하여 각 턴 사이의 간격을 동일하게 구현할 수도 있다. 이때, 각 턴 사이의 간격을 최소 저항을 갖도록 정하는 기술에 대해서는 추후 도 24 내지 도 41 등을 참조한 설명에서 상세하게 설명될 것이다.
- [0056] 도 5에 도시된 바와 같이, 스파이럴 코일부(401) 및 헬리컬 코일부(402)의 구조적 형상에 의해 코일 안 쪽 영역(A)은 자기장(H)에 생성된다. 생성된 자기장(H)은 z 방향 및 ρ 방향으로 자기장( $H_z$ ,  $H_\rho$ )이 발생함에 따라 타원형의 영역으로 생성된다.
- [0057] 도 6은 상기 도 4 내지 도 5에서 도시한 무선 송신 코일의 구조를 적용한 보울형 송신기의 기구적 형상의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0058] 도 6을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 송신기(500)는 원형의 보울 형태로 바닥면 및 옆면에 각각 상기 도 4 내지 도 5에 도시된 송신 코일이 권선되어 실장된 형태의 원형 보울형 송신기를 나타낸다.
- [0059] 도 7은 상기 도 6에 도시된 원형 보울형 송신기의 단면의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0060] 도 7을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 송신기 본체(600)는 보울 형태의 내부를 형성하는 제 1 케이스(601) 및 상기 제 1 케이스(601)와 결합하며 보울 형태의 외부를 형성하는 제 2 케이스(602)를 포함한다. 이때, 일 실시예로 제 1 케이스(601) 하단부에 돌기가 형성되고 제 2 케이스(602) 하단부에 상기 돌기가 끼워져 안착되기 위한 홈이 형성되어, 돌기가 홈에 끼워져 안착되는 방식으로 제 1 케이스(601) 및 제 2 케이스(602)가 고정될 수 있다.
- [0061] 결합된 제 1 케이스(601)와 제 2 케이스(602) 사이에는 송신 코일이 권선되기 위한 영역인 제1 홈(603)이 형성된다. 스파이럴 코일부(604)는 제1 홈(603) 영역 내에서 제 1 케이스(601)의 바닥면에 평면적으로 권선된다. 헬리컬 코일부(605)는 스파이럴 코일부(604)로부터 연장되어 제 1 케이스(601) 옆면의 외주면을 따라 헬리컬 형태로 권선될 수 있다. 예를 들어, 상기 스파이럴 코일부(604)의 최외각 코일의 끝단과 헬리컬 코일(605)의 최하부 코일의 끝단이 연결될 수 있다.
- [0062] 한편, 제 2 케이스(602)의 하단부에는 코일이 권선될 수 있는 제2 홈(606)이 형성될 수도 있는데 이는 송신기의 차후 설명할 소스 코일을 권선하기 위한 공간으로 활용될 수 있다.
- [0063] 예컨대, 제 2 케이스(602)와 제 1 케이스(601)는 제 1 홈(603)을 이루기 위하여 일부분이 이격되어 있고, 제 1 케이스(601)에는 송신 코일이 부착되고 제 2 케이스의 안쪽 표면은 차폐 물질의 부착에 활용할 수 있다.
- [0064] 도 6 및 도 7에 도시된 원형 보울형 송신기를 사용하게 되면 수신기를 보울형 송신기 내부에 놓아둘 수 있어 수신기의 보관 및 충전은 동시에 수행할 수 있다. 예를 들어, 수신기를 보청기로 구현하고, 보울형 송신기를 보청기 보관함으로 구현하여 사용할 수 있다. 이 경우 보청기 보관함에 하나 또는 두개의 보청기를 보관함으로써 보청기의 보관과 함께 보청기의 충전을 수행할 수 있다.
- [0065] 송신 코일 내부에 수신기가 들어가게 되면, 수신기의 내부의 수신 코일로 자기장이 쇄교(interlinkage)되어 유

도 전류가 생성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 송신 코일의 설계는 수신 코일에 쇄교되는 자속 밀도가 최대, 최소가 되는 환경을 가정하여 수신 코일의 배열이 송신 코일에 평행 또는 수직일 때의 자기장 세기를 산출하고, 이에 따라 자기장을 제어할 수 있는 송신 코일 구조를 제안한다. 예컨대, 송신 코일의 턴 수나 도선 간격, 유사 원뿔형 헬리컬 코일의 기울어진 각도 등을 조절함으로써 설계자가 원하는 자기장 패턴을 구현할 수 있다.

[0066] 하기 수학식 1 및 수학식 2는 상기 도 5에서 상술한 본 발명의 실시예에 따른 송신 코일에서의 자기장 세기를 나타낸 것이다.

**수학식 1**

$$H_{\rho,i} = \frac{(D - D_i)I}{2\pi\rho} \left( \frac{m_i}{4r_i\rho} \right)^{1/2} \left( -K_i + \frac{2 - m_i}{2 - 2m_i} E_i \right)$$

[0067]

**수학식 2**

$$H_{z,i} = \frac{(D - D_i)I}{2\pi\rho} \left( \frac{m_i}{4r_i\rho} \right)^{1/2} \left( -K_i + \frac{2 - m_i}{2 - 2m_i} E_i \right)$$

[0068]

[0069] 상기 수학식 1 및 수학식 2는 송신 코일의 i 번째 원형 루프에 전류 I가 흐를 경우 z 방향으로 발생하는 자기장 세기( $H_{z,i}$ ) 및  $\rho$  방향으로 발생하는 자기장 세기( $H_{\rho,i}$ )를 나타낸다.  $D_i$ 는 i 번째 루프의 z 방향 높이를 나타내고,  $\rho$ 는 임의의 지점에서의  $\rho$  방향 간격을 나타내고, D는 임의의 지점에서의 z 방향 간격을 나타내고,  $D_i$ 는 i 번째 루프의 z 방향 높이를 나타내고,  $r_i$ 는 i 번째 루프를 구성하는 헬리컬 코일의 반지름을 나타낸다. 여기서,  $K_i$  및  $E_i$ 는 각각 1차 완전 타원 함수(complete elliptical integral) 및 2차 완전 타원 함수로서, 하기 수학식 3 및 수학식 4를 통해 산출된다.

**수학식 3**

$$K_i = \int_0^{\pi/2} \frac{d\theta}{(1 - m_i \sin^2 \theta)^{1/2}}$$

[0070]

수학식 4

$$E_i = \int_0^{\pi/2} (1 - m_i \sin^2 \theta)^{1/2} d\theta$$

[0071]

[0072] 상기 수학식 3 및 수학식 4에서  $m_i$ 는 하기 수학식 5를 통해 도출된다.

수학식 5

$$m_i = \frac{4r_i \rho}{(D - D_i)^2 + (r_i + \rho)^2}$$

[0073]

[0074] 따라서, N 턴의 송신 코일에서 발생하는 z 방향으로의 전체 자기장 세기( $H_z$ ) 및  $\rho$  방향으로의 전체 자기장 세기( $H_\rho$ )는 각각 하기 수학식 6 및 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$H_z(\rho, D) = \sum_{i=1}^N H_{z,i}(\rho, D)$$

[0075]

수학식 7

$$H_\rho(\rho, D) = \sum_{i=1}^N H_{\rho,i}(\rho, D)$$

[0076]

[0077] 다음으로, 도 8 및 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 코일부 형상의 다양한 실시예를 나타내는 도면으로, 3차원 무선 송신 코일에서 헬리컬 코일부의 경사도를 다양하게 조정하는 실시예들을 나타낸다.

- [0078] 도 8을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일(700)은 스파이럴 코일부(701) 및 헬리컬 코일부(702)로 구성되며, 스파이럴 코일부(701)의 외곽 반지름을 고정시킨 상태에서 헬리컬 코일부(702)의 길이(D)는 동일하게 유지하며 바닥면을 기준으로 경사도( $\theta$ )를  $5^\circ \sim 90^\circ$  사이로 조정할 수 있다. 헬리컬 코일부(702)의 길이가 유지된 상태에서 경사도가 달라짐에 따라 헬리컬 코일부(702)의 높이도  $H_1, H_2, \dots, H_n$  등과 같이 변동하게 된다.
- [0079] 반면, 도 9에 도시된 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일(800)에서 헬리컬 코일부(802)의 높이(H)를 고정시킨 상태로 경사도( $\theta$ )를  $5^\circ \sim 90^\circ$  사이로 다양하게 조정하는 것이다. 이에 따라, 스파이럴 코일부(801)의 반지름( $r_{max}$ )이 헬리컬 코일부(802)의 경사도에 따라 조정될 수 있다.
- [0080] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일과 일반 송신 코일에서의 자기장 세기를 비교한 시뮬레이션 결과의 예시적으로 나타내는 도면이다.
- [0081] 도 10을 참조하면, 도 10의 (a)는 본 발명의 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일의 자기장 세기, 도 10의 (b)는 일반적인 헬리컬 코일에서의 자기장 세기, 도 10의 (c)는 일반적인 스파이럴 코일의 자기장 세기를 나타내는 것으로, 각각의 도면에서 좌측은 코일 구조에 대한  $H_z$  방향의 자기장 세기를 나타내고 우측은 코일 구조에 대한  $H_p$  방향의 자기장 세기를 나타낸다.
- [0082] 그리고, 도 10의 (a) 내지 (c)에서 하얀색 영역(901)은 코일을 지지하기 위한 지지대이면서 상기 도 6 내지 도 7에 도시된 것과 같이 수신기의 보관함 역할을 수행하는 원형 보울형 송신기의 단면을 나타낸 것이다.
- [0083] 구체적으로, 도 10의 (a)에서 좌측 도면은 수신 코일(Rx coil)이 바닥면으로부터 5mm 떨어진 지점에 수평으로 놓인 경우의 자기장 세기에 관한 시뮬레이션 결과이고, 우측 도면은 수신 코일(Rx coil)이 바닥면으로부터 8mm 떨어진 지점에 수직으로 놓인 경우의 자기장 세기에 관한 시뮬레이션 결과이다.
- [0084] 도 10의 (a) 내지 (c)를 통해 예시된 송신 코일에서의 자기장 시뮬레이션 결과는 송신 코일을 구성하는 도선의 단면 지름은 0.64 mm로 1 A를 인가했을 때의 자기장 세기를 나타내는 것이다. 도 10의 (a)에 사용된 본 발명의 실시예에 따른 코일의 높이는 9.1 mm이고, 바닥면의 스파이럴 루프는 도선 사이 간격이 1.5 mm, 옆면의 유사 원뿔형 헬리컬 루프는 도선 사이 간격이 2.14 mm로 구현된 것이다. 도 10의 (b)에서의 헬리컬 코일 및 도 10의 (c)의 스파이럴 코일은 각각 1.5 mm 간격으로 7턴을 가진 코일로서, 코일의 최대 지름은 각각 29 mm와 17 mm 으로 구현하였다.
- [0085] 도 10에 도시된 자기장 세기 결과를 보면, 본 발명의 실시예에 따른 무선 송신 코일, 일반적인 헬리컬 코일 및 스파이럴 코일에 의해 발생하는 자기장 영역에서 붉은색으로 표시된 영역은 플러스(+) 방향으로 자기장이 강한 부분이고, 파란색으로 표시된 부분은 마이너스(-) 방향으로 자기장이 강한 부분을 나타낸다.
- [0086] 도 10의 (a)와 도 10의 (b)/(c)를 비교해보면, 도 10의 (a)의 좌측(Hz)에 도시된 바와 같은 스파이럴 코일 및 헬리컬 코일이 결합된 코일 구조에 의하여 형성되는 자기장은, 도 10의 (c)와 같이 스파이럴 코일부와 단독으로 구비되는 경우 형성되는 자기장 및 도 10의 (b)와 같이 헬리컬 코일부가 단독으로 구비되는 경우 형성되는 자기장을 합친 것보다 더 넓은 영역에 자기장을 형성하게 된다. 즉, 스파이럴 코일만을 사용할 경우 스파이럴 코일의 최외각 근처에서는 매우 낮은 Hz를 갖는다. 이 때 도 10(b)의 좌측 그림에서 처럼 헬릭스 코일에서 만들어지는 Hz를 통하여 수신기가 놓여진 면에서 일정한 또는 균일한 자기장 Hz를 얻을 수 있음을 보인다.
- [0087] 또한, 도 10의 (a)의 우측( $H_p$ )에 도시된 바와 같은 스파이럴 코일 및 헬리컬 코일이 결합된 코일 구조에 의하여 형성되는 자기장은, 도 10의 (c)와 같이 스파이럴 코일부와 단독으로 구비되는 경우 형성되는 자기장 및 도 10의 (b)와 같이 헬리컬 코일부가 단독으로 구비되는 경우 형성되는 자기장을 합친 것보다 더 넓은 영역에 자기장을 형성하게 된다. 따라서, 스파이럴 코일 및 헬리컬 코일의 혼용 구조는 두 코일의 결합으로 인한 시너지 효과를 발생시킬 수 있다.
- [0088] 또한, 수신 코일의 중심축이 z방향으로 형성된 경우를 가정할 때, 도 10의 (a)의 좌측 도면과 같이 수신 코일이 수평으로 놓여진 경우는 바닥에 감겨진 스파이럴 코일과 헬릭스 코일에 의해 생성되는 Hz성분에 의한 자기 결합이 크고, 우측 도면과 같이 수신 코일이 수직으로 놓여진 경우는 스파이럴 코일과 헬리컬 코일에 의해 생성되는  $H_p$  성분에 의한 자기 결합이 크게 발생한다는 것을 알 수 있다.
- [0089] 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일과 일반 송신 코일에서의 자기장 세기를 비교한 시뮬레이션 결과의 다른 예를 나타내는 도면이다.

- [0090] 도 11에 도시된 3차원 무선 송신 코일의 그래프는 헬리컬 코일로 구성된 제1 송신 코일(1001), 스파이럴 코일로 구성된 제2 송신 코일(1002), 원뿔형 헬리컬 코일부 및 스파이럴 코일부로 구성된 제3 송신 코일(1003) 및 본 발명의 실시예에 따라 원뿔형 헬리컬 코일부 및 스파이럴 코일부로 구성되며 자기장 세기를 제어한 제4 송신 코일(1004)에서의 z 방향 자기장 세기 및  $\rho$  방향 자기장 세기를 비교한 결과를 나타낸다. 여기서, 실선은 시뮬레이션 결과이고, 실선에 포함된 다수의 점들은 각 코일 구조에 대한 계산 결과를 나타낸다.
- [0091] 도 11의 (a)는 각각의 코일에 대해 지지대 바닥면에서 5 mm 떨어진 높이( $H_1$ )에서의 z 방향 자기장 세기( $H_z$ ) 비교 결과를 나타낸 것이고, 도 11의 (b)는 각각의 코일에 대해 지지대 바닥면에서 8 mm 떨어진 높이( $H_2$ )에서의  $\rho$  방향 자기장 세기( $H_\rho$ ) 비교 결과를 나타낸 것이다. 이때, 높이( $H_1$ ,  $H_2$ )는 본 발명에서 제안하는 수신기로서 구현 가능한 소형 기기, 예컨대, 귀속형 보청기의 크기를 고려하여 설정한 것이다.
- [0092] 구체적으로, 각 코일에서의 자기장 세기 결과를 살펴보면 다음과 같다.
- [0093] 도 11의 (a) 및 (b)를 참조하면, 제1 송신 코일(1001)은 중심에서 낮은 자기장 세기( $H_z$ ,  $H_\rho$ )를 나타내고 중심에서 멀어질수록 높은 자기장 세기( $H_z$ ,  $H_\rho$ )를 나타낸다. 이는, 제1 송신 코일을 구성하는 헬리컬 코일의 자기장 특성에 의한 것이다.
- [0094] 반면, 제2 송신 코일(1002)은 z 방향의 자기장( $H_z$ )은 중심에서 큰 값을 갖고 중심에서 멀어질수록 급격히 감소하고,  $\rho$  방향의 자기장( $H_\rho$ )은 중심점과 외각에서 낮은 자기장을 나타내고 중간 지점인 10 mm 근처에서 최대값을 갖는다. 이는, 제2 송신 코일을 구성하는 스파이럴 코일의 자기장 특성에 의한 것이다.
- [0095] 이에 비해, 제3 송신 코일(1003) 및 제4 송신 코일(1004)은 z방향에서의 자기장 세기는 스파이럴 코일로 구성된 제2 송신 코일(1002)과 유사한 특성을 보이고,  $\rho$  방향에서는 헬리컬 코일로 구성된 제1 송신 코일(1001)과 유사한 특성을 보인다.
- [0096] 뿐만 아니라, 제4 송신 코일(1004)은 제3 송신 코일(1003)과 동일한 코일 구성으로 자기장 세기의 패턴이나 크기도 유사하나, 제4 송신 코일(1004)의 경우 자기장 세기 조절을 위해 코일의 턴 수, 도선 간격, 헬리컬 코일의 경사도 등을 조정함에 따라 제3 송신 코일(1003)에 비교하여 보다 증가되는 것을 확인할 수 있다.
- [0097] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일을 사용하면, 자기장 형성 영역 내에서 비교적 균일한 자기장이 형성되며, 테드존이 최소화될 수 있어, 수신 코일의 위치 및 배열에 구애 받지 않고, 하나 또는 다수의 수신기의 효율적인 충전이 가능함을 알 수 있다. 즉, 송수신기 간의 자유 위치(free positioning) 및 멀티 수신기의 충전이 가능해진다.
- [0098] 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일이 제작된 형태의 일 예를 나타내는 도면으로, 상기 도 10을 참조한 설명에서 언급한 송신 코일의 구성조건에 따라 제작된 것이다.
- [0099] 앞서 도 10을 참조한 설명에서 언급한 바와 같이, 도 12에 도시된 송신 코일(1101)은 구리 도선을 사용하며, 도선의 단면 지름 0.64 mm, 전체 높이 9.1 mm, 바닥면의 스파이럴 코일 루프의 도선 간격 1.5 mm, 옆면의 헬리컬 코일 루프의 도선 간격 2.14 mm, 각각 7턴으로 구성된다. 송신 코일(1101)은 6.78 MHz에서 공진시키기 위해 집중정수 커패시터를 연결하였는데, 코일의 인덕턴스는 6.40  $\mu$ H이고, 저항은 1.039 $\Omega$ 이다. 따라서 6.78 MHz에서 송신 코일의 품질 계수(Q-factor)는 262.4이다.
- [0100] 한편, 상술한 도 4 내지 도 11을 참조하여 설명한 본 발명에 따른 송신 코일 및 송신기는 설명의 편의를 위하여 언급된 실시예들로서, 해당 사양(예컨대, 턴수, 코일사이즈, 보울 사이즈 등)에 한정되는 것은 아니며, 실시 환경 및 용도에 따라 다양한 형태 및 사양으로 구현될 수 있다. 또한, 본 발명의 실시예에서 수신기 및 송신기의 실시예로서 보청기 및 보청기 보관 구조물을 설명하는 경우가 있으나, 이는 한정된 부분은 아니며 수신기 및 송신기는 소형 의료기기, 스마트폰, 아이패드 및 그 보관 구조물과 같이 다양한 용도로 구현될 수 있음은 물론이다.
- [0101] 한편, 상술한 도 4 내지 도 7 및 도 12에 도시된 송신 코일은 스파이럴 코일부 및 헬리컬 코일부가 원형으로 구현되고 송신기도 원형 보울 형상으로 구성된 예를 상술하였다. 그러나, 본 발명의 다른 실시 예들에 따르면 스파이럴 코일부 및 헬리컬 코일부는 그 루프들이 원형 형상뿐만 아니라 다양한 형상, 예컨대 다각형 형상 또는 타원형 형상 등으로 구현될 수 있다.
- [0102] 이와 관련하여, 도 13 및 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 무선 송신 코일의 구조를 적용한 보울형 송신기의

