



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0007897
(43) 공개일자 2025년01월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61N 2/02 (2006.01) A61N 1/36 (2006.01)

A61N 1/40 (2006.01) A61N 2/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

A61N 2/02 (2013.01)

A61N 1/36025 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0087927

(22) 출원일자 2023년07월06일

심사청구일자 2023년07월06일

(71) 출원인

서강대학교산학협력단

서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)

(72) 발명자

정진호

서울특별시 마포구 송문길 98, 102동 303호 (염리동, 마포자이3차)

조홍준

서울특별시 서대문구 연세로2라길 42, 106 (창천동)

(74) 대리인

특허법인 수

전체 청구항 수 : 총 9 항

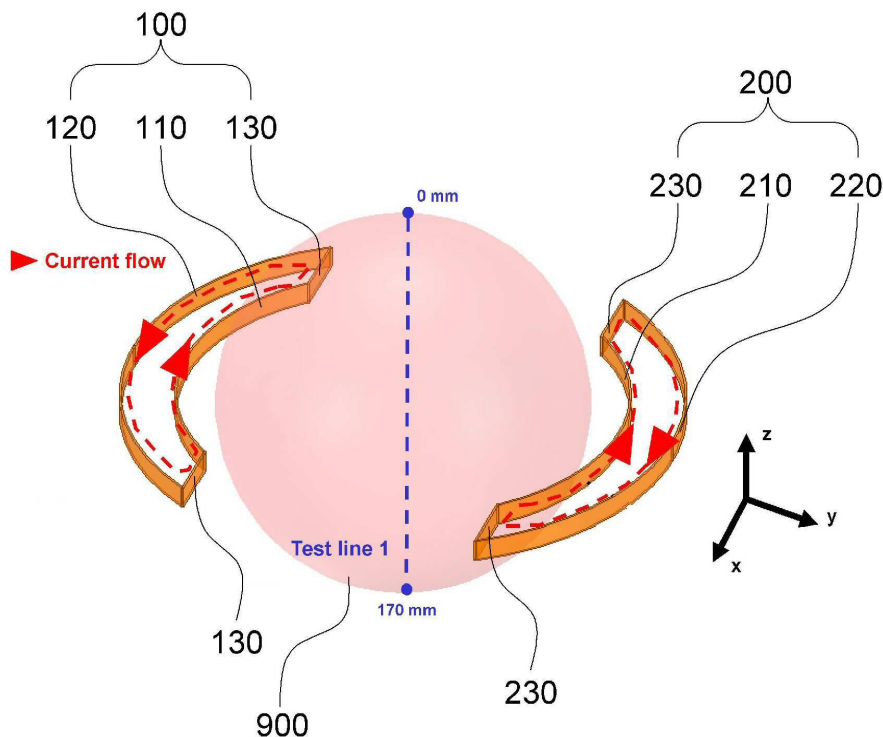
(54) 발명의 명칭 경두개 자기 자극 코일

(57) 요약

경두개 자기 자극 코일에 있어서, 사용자의 두부의 일측면에 상기 두부와 이격되어 배치되고, 상기 일측면에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성된 제1 반달형 코일부; 및 상기 제1 반달형 코일부와 대향하도록 상기 두부의 타측면에 상기 두부 및 상기 제1 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 타측면에 대응되도록 구부러진

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1a



폐곡선 형태로 형성된 제2 반달형 코일부를 포함하되, 상기 제1 반달형 코일부는, 상기 일측면의 근방에 위치하는 제1 내권선, 상기 일측면으로부터 상기 제1 내권선보다 떨어져 위치하는 제1 외권선, 및 상기 제1 내권선의 일단과 상기 제1 외권선의 일단을 연결하고 상기 제1 내권선의 타단과 상기 제1 외권선의 타단을 연결하는 제1 권선 연결부를 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 제2 반달형 코일부는, 상기 타측면의 근방에 위치하는 제2 내권선, 상기 타측면으로부터 상기 제2 내권선보다 떨어져 위치하는 제2 외권선, 및 상기 제2 내권선의 일단과 상기 제2 외권선의 일단을 연결하고 상기 제2 내권선의 타단과 상기 제2 외권선의 타단을 연결하는 제2 권선 연결부를 포함하는 것을 특징으로 하며, 상기 제1 반달형 코일부 및 상기 제2 반달형 코일부 각각은 전류를 인가하는 전원 공급부에 연결되어 있는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.

(52) CPC특허분류

A61N 1/40 (2013.01)

A61N 2/006 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	202232024
과제번호	2022M3E5E808120411
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	바이오의료기술개발사업
연구과제명	(공동2) 인지증강 동물모델의 뉴럴마커 및 고주파 증폭 나노입자를 이용한 인지증강
뇌자극 기술 개발 연구	
기 여 율	1/1
과제수행기관명	이화여자대학교
연구기간	2022.04.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

경두개 자기 자극 코일에 있어서,

사용자의 두부의 일측면에 상기 두부와 이격되어 배치되고, 상기 일측면에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성된 제1 반달형 코일부; 및

상기 제1 반달형 코일부와 대향하도록 상기 두부의 타측면에 상기 두부 및 상기 제1 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 타측면에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성된 제2 반달형 코일부를 포함하되,

상기 제1 반달형 코일부는, 상기 일측면의 근방에 위치하는 제1 내권선, 상기 일측면으로부터 상기 제1 내권선보다 떨어져 위치하는 제1 외권선, 및 상기 제1 내권선의 일단과 상기 제1 외권선의 일단을 연결하고 상기 제1 내권선의 타단과 상기 제1 외권선의 타단을 연결하는 제1 권선 연결부를 포함하는 것을 특징으로 하고,

상기 제2 반달형 코일부는, 상기 타측면의 근방에 위치하는 제2 내권선, 상기 타측면으로부터 상기 제2 내권선보다 떨어져 위치하는 제2 외권선, 및 상기 제2 내권선의 일단과 상기 제2 외권선의 일단을 연결하고 상기 제2 내권선의 타단과 상기 제2 외권선의 타단을 연결하는 제2 권선 연결부를 포함하는 것을 특징으로 하며,

상기 제1 반달형 코일부 및 상기 제2 반달형 코일부 각각은 전류를 인가하는 전원 공급부에 연결되어 있는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 외권선의 길이는 상기 제1 내권선의 길이보다 길고, 상기 제2 외권선의 길이는 상기 제2 내권선의 길이보다 긴 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 반달형 코일부, 상기 제2 반달형 코일부 및 상기 두부 각각과 이격되어 배치되고, 상기 두부의 일부를 감싸는 형태로 형성된 헬멧형 코일부를 더 포함하는 것을 특징으로 하되,

상기 헬멧형 코일부는,

상기 두부의 상부의 일부를 반원 형태로 감싸도록 형성된 제1 반원형 코일,

상기 두부의 상부의 다른 일부를 반원 형태로 감싸되, 상기 상부의 소정의 지점에서 상기 제1 반원형 코일과 교차되어 소정의 코일 교차각을 갖도록 형성된 제2 반원형 코일,

일단이 상기 제1 반원형 코일의 일단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제1-1 코일 레그, 일단이 상기 제1 반원형 코일의 타단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제1-2 코일 레그, 일단이 상기 제2 반원형 코일의 일단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제2-1 코일 레그, 및 일단이 상기 제2 반원형 코일의 타단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제2-2 코일 레그, 및

상기 제1-1 코일 레그의 타단과 상기 제2-2 코일 레그의 타단을 연결하는 제1 코일 받침, 및 상기 제2-1 코일 레그의 타단과 상기 제1-2 코일 레그의 타단을 연결하는 제2 코일 받침을 포함하는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1-1 코일 레그 및 상기 제2-2 코일 레그는 상기 제1 반달형 코일부의 폐곡선 내부를 통과하고, 상기 제

2-1 코일 레그 및 상기 제1-2 코일 레그는 상기 제2 반달형 코일부의 폐곡선 내부를 통과하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

청구항 5

제1항에 있어서

상기 제1 반달형 코일부의 상부 및 하부 중 적어도 일부에 상기 제1 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 제1 반달형 코일부와 대응되는 형태로 형성된 적어도 하나의 제1-1 반달형 코일부; 및

상기 제2 반달형 코일부의 상부 및 하부 중 적어도 일부에 상기 제2 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 제2 반달형 코일부와 대응되는 형태로 형성된 적어도 하나의 제2-1 반달형 코일부를 더 포함하는 것을 특징으로 하되,

상기 제1-1 반달형 코일부는 상기 제1 반달형 코일부와 제1 각도를 이루며 기울어져 있고, 상기 제2-1 반달형 코일부는 상기 제2 반달형 코일부와 제2 각도를 이루며 기울어져 있는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

청구항 6

제1항에 있어서

상기 두부의 상부에 상기 제1 반달형 코일부 및 상기 제2 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 상부의 형태에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성된 제3 반달형 코일부를 더 포함하는 것을 특징으로 하되,

상기 제3 반달형 코일부는, 상기 상부의 근방에 위치하는 제3 내권선, 상기 상부로부터 상기 제3 내권선보다 떨어져 위치하는 제3 외권선, 및 상기 제3 내권선의 일단과 상기 제3 외권선의 일단을 연결하고 상기 제3 내권선의 타단과 상기 제3 외권선의 타단을 연결하는 제3 권선 연결부를 포함하는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

청구항 7

제1항에 있어서

상기 제1 반달형 코일부는 상기 제1 내권선과 상기 두부 사이에 형성된 제1 금속 차폐막을 더 포함하고, 상기 제2 반달형 코일부는 상기 제2 내권선과 상기 두부 사이에 형성된 제2 금속 차폐막을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 전원 공급부는, 상기 제1 반달형 코일부 및 제2 반달형 코일부 중 하나에는 전류의 흐름이 시계방향이 되도록 상기 펄스 전류를 인가하고, 다른 하나에는 전류의 흐름이 반시계방향이 되도록 상기 펄스 전류를 인가하도록 연결됨으로써, 상기 제1 반달형 코일부 및 상기 제2 반달형 코일부 각각에서 생성되는 자기 선속(magnetic flux) 각각의 방향이 서로 반대가 되도록 하는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

청구항 9

경두개 자기 자극 코일에 있어서,

사용자의 두부와 이격되어 배치되고, 상기 두부의 일부를 감싸는 형태로 형성된 헬멧형 코일부를 포함하되,

상기 헬멧형 코일부는,

상기 두부의 상부의 일부를 반원 형태로 감싸도록 형성된 제1 반원형 코일,

상기 두부의 상부의 다른 일부를 반원 형태로 감싸되, 상기 상부의 소정의 지점에서 상기 제1 반원형 코일과 교차되어 소정의 코일 교차각을 갖도록 형성된 제2 반원형 코일,

일단이 상기 제1 반원형 코일의 일단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제1-1 코일 레그, 일단이 상기 제1 반원형 코일의 타단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제1-2 코일 레그, 일단이 상기

제2 반원형 코일의 일단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제2-1 코일 레그, 및 일단이 상기 제2 반원형 코일의 타단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제2-2 코일 레그, 및
상기 제1-1 코일 레그의 타단과 상기 제2-2 코일 레그의 타단을 연결하는 제1 코일 받침, 및 상기 제2-1 코일 레그의 타단과 상기 제1-2 코일 레그의 타단을 연결하는 제2 코일 받침을 포함하는 것을 특징으로 하고,
상기 헬멧형 코일부는 전류를 인가하는 전원 공급부에 연결되어 있는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 경두개 자기 자극 코일에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 뇌의 특정 부위에만 전기장을 집중시킬 수 있고, 전기장의 침투 깊이를 향상시킬 수 있는 경두개 자기 자극 코일에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 뇌졸중, 사고로 인한 뇌의 손상 혹은 뇌 질환 및 이에 따른 후유증에 대한 치료와 재활 운동의 중요성이 커지면서 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재는 비침습적으로 전기 신호를 인가하는 치료방법에 대한 연구가 주로 진행되고 있다.