기구적 형상의 다른 예를 나타내는 도면이다.

- [0103] 본 발명의 다른 실시예들에 따르면, 도 13에 도시된 바와 같이 송신기(1200)의 수평 단면(1201)을 사각형으로 형성할 수 있고, 도 14에 도시된 바와 같이 송신기(1300)의 수평 단면(1301)을 육각형으로 형성할 수 있다. 도 13 및 도 14에 도시된 송신기(1201, 1301) 모두 하단부(도면은 하부로부터 도시하고 있으므로 도면상에서는 상부) 및 옆 외주면에 걸쳐 스파이럴 코일부(1203, 1303) 및 헬리컬 코일부(1202, 1302)가 권선되도록 구현할 수 있다. 송신기의 수평 단면은 다각형, 타원형 등 다양한 형태로 구현될 수 있다.
- [0104] 도 15는 본 발명의 다른 실시예로서 다수의 수신기와 그 다수의 수신기를 수용 및 보관할 수 있는 송신기를 구현한 예를 나타내는 사시도이다.
- [0105] 도 15에 도시된 바와 같이, 본 발명의 다른 실시예는 송신기(1220)를 보청기 케이스 형태로 구현하고, 수신기인 보청기를 보관 및 충전할 수 있는 실시예를 나타내고 있다. 송신기(1220)의 내부에는 좌우 보청기를 각각 수납할 수 있는 수납 공간(1221, 1222)를 구비하고, 수납 공간(1221, 1222)을 덮어 안전하게 보관할 수 있도록 덮개(1223)가 마련된다. 송신기(1220)의 각각의 수납 공간(1221, 1222)에 대응하는 내부에는 앞서 언급한 코일 구조물이 설치되어 있을 수 있다.
- [0106] 도 16은 도 15에 도시된 송신기(1220)의 단면으로서 좌측 수납 공간(1221)에 대응하는 위치의 단면을 도시하고 있다.
- [0107] 도 16에 도시된 바와 같이, 좌측 수납 공간(1221)의 내부 바닥면에는 스파이럴 코일부(1227)이 설치되고 내부의 옆면에는 헬리컬 코일부(1225)가 설치된다. 상기 스파이럴 코일부(1227) 및 헬리컬 코일부(1225)는 사각형의 수납 공간(1221)에 대응되도록 사각의 평면 형상일 수 있다. 즉, 스파이럴 코일부(1227) 및 헬리컬 코일부(1225)는 사각형 스파이럴 코일 및 사각형 헬리컬 코일일 수 있다.
- [0108] 도 15 내지 도 16에 도시된 보청기 케이스를 구현하면, 보청기를 케이스에 넣어두고 보관하면서 자동 충전하는 것이 가능하다. 이때, 고속 충전 기능을 구비하여 가능한 빠르게 충전할 수 있도록 하고, 케이스에 보청기 전지 용량보다 큰 배터리를 내장함으로써 보청기를 여러 번 충전할 수 있도록 구현할 수 있다.
- [0109] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 수신기에 탑재되는 수신 코일은 판상형의 지지대에 권선될 수 있다. 이하, 도 17 내지 도 19를 참조하여 수신코일의 다양한 실시예를 살펴보기로 한다.
- [0110] 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 수신 코일을 구성하는 각 구성의 일 예를 나타내는 도면이다.
- [0111] 도 17의 (a)에 도시된 수신 코일(1400)은 수신기에 탑재되는 코일로서, 지지대를 구성하는 어느 하나의 넓은 면을 제1 평면, 제1 평면의 반대면을 제2 평면으로 정의할 때, 수신 코일(1400)은 지지대의 제 1 평면에 수평적으로 권선된 제1 수평 코일부(1401), 지지대의 옆면에 권선된 수직적으로 권선된 수직 코일부(1402), 제 2 평면에 수평적으로 권선된 제2 수평 코일부(1403)로 구성할 수 있다. 이때, 제 1 수평 코일부(1401) 및 제2 수평 코일부(1403)는 스파이럴 코일을 사용하고, 수직 코일부(1402)는 헬리컬 코일을 사용한다.
- [0112] 스파이럴 코일부와 헬리컬 코일부는  $m\mu$  이상의 주파수를 사용하기 위해 단일 도선을 사용하고 여러 턴을 갖는 구조로 구현할 수 있다. 예컨대, 수신 코일(1400)의 전체 규격은 가로 10.5 mm, 세로 6.5 mm, 높이 2.46 mm의 직사각형 구조로 설계하면서 제1 수평 코일부(1401) 및 제2 수평 코일부(1403)를 구성하는 스파이럴 코일은 8턴으로 구성하고 수직 코일부(1402)를 구성하는 헬리컬 코일은 7턴으로 구성하며, 각 코일은 서로 직렬 연결되도록 구현할 수 있다. 그리고, 바람직하게는 각 코일부에서 여러 턴을 사용하여 코일 구조를 구현하는 경우 가장 낮은 저항을 얻기 위해 코일의 각 턴 사이의 간격이 동일하도록 구현할 수 있다.
- [0113] 또한, 수신 코일의 내부에는 자속의 집속을 위해 수신 코일의 모양에 맞게 자성 특성을 갖는 구조를 사용할 수 있다. 예컨대, 도 17의 (b)에 도시된 것처럼, 투자율이 100인 페라이트 시트를 여러 겹 적층한 사각형의 판상형 구조로 페라이트 직육면체의 지지대(1404)를 구현할 수 있다.
- [0114] 도 17의 (c)는 도 17의 (a) 및 (b)에 도시된 구성으로 제작된 수신 코일의 일 예를 나타낸다. 제작된 수신 코일(1405)은 도 17의 (a)에서 언급한 코일 규격에 동일하게 제작한 것으로, 가로 10.5mm, 세로 6.5mm, 높이 2.46mm의 직사각형 구조에 스파이럴 코일은 8턴씩이고, 헬리컬 코일은 7턴으로 각 코일은 서로 직렬 연결되었으며, 지름 0.25mm의 구리 도선을 사용한 것이다. 또한, 수신 코일(1405)이 6.78MHz에서 공진이 되기 위해 집중정수 커패시터를 연결하였다. 제작한 수신 공진 코일(1405)의 인덕턴스는 3.09  $\mu$ H이고, 저항은 3.400 $\Omega$ 이다. 따라서 6.78 MHz에서 수신 코일의 품질 계수는 38.7이다.

- [0115] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 수신 코일은 도 15에 도시된 사각형 형태뿐만 아니라 다양한 형태로 구현될 수 있다.
- [0116] 도 18 및 도 19는 본 발명의 실시예에 따른 수신 코일의 다양한 다른 실시예를 나타내는 도면이다.
- [0117] 도 18 및 도 19를 참조하면, 각각 원형 형태의 수신 코일(1500) 및 육각 형태의 수신 코일(1600)의 일 예를 도시한다.
- [0118] 도 18 및 도 19에 도시된 바와 같이, 수신 코일(1500, 1600)의 형태에 따라 원형 또는 육각형의 제1 스파이럴 코일부(1501, 1601), 헬리컬 코일부(1502, 1602) 및 제2 스파이럴 코일부(1503, 1603)가 적층된 형태로 구성할 수 있다.
- [0119] 나아가, 도 18 및 도 19에 도시되지는 않았지만 수신코일을 지지하기 위해 각각 원형 및 육각 형태의 판상형 지지대, 예컨대 페라이트 시트부가 더 포함될 수 있다.
- [0120] 제안된 수신 코일 구조는 제안된 송신 코일 구조에도 적용이 가능하지만, 다른 형태의 송신 구조에서도 활용이 가능하다, 예를 들어 평판형 스파이럴 구조, 박스형 코일 구조 등에도 적용이 가능하다.
- [0121] 도 20은 본 발명의 실시예에 따른 송신 코일 및 수신 코일간의 상호 인덕턴스 측정 결과의 일 예를 나타내는 도면으로, 구체적으로는, 수신 코일 배열에 따라 변동하는 송신 코일 및 수신 코일간의 상호 인덕턴스 측정 결과를 나타낸다.
- [0122] 도 20의 (a)는 수신 코일이 송신 코일에 평행하게 배열된 경우의 상호 인덕턴스 측정 결과이고, 도 20의 (b)는 수신 코일이 송신 코일에 수직 배열된 경우의 상호 인덕턴스 측정 결과이다. 이때, 사용된 송신 코일 및 수신 코일은 상기 도 12 및 도 17에서 상술한 실시예에 따른 송신 코일 및 수신 코일을 이용하고, 각 코일의 위치는 상기 도 10에 도시된 시뮬레이션에서 사용한 수신 코일의 간격과 동일하게 설정하였다. 즉, 평행 배열에서는 수신 코일이 지지대 바닥면으로부터 5 mm 떨어진 지점에 위치하고, 수직 배열에서는 수신 코일이 지지대 바닥면으로부터 8 mm 떨어진 지점에 위치하는 것으로 구현하였다.
- [0123] 도 20의 (a)에 도시된 바와 같이, 평행 배열인 경우 송신 코일과 수신 코일간의 상호 인덕턴스는 중심에서 약 350 nH를 갖고 외각으로 갈수록 감소하는 형태를 나타낸다. 도 20의 (b)에 도시된 바와 같이, 수직 배열인 경우에는 송신 코일과 수신 코일간의 상호 인덕턴스는 중심에서 약 2.25 nH이고, 외각으로 갈수록 증가하여 최대 178.5 nH를 갖는 형태를 나타낸다. 또한, 수직 배열에서 x축으로 움직일 때는 상호 인덕턴스가 커지지만, y축으로 움직일 때는 수신 코일에 z 방향뿐만 아니라 ρ 방향 자기장도 쇄교할 수 없기 때문에 거의 0이 될 수도 있다.
- [0124] 한편, 송신 코일 및 수신 코일의 저항 및 상호 인덕턴스를 통해 무선 전력 송수신 시스템이 가질 수 있는 최대 효율( $\eta^{\max}$ )은 하기 수학적 식 8을 통해 도출할 수 있다.

수학적 식 8

$$\eta^{\max} = \frac{\omega^2 M^2}{R_1 R_2} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_1 R_2}} \right]^{-2}$$

[0125]

- [0126] 상기 수학적 식 8을 참조하면, 무선 전력 송수신 시스템의 최대 효율( $\eta^{\max}$ )은 송신 코일과 수신 코일이 평행 배열인 경우 송신 코일의 중심에서 최대 80.11%의 효율을 나타내고, 송신 코일과 수신 코일이 수직 배열인 경우  $\rho = 3$  cm일 지점에서 최대 61.3%의 효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이는, 송수신 공진 코일에서 가질 수 있는 이론적인 최대 효율로서, 이러한 최대 효율을 얻기 위해서는 적절한 임피던스 매칭이 요구될 수 있다.
- [0127] 한편, 앞서 설명한 실시예들에서는 도 4내지 도 5에 도시된 코일 구조를 송신 코일로서 구현하고, 도 17에 도시된 코일 구조를 수신 코일로서 구현한 예를 설명하였으나, 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 도 4 내지 도 5에 도시된 코일 구조를 수신 코일로서 구현하고, 도 17에 도시된 코일 구조를 송신 코일로서 구현할 수도 있다. 예를 들어, 상기 다른 실시예는 수신기의 적어도 일부를 보울 형태로 구성하고 수신 코일을 스파이럴 코일부와 헬리컬 코일부를 구비하도록 구현하는 것이다. 즉, 본 발명에 따른 제안된 개선된 코일 구조, 예컨대 스파이럴 코일부와 헬리컬 코일부를 구비하는 코일 구조는 송신 코일이나 수신 코일 중 적어도 하나에 적용될 수 있다.
- [0128] 도 21은 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 회로적 구성의 다른 예를 나타내는 도면으로, 구체적으로는 무선 전력 송수신 시스템의 효율성을 최대화하기 위하여 임피던스 매칭을 수행하기 위한 회로 구성도를 나타낸다.
- [0129] 도 21을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템은 송신기(1800a) 및 수신기(1800b)를 포함한다.
- [0130] 송신기(1800a)는 입력 임피던스 매칭(Tx impedance matching)을 위한 소스 코일(1801)과 송신 공진 코일(1802)로 구성된다. 소스 코일(1801)은 소스 코일의 인덕턴스( $L_s$ ), 소스 코일에 연결되는 집중분포 커패시터( $C_s$ ), 손실 저항( $R_s$ ) 및 특성 임피던스  $Z_0$ 를 갖는 소스와 연결된다. 이때, 커패시터( $C_s$ )는 회로 상황에 따라 사용하지 않을 수 있다.
- [0131] 송신 공진 코일(1802)은 소스 코일(1801)과 입력 임피던스 매칭을 위한 송신 공진 코일의 인덕턴스( $L_1$ ), 송신 공진 코일에 연결되는 커패시터( $C_1$ ) 및 저항( $R_1$ )이 직렬 연결되는 구성을 갖는다. 송신 공진 코일(1802)의 회로는 상기 도 3에서 상술한 송신부(310)의 등가회로와 비교하여, 소스 코일(1801)과 임피던스 매칭을 수행한다는 점에서 구별된다.
- [0132] 소스 코일(1801)과 송신 공진 코일(1802)은 상호 임피던스( $M_s$ ) 조절을 통하여 송신부 입력 임피던스 매칭을 수행할 수 있다. 다만, 도시된 매칭회로에 한정되는 것은 아니며 다양한 매칭 회로가 사용될 수 있다. 예를 들어, 소스 코일을 사용하지 않고 송신 공진 코일부와 직접 커패시터를 연결한 구조를 사용할 수 있다. 이 경우 커패시터는 직렬, 병렬, 직렬-병렬, 병렬-직렬로 구성될 수 있다.
- [0133] 도 21에 도시된 소스 코일에 따라 제작하게 되면, 해당 소스 코일은 반지름 11mm, 도선 간격은 2mm, 2턴으로 구성된 스파이럴 코일일 수 있다. 또한, 소스 코일은 송신 코일의 바닥면에 위치할 수 있다. 예를 들어, 소스 코일은 도 6에 도시된 것과 같은 송신기의 바닥면 일측 내부에 마련된 제2 홈( $H_2$ )을 활용하여 권선됨으로써 송신 코일의 하단에 구비될 수 있다. 상기 소스 코일의 예시적인 인덕턴스는 150 nH,  $M_s=364$  nH이다.
- [0134] 한편, 수신기(1800b)의 수신단은 수신 공진 코일(1803)과 수신 임피던스 매칭 회로(1804)를 포함한다. 수신 공진 코일(1803)은 송신 공진 코일(1802)과 출력 임피던스 매칭을 위한 수신 공진 코일의 인덕턴스( $L_2$ ) 및 코일의 손실 저항( $R_2$ )을 포함하는 회로 구성을 포함하며, 송신 공진 코일(1802)과 출력 임피던스 매칭(Rx impedance matching)을 수행한다.
- [0135] 수신부 임피던스 매칭 회로(1804)는 임피던스 매칭 구현을 위해 커패시터인  $C_2$ 와  $C_p$ 를 사용하는데, 수신 공진 코일(1803)과 수신부 임피던스 매칭 회로(1804)의 커패시터( $C_2$ ,  $C_p$ )는 도면과 같이 병렬, 직렬로 구현할 수 있다. 이렇게 병렬, 직렬로 구현할 경우 다중 기기의 충전시 수신코일로부터 부하쪽으로 바라보는 임피던스가 낮은 부하에 더 많은 전력이 공급된다.
- [0136] 이때, 도 21에 도시되지는 않았으나, 소스 코일(1801)과 수신 공진 코일(1803) 간에도 상호 임피던스가 존재할 수 있으며, 시스템의 성능에 큰 영향을 주지 않는 정도의 크기인 경우 무시할 수 있다. 다만, 소스 코일(1801)과 수신 공진 코일(1803)이 매우 근접할 경우 또는 여러 수신부가 동시에 충전될 경우는 정확한 임피던스 매칭을 고려해야 할 필요가 있다.

- [0137] 수신기(1800b)의 수신단, 즉 수신 공진 코일(1803) 및 수신부 임피던스 매칭 회로(1804)의 커패시터( $C_2$ ,  $C_p$ )에는 정류회로(1805), 충전회로(LTC4070; 1806), Li-ion 배터리(1807), DC-DC 변환 회로(1808) 및 부하(1809)를 포함하는 수신 신호 처리 회로가 병렬로 연결된다. 여기서, DC-DC 변환 회로(1808)는 LDO 회로인 LD6806을 사용하고, 부하(1809)는 보청기를 이용할 수 있다.
- [0138] 이때, 수신 공진 코일(1803), 수신부 임피던스 매칭 회로(1804)의 커패시터( $C_2$ ,  $C_p$ ) 및 수신 신호 처리 회로가 병렬 공진 회로를 구현하는 것은, 부하의 Li-ion 배터리(1807)를 충전하도록 전송되는 전류는 배터리 과전류 방지를 위해 20mA로 제한됨에 따라 부하 임피던스가 수백 $\Omega$ 의 임피던스를 갖게 되고, 이러한 임피던스 값은 기존의 스마트폰 등과 같은 높은 전류로 충전되는 배터리와 비교하여 높은 값으로, 직렬 공진 회로 사용시 무선충전 시스템의 효율이 감소되는 것을 방지하기 위한 것이다.
- [0139] 따라서, 수신부 임피던스 매칭 회로(1804)는 수신 공진 코일, 커패시터 및 부하가 서로 병렬로 연결된 병렬 공진 회로를 적용하는 것이 바람직하다. 예컨대, 수신 코일(1803)과 병렬로 연결된 커패시터  $C_2 \neq 0$ 이며, 직렬로 연결된 커패시터  $C_p = 0$ 으로 구성할 수 있다.
- [0140] 그러나, 반드시 도 21에 도시된 것과 같이 병렬 공진 회로에 한정되는 것은 아니며, 구현 방식에 따라 직렬-병렬, 병렬 및 직렬 커패시터를 사용한 매칭 회로 중 어느 하나로 구성할 수 있다. 또한, 송신부(1800a)와 마찬가지로 수신 공진 코일과 정류회로와 연결되는 부하 코일을 두어 매칭을 수행할 수도 있다.
- [0141] 수신기(1800b)의 수신 신호 처리 회로는 수신 공진 코일(1803)에 유도된 전압을 직류로 변환하기 위한 반파 정류 회로(1805), 인지용 적색 LED(1805c), Li-ion 배터리 충전을 위한 배터리 충전 IC(1806) 및 Li-ion 배터리(1807)로 이루어진 수신 회로를 포함할 수 있다.
- [0142] Li-ion 배터리(1807)는 정상상태에서 4.2V의 전압을 갖지만, 부하(1809)에 해당하는 보청기는 1.4V의 전압에서 동작하기 때문에 배터리 전압을 보청기에서 사용할 수 있도록 Linear Drop Out를 사용하여 전압을 강하시킬 수 있다. 예컨대, 수신 회로에 사용되는 LDO(1808)는 NXP사의 LD6806이고, 측정된 보청기 인가 전압은 1.417V일 수 있다.
- [0143] 정류회로(1805)는 수신 신호 처리 회로의 크기를 줄이기 위해 전파 정류회로가 아닌 1개의 다이오드(1805a)만을 사용하는 반파 정류회로로 구성한다. 이때, 다이오드(1805a)는, 예컨대, 파나소닉사의 DB27316으로 문턱전압이 최대 0.55V이고, 저전류 정류용 다이오드로 구현할 수 있다. 정류 전압을 평활하기 위해 다이오드(1805a)에 병렬 연결하는 평활 커패시터(1805b)는, 예컨대 일반 RF 커패시터를 병렬 연결하여 116 $\mu\text{F}$ 의 값을 갖도록 하여 리플 전압을 최소화할 수 있다.
- [0144] 그리고, 충전 인지용 적색 LED(1805c)는 충전상태를 알려주기 위해 연결한 것이다. 충전상태에서는 정류회로(1805)의 출력 전압과 충전 IC(1806)로의 입력 전압의 전압차가 LED(1805c)의 문턱 전압으로 고정될 수 있다. 예컨대, Li-ion 배터리(1807)의 저전류 충전을 위해 충전 IC(1806)는 Linear Technology사의 LTC4070을 사용할 수 있다. 이때, IC(1806)는 최소 450nA에서 최대 50mA까지 충전이 가능하다.
- [0145] 이와 같이, 도 21에 도시된 회로 구성도를 포함하는 무선 전력 송수신 시스템은 소형 보청기를 위한 무선 충전 시스템으로 구현할 수 있다.
- [0146] 도 22는 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 회로적 구성에 기초한 소형 보청기 무선 충전 시스템 형상의 일 예를 도시하는 도면이다.
- [0147] 도 22의 (a)는 상기 도 21의 (a)의 설명에서 언급한 송신기 회로도를 반영하여 제작한 소형 보청기 무선 충전 시스템 형상을 나타내고, 도 22의(b)는 상기 도 21의 (b)의 설명에서 언급한 수신 공진 코일과 결합되도록 제작된 수신기 회로도를 반영하여 제작한 수신 코일 및 수신 회로의 형상을 나타낸다.
- [0148] 도 22의 (a)를 참조하면, 수신기에 해당하는 보청기는 대한 보청기의 귀속형 모델인 Maxo-K이고, 외각 크기는 길이 18mm, 너비 15 mm이다. Li-ion 배터리는 파우치 형태이고, 셀 크기는 가로 10mm, 세로 10mm, 높이 4.09mm이다. 도 22의 (b)는 수신 코일과 수신 회로를 제작한 형상으로, 수신 코일과 수신 회로를 합쳐서 4mm의 높이를 갖는다. 수신 회로는 0.4mm FR4 기판에 제작되었고, 수신 코일과 함께 보청기에 내장될 수 있는 크기이다.
- [0149] 이와 같이, 도 21 및 도 22에 도시된 회로 구성도를 포함하는 무선 전력 송수신 시스템은 소형 보청기 구동을 위하여 개발된 소형 Li-ion 배터리 충전에 응용되었으나, 다양한 웨어러블 의료단말, 웨어러블 정보통신 단말,

스마트폰 등 다양한 휴대용 정보통신 단말에 적용될 수 있다.

- [0150] 도 23은 본 발명의 실시예에 따른 무선 전력 송수신 시스템의 회로적 구성의 다른 예를 나타내는 도면으로, 구체적으로는 송신기로부터 다수 개의 수신기, 예컨대 제 1 수신기 및 제 2 수신기로 전력을 전송하는 예에 대응하는 등가 회로를 나타내는 회로도이다.
- [0151] 도 23에 도시된 바와 같이, 송신기(2301)는 제 1 수신기(2302) 및 제 2 수신기(2303)와 각각 상호 인덕턴스(M12) 및 (M13)에 따른 자기 유도 또는 자기장 결합을 기반으로 무선 전력을 전송할 수 있다. 도 23에 도시된 송신기(2301)의 송신 코일은 앞서 설명한 도 4 내지 도 5에 도시된 본 발명의 제안된 코일 구조일 수 있다. 예를 들어, 도 23에 도시된 예는, 기구적으로는, 보울 형태의 송신기(2301) 내에 복수개의 수신기가 놓여진 것 상 태일 수 있다. 예컨대, 도 23에 도시된 송신기(2301)의 관련 파라미터는 앞서 설명한 도 21의 설명에 기재된 송신기의 파라미터를 적용할 수 있으며, 제 1 수신기(2302) 또는 제 2 수신기(2303)의 관련 파라미터는 도 21의 설명에 기재된 수신기의 파라미터를 각각 적용할 수 있다.
- [0152] 송신기(2301)의 교류 소스 신호 Vs는 도23에 도시되지는 않았으나 전력소스로부터 출력되며, 전력소스는 구형파 신호를 입력받으며 드라이빙 증폭기, 스위칭 전력증폭기 및 시스템 주파수의 신호만을 송신 코일부에 전달하기 위한 LC필터등을 포함할 수 있다. 송신기(2301)는 자기 인덕턴스 L<sub>1</sub>, 저항 R<sub>1</sub> 및 공진을 위한 커패시터 C<sub>1</sub>를 포함한다. 제 1 수신기(2302)는 자기 인덕턴스 L<sub>2</sub>, 저항 R<sub>2</sub> 및 공진을 위한 커패시터 C<sub>2</sub>를 포함하고, 제 2 수신기(2303)는 자기 인덕턴스 L<sub>3</sub>, 저항 R<sub>3</sub> 및 공진을 위한 커패시터 C<sub>3</sub>를 포함할 수 있다.
- [0153] 도 23에 도시된 회로도에는, 송신기(2301)의 커패시터 C<sub>1</sub>은 인덕턴스 L<sub>1</sub> 및 저항 R<sub>1</sub>에 직렬 연결된 직렬 회로를 도시하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 다른 실시예에 따르면 송신기(2301)의 커패시터C<sub>1</sub>은 인덕턴스 L<sub>1</sub> 및 저항 R<sub>1</sub>에 병렬로 연결될 수도 있다. 또한, 도 21은 제 1 수신기(2302)의 커패시터 C<sub>2</sub>는 인덕턴스 L<sub>2</sub> 및 저항 R<sub>2</sub>에 병렬 연결된 직렬 회로를 도시하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 다른 일 실시 예에 따르면 커패시터 C<sub>2</sub>는 인덕턴스 L<sub>2</sub> 및 저항 R<sub>2</sub>에 직렬 연결될 수 있다. 마찬가지로, 도 23은 제 2 수신기(2303)의 커패시터 C<sub>3</sub>는 인덕턴스 L<sub>3</sub> 및 저항 R<sub>3</sub>에 병렬 연결된 직렬 회로를 도시하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 다른 일 실시 예에 따르면 커패시터 C<sub>3</sub>는 인덕턴스 L<sub>3</sub> 및 저항 R<sub>3</sub>에 직렬 연결될 수 있다.
- [0154] 바람직하게는, 송신 코일이 제 1 수신 코일 및 제 2 수신 코일로 전자기 유도 또는 자기장 결합 방식을 통해 최대 전력을 전송할 수 있도록, 송신기(2301)에는 제 1 수신기(2302)와의 임피던스 매칭을 위한 임피던스 매칭 유닛, 예컨대 Tx impedance matching unit을 구비하고, 제 2 수신기(2302)에는 송신기(2301)과의 임피던스 매칭을 위한 제 1 수신기(2301)의 수신 임피던스 매칭 유닛 Rx impedance unit을 구비할 수 있다. 마찬가지로, 제 2 수신기(2303)는 송신기(2301)와의 임피던스 매칭을 위하여 제 2 수신기(2303)의 수신 임피던스 매칭 유닛 Rx impedance unit을 포함할 수 있다.
- [0155] 최대 전력 전달을 위하여, 송신 임피던스 매칭 유닛은 송신 코일(Tx coil)로 바라보는 임피던스를 입력 임피던스(Z<sub>in</sub>)와 공액 매칭시켜 주는 역할을 하며, 송신부 임피던스 매칭을 통하여 송신되는 소스 신호의 반사를 최소화 또는 제거한다. 제 1 수신기(2032)의 임피던스 매칭 유닛 및 제 2 수신기(2303)의 임피던스 매칭 유닛은 임피던스 Z<sub>L2</sub> 및 임피던스 Z<sub>L3</sub>대한 임피던스 매칭 효과를 얻기 위하여 수신 코일(Rx coil)로부터 송신 쪽으로 바라 보는 임피던스와 공액 매칭 조건이 성립되도록 한다. 이때, 임피던스 Z<sub>L2</sub> 또는 임피던스 Z<sub>L3</sub>는 각각 정류회로, DC-DC변환기, 배터리, 저항 또는 전기기기 등과 같은 부하를 의미할 수 있다.
- [0156] 한편, 앞서 설명한 본 발명의 일 실시예에 따른 코일 구조, 예컨대 도 4 내지 도 5에 도시된 코일 구조는 스파이럴 코일부와 헬리컬 코일부가 단일 도선으로 구성되는 예를 설명한 바 있다. 예를 들어, 앞서 설명한 송신 코일부는 단일 도선으로 구현된다. 그런데, 다른 한편으로, 본 발명의 다른 실시예에 따른 코일 구조는 스파이럴 코일부와 헬리컬 코일부를 별도의 도선으로 구성할 수도 있다. 예컨대 송신 코일부를 복수의 도선으로 구성하는 것이다. 이하에서는 이러한 실시예에 따른 코일 구조를 살펴보기로 한다.
- [0157] 도 24는 본 발명의 다른 실시예에 따른 3차원 무선 송신 코일 구조의 일예를 나타내는 사시도이다.
- [0158] 도 24에 도시된 본 발명의 다른 실시예에 따른 송신 코일은 2차원적인 평면, 예컨대 바닥면에 원형 스파이럴 형태의 코일로서 형성되는 스파이럴 코일부(401') 및 상기 스파이럴 코일부(401')이 형성된 평면, 예컨대 바닥면으로부터 수직 방향으로 수직 코일부를 권선되되, 코일 루프의 반지름이 서서히 증가하는 형태의 유사 원뿔형

(Conical-like)으로 권선되는 헬리컬 코일부(402')를 포함할 수 있다.