[0003] 비침습적 뇌자극 치료 중 경두개 자기 자극 (Transcranial Magnetic Stimulation 이하 TMS) 방법이 가장 각광을 받고 있는데, 이 방법은 페러데이 법칙의 전자기 코일을 사용하여 두피 외부에서 입력 과형에 따라 자기장을 생성하고, 이에 대해 이차적으로 생성되는 전기 에너지(변동 에너지)를 대뇌 피질에 전달하여 뇌신경 세포를 자극하는 방법으로, 실제로 치료 효과가 있음이 밝혀지면서 학계에서는 해당 치료 방법 개선 및 활용 방안 확대를 위한 다양한 연구가 진행 중이다.

[0004] 이와 같은 경두개 자기 자극 치료법에서 자기 자극 시스템의 말단에 있는 코일의 구조(형태)는 생성되는 자기장 및 전기장의 형태에 큰 영향을 준다. 이때 코일의 형태에 따라 설계할 때 확인하는 주요 특성은 전기장의 침투 깊이와 전기장 분포 면적(집중도)이다.

[0005] 현재 다양한 코일의 구조가 문헌이나 특허를 통해 소개되어 있으며, 그 중 현재 상업적으로 가장 많이 사용되는 코일의 구조는 원형 코일, 8자 코일, 헤일로 코일 등이 있다.

[0006] 원형 코일은 간단한 구조이며 설계하기 쉽고 자기장이 코일 중심 축을 따라 강하게 발생하지만, 전기장은 코일의 형태와 유사한 원형 고리 형태로 생성되므로 전기장의 분포를 특정 부위에 집중시키는 것이 어렵다는 문제점이 있다. 따라서, 치료를 하고자 하는 부위가 국소적일 경우, 혹은 특정 한 부위만 자극하고 싶은 경우 사용하기에 적합하지 못하다는 문제점이 있다.

[0007] 위와 같은 한계를 해결하기 위해 두 개의 원형 코일을 함께 사용한 8자 코일이 새롭게 고안되었다. 8자 코일은 두 코일이 맞닿은 부위에서 유도되는 자기장 및 전기장이 중첩되어 다른 부위에 비하여 세기가 강해지고, 좁은 부위에 자극을 집중시킬 수 있게 되었다. 하지만, 높은 전기장 집중도에 비하여 전기장 침투 깊이가 작다는 문제점이 있으며, 사용하는 코일의 크기를 키우면 침투 깊이를 증가시킬 수 있지만, 코일의 크기 증가율 대비 전기장 침투 깊이 비율이 너무 작아 비효율적이라는 문제점이 있다.

[0008] 헤일로 코일은 큰 지름의 원형 코일을 머리의 특정 깊이 부분에 배치한 것으로 원하는 위치까지 자기장을 생성할 수 있지만, 2차적으로 생기는 전기장이 원형 코일과 같은 형태로 생성되므로 전기장을 국소 부위만 집중시키는 것이 어렵다는 문제점이 있다.

[0009] 이처럼, 주요 특성인 전기장의 침투 깊이와 전기장 분포 면적(집중도) 사이에는 tradeoff 관계가 존재한다. 즉, 전기장의 집중도가 좋은 코일 구조는 전기장의 침투 깊이가 작고, 전기장의 침투 깊이를 좋게 설계한 코일 구조는 전기장의 집중도가 좋지 않아 넓은 범위에 전기장이 분포하게 된다는 문제점이 있다.

[0010] 따라서, 가능한 두 특성 사이의 tradeoff 관계를 상쇄시키면서, 전기장의 침투 깊이와 전기장 분포 면적(집중도) 특성을 향상시킬 수 있는 코일 구조를 가지는 경두개 자기 자극 장치에 대한 연구 개발이 필요한 상황이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 상술한 문제점을 모두 해결하는 것을 목적으로 한다.
- [0012] 또한, 본 발명은, 경두개 자기 자극 장치의 코일 구조를 사용자의 두부에 대응되는 구부러진 형태로 형성함으로써, 작은 크기로 사용자의 두부에 근접하는 부분의 면적을 증가시켜 사용자의 두부 내부에 전기장을 더 집중시킬 수 있도록 하는 것을 다른 목적으로 한다.
- [0013] 또한, 본 발명은, 반달형 코일부의 내권선 및 외권선 각각의 중심각의 크기를 변화시키고, 내권선 및 외권선 각각의 면의 면적을 변화시킴으로써, 다양한 형태 및 다양한 특성을 가지는 경두개 자기 자극 코일을 설계할 수 있도록 하는 것을 또 다른 목적으로 한다.
- [0014] 또한, 본 발명은, 반달형 코일부 각각의 위치, 크기, 그리고 인가되는 전류의 크기를 조절함으로써 자극되는 위치인 자극 부위를 조절할 수 있고, 반달형 코일부 각각이 위치하는 높이를 변경함으로써 전기장이 집중되는 위치를 조절할 수 있으며, 반달형 코일부 각각에 인가되는 전류의 크기를 각각 다르게 함으로써 생성되는 전기장이 집중되는 위치를 조절할 수 있도록 하는 것을 또 다른 목적으로 한다.
- [0015] 또한, 본 발명은, 서로 tradeoff 관계에 있는 전기장 침투 깊이 특성과 전기장 분포 면적(집중도) 특성을 함께 향상시킴으로써, 필요한 특정 부위에만 전기장을 깊은 위치에 집중시킬 수 있도록 한 것을 또 다른 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0016] 상기한 바와 같은 본 발명의 목적을 달성하고, 후술하는 본 발명의 특징적인 효과를 실현하기 위한 본 발명의 특징적인 구성은 다음과 같다.
- [0017] 본 발명의 일 태양에 따르면, 경두개 자기 자극 코일에 있어서, 사용자의 두부의 일측면에 상기 두부와 이격되어 배치되고, 상기 일측면에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성된 제1 반달형 코일부; 상기 제1 반달형 코일부와 대향하도록 상기 두부의 타측면에 상기 두부 및 상기 제1 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 타측면에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성된 제2 반달형 코일부를 포함하되, 상기 제1 반달형 코일부는, 상기 일측면의 근방에 위치하는 제1 내권선, 상기 일측면으로부터 상기 제1 내권선보다 떨어져 위치하는 제1 외권선, 및 상기 제1 내권선의 일단과 상기 제1 외권선의 일단을 연결하고 상기 제1 내권선의 타단과 상기 제1 외권선의 타단을 연결하는 제1 권선 연결부를 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 제2 반달형 코일부는, 상기 타측면의 근방에 위치하는 제2 내권선, 상기 타측면으로부터 상기 제2 내권선보다 떨어져 위치하는 제2 외권선, 및 상기 제2 내권선의 일단과 상기 제2 외권선의 일단을 연결하고 상기 제2 내권선의 타단과 상기 제2 외권선의 타단을 연결하는 제2 권선 연결부를 포함하는 것을 특징으로 하며, 상기 제1 반달형 코일부 및 상기 제2 반달형 코일부 각각은 전류를 인가하는 전원 공급부에 연결되어 있는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.
- [0018] 일례로서, 상기 제1 외권선의 길이는 상기 제1 내권선의 길이보다 길고, 상기 제2 외권선의 길이는 상기 제2 내권선의 길이보다 긴 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.
- [0019] 일례로서, 상기 제1 반달형 코일부, 상기 제2 반달형 코일부 및 상기 두부 각각과 이격되어 배치되고, 상기 두부의 일부를 감싸는 형태로 형성된 헬멧형 코일부를 더 포함하는 것을 특징으로 하되, 상기 헬멧형 코일부는, 상기 두부의 상부의 일부를 반원 형태로 감싸도록 형성된 제1 반원형 코일, 상기 두부의 상부의 다른 일부를 반원 형태로 감싸되, 상기 상부의 소정의 지점에서 상기 제1 반원형 코일과 교차되어 소정의 코일 교차각을 갖도록 형성된 제2 반원형 코일, 일단이 상기 제1 반원형 코일의 일단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제1-1 코일 레그, 일단이 상기 제1 반원형 코일의 타단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제1-2 코일 레그, 일단이 상기 제2 반원형 코일의 일단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제2-1 코일 레그, 및 일단이 상기 제2 반원형 코일의 타단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제2-2 코일 레그, 및 상기 제1-1 코일 레그의 타단과 상기 제2-2 코일 레그의 타단을 연결하는 제1 코일 받침, 및 상기 제2-1 코일 레그의 타단과 상기 제1-2 코일 레그의 타단을 연결하는 제2 코일 받침을 포함하는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.
- [0020] 일례로서, 상기 제1-1 코일 레그 및 상기 제2-2 코일 레그는 상기 제1 반달형 코일부의 폐곡선 내부를

통과하고, 상기 제2-1 코일 레그 및 상기 제1-2 코일 레그는 상기 제2 반달형 코일부의 폐곡선 내부를 통과하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.

[0021] 일례로서, 상기 제1 반달형 코일부의 상부 및 하부 중 적어도 일부에 상기 제1 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 제1 반달형 코일부와 대응되는 형태로 형성된 적어도 하나의 제1-1 반달형 코일부; 및 상기 제2 반달형 코일부의 상부 및 하부 중 적어도 일부에 상기 제2 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 제2 반달형 코일부와 대응되는 형태로 형성된 적어도 하나의 제2-1 반달형 코일부를 더 포함하는 것을 특징으로 하되, 상기 제1-1 반달형 코일부는 상기 제1 반달형 코일부와 제1 각도를 이루며 기울어져 있고, 상기 제2-1 반달형 코일부는 상기 제2 반달형 코일부와 제2 각도를 이루며 기울어져 있는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.

[0022] 일례로서, 상기 두부의 상부에 상기 제1 반달형 코일부 및 상기 제2 반달형 코일부와 이격되어 배치되고, 상기 상부의 형태에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성된 제3 반달형 코일부를 더 포함하는 것을 특징으로 하되, 상기 제3 반달형 코일부는, 상기 상부의 근방에 위치하는 제3 내권선, 상기 상부로부터 상기 제3 내권선보다 떨어져 위치하는 제3 외권선, 및 상기 제3 내권선의 일단과 상기 제3 외권선의 일단을 연결하고 상기 제3 내권선의 타단과 상기 제3 외권선의 타단을 연결하는 제3 권선 연결부를 포함하는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.

[0023] 일례로서, 상기 제1 반달형 코일부는 상기 제1 내권선과 상기 두부 사이에 형성된 제1 금속 차폐막을 더 포함하고, 상기 제2 반달형 코일부는 상기 제2 내권선과 상기 두부 사이에 형성된 제2 금속 차폐막을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.

[0024] 일례로서, 상기 전원 공급부는, 상기 제1 반달형 코일부 및 제2 반달형 코일부 중 하나에는 전류의 흐름이 시계 방향이 되도록 상기 펄스 전류를 인가하고, 다른 하나에는 전류의 흐름이 반시계방향으로 되도록 상기 펄스 전류를 인가하도록 연결됨으로써, 상기 제1 반달형 코일부 및 상기 제2 반달형 코일부 각각에서 생성되는 자기 선속(magnetic flux) 각각의 방향이 서로 반대되도록 하는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.

[0025] 일례로서, 경두개 자기 자극 코일에 있어서, 사용자의 두부와 이격되어 배치되고, 상기 두부의 일부를 감싸는 형태로 형성된 헬멧형 코일부를 포함하되, 상기 헬멧형 코일부는, 상기 두부의 상부의 일부를 반원 형태로 감싸도록 형성된 제1 반원형 코일, 상기 두부의 상부의 다른 일부를 반원 형태로 감싸되, 상기 상부의 소정의 지점에서 상기 제1 반원형 코일과 교차되어 소정의 코일 교차각을 갖도록 형성된 제2 반원형 코일, 일단이 상기 제1 반원형 코일의 일단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제1-1 코일 레그, 일단이 상기 제1 반원형 코일의 타단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제1-2 코일 레그, 일단이 상기 제2 반원형 코일의 일단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제2-1 코일 레그, 및 일단이 상기 제2 반원형 코일의 타단과 연결되어 상기 두부의 하부를 향하도록 형성된 제2-2 코일 레그, 및 상기 제1-1 코일 레그의 타단과 상기 제2-2 코일 레그의 타단을 연결하는 제1 코일 받침, 및 상기 제2-1 코일 레그의 타단과 상기 제1-2 코일 레그의 타단을 연결하는 제2 코일 받침을 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 헬멧형 코일부는 전류를 인가하는 전원 공급부에 연결되어 있는 것을 특징으로 하는 경두개 자기 자극 코일이 개시된다.

발명의 효과

[0026] 본 발명에 의하면, 다음과 같은 효과가 있다.

[0027] 본 발명은, 경두개 자기 자극 장치의 코일 구조를 사용자의 두부에 대응되는 구부러진 형태로 형성함으로써, 작은 크기로 사용자의 두부에 근접하는 부분의 면적을 증가시켜 사용자의 두부 내부에 전기장을 더 집중시킬 수 있도록 하는 효과가 있다.

[0028] 또한, 본 발명은, 반달형 코일부의 내권선 및 외권선 각각의 중심각의 크기를 변화시키고, 내권선 및 외권선 각각의 면의 면적을 변화시킴으로써, 다양한 형태 및 다양한 특성을 가지는 경두개 자기 자극 코일을 설계할 수 있도록 하는 효과가 있다.

[0029] 또한, 본 발명은, 반달형 코일부 각각의 위치, 크기, 그리고 인가되는 전류의 크기를 조절함으로써 자극되는 위치인 자극 부위를 조절할 수 있고, 반달형 코일부 각각이 위치하는 높이를 변경함으로써 전기장이 집중되는 위치를 조절할 수 있으며, 반달형 코일부 각각에 인가되는 전류의 크기를 각각 다르게 함으로써 생성되는 전기장이 집중되는 위치를 조절할 수 있도록 하는 효과가 있다.

[0030] 또한, 본 발명은, 서로 tradeoff 관계에 있는 전기장 침투 깊이 특성과 전기장 분포 면적(집중도) 특성을 함께 향상시킴으로써, 필요한 특정 부위에만 전기장을 깊은 위치에 집중시킬 수 있도록 하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1a, 도 1b 및 도 1c는, 본 발명의 일 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일의 일부를 개략적으로 도시한 것이다.

도 2a, 도 2b 및 도 2c는, 본 발명의 일 실시예에 따른 반달형 코일부의 형태를 설명하기 위한 도면이다.

도 3a 및 도 3b는, 본 발명의 일 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일에 의해 생성되는 자기장 및 전기장의 일례를 설명하기 위한 도면이다.

도 4a, 도 4b, 도 4c, 도 4d, 도 4e 및 도 4f는, 본 발명의 제1 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일을 설명하기 위한 도면이다.

도 5a 및 도 5b는, 본 발명의 제2 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일을 설명하기 위한 도면이다.

도 6a, 도 6b, 도 6c, 도 6d, 도 6e 및 도 6f는, 본 발명의 제3 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일을 설명하기 위한 도면이다.

도 7a, 도 7b, 도 7c, 도 7d, 도 7e, 도 7f, 도 7g 및 도 7h는, 본 발명의 제4 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일을 설명하기 위한 도면이다.

도 8a, 도 8b, 도 8c 및 도 8d는, 본 발명의 다른 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예에 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다.

[0033] 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭한다.

[0034] 이하, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있도록 하기 위하여, 본 발명의 바람직한 실시예들에 관하여 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

[0035] 참고로, 이하에서 본 발명의 실시예에 따라 설명하는 사용자의 두부(900)는 도면에 구 형태의 두뇌 모델로 나타냈다. 참고로, 두뇌 모델은 85 mm의 반지름을 가지고, 유전율 및 투자율은 모두 1이고, 전기 전도도가 0.33 simens/m인 전체 부피에서 성질이 균일한 물질로 구성되어 있다고 가정하였다.

[0036] 또한, 이하에서 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$)는, 대뇌 표면에서의 가장 강한 전기장의 세기를 E_{max} 라고 할 때, 이 값의 절반 세기의 전기장($E_{max/2}$)이 분포하는 뇌 내의 최대 깊이를 의미할 수 있다.

[0037] 또한, 이하에서 전기장이 얼마나 퍼져 있는지 나타내는 특성인 전기장 분포 면적($S_{1/2}$, 집중도)은, $E_{max/2}$ 의 세기를 가지는 전기장이 뇌 내에 분포하는 전체 부피를 $V_{1/2}$ 이라 할 때, 이 값을 앞서 구한 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$)로 나눈 값을 의미할 수 있다.

[0038] 도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일의 일부를 개략적으로 도시한 것이고, 도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일의 일부를 위에서 본 것을 개략적으로 도시한 것이며, 도 1c는 본 발명의 일 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일의 일부를 앞에서 본 것을 개략적으로 도시한 것이다.

- [0039] 도 1a, 도 1b 및 도1c를 참조하면, 본 발명에 따른 경두개 자기 자극 코일은, 사용자의 두부(900) 양측면에 배치된 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200)를 포함할 수 있다. 여기서, 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200) 각각은 전류를 인가하는 전원 공급부(미도시)에 연결되어 있을 수 있다. 참고로, 도 1a, 도 1b 및 도1c에서는 설계의 편의성을 위하여 비교적 얇고 넓은 너비를 가진 동일한 코일 선을 이용하여 제 1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200)를 설계하여 도시하였으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.
- [0040] 먼저, 제1 반달형 코일부(100)는 사용자의 두부(900)의 일측면에 사용자의 두부(900)와 이격되어 배치되고, 일측면에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성될 수 있다.
- [0041] 또한, 제2 반달형 코일부(200)는, 제1 반달형 코일부(100)와 대향하도록 두부(900)의 타측면에 두부(900) 및 제 1 반달형 코일부(100) 각각과 이격되어 배치되고, 타측면에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성될 수 있다.
- [0042] 여기서, 제1 반달형 코일부(100)는, 두부(900)의 일측면의 근방에 위치하는 제1 내권선(110), 상기 일측면으로부터 제1 내권선(110)보다 떨어져 위치하는 제1 외권선(120), 및 제1 내권선(110)의 일단과 제1 외권선(120)의 일단을 연결하고 제1 내권선(110)의 타단과 제1 외권선(120)의 타단을 연결하는 제1 권선 연결부(130)를 포함할 수 있다.
- [0043] 또한, 제2 반달형 코일부(200)는, 두부(900)의 타측면의 근방에 위치하는 제2 내권선(210), 상기 타측면으로부터 제2 내권선(210)보다 떨어져 위치하는 제2 외권선(220), 및 제2 내권선(210)의 일단과 제2 외권선(220)의 일단을 연결하고 제2 내권선(210)의 타단과 제2 외권선(220)의 타단을 연결하는 제2 권선 연결부(230)를 포함할 수 있다.
- [0044] 이때, 제1 외권선(120)의 길이는 제1 내권선(110)의 길이보다 길고, 제2 외권선(220)의 길이는 제2 내권선(210)의 길이보다 길 수 있다.
- [0045] 여기서, 제1 내권선(110)과 제1 외권선(120)은 서로 평행하도록 형성되고, 제2 내권선(210)과 제2 외권선(220)은 서로 평행하도록 형성될 수 있을 것이나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.
- [0046] 또한, 제1 내권선(110), 제1 외권선(120), 제2 내권선(210) 및 제2 외권선(220) 각각은 사용자의 두부(900)와 마주보는 면을 가지도록 형성될 수 있을 것이다.
- [0047] 또한, 제1 내권선(110), 제1 외권선(120), 제2 내권선(210) 및 제2 외권선(220) 각각은 위에서 봤을 때 소정의 중심각을 갖는 부채꼴의 호에 대응되는 형태로 형성될 수 있을 것이다.
- [0048] 이때, 제1 내권선(110) 및 제1 외권선(120)은 서로 동일한 중심각을 가지는 호의 형태로 형성될 수도 있고, 서로 다른 중심각을 가지는 호의 형태로 형성될 수도 있을 것이다. 마찬가지로, 제1 내권선(110) 및 제1 외권선(120)은 서로 동일한 중심각을 가지는 호의 형태로 형성될 수도 있고, 서로 다른 중심각을 가지는 호의 형태로 형성될 수도 있을 것이다.
- [0049] 즉, 내권선 및 외권선 각각의 중심각의 크기를 변화시키고, 내권선 및 외권선 각각의 사용자의 두부(900)와 마주보는 면의 면적을 변화시킴으로써, 다양한 형태 및 다양한 특성을 가지는 반달형 코일부를 형성할 수 있을 것이다.
- [0050] 예를 들어, 도 2a, 도 2b 및 도 2c를 참조하여 설명하면, 도 2a에 나타나 있는 것과 같이 제1 내권선(110)은 100° 의 중심각을 가지고 있으나 제1 외권선(120)은 그보다 큰 중심각을 가지고 형성되도록 할 수도 있고, 도 2b에 나타나 있는 것과 같이 제1 내권선(110)과 제1 외권선(120)이 동일한 90° 의 중심각을 가지고 형성되도록 할 수도 있으며, 도 2c에 나타나 있는 것과 같이 도 2b에 나타나 있는 제1 반달형 코일부(100)보다 작은 크기를 갖도록 제1 내권선(110)과 제1 외권선(120)이 동일한 30° 의 중심각을 가지고 형성되도록 할 수도 있을 것이다.
- [0051] 그리고, 전원 공급부(미도시)는, 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200) 중 하나에는 전류의 흐름이 시계방향으로 되도록 펄스 전류를 인가하고, 다른 하나에는 전류의 흐름이 반시계방향으로 되도록 펄스 전류를 인가하도록 연결됨으로써, 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200) 각각에서 생성되는 자기 선속(magnetic flux) 각각의 방향이 서로 반대가 되도록 할 수 있다.
- [0052] 예를 들어, 도 1a, 도 3a 및 도 3b를 참조하여 설명하면, 도 1a에 빨간색 화살표로 도시된 것과 같이 제1 반달형 코일부(100)에서는 전류 흐름(Current flow)이 반시계방향으로 되도록 펄스 전류가 인가되고, 제2 반달형 코일부(200)에서는 전류 흐름(Current flow)이 시계방향으로 되도록 펄스 전류가 인가된다고 가정하면, 제1 반달형 코

일부(100)의 폐곡선 내부를 통과하는 자기 선속(magnetic flux)은 z방향을 향하도록 생성되고, 제2 반달형 코일부(200)의 폐곡선 내부를 통과하는 자기 선속(magnetic flux)은 -z방향을 향하도록 생성되어, 도 3a에 빨간색 화살표로 도시된 것과 같은 자기장(Magnetic field)이 생성될 수 있을 것이다. 여기서, 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200)가 위치한 위치인 두부(900)의 중심 부분에서는 자기장의 세기가 약하게 생성되고, 두부(900)의 상부 및 하부에서는 제1 반달형 코일부(100)에 의해 생성된 자기 선속과 제2 반달형 코일부(200)에 의해 생성된 자기 선속이 중첩되어 자기장의 세기가 강하게 생성될 수 있을 것이다. 이에 따라, 발생하는 전기장(Electric field)은 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200)가 위치한 두부(900)의 중심 부분에서 가장 강하게 생성됨에 따라, 도 3b에 나타나 있는 것과 같이 두부(900)의 소정의 깊이에 전기장을 생성할 수 있을 것이다. 참고로, 도 3b는 도 1a 및 도 1c에 나타나 있는 임의로 두부(900)의 깊이를 나타내는 test line 1에 따른 자기장 및 전기장의 세기를 나타내는 그래프이다.