- [0159] 이때, 송신 코일(400)을 구성하는 스파이럴 코일부(401')과 헬리컬 코일부(402')는 물리적으로 분리된 별도의 도선으로서 구현된다. 즉 도 4에 도시된 단일 도선을 이용한 송신 코일부와는 달리, 도 24에 도시된 송신 코일부는 스파이럴 코일부(401')와 헬리컬 코일부(402')가 물리적으로 분리되는 구조인 것이다.
- [0160] 상기 스파이럴 코일부(401') 및 헬리컬 코일부(402')는 도 22에 도시된 바와 같은 원형뿐만 아니라, 앞서도 언급한 바와 같이, 다각형, 타원형 등 다양한 형태로의 변형 실시가 가능하다.
- [0161] 이러한 무선 송신 코일 구조를 사용하면, 스파이럴 코일부(401')와 헬리컬 코일부(402')에 각각 교류 소스를 연결하여 상황에 따른 능동적인 제어를 기반으로 하는 효율적인 송신기의 구현이 가능하다.
- [0162] 도 25은 본 발명의 다른 실시예에 따른 무선 전력 전송 시스템의 구성을 도시하는 블록도이다.
- [0163] 도 25에 도시된 바와 같이, 송신기(2500)는 제 1 송신부(2510), 제 2 송신부(2520), 제어 유닛(2530) 및 송신기 통신 유닛(2540)을 포함할 수 있다. 상기 제 1 송신부(2510)는 제 1 송신 코일(2513), 제 1 임피던스 매칭 유닛(2512), 제 1 교류 소스(2511)를 포함할 수 있다. 여기서 상기 제 1 송신 코일(2513)은, 예컨대 도 24에 도시된 스파이럴 코일부(401')일 수 있다. 상기 제 2 송신부(2520)는 제 2 송신 코일(2523), 제 2 임피던스 매칭 유닛(2522), 제 2 교류 소스(2521)를 포함할 수 있다. 여기서 상기 제 2 송신 코일(2523)은, 예컨대 도 24에 도시된 헬리컬 코일부(402')일 수 있다. 즉, 제 1 송신 코일(2513)인 스파이럴 코일부(401') 및 제 2 송신 코일(2523)인 헬리컬 코일부(402')는 물리적으로 분리되며 각각 제 1 교류 소스(2511) 및 제 2 교류 소스(2521)로부터 전원을 공급받는다.
- [0164] 송신기 통신 유닛(2540)은 적어도 하나의 수신기(2550, 2560)와 통신함으로써, 송신기(2500)가 적어도 하나의 수신기(2550, 2560)와 데이터를 주고 받을 수 있도록 한다. 송신기(2500)와 수신기(2550 또는 2560) 간의 통신은 무선 전력 전송 신호를 사용하여 데이터를 송수신할 수 있는 인-밴드(In-Band) 통신을 사용할 수도 있고, 무선 전력 전송 주파수와는 다른 주파수를 이용한 다른 통신 방식을 사용할 수도 있다.
- [0165] 제어 유닛(2530)은 송신기 통신 유닛(2540)을 통하여 수신기(2550 또는 2560)로부터 송신기(2540)로 전달되는 무선 전력의 센싱 데이터를 취득할 수 있다. 제어 유닛(2530)은 취득된 센싱 데이터를 기반으로 하여, 제 1 교류 소스(2511)와 제 2 교류 소스(2521)의 출력 크기 및 동작을 제어하고, 제 1 임피던스 매칭 유닛(2512) 및 제 2 임피던스 매칭 유닛(2522)을 조정할 수 있다. 즉 제 1 교류 소스(2511)의 신호 및 제 2 교류 소스(2521)의 신호는 동일한 위상을 가지나, 제어 유닛(2530)의 제어에 따라 출력 전력이 달라질 수 있으며, 이로 인하여 제 1 송신 코일(2513) 및 제 2 송신 코일(2523)에서 생성되는 자기장의 크기가 달라질 수 있다.
- [0166] 좀더 구체적으로, 제어 유닛(2530)은 초기에 제 1 교류 소스(2511) 및 제 2 교류 소스(2521)를 각각 제어하여, 기 설정된 일정한 전력을 제 1 송신 코일(2513) 및 제 2 송신 코일(2523)로 인가한다. 이에 따라, 수신기(2500)에는 무선으로 전력이 수신된다. 수신기(2550 또는 2560)는 수신되는 전력의 세기를 센싱하여 센싱 데이터를 송신기로 전송할 수 있다. 제어 유닛(2530)은 수신기(2550 또는 2560)로부터 수신되는 센싱 데이터를 기반으로 하여 제 1 교류 소스(2511) 및 제 2 교류 소스(2521)의 전력을 제어할 수 있다. 예를 들어, 제어 유닛(2530)은 수신기(2550 또는 2560)로 더 많은 전력을 송신할 수 있는 송신부를 검출하여, 검출된 송신부에 더 많은 전력을 더 송신하도록 해당 교류 소스를 제어할 수 있다.
- [0167] 일례로, 수신기(2550 또는 2560)가 스파이럴 코일부(401', 즉 2510)로부터 헬리컬 코일부(402', 즉 2520)에 비하여 더 많은 전력을 수신한다고 가정하면, 제어 유닛(2530)은 스파이럴 코일부(401')가 헬리컬 코일(402')보다 더 많은 전력을 공급할 수 있도록 제 1 교류 소스(2511) 및 제 2 교류 소스(2521)를 제어할 수 있다. 다른 일례로, 만약 수신기(2550 또는 2560)가 대부분의 전력을 헬리컬 코일부(402', 즉 2520)로부터 수신하고 스파이럴 코일부(401', 즉 2510)로부터는 전력을 거의 수신하지 못한다고 가정하면, 제어 유닛(2530)은 헬리컬 코일부(402')로만 전력을 공급하고 스파이럴 코일부(401')로는 전력이 거의 공급되지 않도록 제 1 교류 소스(2511) 및 제 2 교류 소스(2521)를 제어할 수도 있다.
- [0168] 이와 같이, 제어 유닛(2530)은, 무선 전력 전송 영역에서 수신기(2550 또는 2560)의 위치나 상태에 따라, 수신기(2550 또는 2560)가 전력을 더 많이 수신하는 송신부로 더 많은 전력이 공급되도록 제어하거나, 수신기(2550 또는 2560)로 전력을 거의 전송하지 못하는 송신부로는 전력의 공급을 줄일 수 있다. 따라서, 본 실시예에 따르면, 무선 전력 전송의 효율을 대폭 증가되며, 효율적인 무선 전력 전송이 가능하다.
- [0169] 한편, 수신기가 다수 개인 경우(예를 들어, 2550과 2560이 모두 존재하는 경우), 제어 유닛(2530)은 초기에 제

1 교류 소스(2511) 및 제 2 교류 소스(2521)를 각각 제어하여 기 설정된 일정한 전력을 제 1 송신 코일(2513) 및 제 2 송신 코일(2523)로 인가한 후, 각각의 수신기(2550, 2560)로부터 수신되는 전력에 대한 센싱 데이터를 기반으로 제 1 교류 소스(2511) 및 제 2 교류 소스(2521)의 출력을 조절함으로써, 제 1 송신 코일(2513)과 제 2 송신 코일(2523)에서 발생하는 자기장의 세기를 조정할 수 있다.

[0170] 한편, 제어 유닛(2530)은, 제 1 송신부(2510) 및 제 2 송신부(2520)에 각각 구비된 제 1 임피던스 매칭부(2512) 및 제 2 임피던스 매칭부(2522)를 조정할 수 있다. 이러한 조정을 위하여, 수신기(2550 또는 2560)는 수신기(2550 또는 2560)의 정류 회로 전단 또는 후단에서 측정되는 전압 및 전류 중 적어도 하나를 센싱하여 송신기(2500)로 전송하고, 제어 유닛(2530)은 수신된 센싱 데이터를 기반으로 하여, 최적의 송신부 임피던스 매칭이 되도록 제 1 임피던스 매칭부(2512) 및 제 2 임피던스 매칭부(2522)를 조정한다. 한편, 본 발명의 실시예들에 대하여 상술한 것처럼, 수㎞ 이상의 주파수 대역에서의 코일 설계를 위해서 단일 금속 도선 또는 다수 개의 금속 도선을 사용할 수 있다. 다만, 무선 전력 전송 시 자기장 세기를 증가시키기 위하여 코일부의 도선의 턴 수를 증가시키는 경우, 주파수가 높을수록 도선의 표피 효과(Skin Effect)가 증가하고, 코일을 구성하는 도선의 턴 수가 증가할수록 인접 도선간의 근접 효과(Proximity Effect)가 급증하여 저항이 커질 수 있다.

[0171] 본 발명은 코일부를 구성하는 도선의 턴 수 증가에 따른 도선 간의 근접 효과 및 표피 효과의 영향을 고려하여 손실 저항을 최소화함으로써 자기장의 세기를 극대화할 수 있는 코일 구조를 제시한다.

[0172] 이하, 도 26 및 도 27 참조하여 도선에 전류가 흐를 때 발생할 수 있는 표피 효과 및 근접 효과에 대하여 설명하도록 한다.

[0173] 도 26은 도선에 전류를 인가할 때 발생하는 표피 효과를 설명하기 위한 단면도이다.

[0174] 도 26에 도시된 바와 같이, 도선 반경이  $r_0$ 인 단일 금속 도선(2600)에 전류  $I_0$ 가 인가되면, 와류 전류에 의하여 도선 최외각인 표피로 전류가 물리게 되는 표피 효과(skin effect)가 발생한다. 도 26에 도시된 도선 단면(2600)에서 표시되는 전류 밀도를 살펴보면, 도선 중심부의 전류 밀도는 0에 가까우며 도선 외각으로 갈수록 전류 밀도가 높아진다. 도 26은 이러한 현상을 나타내는 시뮬레이션 결과를 나타내고 있는데, 전류 밀도가 높아질수록 붉은색 영역(2601)으로 표시되도록 하였다. 도 26을 참조하면, 전류 흐름이 거의 가장자리 부분으로 몰려있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 시뮬레이션 실시에는 ANSYS사의 MAXWELL 2D 프로그램을 사용하여 수행하였다.

[0175] 수학적 9는 표피 효과에 의한 단위 길이 도선에서의 저항( $R_{skin}$ )을 나타내는 것이다.

**수학적 9**

$$R_{skin} = R_{DC} \left( \frac{1}{4} + \frac{r_0}{2\delta} + \frac{3}{32} \frac{\delta}{r_0} \right) (\Omega / m)$$

[0176]

[0177] 상기 수학적 9에서,  $R_{DC}=1/(\pi (r_0)^2 \sigma)$ 이고,  $\delta=1/(\pi f \mu_0 \sigma)^{1/2}$  ( $r_0/\delta > 1$ )이고,  $r_0$ 는 도선의 반지름이며,  $\sigma$ 는 도선의 전기 전도도(conductivity of the wire)를 나타낸다. 또한,  $f$ 는 사용 주파수(operating frequency)이며,  $\mu_0$ 는 도선의 투자율(permeability)를 의미한다.  $\delta$ 는 스킨 디프스(skin depth)를 나타낸다.

[0178] 도 27은 두 개 이상의 도선들이 인접하는 경우 근접효과를 설명하기 위한 단면도이다.

[0179] 도 27을 참조하면, 사이즈가 동일한 제1 도선(2710) 및 제2 도선(2720)에 동일 방향으로 동일 전류  $I_0$ 가 흐르고, 도선의 반경은  $r_0$ 이며, 각 도선(2710, 2720)에 표시된 H는 인접한 도선에서 만들어져 다른 도선에 가해지는 자기장을 표시한다.

[0180] 각 도선(2710, 2720)에서 생성된 자기장 H에 의하여 상대 도선과의 인접 영역(2711, 2721)은 동일 도선 내 다른 영역에 비하여 전류가 거의 흐르지 못하여 전류 밀도가 거의 0에 가깝게 변동하는 것을 확인할 수 있는데, 이러

한 현상을 근접 효과(proximity effect)라 한다. 특히, 무선전력전송에 사용되는 코일과 자기장 세기의 증가가 요구되는 코일부 구조에서, 자기장의 세기를 증가시키기 위해 코일의 턴 수를 증가시키면 어느 정도까지는 자기장의 세기가 증가하나 턴 수가 과도하게 증가시키는 경우, 코일을 구성하는 도선 사이의 간격 및 도선 반지름에 의해 급격하게 저항이 증가할 수 있다.

[0181] 표피효과 및 근접효과를 고려한 도선의 단위 길이당 손실 저항( $R_{ohmic}$ )은 아래의 수학적 식 10과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 10

$$R_{ohmic} = R_{skin} + R_{prox} = R_{skin} (1 + G_p) \quad (\Omega/m)$$

[0182]

[0183] 위의 수학적 식 10에 나타난 바와 같이, 도선의 단위 길이당 손실 저항( $R_{ohmic}$ )은 표피 효과에 의한 단위 길이당 저항( $R_{skin}$ )과 근접 효과에 의한 단위 길이당 저항( $R_{prox}$ )의 합이다. 여기서 근접 효과에 의한 단위 길이당 저항( $R_{prox}$ )은  $R_{skin}$ 과 근접 인자(Proximity factor)  $G_p$ 의 곱이다. 따라서, 도선의 단위 길이당 손실 저항  $R_{ohmic}$ 은  $R_{skin}$ 과  $(1+G_p)$ 의 곱으로 표현될 수 있으며, 단위는  $\Omega/m$ 이다.

[0184] 상기 근접 인자 $G_p$ 는 아래의 수학적 식 11로 산출될 수 있다.

수학적 식 11

$$G_p = \frac{R_{prox}}{R_{skin}} = \frac{8\pi^2 \delta^2 x^3 (x-1)}{(2x+1)^2 + 2} H^2$$

[0185]

[0186] 위의 수학적 식 11에서 나타난 바와 같이, 근접 인자 $G_p$ 는  $x$ ,  $\delta$ ,  $H$ 에 의하여 결정될 수 있다. 여기서  $\delta$  는 스킨 뎀스(skin depth)를 나타내고,  $x$ 는  $2r_0/\delta$  (즉,  $d/\delta$ ) 나타내는 것으로서,  $\delta$  과  $x$ 는 결정되는 값이다.  $H$ 는 인접 도선들에 흐르는 전류에 의하여 생성되는 자기장으로서 코일의 턴수 또는 도선 간격에 의하여 달라질 수 있다. 예컨대  $H$ 는 도 27에 도시된  $H$ 일 수 있다.

[0187] 따라서, 코일의 턴수 또는 도선 사이의 간격에 따라 발생하는 자기장  $H$ 를 구하면 근접 인자를 구할 수 있고, 이를 기반으로 하여 단위 길이당 손실 저항  $R_{ohmic}$ 을 산출할 수 있다. 즉, 근접 인자는 코일의 턴수 또는 도선 사이의 간격에 따라 발생하는 자기장의 상호 영향에 따라 결정될 수 있으며, 이를 이용하여 스파이럴 코일 구조나 헬리컬 코일 구조의 전체 저항은  $R_{ohmic}$  과 코일의 전체 길이를 구하여 곱하면 얻을 수 있게 된다. 이와 같은 표피 효과 및 근접 효과에 의한 영향으로 인하여, MHz 의 고주파수 대역에서의 도선 설계에서 단일 도선의 두께가 스킨 뎀스(Skin depth)보다 큰 도선(6.78MHz에서 스킨 뎀스는 25um)을 이용한 다발 모양의 리츠 코일이나, 단일 금속 도선을 다발로 형태로 감는 형태의 코일 구조는 근접 인자가 매우 커져 손실 저항이 급속히 증가하여 효율이 현저히 떨어진다. 즉, 동일 전류가 흐르는 금속 도선을 여러 턴 겹쳐서 감을 경우 자기장의 세기는 증가할 수 있으나, 저항이 급속하게 증가하여 실제로는 전송 효율이 상당히 떨어진다.

[0188] 따라서, 본 발명은 무선 전력 전송을 위한 코일부의 구조에 있어서, 소정 구간에서 반지름이 동일한 다수 개의 도선이 소정의 오차 범위 내에서 균등 간격으로 배치되는 구조를 개시한다. 여기서 도선과 도선 사이의 간격은 도선의 표피 효과 및 도선 간의 근접 효과를 고려하여, 손실 저항을 최소화하고 자기장의 세기를 극대화할 수 있

는 최적화된 간격으로 결정된다.

- [0189] 이하, 이러한 코일부 구조에 대하여 설명하기로 한다. 일정한 간격을 갖는 다양한 형태의 코일, 예컨대 스파이럴 코일, 헬리컬 코일 등을 설계할 경우, 코일의 턴 수, 도선의 반지름 및 도선 간의 간격 등에 따라 최소 손실 저항을 구할 수 있는 관계식의 유도가 요구된다.
- [0190] 도 28는 본 발명의 실시예에 따라 단면이 원형인 다수의 도선이 균일 간격으로 나란히 배열된 코일부 구조의 단면도이다.
- [0191] 도 28를 참조하면, 반지름  $r_0$ 가 동일한 N개의 도선이 도선 중심 간 간격 P에 따라 균등하게 배치된다. 이러한 구조는 다수의 턴으로 권선되는 스파이럴 코일, 다수의 턴으로 권선되는 헬리컬 코일, 평행한 다중 스트레이트 도선이 배치된 구조 등에서 형성될 수 있다.
- [0192] 도 29 내지 도 32는 도 28에 도시된 단면 구조를 형성할 수 있는 코일부 또는 도선 구조를 각각 예시적으로 나타내고 있다. 도 28에 도시된 단면 구조는 도 29에 도시된 스파이럴 코일의 A1에서 B1까지의 단면, 도 30에 도시된 헬리컬 코일의 A2에서 B2까지의 단면, 도 31에 도시된 스트레이트 도선 배치 구조에서의 A3에서 B3까지의 단면 등에서 각각 형성될 수 있다.
- [0193] 도 29에 도시된 원형 스파이럴 코일은 단일 도선이 평면 상에서 수회의 턴으로 권선된 것이지만, 소정의 영역, 예컨대 A1에서 B1까지를 포함하는 영역(AR1)에서는 도 28에 도시된 바와 같은 다수 개의 도선이 균일 간격으로 배치된 것과 같이 간주될 수 있다. 여기서 스파이럴 코일의 턴수는 상기 소정 영역에서의 도선의 수에 대응되며, 스파이럴 코일의 루프의 도선 중심 간의 간격은 상기 소정 영역(AR1)에서의 도선 중심 간의 간격에 대응될 수 있다.
- [0194] 마찬가지로, 도 30에 도시된 헬리컬 코일은 단일 도선이 수직 방향으로 수회의 턴으로 권선된 것이지만 소정의 영역, 예컨대 A2에서 B2까지를 포함하는 영역(AR2)에서는 다수 개의 도선이 균일 간격으로 배치된 것과 동일하게 간주될 수 있다. 여기서 헬리컬 코일의 턴수는 상기 소정 영역에서의 도선의 수에 대응되며, 헬리컬 코일의 각 루프의 도선 중심 간의 간격은 상기 소정 영역(AR2)에서의 도선 중심 간의 간격에 대응될 수 있다.
- [0195] 도 29 내지 도 31에 도시된 구조 이외에도, 어떠한 구조든 단면이 도 28에 도시된 바와 같거나 유사한 구조를 형성한다면 본 발명에서 언급하는 권선 또는 배치 방법이 적용된다.
- [0196] 예를 들어, 도 32는 사각형 스파이럴 코일부도 도 28에 의한 구조가 적용됨을 나타내는 예를 도시하는 평면도이다.
- [0197] 도 32에 도시된 바와 같이, 사각형 스파이럴 코일은 단일 도선이 수평면에서 수 개의 사각형 루프를 이루도록 권선된 것이지만 소정의 영역, 예컨대 A4에서 B4까지를 포함하는 영역(AR4)에서는 다수 개의 도선이 균일 간격으로 배치된 것과 동일하게 간주될 수 있다. 여기서 사각형 스파이럴 코일의 턴수는 상기 소정 영역(AR4)에서의 도선의 수에 대응되며, 사각형 스파이럴 코일의 각 사각 루프의 중심 간의 간격은 상기 소정 영역(AR4)에서의 도선 중심 간의 간격에 대응될 수 있다.
- [0198] 도 28을 참조한 설명에서는, 도시된 단면 구조가 스파이럴 코일이나 헬리컬 코일과 같이 수회의 턴으로 도선이 감겨진 코일부의 단면 구조인 것으로 주로 가정하고 설명하기로 한다.
- [0199] 도 28을 다시 참조하면, 도면에서, P는 도선 중심간의 간격(pitch)을 의미할 수 있다. 예를 들어, P는 제 1 도선의 중심으로부터 제 1 도선과 인접한 제 2 도선의 중심까지의 거리라 할 수 있다. 본 발명의 실시예에서, 도 28에 도시된 코일부에서 도선들 간의 간격은 소정 오차 범위 내에서 균등하다. 즉, 코일부에 포함된 서로 이웃한 도선들 간의 P 값은 일정하다고 할 수 있다.
- [0200]  $r_0$ 는 도선의 반지름을 나타낸다. 코일부에 포함된 도선들의 반지름은 동일하다. N은 해당 영역에 배치된 도선의 개수를 나타낸다. 예를 들어, 스파이럴 코일이나 헬리컬 코일과 같은 코일부에서 N은 감겨지는 도선의 턴수를 의미할 수 있다. W는 코일부의 전체 폭을 나타낸다. 예를 들어 W는 코일부가 첫 번째 도선부터 n번째 도선까지 총 N개의 도선이 배치된 경우, 첫 번째 도선의 끝단으로부터 n번째 도선의 반대편 끝단까지의 길이일 수 있다. 예컨대 W는 스파이럴 코일의 경우는 평면상의 코일부의 반지름에 해당하는 폭이며, 헬리컬 코일의 경우는 도선이 감겨진 높이 일수 있다.
- [0201] 각 도선에는 동일한 전류가 흐른다. 이때, 도선에서 최소 저항을 얻을 수 있는 관계식은 다음과 같다.