[0053] 이처럼, 본 발명인 경두개 자기 자극 코일은, 코일 구조를 사용자의 두부에 대응되는 구부러진 형태로 형성함으로써, 작은 크기로 사용자의 두부에 근접하는 부분의 면적을 증가시킬 수 있으므로 사용자의 두부 내부에 전기장을 더 집중시킬 수 있는 것이 특징이다.

[0054] 또한, 본 발명인 경두개 자기 자극 코일은, 사용자의 두부와 마주보는 내권선의 면의 크기에 따라 자극 영역의 크기를 변경시킬 수 있는 것이 특징이다. 예를 들어, 사용자의 두부와 마주보는 내권선의 면의 면적을 작게 형성하면 자극 영역의 크기를 작게 만들 수 있으므로 더욱 집중적인 자극을 할 수 있는 것과 같이, 본 발명인 경두개 자기 자극 코일은 종래 일반적인 자극 코일의 구조와는 달리 코일의 특정 부분의 크기를 어떻게 형성하느냐에 따라 전기장 및 자기장 분포 특성을 바꿀 수 있는 것이 특징이다.

[0055] 또한, 본 발명인 경두개 자기 자극 코일은, 반달형 코일부 쌍 각각의 위치, 크기, 그리고 인가되는 전류의 크기를 조절함으로써 자극되는 위치인 자극 부위를 조절할 수 있고, 반달형 코일부 쌍이 위치하는 높이를 변경함으로써 전기장이 집중되는 위치를 조절할 수 있으며, 반달형 코일부 쌍 각각에 인가되는 전류의 크기를 각각 다르게 함으로써 생성되는 전기장이 집중되는 위치를 조절할 수 있는 것이 특징이다.

[0056] 또한, 본 발명인 경두개 자기 자극 코일은 내권선 또는 외권선의 중심각만을 변화시켜 전체적인 모양을 변화시킬 수도 있고, 내권선의 직경과 외권선의 직경의 비율을 다르게 하여 원하는 특성을 가지는 반달형 코일부를 설계할 수도 있다. 예를 들어 내권선의 직경은 작은 반면 외권선의 직경이 상대적으로 크다면 작은 부위에 더 강한 전자기장을 인가할 수 있다. 이는, 변경이 가능한 파라미터로 코일의 직경, 감은 수 등만 가지고 있던 종래의 자극 코일에 비해 보다 많은 파라미터를 가지고 다양하게 변경할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 작은 크기로 설계한 반달형 코일부를 단위 코일로 하는 코일 배열을 설계할 수 있다는 장점이 있다.

[0057] 상기와 같이 구성된 경두개 자기 자극 코일은 이하에서 설명할 실시예에 적용되는 것으로서, 이를 통해 본 발명의 제1 실시예, 제2 실시예, 제3 실시예 및 제4 실시예를 설명하면 다음과 같다.

[0058] 본 발명의 제1 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은 헬멧형 코일부를 더 포함할 수 있다.

[0059] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 헬멧형 코일부(300)는 제1 반달형 코일부(100), 제2 반달형 코일부(200) 및 사용자의 두부(900) 각각과 이격되어 배치되고, 두부(900)의 일부를 감싸는 형태로 형성될 수 있다. 참고로, 도 4a 및 도 4b에서는 설계의 편의성을 위하여 비교적 얇고 넓은 너비를 가진 동일한 코일 선을 이용하여 제1 반달형 코일부(100), 제2 반달형 코일부(200) 및 헬멧형 코일부(300)를 설계하여 나타냈으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.

[0060] 여기서, 헬멧형 코일부(300)는 제1 반원형 코일(310), 제2 반원형 코일(320), 제1-1 코일 레그(330), 제1-2 코일 레그(340), 제2-1 코일 레그(350), 제2-2 코일 레그(360), 제1 코일 받침(370) 및 제2 코일 받침(380)을 포함할 수 있다.

[0061] 구체적으로, 제1 반원형 코일(310)은 두부(900)의 상부의 일부를 반원 형태로 감싸도록 형성될 수 있다. 그리고, 제2 반원형 코일(320)은 두부(900)의 상부의 다른 일부를 반원 형태로 감싸고, 두부(900)의 상부의 소정의 지점에서 제1 반원형 코일(310)과 교차되어 소정의 코일 교차각을 갖도록 형성될 수 있다. 또한, 제1-1 코일 레그(330)는 일단이 제1 반원형 코일(310)의 일단과 연결되어 두부(900)의 하부를 향하는 형태로 형성될 수 있고, 제1-2 코일 레그(340)는 일단이 제1 반원형 코일(310)의 타단과 연결되어 두부(900)의 하부를 향하는 형태로 형성될 수 있으며, 제2-1 코일 레그(350)는 일단이 제2 반원형 코일(320)의 일단과 연결되어 두부(900)의 하부를 향하는 형태로 형성될 수 있고, 제2-2 코일 레그(360)는 일단이 제2 반원형 코일(320)의 타단과 연결되어 두부(900)의 하부를 향하는 형태로 형성될 수 있다. 또한, 제1 코일 받침(370)은 제1-1 코일 레그(330)의 타

단과 제2-2 코일 레그(360)의 타단을 연결하는 형태로 형성될 수 있고, 제2 코일 받침(380)은 제2-1 코일 레그(350)의 타단과 제1-2 코일 레그(340)의 타단을 연결하는 형태로 형성될 수 있다.

[0062] 이때, 제1-1 코일 레그(330) 및 제2-2 코일 레그(360)는 상기 제1 반달형 코일부(100)의 폐곡선 내부를 통과하고, 제2-1 코일 레그(350) 및 제1-2 코일 레그(340)는 제2 반달형 코일부(200)의 폐곡선 내부를 통과하도록 형성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 제1 반달형 코일부(100), 제2 반달형 코일부(200) 및 헬멧형 코일부(300)의 크기에 따라 다른 형태로 형성될 수 있을 것이다.

[0063] 여기서, 제1-1 코일 레그(330), 제1-2 코일 레그(340), 제2-1 코일 레그(350) 및 제2-2 코일 레그(360)는, 도 4a에 도시되어 있는 것과 같이 직선 형태로 형성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 곡선 형태 등 다양한 형태로 형성될 수 있을 것이다. 다만, 각각의 코일 레그를 직선 형태로 구성할 경우, 각각의 코일 레그의 길이에 따라 전기장의 침투 깊이를 변화시킬 수 있으므로 다양한 특성을 가지는 경두개 자기 자극 코일을 설계할 수 있다는 장점이 있다.

[0064] 또한, 제1 반원형 코일(310)과 제2 반원형 코일(320)과 교차되는 지점인 코일 교차부의 코일 교차각은 90° 일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 자극 범위 혹은 자극 부위에 따라 다른 각도로 형성될 수 있을 것이다. 여기서, 코일 교차각은 제1 반원형 코일(310)과 제2 반원형 코일(320)이 교차하여 생기는 각 중에 예각을 의미할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.

[0065] 이와 같이, 본 발명의 제1 실시예에 따라 도 4a 및 도 4b에 나타나 있는 것과 같이 구성된 경두개 자기 자극 코일을 이용하였을 때, 사용자의 두부에 생성된 자기장의 분포와 그에 따른 전기장의 분포는 도 4c 및 도 4d와 같이 나타날 수 있다. 여기서, 사용자의 두부(900)는 85 mm의 반지름을 가지고, 유전율 및 투자율은 모두 1이고, 전기 전도도가 0.33 simens/m인 전체 부피에서 성질이 균일한 물질로 구성된 두뇌 모델로 가정하였고, 두뇌 모델의 최상단 지점이 코일 교차부의 아랫 부분에서 5 mm 아래에 위치하도록 배치하였다. 도 4c 및 도 4d를 참조하면, 각 코일부에서 생성되는 전기장이 동일한 방향으로 중첩되어 전체 전기장의 침투 깊이가 크게 개선된 것을 알 수 있다. 따라서, 반달형 코일부 쌍은 두뇌 모델의 중앙 부분에 대해 원하는 깊이에 전기장을 집중하여 분포시킬 수 있으므로, 반달형 코일부의 높이를 조절하면서 전기장 침투 깊이 및 분포 면적 특성을 변화시킬 수 있을 것이다.

[0066] 또한, 도 4e는, 본 발명의 제1 실시예에 따라 도 4a 및 도 4b에 나타나 있는 것과 같이 구성된 경두개 자기 자극 코일에 5 kHz 주파수 및 10 kA 크기의 사인파형 전류 인가하였을 때, 두뇌 모델 중앙 부분에서 깊이에 따른 전기장 분포를 나타낸 것이다. 도 4e를 참조하면, 헬멧형 코일부만 사용했을 경우보다 전기장 침투 깊이가 증가한 것을 확인할 수 있다. 구체적으로, 헬멧형 코일부만 사용했을 경우에는 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$)는 3.7 cm였으나, 헬멧형 코일부와 반달형 코일부 쌍을 함께 사용한 경우의 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$)는 4.4 cm로 나타나 더욱 깊은 부분까지 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 또한, 깊이에 따른 전기장 감쇠 정도도 그래프의 기울기를 통해서 감소된 것을 확인할 수 있다. 여기서, 전기장의 침투 깊이($d_{1/2}$)는 도 4a에 나타나 있는 test line 1을 따라 전기장의 분포를 표시한 것이다. 참고로, test line 1은 두뇌 모델의 중앙 부분에서 z축과 평행할 수 있을 것이다.

[0067] 또한, 도 4f는, 본 발명의 제1 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일과 타 논문에서 비교적 널리 사용되는 코일 구조들을 동일한 시뮬레이션 프로그램을 사용하였을 때의 그 결과를 비교한 표이다. 도 4f를 참조하면, 본 발명의 제1 실시예인 「헬멧형 코일부 + 반달형 코일부 쌍」을 가지는 경두개 자기 자극 코일의 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$)는 4.5 cm 정도로 타 코일 구조에 비해 좋은 특성 값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 또한, 전기장 침투 깊이 대비 전기장 분포 면적의 비율($S_{1/2}/d_{1/2}$)도 타 코일 구조 대비 작은 값을 보여주고 있으므로, 본 발명의 제1 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일이 타 코일 구조에 비하여 좋은 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

[0068] 한편, 본 발명의 제2 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은 제1-1 반달형 코일부 및 제2-1 반달형 코일부를 더 포함할 수 있다.

[0069] 여기서, 제1-1 반달형 코일부는 제1 반달형 코일부(100)와 대응되는 형태로 형성될 수 있고, 제1 반달형 코일부(100)의 상부 및 하부 중 적어도 일부에 제1 반달형 코일부(100)와 이격되어 배치될 수 있다. 또한, 제2-1 반달형 코일부는 제2 반달형 코일부(200)와 대응되는 형태로 형성될 수 있고, 제2 반달형 코일부(200)의 상부 및 하부 중 적어도 일부에 제2 반달형 코일부(200)와 이격되어 배치될 수 있다.