수학식 12

$$\frac{r_0}{W} = 0.6534N^{(-1.397)} + 0.001815, \quad N = 2, 3, \dots$$

[0202]

[0203]

상기 수학식 12에서  $r_0$ 는 도선의 반지름,  $W$ 는 코일부의 전체폭,  $N$ 은 도선의 턴수(스트레이트 도선 배치 구조에서는 도선의 개수)이다.  $r_0$ ,  $W$  및  $N$ 에 대한 관계식인 수학식 12에 의하여  $r_0$ ,  $W$  및  $N$ 이 결정되면, 도선 중심 간의 거리  $P$ 는 다음의 수학식 13에 의하여 결정될 수 있다.

수학식 13

$$P = (W - 2r_0) / (N - 1)$$

[0204]

[0205]

상기 수학식 12 및 수학식 13을 이용하면, 무선 전력 전송에서 도선의 손실 저항을 줄이고 자기장의 세기를 극대화하는 코일부를 다양하게 구현할 수 있다. 예를 들어, 변수  $W$ 와  $N$ 이 미리 결정되는 경우, 상기 수학식 12 및 수학식 13을 기반으로 최소의 저항을 갖는 최적의 반지름( $r_0$ )을 갖도록 코일을 구현할 수 있다. 이때, 도선 중심 간의 간격( $p$ )도 함께 결정될 수 있다. 또한,  $W$ 와  $r_0$ 가 미리 결정되는 경우, 최소 저항을 갖도록 턴수  $N$ 을 결정할 수 있다. 이때도 역시 도선 중심 간의 간격  $P$ 도 함께 결정되게 된다.

[0206]

상기 수학식 12 및 수학식 13에 예시된 도선에서의 최소 저항을 얻기 위한 관계식은 소정 영역에서 평행한 다중 도선이 균등한 간격으로 배치 또는 권선되어 있는 모든 경우에 적용이 가능하다.

[0207]

앞서도 언급한 바 있듯이, 동일 전류가 흐르는 다수 개의 도선을 포함하는 구조에서, 손실 저항을 구하기 위해서는 인접 도선에 의하여 생성되어 목표 도선에 영향을 주는 자기장  $H$ 를 구해야 한다. 따라서, 본 발명에서는 스파이럴 코일 또는 헬리컬 코일 구조와 같이 수평 방향 또는 수직 방향으로 수회의 턴으로 도선이 감겨진 코일 구조에서 발생하는 자기장과, 평행한 다수개의 직선 도선이 배치되어 있는 구조에서 발생하는 자기장이 동일한지를 살펴봄으로써 수학식 12 및 수학식 13의 범용적인 적용이 가능한지를 증명한다.

[0208]

도 33은 원형 도선(circular wire) 구조와 무한 직선 도선(Infinite straight wire)에서 자기장 형성을 설명하기 위한 예시도로서, 도 33의 (a)는 스파이럴 코일 또는 헬리컬 코일에 포함되는 원형 루프에서의 자기장 발생을 도시하고 있으며, 도 33의 (b)는 무한 직선 도선에서의 자기장 발생을 도시하고 있다. 도 33에 도시된  $D$ 는 도선 중심으로부터의 거리이고,  $H_z$  및  $H_p$ 는  $D$  위치에서 발생하는  $z$ 방향 및  $p$ 방향 자기장을 각각 나타낸다.  $r_1$ 은 원형 루프의 중심으로부터 도선의 중심까지의 거리를 의미한다.

[0209]

먼저, 수평 방향으로 다수의 루프가 권선되는 스파이럴 코일 구조에 수학식 12 및 수학식 13이 적용 가능한지를 판단하기 위하여, 도 33의 (a)에 표시된 인사이드 루프의  $D$  위치에서의  $H_z$  절대값  $|H_z|$ 와, 아웃사이드 루프의  $D$  위치에서의  $|H_z|$ 와, 도 33의 (b)에 표시된 무한 직선 도선의  $D$  위치에서의  $|H_z|$ 를 비교하여 유사한지를 살펴보았다. 더불어,  $r_1$ 의 변화에 따른 자기장의 차이가 있는지를 확인하기 위하여  $r_1$ 가 2cm, 20cm인 경우를 구분하여 살펴보았다.

[0210]

도 34은 원형 루프의 인사이드 및 아웃사이드, 무한 직선 도선에서  $D$ 의 변화에 따라 발생하는  $|H_z|$ 의 커브를 각각 나타내는 그래프이다.

[0211]

도 34에 도시된 바와 같이, 원형 루프의 인사이드, 아웃사이드, 무한 직선 도선에서 각각 발생하는  $D$ 위치에서의  $|H_z|$ 는 거의 동일한 것을 확인할 수 있다. 또한,  $r_1$ 이 2cm인 경우나 20cm인 경우에도  $D$  위치에서 발생하는  $|H_z|$  거의 동일하다. 따라서, 스파이럴 코일 구조는 무한 직선 도선 구조와 동일하게 앞서 설명한 관계식, 즉 수학식 12 및 수학식 13의 적용이 가능하다.

[0212]

한편, 수직 방향으로 다수의 도선이 권선되는 헬리컬 코일 구조에 수학식 12 및 수학식 13이 적용 가능한지를 판단하기 위하여, 도 30의 (a)에 표시된 원형 루프에서  $H_p$ 의 절대값  $|H_p|$ 와, 도 33의 (b)에 표시된 무한 직선

도선의 D위치에서의  $|H_p|$ 를 비교하여 유사한지를 살펴보았다. 더불어,  $r_1$ 의 변화에 따른 자기장의 차이가 있는지를 확인하기 위하여  $r_1$ 가 5cm, 50cm인 경우를 구분하여 살펴보았다. 도 35는 원형 루프 및 무한 직선 도선에서 D의 변화에 따라 발생하는  $|H_p|$ 의 커브를 각각 나타내는 그래프이다.

- [0213] 도 35에 도시된 바와 같이, 원형 루프, 무한 직선 도선에서 각각 발생하는 D위치에서의  $|H_p|$ 는 거의 동일한 것을 확인할 수 있다. 또한,  $r_1$ 이 5cm인 경우나 50cm인 경우에도 D 위치에서 발생하는  $|H_p|$  거의 동일하다. 따라서, 헬리컬 코일 구조는 무한 직선 도선 구조와 동일하게 앞서 설명한 관계식, 즉 수학식 12 및 수학식 13의 적용이 가능함을 알 수 있다.
- [0214] 이와 같이, 수학식 12 및 수학식 13은 도 29 내지 도 31에 도시된 스파이럴 코일, 헬리컬 코일, 다수 개의 무한 직선 도선에서, 소정 영역의 단면이 도 28에 도시된 구조와 동일하다면 범용적인 적용이 가능하다.
- [0215] 한편, 앞서 언급했듯이, 본 발명은 스파이럴 코일이나 헬리컬 코일과 같이 도선이 수회의 턴으로 권선되는 코일부의 구조 또는 다수 개의 도선이 나란히 배치되는 구조에서, 도선 중심 간의 간격을 균등하게 배치하는 구조를 제시하였다. 이하에서는 도선 중심 사이의 거리가 균등할 때 도선에서 발생하는 손실 저항이 가장 작은 값을 갖는다는 것을 지지하는 근거를 설명한다.
- [0216] 도 36는 코일부의 도선 중심 간의 거리가 균등한 경우와 비균등할 경우 각각 발생하는 손실 저항을 비교하기 위한 그래프로서, 도선의 턴수 N이 3인 경우와 4인 경우를 각각 예시적으로 표시하였다.
- [0217] 도 36에 도시된 시뮬레이션 예는, 도선의 반지름  $r_0$ 는 0.5mm이며, 코일부 전체폭 W는 고정이며, 각 도선의 길이는 1미터인 경우로 가정하고, 주파수 변화에 따른 손실 저항 값의 변화를 나타낸다. 코일부의 양 끝단에 위치하는 도선은 고정하고, 다른 도선들은 도선 중심 간의 거리  $P=2mm$ 를 기준으로 하여  $\Delta p$  만큼 움직인다.  $\Delta p$ 가 0인 경우는 코일부의 도선 중심 간의 거리가 동일한 등간격 배치를 의미한다.
- [0218] 도 36에 도시된 바와 같이, 주파수가 증가할수록,  $\Delta p$ 가 증가할수록 손실 저항이 증가한다. 즉, 코일부의 도선들이 등 간격으로 배치되는 경우에 손실 저항이 가장 작으며, 도선 사이의 거리가 어느 한쪽 도선으로 가까워질수록 손실 저항이 증가하게 되는 것이다. 따라서, 코일부의 도선들의 도선 중심 간의 거리는 균등 간격인 경우가 무선 전력 전송 시 가장 효율적으로 자기장을 발생시킬 수 있다.
- [0219] 한편, 앞서도 언급한 바와 같이, 본 발명의 실시예는 반지름이 동일한 다수 개의 도선이 균등한 간격으로 배치되는 구조를 제시하고, 더 나아가 이러한 구조를 포함하는 코일부에서 도선 간의 표피 효과와 근접 효과에 의한 손실 저항이 최소화되도록 하는 변수 간의 관계식을 도 12 및 도 13을 통하여 제시한 바 있다.
- [0220] 도 37는 코일부의 턴수 N에 따라 손실 저항이 최소화되는 도선의 반지름과 코일부의 전체폭의 비율을 나타내고 있다.
- [0221] 도 37에 도시된 바와 같이, 코일부의 턴수 N이 2 이상이고 1000보다 이하인 범위에서, 도선의 반지름  $r_0$ 와 코일의 전체폭 W의 비율  $r_0/W$ 는 다음의 수학식 14의 범위로 정해진다.

**수학식 14**

$$0.001857 \leq \frac{r_0}{W} \leq 0.249923$$

- [0222] 상기 수학식 14에 나타난 바와 같이, 도선의 반지름과 코일 전체폭의 비는 0.001857 이상에서 0.249923이하이다. 실제 구현 상의 마진을 고려할 때 코일부의 턴수 N이 2 이상이고 1000보다 이하인 범위에서,  $r_0/W$ 는 0.0018 내지 0.25로 정해질 수 있다.
- [0224] 도 38는 도선 중심 간의 간격 P와 도선 지름  $2r_0$ 의 비율  $P/2r_0$ 의 변화에 따른 코일부의 턴수 N별 단위 길이 별 손실 저항 값의 커브를 나타내는 그래프이다. 도 38에 도시된 측정에 있어서, 도선 중심 간의 간격 P는 2mm이고,  $r_0$ 는 0.2mm보다 크고 1mm 보다 작은 것으로 시뮬레이션 조건을 세팅했다. 즉,  $P/2r_0$ 개는 1보다 크고 5보다 작은 값을 갖는다.
- [0225] 도 38에 도시된 바와 같이, 턴수 N이 2내지 3인 경우를 제외하고는  $P/2r_0$ 가 1로부터 손실 저항이 급격히 떨어지

다가  $P/2r_0$ 가 1.3 내지 1.9 범위에서 손실 저항이 최소화되고 이후 증가하는 추세를 보인다.

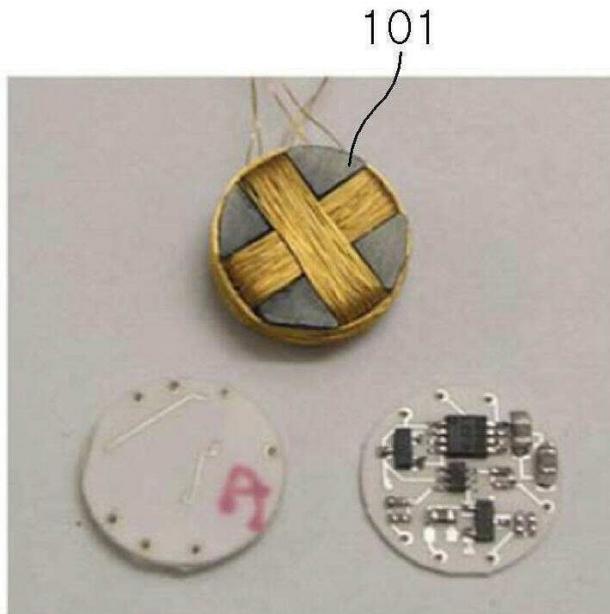
[0226] 도 39은 턴수  $N$ 에 따른 최소 손실 저항을 갖도록 하는  $P/2r_0$ 의 값을 나타낸다. 도 39에 도시된 바와 같이, 최소 저항을 갖도록 하는  $P/2r_0$ 는  $N$ 이 2인 경우와  $N$ 이 3인 경우에만 1에 가까운 값을 가지며,  $N$ 이 4 이후부터는 1.2987에서 1.8182까지의 범위 내에 있다.

[0227] 도 40은 턴수  $N$ 에 따른 단위 길이당 최적(최소) 손실 저항을 나타내는 그래프이며, 도 41은 턴수  $N$ 에 따른 단위 길이당 최소 손실 저항을 위한  $P/2r_0$ 의 값을 나타내는 그래프이다. 도 39 내지 도 40을 참조하면,  $N$ 이 2일 때 단위 길이당 최적 손실 저항은  $0.1743\Omega/m$ 이며, 이후 서서히 증가하여  $N$ 이 20인 경우  $0.4152\Omega/m$ 이 된다. 도 39 및 도 41을 참조하면, 턴수  $N$ 이 2일때는 최소 손실 저항을 갖도록 하는  $P/2r_0$ 가 거의 1이지만,  $N$ 이 4일때부터는  $P/2r_0$ 값이 급격히 증가하고  $N$ 이 15부터는 거의 1.8 부근으로 일정한 값을 갖는다.