[0070] 이때, 제1-1 반달형 코일부는 제1 반달형 코일부(100)와 제1 각도를 이루며 기울어져 있고, 제2-1 반달형 코일

부는 제2 반달형 코일부(200)와 제2 각도를 이루며 기울어져 있을 수 있다.

- [0071] 여기서, 제1-1 반달형 코일부는 제1 반달형 코일부(100)와 동일한 형태로 형성될 수 있고, 제2-1 반달형 코일부는 제2 반달형 코일부(200)와 동일한 형태로 형성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.
- [0072] 또한, 제1-1 반달형 코일부와 제2-1 반달형 코일부는 사용자 두부(900)를 기준으로 서로 대칭이 되도록 동일한 형태로 형성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.
- [0073] 또한, 제1 각도와 제2 각도는 동일할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.
- [0074] 또한, 복수개의 제1-1 반달형 코일부가 형성된 경우, 각각의 제1-1 반달형 코일부가 제1 반달형 코일부(100)와 이루는 각도는 전부 동일할 수도 있고, 일부만 다를 수도 있으며, 전부 다를 수도 있을 것이다. 이는 복수개의 제1-2 반달형 코일부가 형성된 경우도 마찬가지일 것이다.
- [0075] 또한, 제1-1 반달형 코일부에 흐르는 전류의 방향은 제1 반달형 코일부(100)에 흐르는 전류의 방향과 동일하고, 제2-1 반달형 코일부에 흐르는 전류의 방향은 제2 반달형 코일부(200)에 흐르는 전류의 방향과 동일할 수 있을 것이다.
- [0076] 예를 들어, 도 5a를 참조하면, 본 발명의 제2 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은, 제1 반달형 코일부(100)의 상부에 제1 반달형 코일부(100)와 직각을 이루며 이격되어 배치되도록 형성된 제1-1 반달형 코일부(410), 제1 반달형 코일부(100)의 하부에 제1 반달형 코일부(100)와 직각을 이루며 이격되어 배치되도록 형성된 제1-2 반달형 코일부(420), 제2 반달형 코일부(200)의 상부에 제2 반달형 코일부(200)와 직각을 이루며 이격되어 배치되도록 형성된 제2-1 반달형 코일부(510), 및 제2 반달형 코일부(200)의 하부에 제2 반달형 코일부(200)와 직각을 이루며 이격되어 배치되도록 형성된 제2-2 반달형 코일부(520)를 포함할 수 있다. 여기서, 제1 반달형 코일부(100), 제1-1 반달형 코일부(410) 및 제1-2 반달형 코일부(420) 각각의 형태와 제2 반달형 코일부(200), 제2-1 반달형 코일부(510) 및 제2-2 반달형 코일부(520) 각각의 형태는 사용자의 두부(900)를 기준으로 서로 대칭일 수 있을 것이다. 또한, 제1 반달형 코일부(100), 제1-1 반달형 코일부(410) 및 제1-2 반달형 코일부(420)에 흐르는 전류의 방향은 모두 동일한 반시계방향일 수 있고, 제2 반달형 코일부(200), 제2-1 반달형 코일부(510) 및 제2-2 반달형 코일부(520)에 흐르는 전류의 방향은 모두 동일한 시계방향일 수 있을 것이다.
- [0077] 이처럼, 상기 도 5a와 같이 구성된 삼중 반달형 코일부 쌍을 이용할 경우에는 제1 반달형 코일부(100)와 제2 반달형 코일부(200)로 구성된 반달형 코일부 쌍만을 이용할 경우보다 사용자 두부(900)의 특정 깊이 부분에서 상대적으로 더 큰 전기장을 생성할 수 있다.
- [0078] 도 5b를 참조하면, 반달형 코일부 쌍만을 이용할 경우보다 삼중 반달형 코일부 쌍을 이용할 경우가 사용자 두부(900)의 깊이에 대해 중앙 부분에서 전기장의 세기가 더 증가함을 알 수 있다. 참고로, 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200) 각각이 위치한 사용자 두부 양측면에 추가적으로 반달형 코일부를 더 추가할 경우 다른 깊이 부분 대비 더 센 전기장을 생성할 수 있을 것이다.
- [0079] 한편, 본 발명의 제3 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은 제3 반달형 코일부를 더 포함할 수 있다.
- [0080] 도 6a 및 도 6b를 참조하면, 제3 반달형 코일부(600)는 사용자 두부(900)의 상부에 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200)와 이격되어 배치되고, 사용자 두부(900)의 상부의 형태에 대응되도록 구부러진 폐곡선 형태로 형성될 수 있다.
- [0081] 여기서, 제3 반달형 코일부(600)는, 사용자 두부(900)의 상부의 근방에 위치하는 제3 내권선(610), 사용자 두부(900)의 상부로부터 제3 내권선(610)보다 떨어져 위치하는 제3 외권선(620), 및 제3 내권선(610)의 일단과 제3 외권선(620)의 일단을 연결하고 제3 내권선(610)의 타단과 제3 외권선(620)의 타단을 연결하는 제3 권선 연결부(630)를 포함할 수 있다.
- [0082] 또한, 제3 반달형 코일부(600)는 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200)와 동일한 크기 및 형태로 형성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.
- [0083] 이와 같이, 본 발명의 제3 실시예에 따라 도 6a 및 도 6b에 나타나 있는 것과 같이 구성된 경두개 자기 자극 코일을 이용하였을 때, 사용자의 두부에 생성된 자기장의 분포와 그에 따른 전기장의 분포는 도 6c 및 도 6d와 같이 나타날 수 있다. 여기서, 사용자의 두부(900)는 85 mm의 반지름을 가지고, 유전율 및 투자율은 모두 1이고, 전기 전도도가 0.33 simens/m인 전체 부피에서 성질이 균일한 물질로 구성된 두뇌 모델로 가정하였고, 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200)는 두뇌 모델의 최고지점인 0 mm 지점으로부터 75 mm 아래 지점에 위

치하도록 배치하였다. 도 6c 및 도 6d를 참조하면, 전기장의 분포는 각 반달형 코일부에 인접한 부분에서 특히 강하게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 발명의 제3 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은 원하는 부위에 반달형 코일부를 배치하여 전기장의 침투 깊이를 비교적 크게 증가시킬 수 있을 것이다.

[0084] 또한, 도 6e는, 본 발명의 제3 실시예에 따라 도 6a 및 도 6b에 나타나 있는 것과 같이 구성된 경두개 자기 자극 코일에 5 kHz 주파수 및 10 kA 크기의 사인파형 전류 인가하였을 때, 두뇌 모델 중앙 부분에서 깊이에 따른 전기장 분포를 나타낸 것이다. 도 6e를 참조하면, 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200)인 반달형 코일부 쌍이 위치한 깊이 부근에서 깊이에 따른 전기장의 감쇠 정도가 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$)는 5.7 cm가 나옴으로써 종래 기술에 비해 매우 좋은 특성이 나온 것을 확인할 수 있다. 여기서, 전기장의 침투 깊이($d_{1/2}$)는 도 6a 및 도 6b에 나타나 있는 test line 1을 따라 전기장의 분포를 표시한 것이다. 참고로, test line 1은 두뇌 모델의 중앙 부분에서 z축과 평행할 수 있을 것이다.

[0085] 또한, 도 6f는, 본 발명의 제3 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일과 본 발명의 다른 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일 및 타 논문에서 비교적 널리 사용되는 코일 구조들을 동일한 시뮬레이션 프로그램을 사용하였을 때의 그 결과를 비교한 표이다. 도 6f를 참조하면, 본 발명의 제3 실시예에 따른 「3다중 반달형 코일부 배열」을 가지는 경두개 자기 자극 코일의 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$)는 5.7 cm 정도로 타 코일 구조에 비해 좋은 특성 값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 또한, 전기장 침투 깊이 대비 전기장 분포 면적의 비율($S_{1/2}/d_{1/2}$)도 타 코일 구조 대비 작은 값을 보여주고 있으므로, 본 발명의 제3 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일이 타 코일 구조에 비하여 좋은 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

[0086] 한편, 본 발명의 제4 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은 금속 차폐막을 더 포함할 수 있다.

[0087] 구체적으로, 제1 반달형 코일부(100)는 제1 내권선(110)과 사용자 두부(900) 사이에 형성된 제1 금속 차폐막을 더 포함하고, 제2 반달형 코일부(200)는 제2 내권선(210)과 사용자 두부(900) 사이에 형성된 제2 금속 차폐막을 더 포함할 수 있다.

[0088] 여기서, 제1 금속 차폐막은 제1 내권선(110)과 이격되어 형성될 수 있고, 제2 금속 차폐막은 제2 내권선(210)과 이격되어 형성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.

[0089] 이때, 본 발명의 제4 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200) 외에도 이와 동일한 형태로 형성된 복수의 반달형 코일부를 더 포함할 수 있으며, 각각의 반달형 코일부는 금속 차폐막을 각각 포함할 수 있을 것이다.

[0090] 예를 들어, 도 7a 및 도 7b를 참조하면, 본 발명의 제4 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은, 제1 반달형 코일부(100) 및 제2 반달형 코일부(200) 외에도 이와 동일한 형태로 형성된 복수의 반달형 코일부(710, 720, 730, 740, 750 및 760) 각각을 더 포함할 수 있다. 이때, 제1 반달형 코일부(100)의 제1 내권선(110)과 사용자 두부(900) 사이에 제1 금속 차폐막(140)이 형성될 수 있고, 제2 반달형 코일부(200)의 제1 내권선(210)과 사용자 두부(900) 사이에 제2 금속 차폐막(240)이 형성될 수 있을 것이다. 또한, 이와 마찬가지로, 복수의 반달형 코일부(710, 720, 730, 740, 750 및 760) 각각의 내권선과 사용자 두부(900) 사이에는 금속 차폐막(715, 725, 735, 745, 755 및 765) 각각이 형성될 수 있을 것이다. 여기서, 본 발명의 제4 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은 사용자의 두부(900)를 원형으로 둘러싸는 형태로 형성될 수 있을 것이다.

[0091] 이와 같이, 본 발명의 제4 실시예에 따라 도 7a 및 도 7b에 나타나 있는 것과 같이 구성된 경두개 자기 자극 코일을 이용하였을 때, 도 7a 및 도 7b에 표시한 test line 1, test line 2 및 test line 3 각각에서의 전기장의 분포는 도 7c, 도 7d 및 도 7e와 같이 나타날 수 있을 것이다. 도 7c 및 도 7d를 참조하면, z 축에 대응되는 test line 1 및 y축에 대응되는 test line 2를 따라 생성된 전기장의 분포는 두뇌 모델의 표면에 비하여 중앙 부분의 깊이에서 전기장의 세기가 더 강하게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한, 도 7e를 참조하면, x축에 대응되는 test-line 3를 따라 생성된 전기장의 분포는 두뇌 모델의 표면 대비 중앙 부분의 깊이에서 전기장의 세기가 더 강하게 나타나지만, test line 1 및 test line 2의 경우와 비교하였을 때는 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

[0092] 또한, 이와 같이 형성된 전기장의 분포는 도 7f, 도 7g 및 도 7h와 같이 나타날 수 있다. 참고로, 도 7f, 도 7g 및 도 7h 각각은 XY-평면, YZ-평면 및 ZX-평면 각각에서의 전기장의 분포의 단면도를 나타낸 것이다. 구체적으로, 도 7f를 참조하면, XY-평면에 대한 전기장의 분포의 경우, 두뇌 모델의 중앙 부분의 전기장의 세기가 비교적 강하게 나타나고, 바깥쪽으로 갈수록 전기장의 세기가 약해짐을 확인할 수 있다. 또한, 도 7g를 참조하면,

평면에서의 YZ-평면에 대한 전기장의 분포의 경우, 두뇌 모델의 중앙 부분이 전기장의 세기가 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한, 도 7h를 참조하면, ZX-평면에 대한 전기장의 분포의 경우, 반달형 코일부의 가장 자리에 생성된 전기장이 두뇌 모델의 내부로 이어지는 형태로 분포하며, 두뇌 모델의 중앙 부분에서 서로 중첩되어 강해지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같은 전기장의 분포와 각 축에 따른 전기장의 분포 그래프를 확인해 보면 알 수 있듯이 두뇌 모델의 표면보다 중앙 부분에서 상대적으로 더 강한 전기장이 분포하는 것을 알 수 있다. 이러한 전기장의 분포 특성은 코일 배열에 사용된 반달형 코일부의 크기, 개수, 금속 차폐막의 크기, 형태 등에 따라 다양하게 변화시킬 수 있을 것이다.

[0093] 한편, 본 발명의 제1 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일에 포함되어 있는 헬멧형 코일부를 단독으로 사용할 수도 있을 것이다.

[0094] 즉, 도 8a를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 경두개 자기 자극 코일은, 사용자의 두부(900)와 이격되어 배치되고, 두부(900)의 일부를 감싸는 형태로 형성된 헬멧형 코일부(800)를 포함할 수 있다. 여기서, 헬멧형 코일부(800)는 전류를 인가하는 전원 공급부(미도시)와 연결되어 있을 수 있다.

[0095] 여기서, 헬멧형 코일부(800)는 제1 반원형 코일(810), 제2 반원형 코일(820), 제1-1 코일 레그(830), 제1-2 코일 레그(840), 제2-1 코일 레그(850), 제2-2 코일 레그(860), 제1 코일 받침(870) 및 제2 코일 받침(880)을 포함할 수 있다.

[0096] 구체적으로, 제1 반원형 코일(810)은 두부(900)의 상부의 일부를 반원 형태로 감싸도록 형성될 수 있다. 그리고, 제2 반원형 코일(820)은 두부(900)의 상부의 다른 일부를 반원 형태로 감싸되, 두부(900)의 상부의 소정의 지점에서 제1 반원형 코일(810)과 교차되어 소정의 코일 교차각을 갖도록 형성될 수 있다. 또한, 제1-1 코일 레그(830)는 일단이 제1 반원형 코일(810)의 일단과 연결되어 두부(900)의 하부를 향하는 형태로 형성될 수 있고, 제1-2 코일 레그(840)는 일단이 제1 반원형 코일(810)의 타단과 연결되어 두부(900)의 하부를 향하는 형태로 형성될 수 있으며, 제2-1 코일 레그(850)는 일단이 제2 반원형 코일(820)의 일단과 연결되어 두부(900)의 하부를 향하는 형태로 형성될 수 있고, 제2-2 코일 레그(860)는 일단이 제2 반원형 코일(820)의 타단과 연결되어 두부(900)의 하부를 향하는 형태로 형성될 수 있다. 또한, 제1 코일 받침(870)은 제1-1 코일 레그(830)의 타단과 제2-2 코일 레그(860)의 타단을 연결하는 형태로 형성될 수 있고, 제2 코일 받침(880)은 제2-1 코일 레그(850)의 타단과 제1-2 코일 레그(840)의 타단을 연결하는 형태로 형성될 수 있다.

[0097] 여기서, 제1-1 코일 레그(830), 제1-2 코일 레그(840), 제2-1 코일 레그(850) 및 제2-2 코일 레그(860)는, 도 8a에 도시되어 있는 것과 같이 직선 형태로 형성될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 곡선 형태 등 다양한 형태로 형성될 수 있을 것이다. 다만, 각각의 코일 레그를 직선 형태로 구성할 경우, 각각의 코일 레그의 길이에 따라 전기장의 침투 깊이를 변화시킬 수 있으므로 다양한 특성을 가지는 경두개 자기 자극 코일을 설계할 수 있다는 장점이 있다.

[0098] 또한, 제1 반원형 코일(810)과 제2 반원형 코일(820)과 교차되는 지점인 코일 교차부의 코일 교차각은 90°일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 자극 범위 혹은 자극 부위에 따라 다른 각도로 형성될 수 있을 것이다. 여기서, 코일 교차각은 제1 반원형 코일(810)과 제2 반원형 코일(820)이 교차하여 생기는 각 중에 예각을 의미할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아닐 것이다.

[0099] 이와 같이, 도 8a에 나타나 있는 것과 같이 구성된 경두개 자기 자극 코일을 이용하였을 때, 사용자의 두부에 생성된 자기장의 분포와 그에 따른 전기장의 분포는 도 8b 및 도 8c와 같이 나타날 수 있다. 여기서, 사용자의 두부(900)는 85 mm의 반지름을 가지고, 유전율 및 투자율은 모두 1이고, 전기 전도도가 0.33 siemens/m인 전체 부피에서 성질이 균일한 물질로 구성된 두뇌 모델로 가정하였고, 두뇌 모델의 최상단 지점이 코일 교차부의 아랫 부분에서 5 mm 아래에 위치하도록 배치하였다. 도 8b 및 도 8c를 참조하면, 자기장과 전기장 모두 두뇌 모델의 중앙 부분에서 그 세기가 강하게 나타나는 것을 알 수 있다.

[0100] 또한, 도 8d는, 도 8a에 나타나 있는 것과 같이 구성된 경두개 자기 자극 코일에 5 kHz 주파수 및 10 kA 크기의 사인파형 전류 인가하였을 때, 두뇌 모델 중앙 부분에서 깊이로 따른 전기장 분포를 나타낸 것이다. 도 8d를 참조하면, 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$)는 약 3.7cm로 2~3 cm 정도의 전기장 침투 깊이를 가지는 기존의 타 코일 구조에 비하여 더 깊은 전기장 침투 깊이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 여기서, 전기장의 침투 깊이($d_{1/2}$)는 도 8a에 나타나 있는 test line 1을 따라 전기장의 분포를 표시한 것이다. 참고로, test line 1은 두뇌 모델의 중앙 부분에서 z축과 평행할 수 있을 것이다.

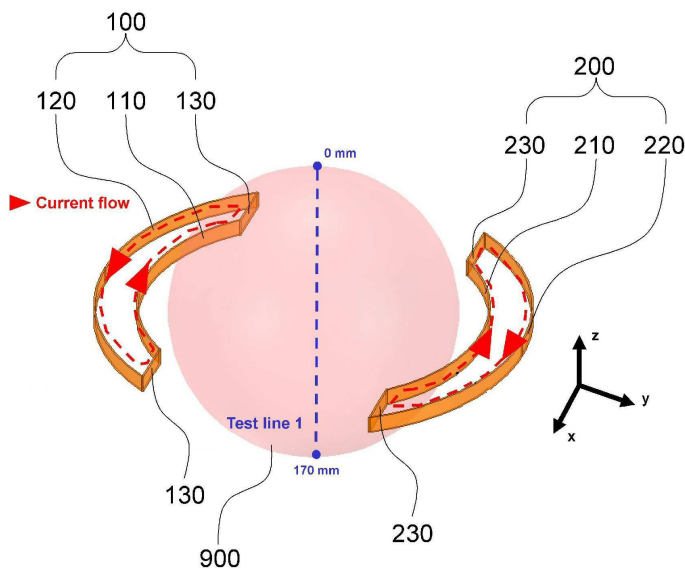
- [0101] 이처럼, 본 발명인 경두개 자기 자극 코일은, 종래 기술들의 문제점인 서로 tradeoff 관계에 있는 전기장 침투 깊이($d_{1/2}$) 특성과 전기장 분포 면적($S_{1/2}$) 특성을 함께 향상시킴으로써, 필요한 특정 부위에만 전기장을 깊은 위치에 집중시킬 수 있도록 한 것이 특징입니다.
- [0102] 이상에서 본 발명이 구체적인 구성요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나, 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명이 상기 실시예들에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형을 꾀할 수 있다.
- [0103] 따라서, 본 발명의 사상은 상기 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등하게 또는 등가적으로 변형된 모든 것들은 본 발명의 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

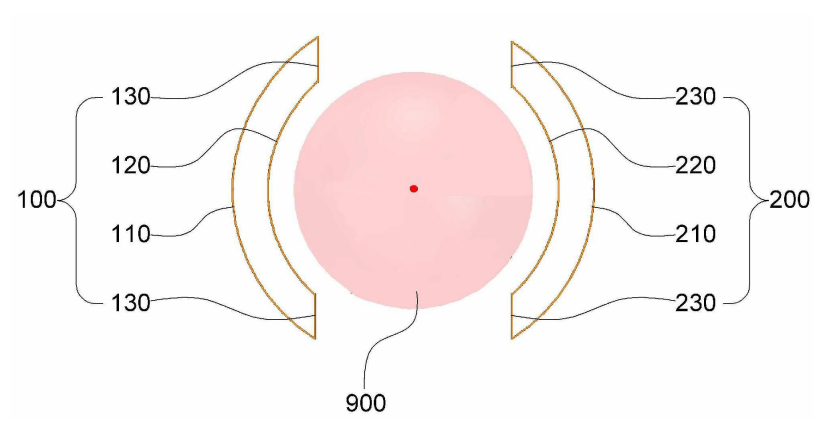
- [0104] 100: 제1 반달형 코일부
200: 제2 반달형 코일부
300: 헬멧형 코일부
410: 제1-1 반달형 코일부
420: 제1-2 반달형 코일부
510: 제2-1 반달형 코일부
520: 제2-2 반달형 코일부
600: 제3 반달형 코일부