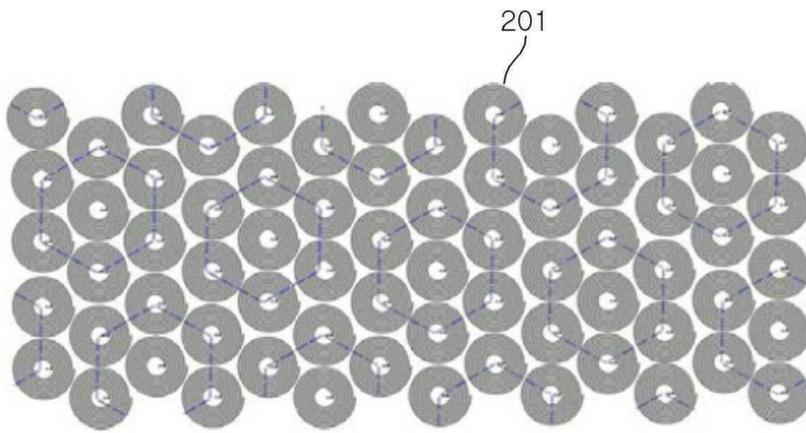
[0228] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서 본 발명에 기재된 실시예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상이 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의해서 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

**도면**

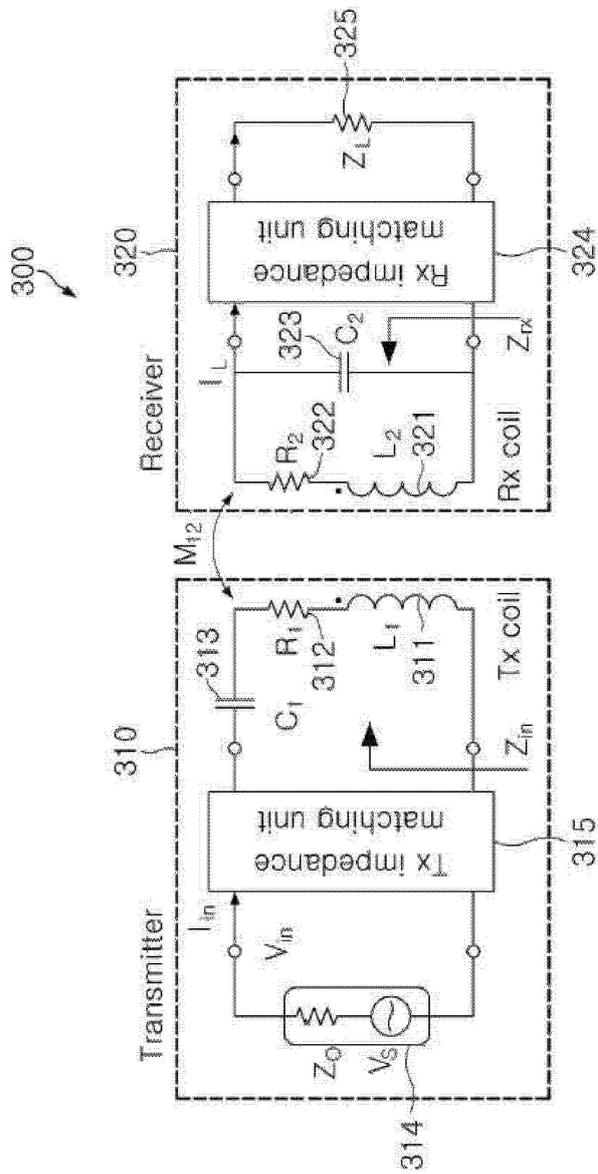
**도면1**



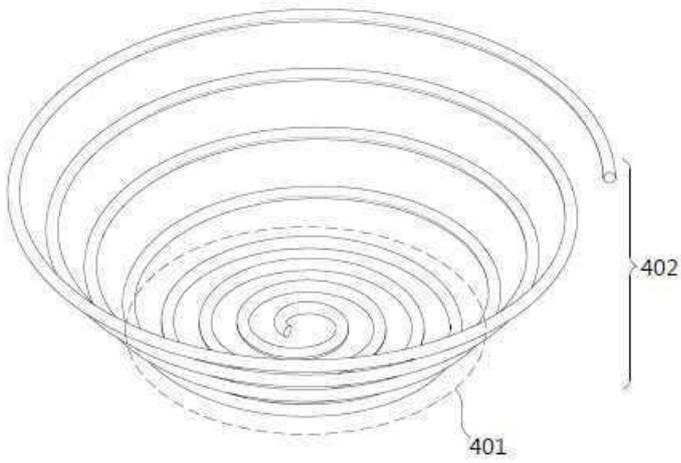
도면2



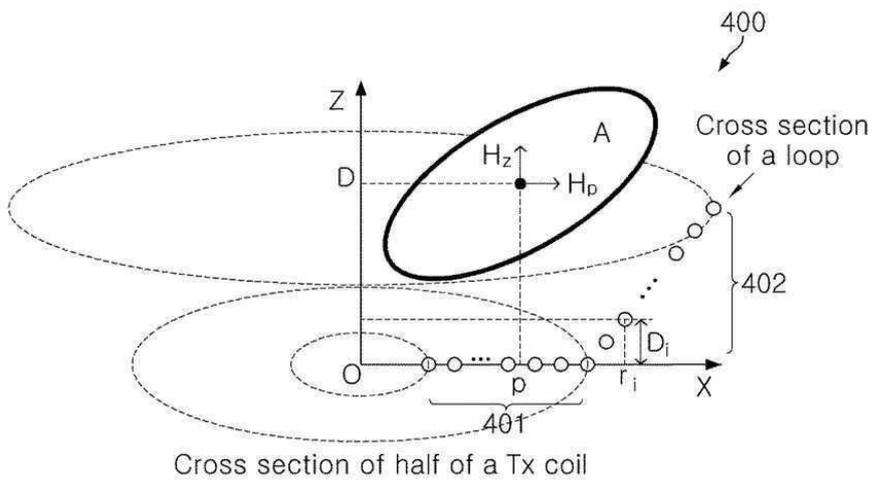
도면3



도면4



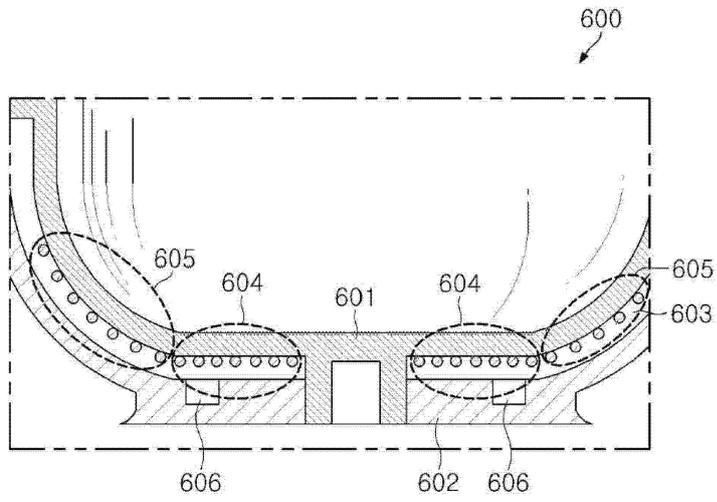
도면5



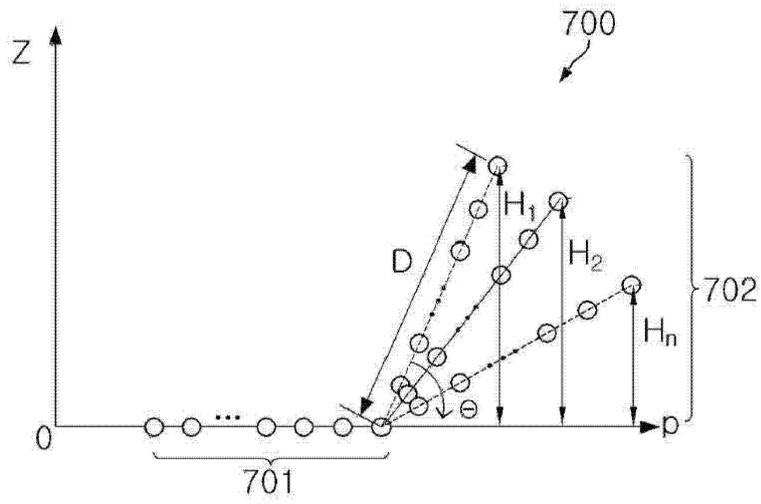
도면6



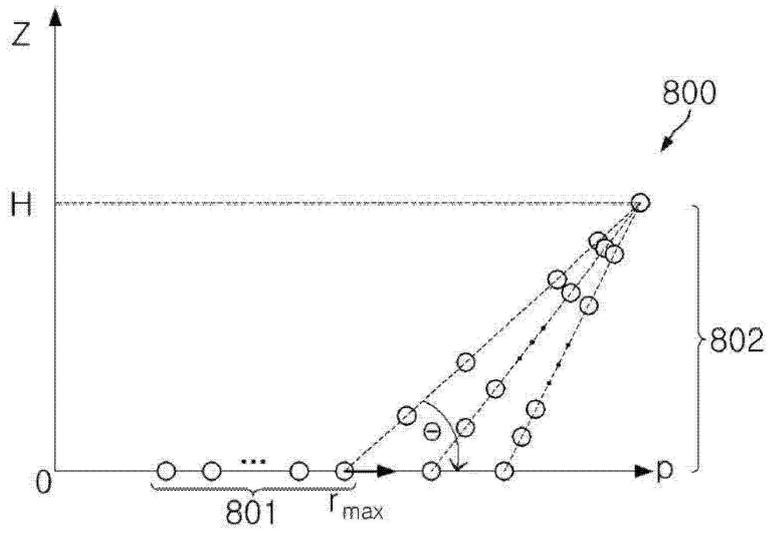
도면7



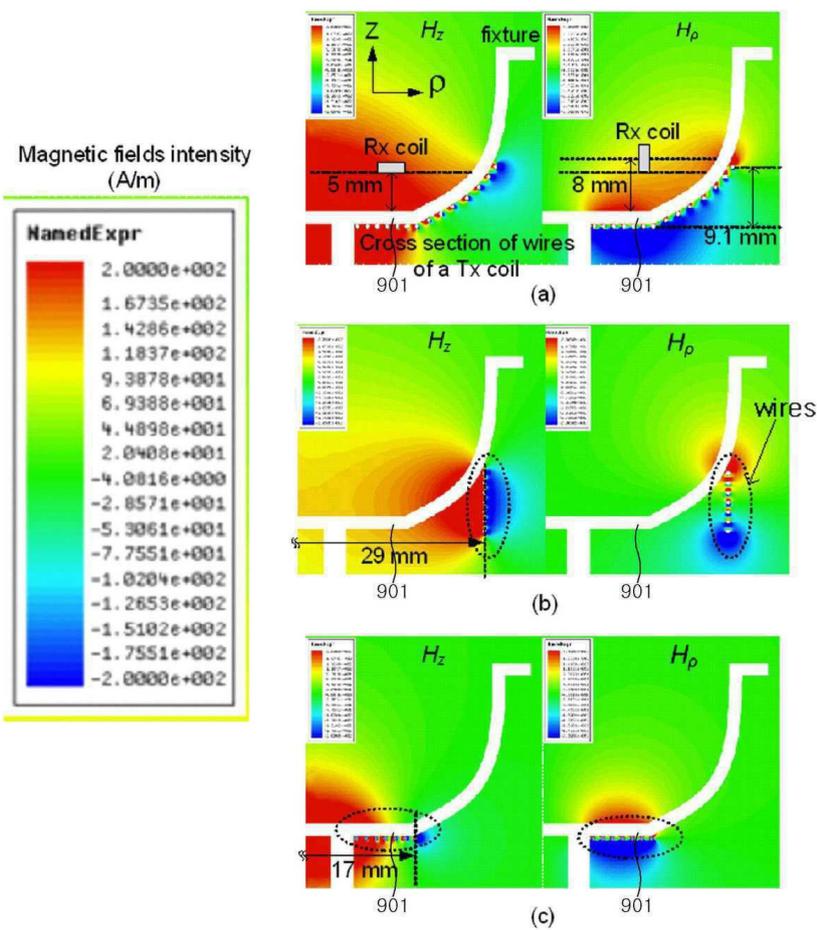
도면8



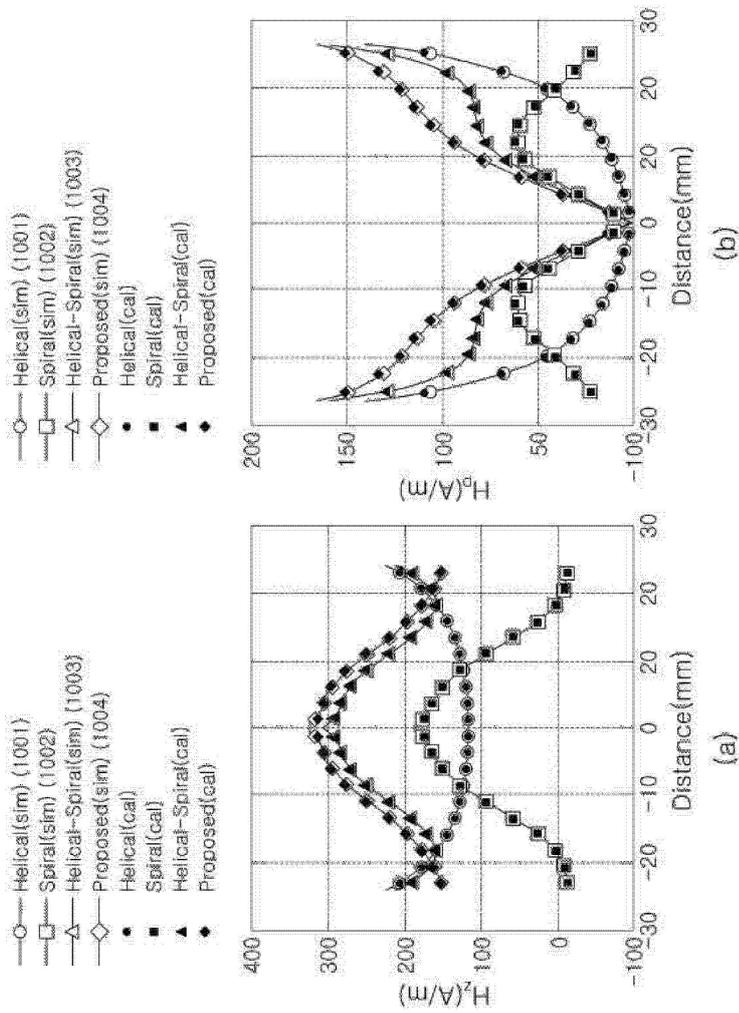
도면9



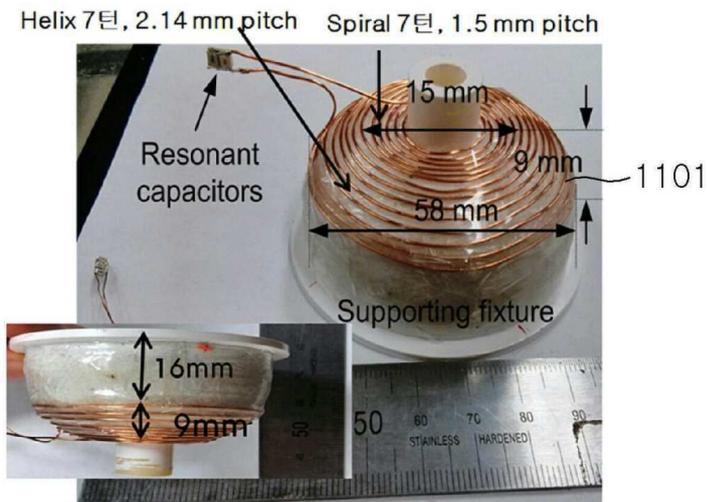
도면10



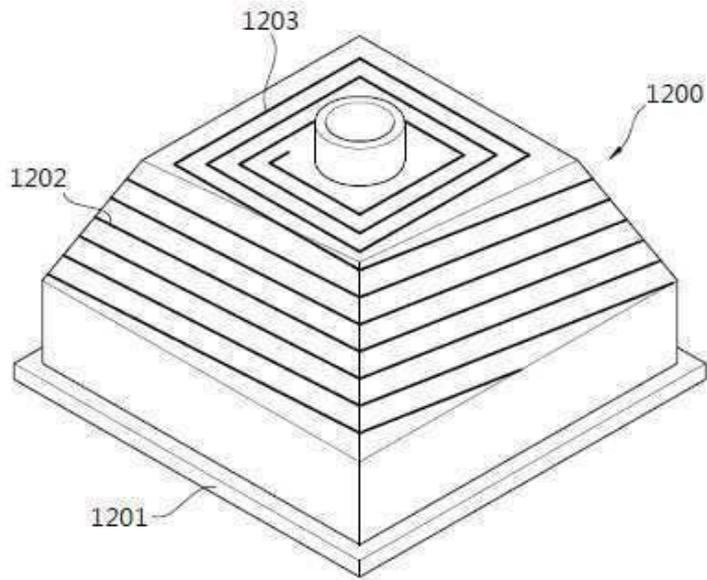
도면11



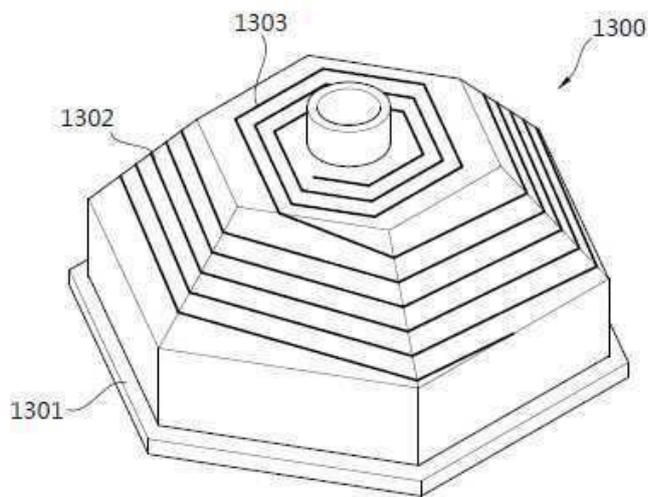
도면12



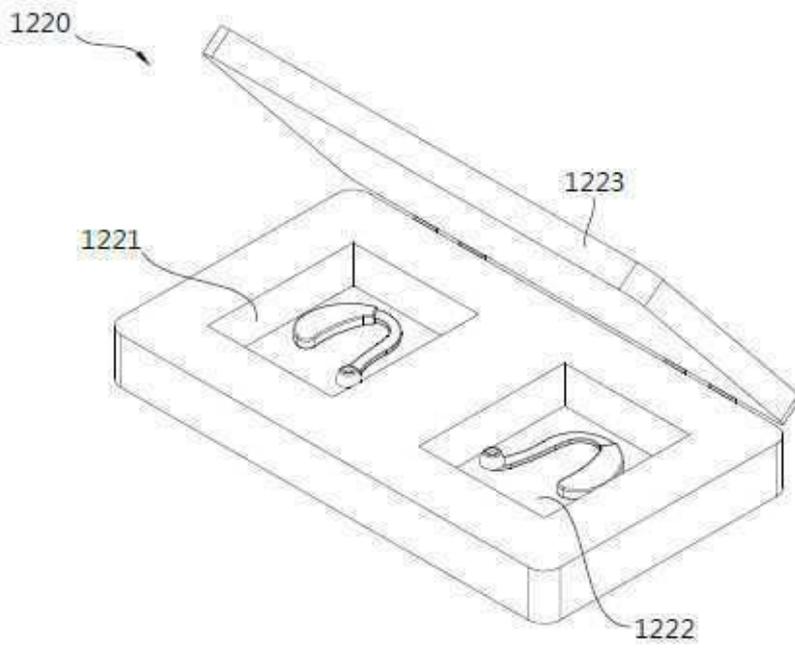
도면13



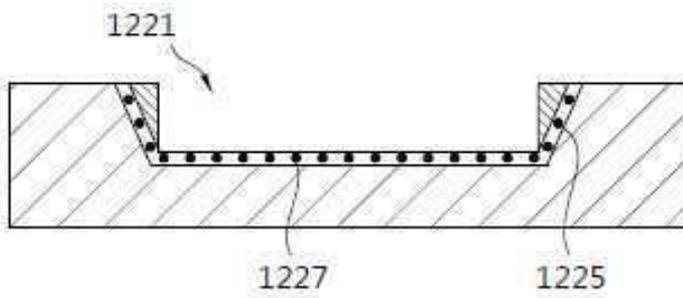