도면

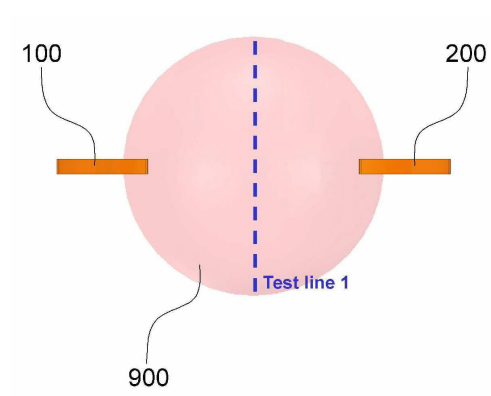
도면 1a



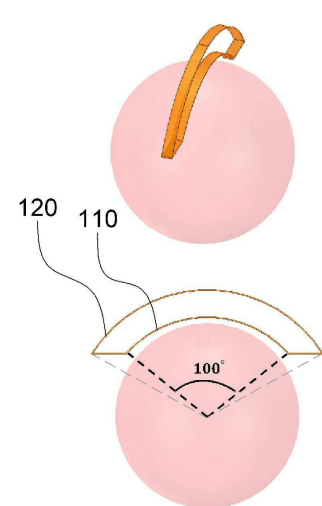
도면1b



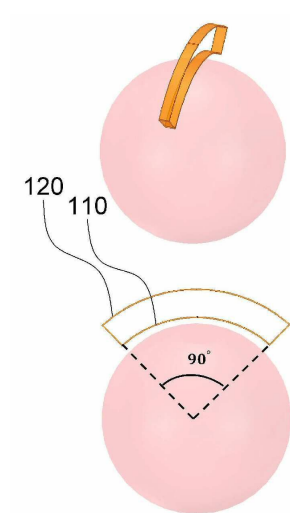
도면1c



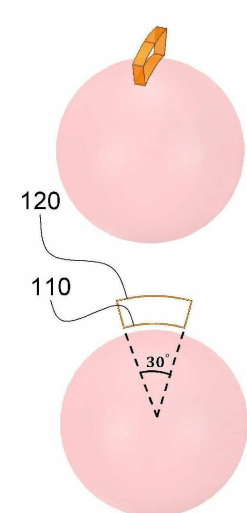
도면2a



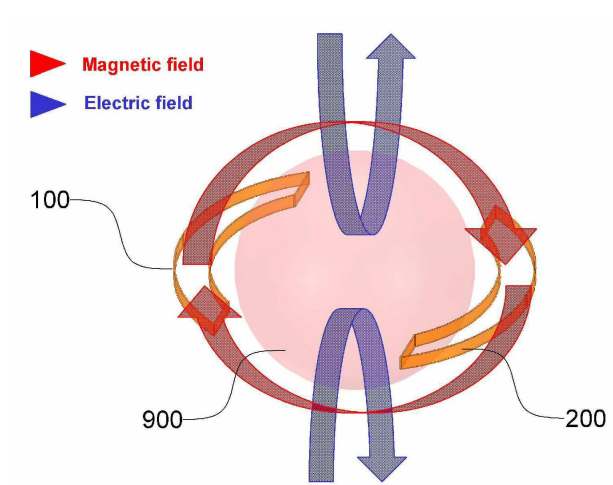
도면2b



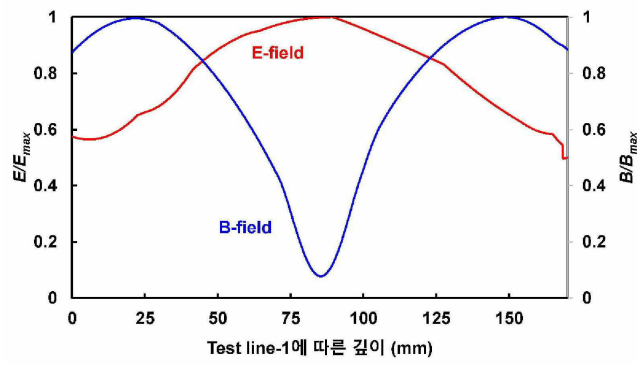
도면2c



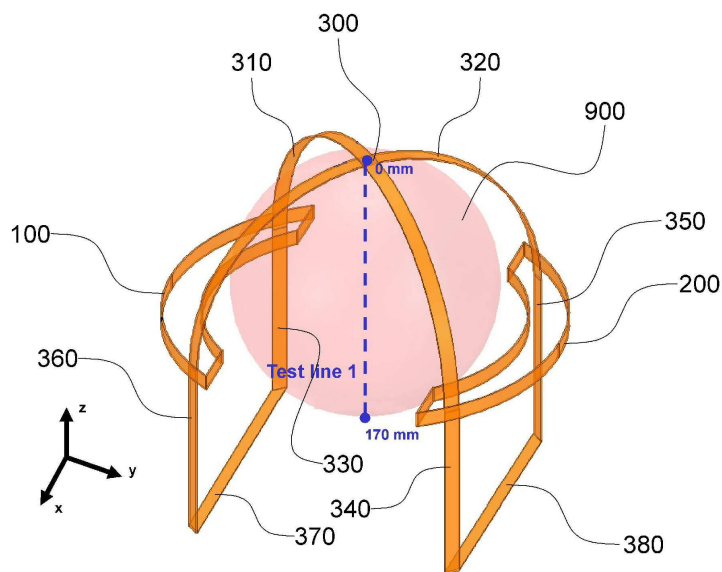
도면3a



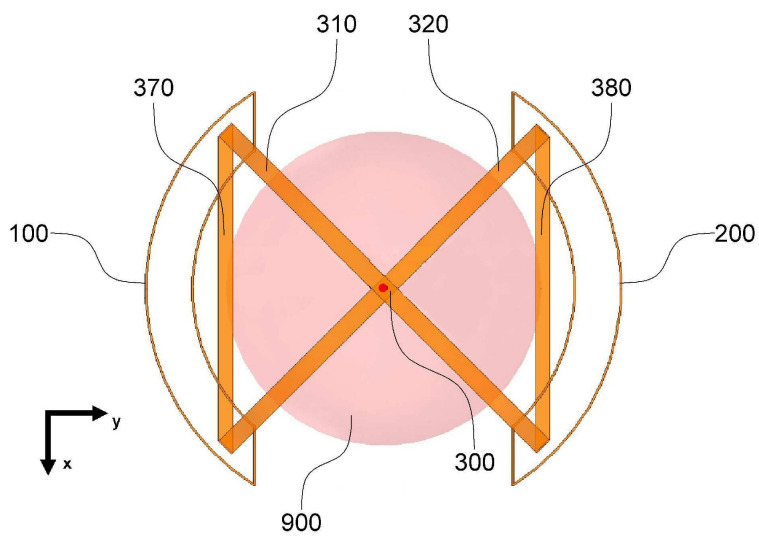
도면3b



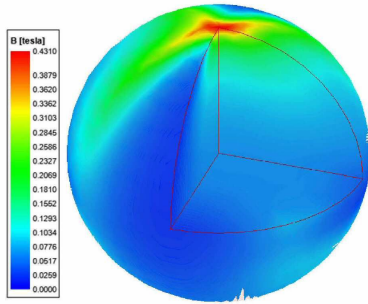
도면4a



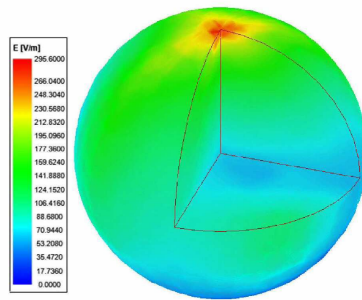
도면4b



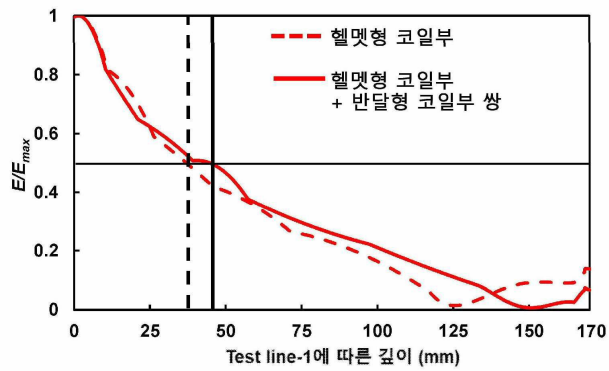
도면4c



도면4d



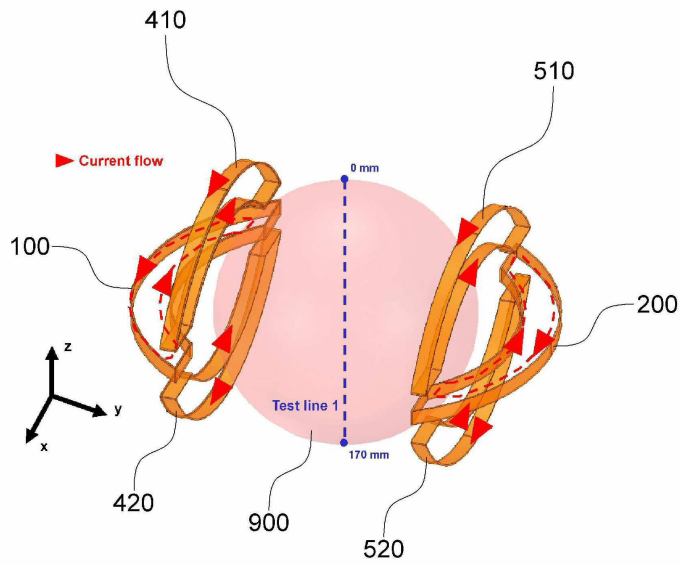
도면4e



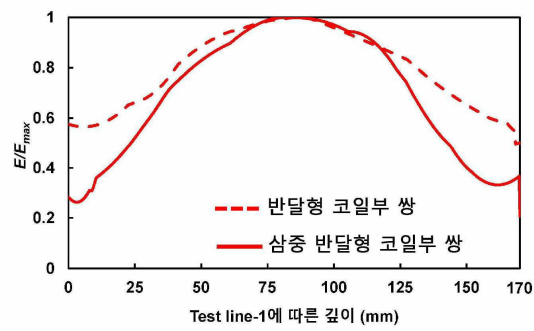
도면4f

Simulation Coil model	3-layer double coil	Stepped spiral winding	Flat spiral winding Circular coil	헬멧형 코일부	헬멧형 코일부 + 반달형 코일부 쌍	Flat spiral winding
$d_{1/2}$ (cm)	0.883	3.77	1.90	3.71	4.49	2.16
$s_{1/2}$ (cm ²)	6.46	115.71	39.46	64.00	80.39	35.21
$v_{1/2}$ (cm ³)	5.708	436.24	74.99	239.66	369.81	76.05
$\frac{s_{1/2}}{d_{1/2}}$	7.3	30.7	20.7	17.3	18.0	35.2

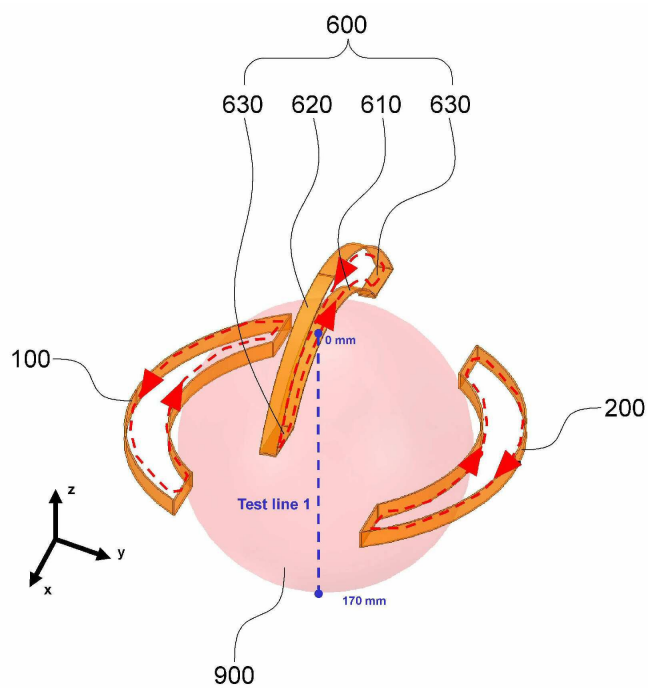
도면5a



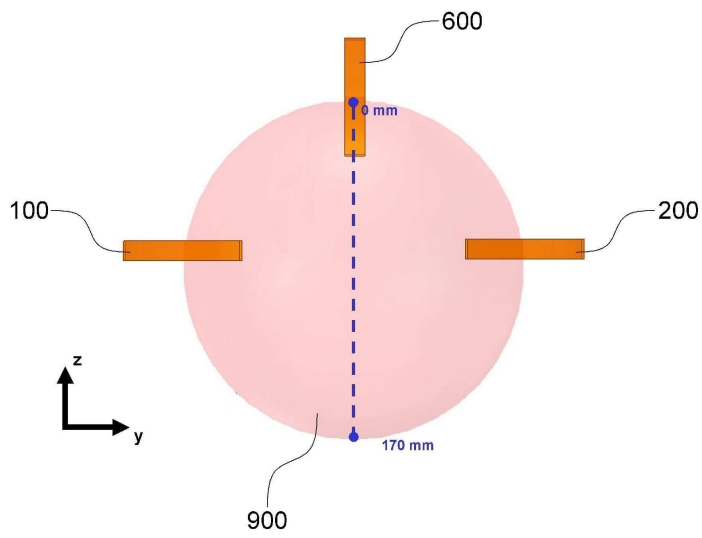
도면5b



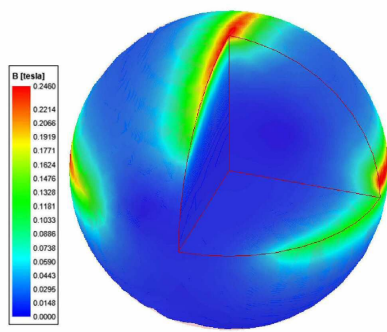
도면6a



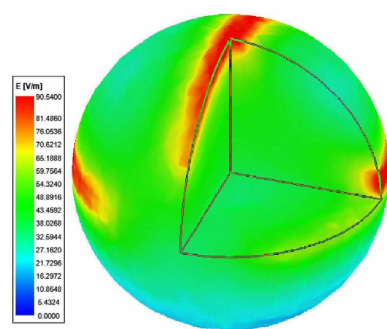
도면6b



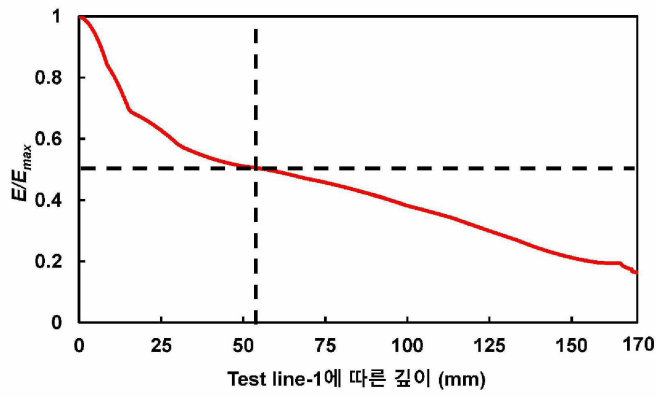
도면6c



도면6d



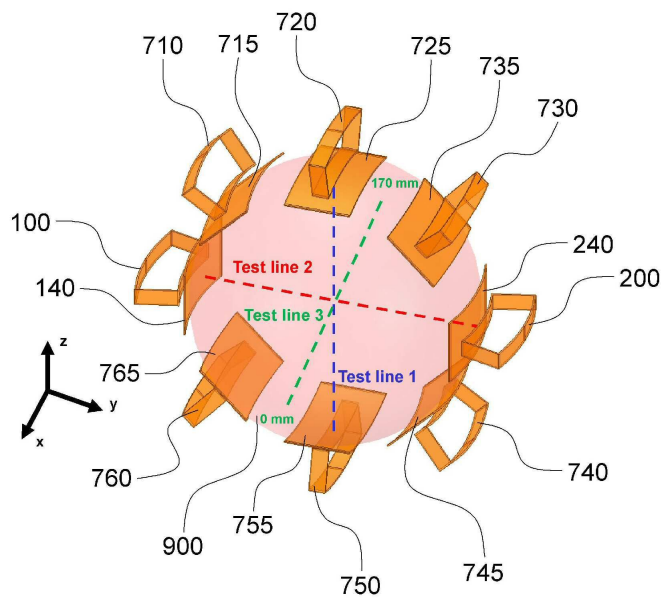
도면6e



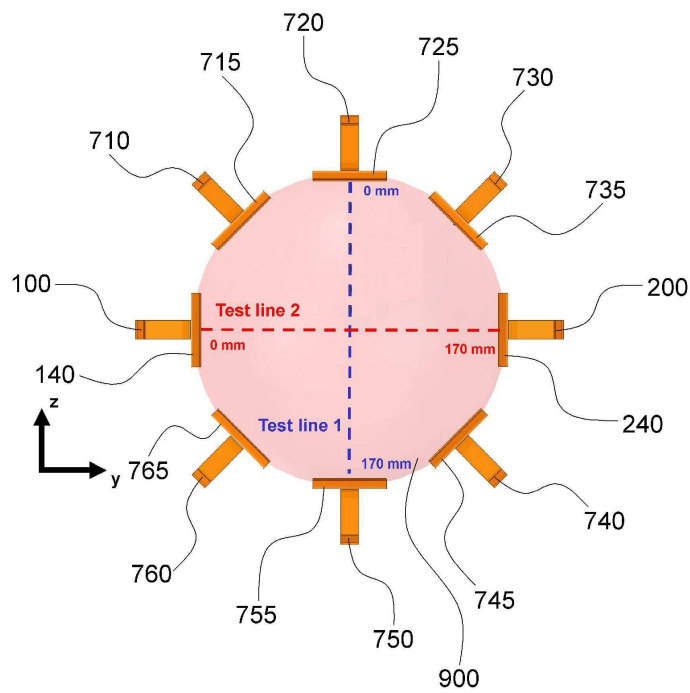
도면6f

Simulation Coil model	3-layer double coil	Stepped spiral winding	Flat spiral winding Circular coil	3다중 반달형 코일부 배열	헬멧형 코일부	헬멧형 코일부 + 반달형 코일부 쌍
$d_{1/2}$ (cm)	0.883	3.77	1.90	5.74	3.71	4.49
$S_{1/2}$ (cm ²)	6.46	115.71	39.46	84.6	64.00	80.39
$V_{1/2}$ (cm ³)	5.708	436.24	74.99	485	239.66	369.81
$\frac{S_{1/2}}{d_{1/2}}$	7.3	30.7	20.7	14.73	17.3	18.0

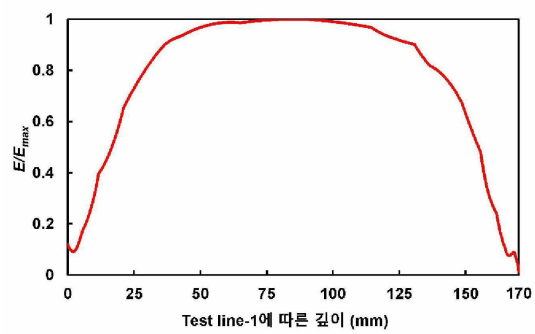
도면7a



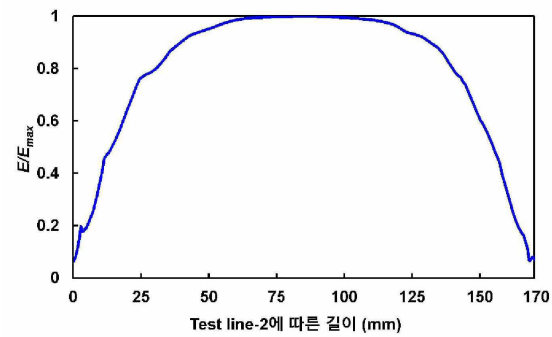
도면7b



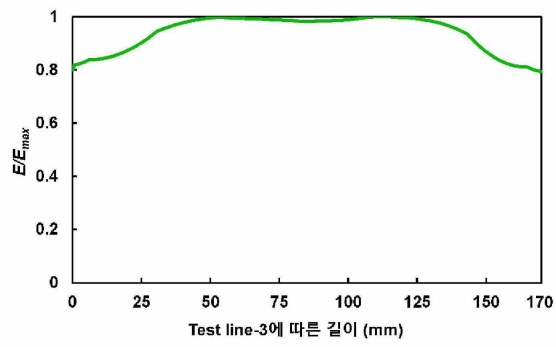
도면7c



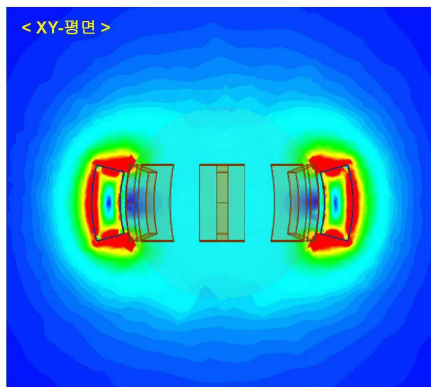
도면7d



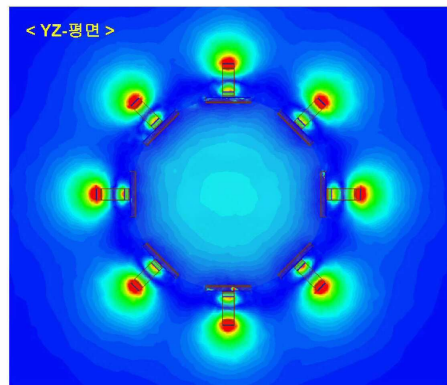
도면7e



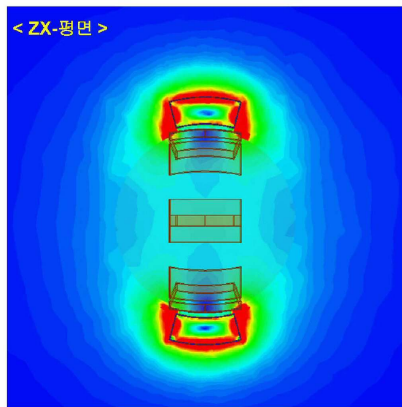
도면7f



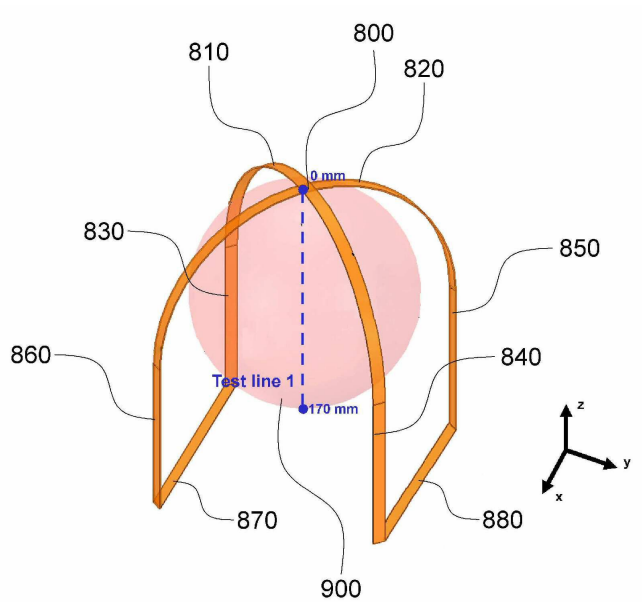
도면7g



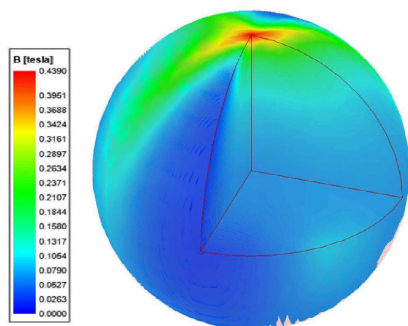
도면7h



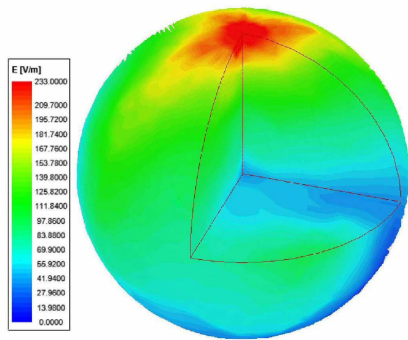
도면8a



도면8b



도면8c



도면8d