도면14



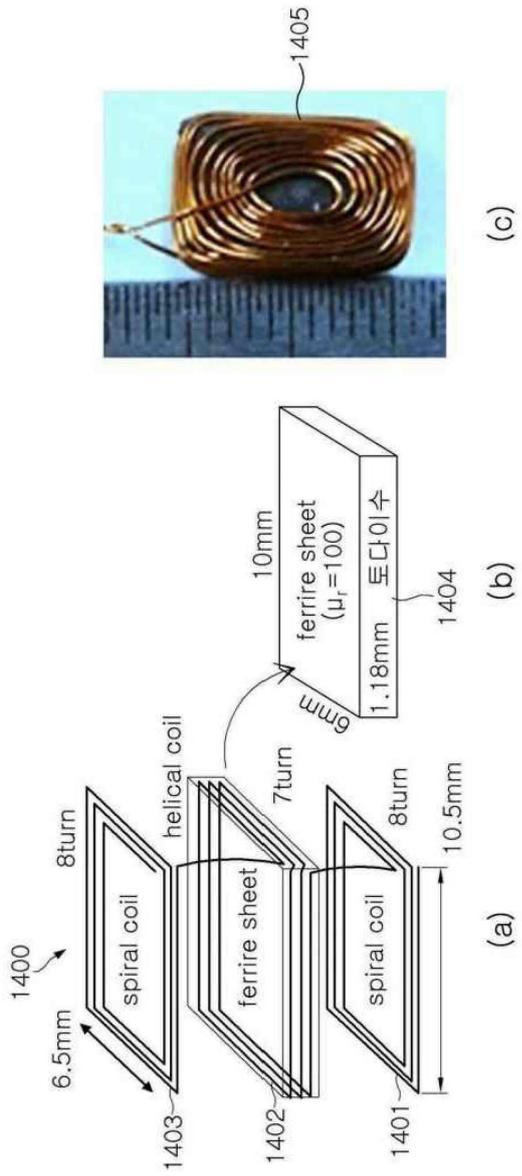
도면15



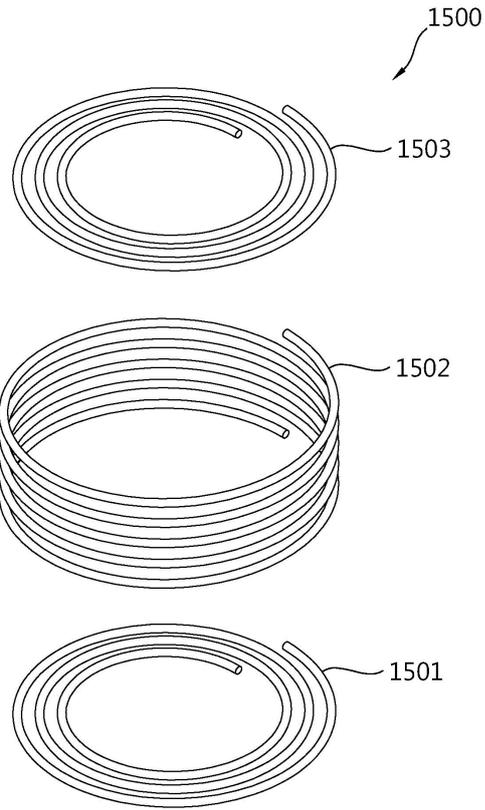
도면16



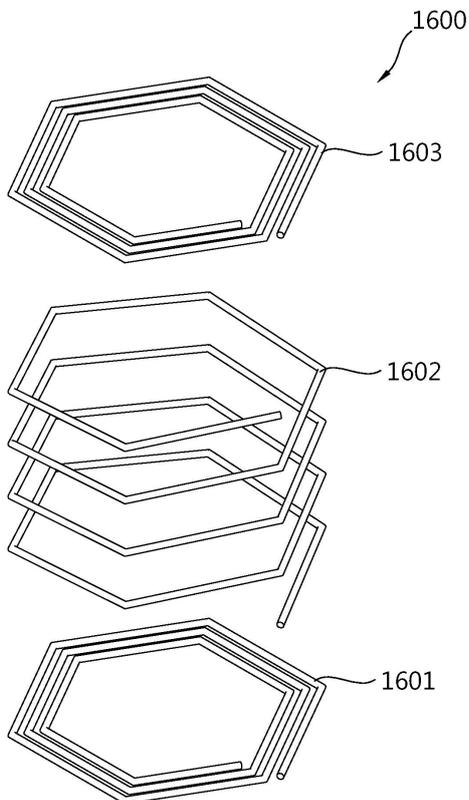
도면17



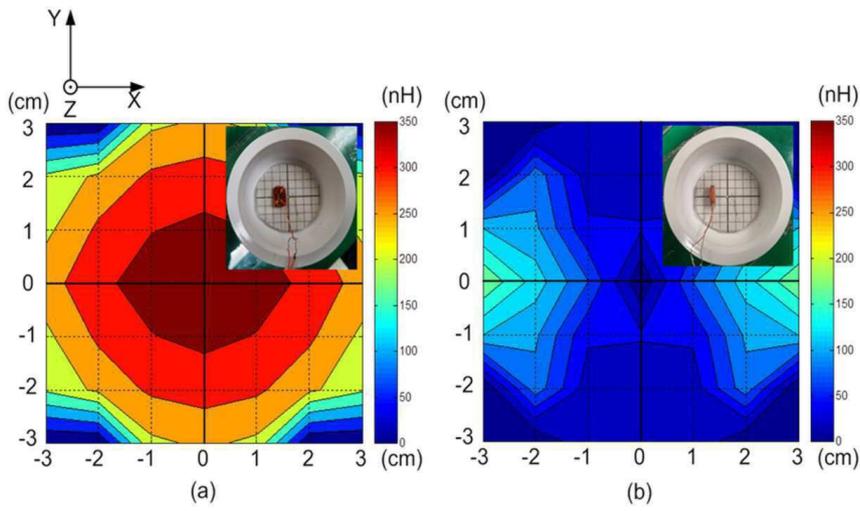
도면18



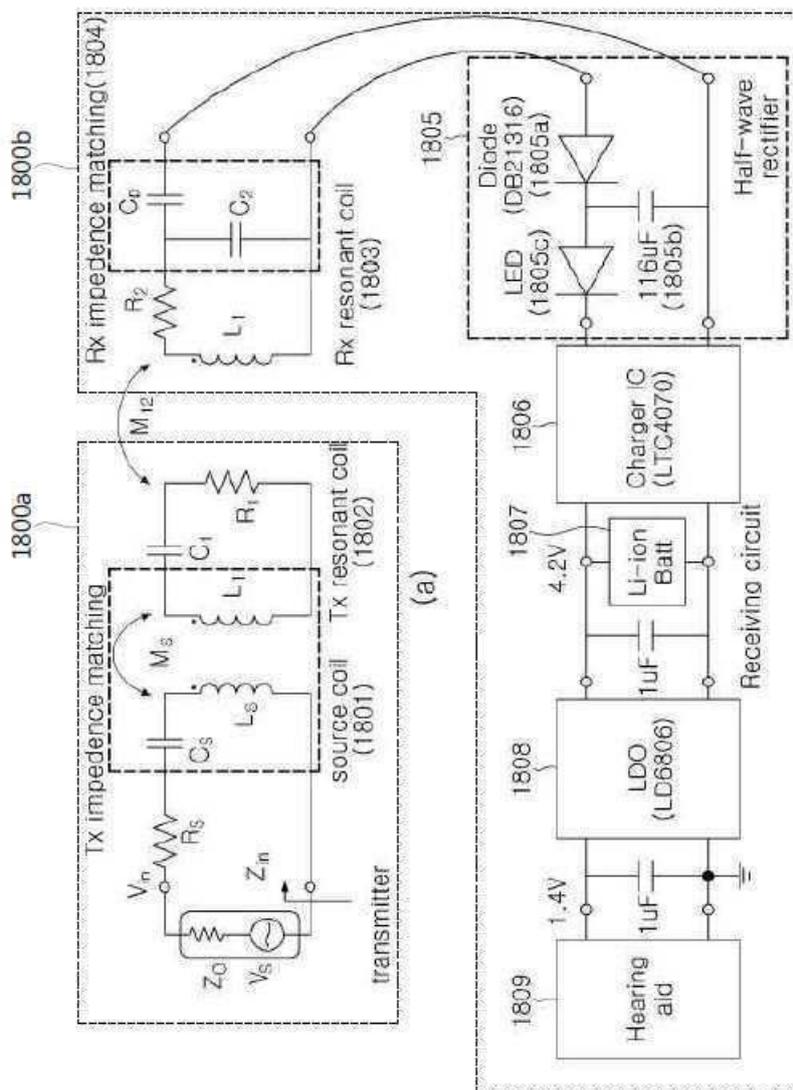
도면19



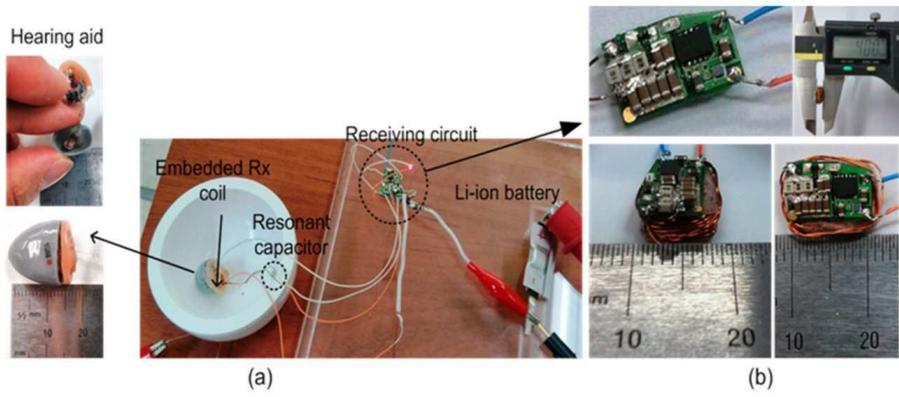
도면20



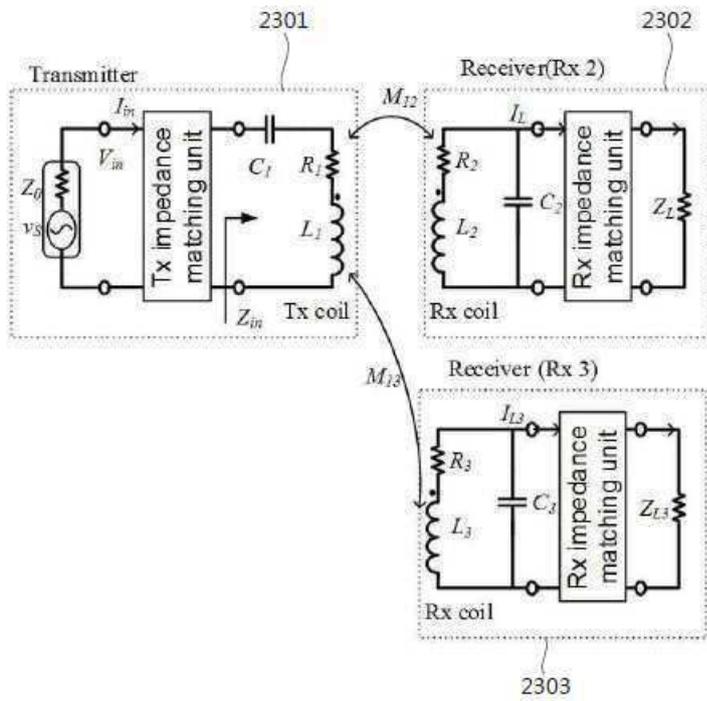
도면21



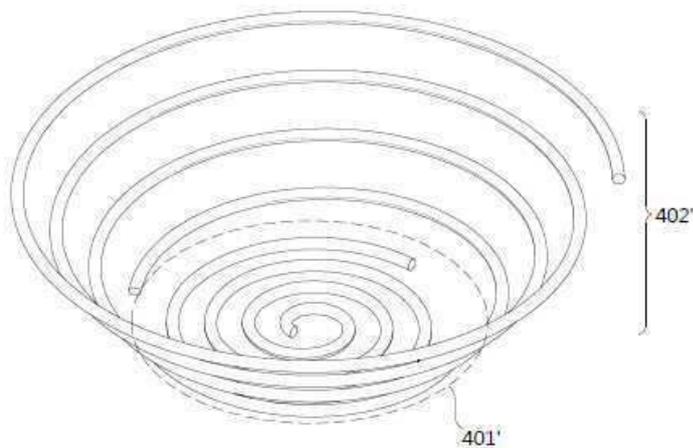
도면22



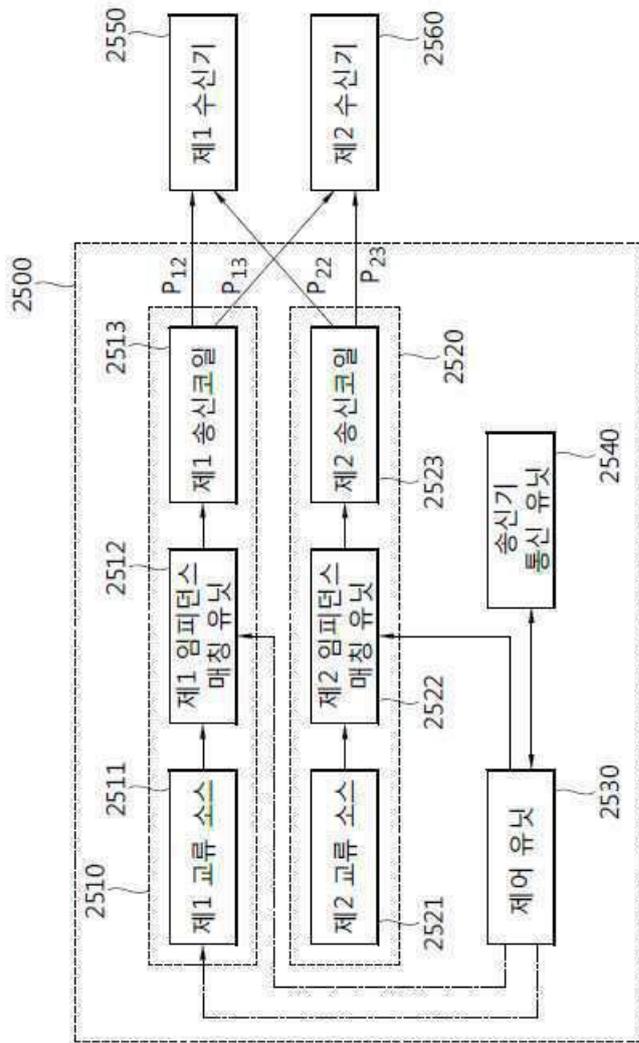
도면23



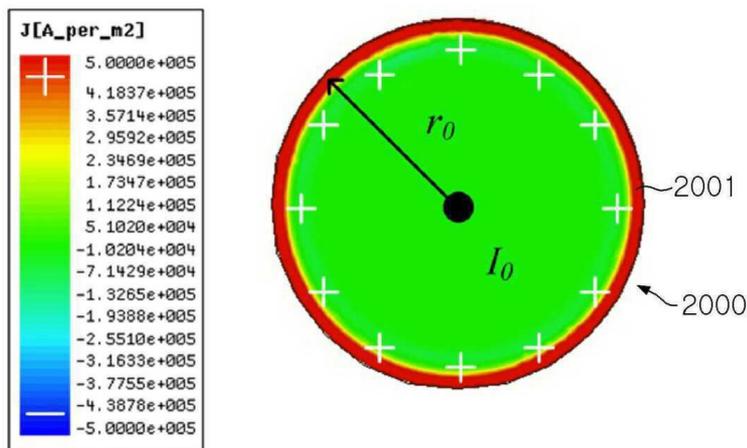
도면24



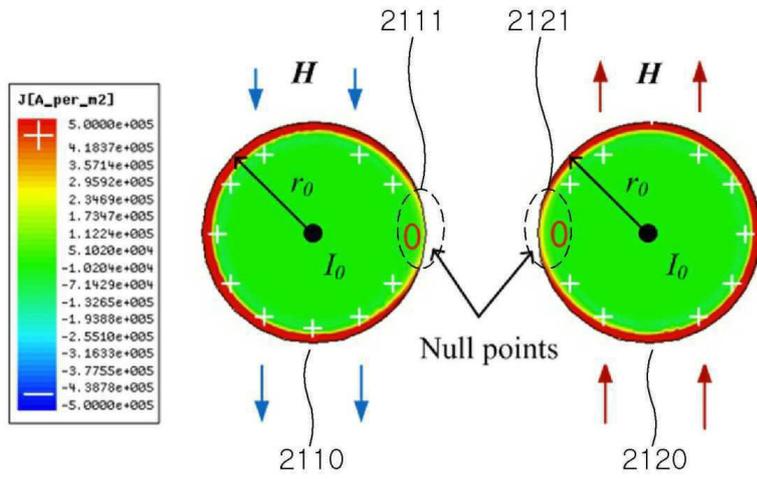
도면25



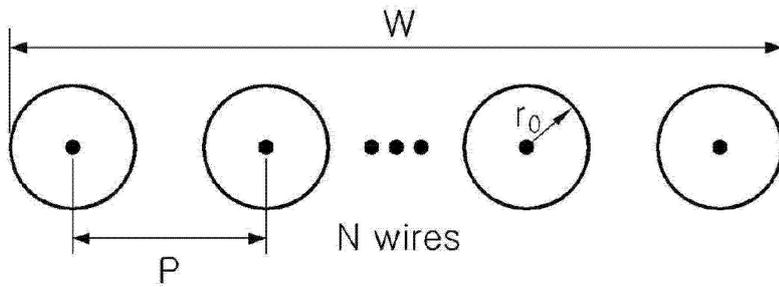
도면26



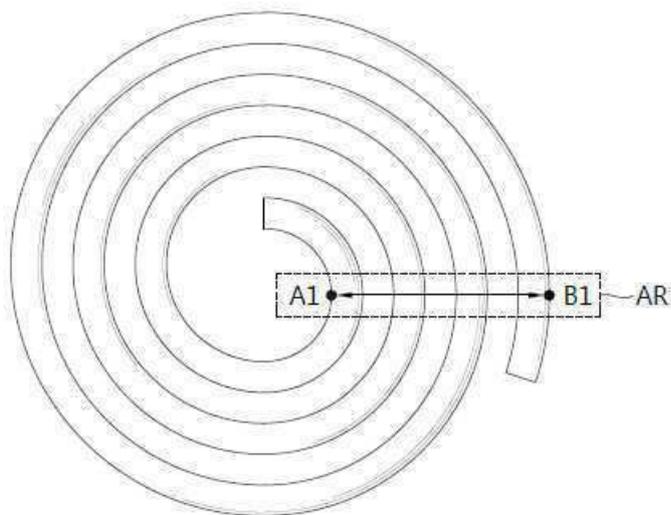
도면27



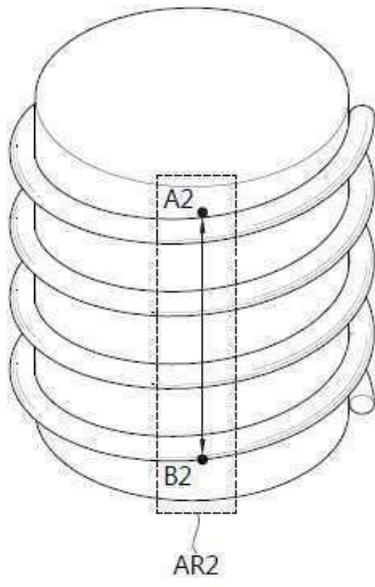
도면28



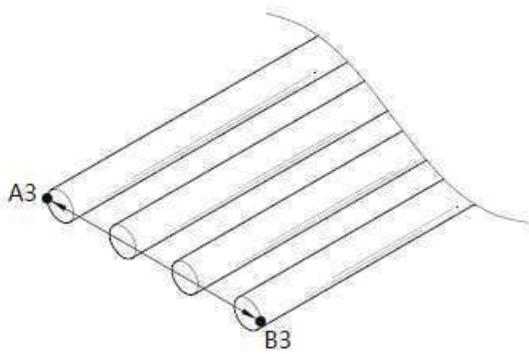
도면29



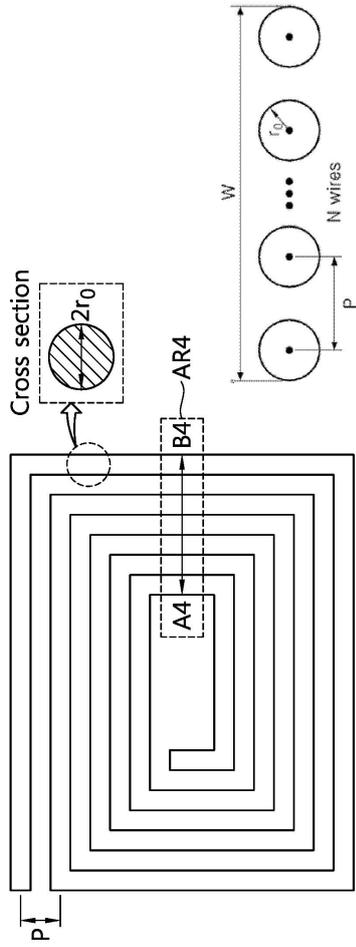
도면30



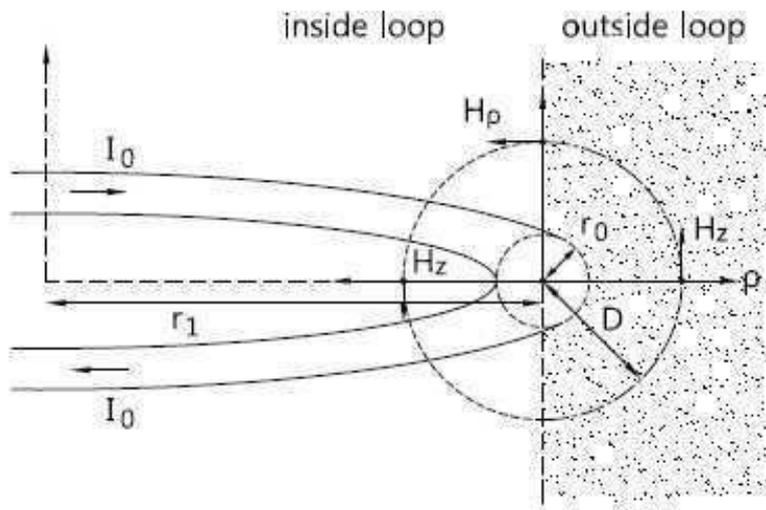
도면31



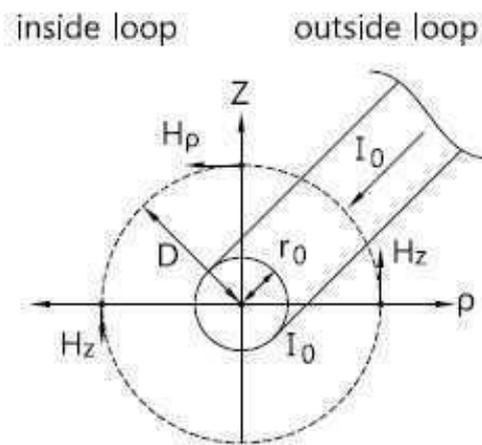
도면32



도면33

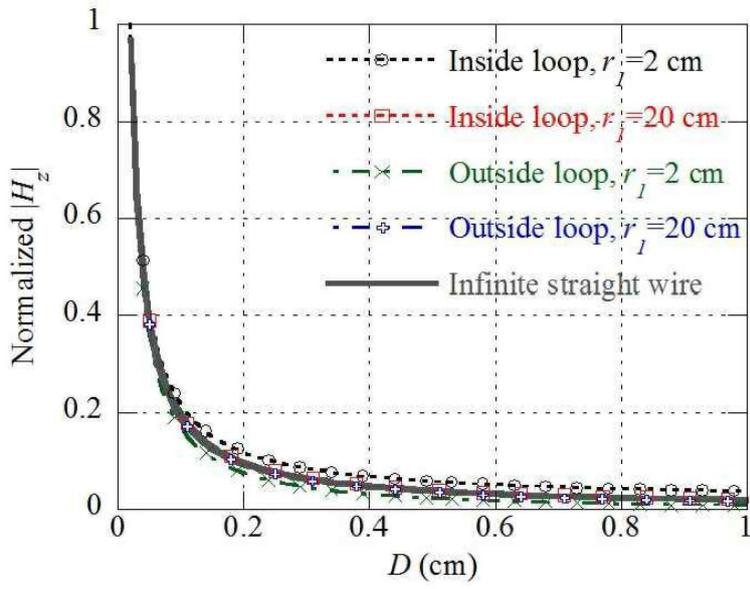


(a) circular loop

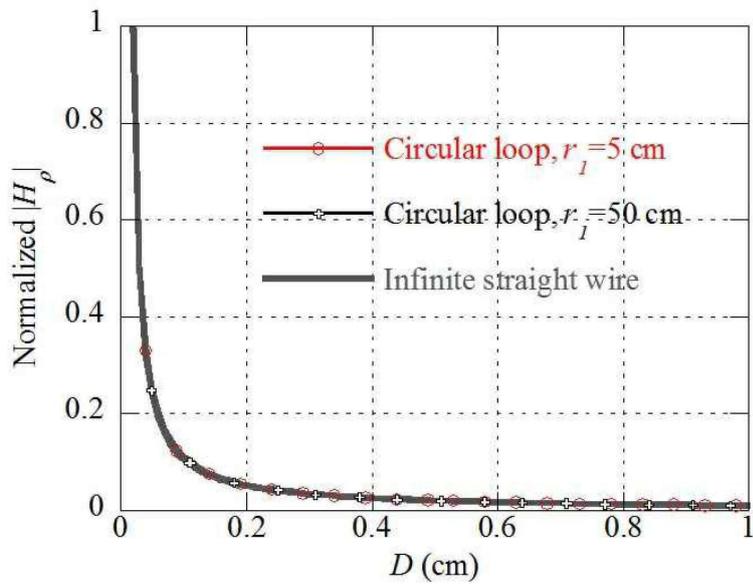


(b) Infinite straight wire

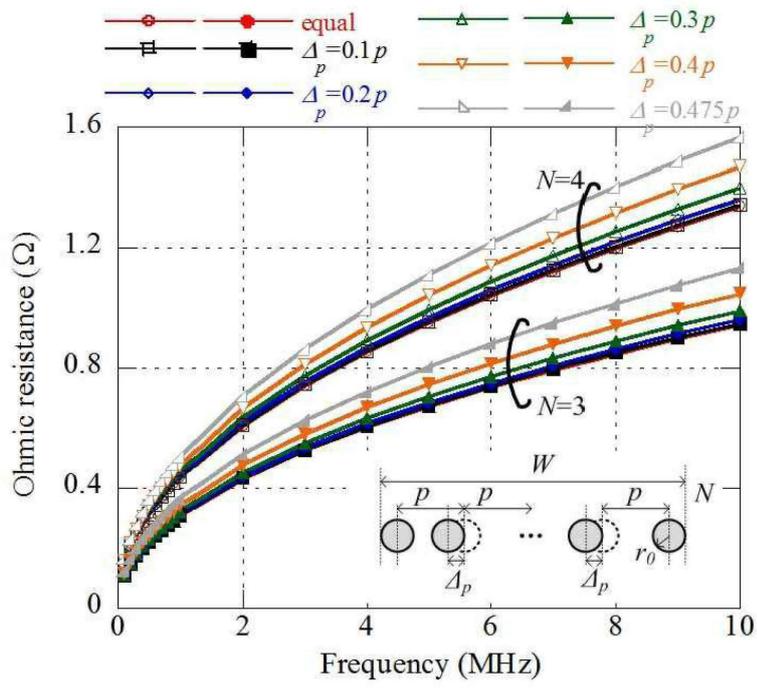
도면34



도면35



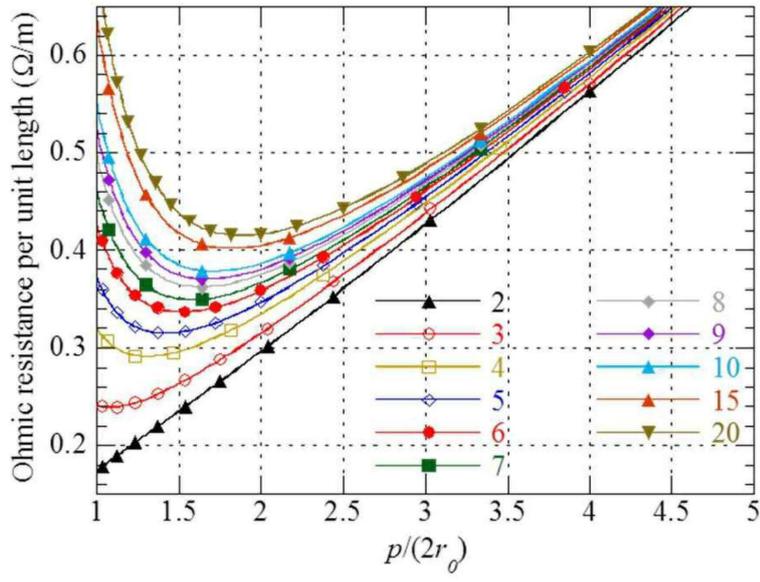
도면36



도면37

N	$\rho/W$
2	0.249923
3	0.142627
4	0.096026
5	0.070794
6	0.055284
7	0.044925
8	0.037589
9	0.032161
10	0.024742
11	0.024742
12	0.022118
13	0.01997
14	0.018185
15	0.016681
16	0.015399
17	0.014296
18	0.013338
19	0.0125
20	0.011761
21	0.011105
22	0.010521
23	0.009997
24	0.009524
25	0.009097
26	0.008709
27	0.008355
28	0.008031
29	0.007733
100	0.002865
200	0.002214
1000	0.001857

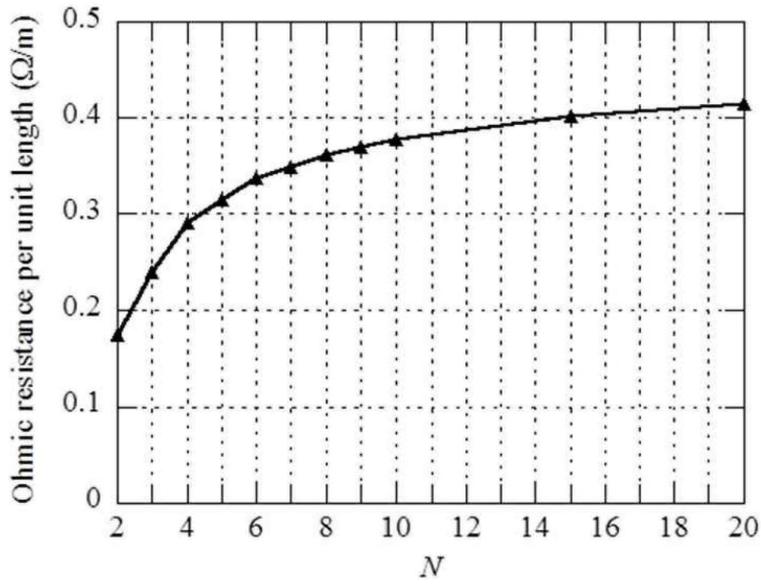
도면38



도면39

$N$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
$p(2r_0)$	1.000	1.0870	1.2987	1.4085	1.5152	1.5873	1.6393	1.6667	1.7241	1.8182	1.8182
$\Omega/m$	0.1743	0.2388	0.2912	0.31518	0.3370	0.3496	0.3619	0.3700	0.3781	0.4013	0.4152

도면40



도면41

