



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년12월11일

(11) 등록번호 10-2189812

(24) 등록일자 2020년12월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01F 6/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01F 6/00 (2013.01)

Y10S 505/727 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0136627

(22) 출원일자 2019년10월30일

심사청구일자 2019년10월30일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020190022456 A*

KR1020190103733 A*

KR1020050064513 A

KR102030490 B1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

고태국

서울특별시 양천구 목동서로 38, 110동 102호(목동, 목동신시가지아파트1단지)

김준성

경기도 성남시 분당구 별말로30번길 32, 913동 303호(야탑동, 매화마을건영빌라)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 3 항

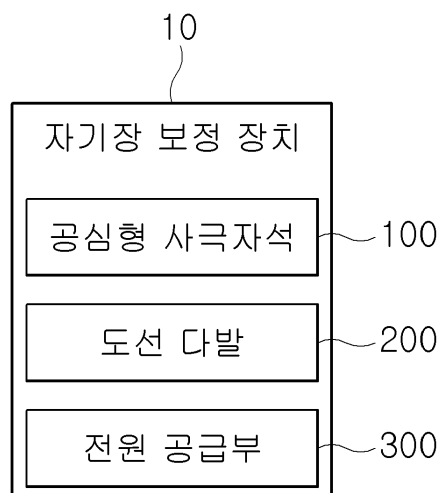
심사관 : 방인환

(54) 발명의 명칭 공심형 고온초전도 사극자석의 능동형 자기장 보정 장치

(57) 요약

본 실시예들은 전류 조절이 가능한 도선 다발을 공심형 사극자석의 내측에 설치하여 공심형 사극자석의 자기장 에러를 보정하는 장치를 제공한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

백건우

서울특별시 강동구 상일로 74, 315동 1502호(상일동, 고덕리엔파크3단지아파트)

최요중

서울특별시 서대문구 신촌로7안길 34, 402호(창천동)

한승학

서울특별시 서대문구 연희로6길 21-12, 302호(연희동)

김영곤

서울특별시 마포구 고산2길 98, B02호(노고산동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017R1A2B3012208

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 가속기용 공심형 고온초전도 사극자석 개발(3/3)

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2019.03.01 ~ 2020.02.29

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

다단으로 구비되며 중공이 형성된 복수 개의 권취코일부가 서로 다른 크기를 가지며 형성되는 전자석부를 포함하며, 상기 전자석부는 네 개로 구비되어 양측이 서로 인접하며 사각형 형상을 이루는 공심형 사극자석;

상기 공심형 사극자석의 내부에 배치된 도선 다발; 및

상기 도선 다발에 기설정된 전류를 공급하는 전원 공급부를 포함하며,

상기 전원 공급부는 상기 도선 다발에 포함된 복수의 도선을 그룹핑하여 각 그룹에 속하는 도선마다 상이한 전류를 공급하고,

상기 공심형 사극자석의 자기장에 대한 원통좌표계의 고조파 계수를 산출하고, 상기 고조파 계수에 따른 자기장 균일도를 기준으로 각 그룹에 속하는 도선마다 공급할 전류의 크기를 산출하는 처리부를 포함하는 것을 특징으로 하는 공심형 사극자석의 자기장 보정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 도선 다발은 사각형의 금속을 절연체가 감싸는 구조로 형성되며, 복수의 도선이 일렬로 배치되는 것을 특징으로 하는 공심형 사극자석의 자기장 보정 장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전원 공급부가 상기 도선 다발에 전류를 공급하여, 상기 고조파 계수 중에서 6차 성분을 포함하는 자기장 오차를 보정하는 것을 특징으로 하는 공심형 사극자석의 자기장 보정 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명이 속하는 기술 분야는 공심형 고온초전도 사극자석의 능동형 자기장 보정 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 공심형 사극자석 설계는 이상적인 사극자석의 자기장 성분을 만족시킬 수 없으며 고조파 계수 6, 10, 14 등의 오차 성분이 존재한다. 사극자석 제작시 제작 오차 및 외부 요인으로 인해 기존 오차 성분들이 증가하고, 추가적인 다른 차수의 오차 성분이 발생할 수 있다. 이러한 오차들을 줄일 수 있는 시밍(Shimming) 방법이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2019-0103733호 (2019.09.05.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 실시예들은 전류 조절이 가능한 도선 다발을 통해 공심형 사극자석의 자기장 에러를 보정하는 데 발명의 주된 목적이 있다.

[0006] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 실시예의 일 측면에 의하면, 다단으로 구비되며 중공이 형성된 복수 개의 권취코일부가 서로 다른 크기를 가지며 형성되는 전자석부를 포함하며, 상기 전자석부는 네 개로 구비되어 양측이 서로 인접하며 사각형 형상을 이루는 공심형 사극자석; 상기 공심형 사극자석의 내부에 배치된 도선 다발; 및 상기 도선 다발에 기설정된 전류를 공급하는 전원 공급부를 포함하는 공심형 사극자석의 자기장 보정 장치를 제공한다.

[0008] 상기 도선 다발은 사각형의 금속을 절연체가 감싸는 구조로 형성되며, 복수의 도선이 일렬로 배치될 수 있다.

[0009] 상기 전원 공급부는 상기 도선 다발에 포함된 복수의 도선을 그룹핑하여 각 그룹에 속하는 도선마다 상이한 전류를 공급할 수 있다.

[0010] 상기 자기장 보정 장치는 상기 공심형 사극자석의 자기장에 대한 원통좌표계의 고조파 계수를 산출하고, 상기 고조파 계수에 따른 자기장 균일도를 기준으로 각 그룹에 속하는 도선마다 공급할 전류의 크기를 산출하는 처리부를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 전원 공급부가 상기 도선 다발에 전류를 공급하여, 상기 고조파 계수 중에서 6차 성분을 포함하는 자기장 오차를 보정할 수 있다.

발명의 효과

[0012] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 전류 조절이 가능한 도선 다발을 통해 공심형 사극자석의 자기장 에러를 보정할 수 효과가 있다.

[0013] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 사극자석을 예시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 보정 장치를 예시한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 보정 장치에서 하나의 도선을 예시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 보정 장치에서 배치된 도선 다발을 예시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 보정 장치가 전류를 조정하여 자기장의 균일도를 최적화하는 과정을 예시한 흐름도이다.

도 6 및 도 7은 본 발명의 실시예들에 따른 자기장 보정 장치의 제1 배치 모드와 제2 배치 모드를 예시한 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예들에 따른 자기장 보정 장치의 제1 배치 모드와 제2 배치 모드에서 측정된 균일도를 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하고, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다.
- [0016] 가속기는 양성자와 우라늄 빔을 가속시키는 장치의 일종이다. 가속기는 전자, 양자 및 이온 등의 하전 입자를 고 에너지 상태(예를 들면, 수백만 전자볼트에서 수조 전자 볼트 정도의 고 에너지 상태)로 가속하는 장치이다.
- [0017] 가속기와 관련하여 경 입자인 양성자나 헬륨을 제외한 원자의 이온을 가속시키는 장치로서 중이온 가속기가 있다. 중이온 가속기의 형식은 경 입자나 전자의 경우와 같지만, 이온은 질량이 크기 때문에 강력한 전자기장이 필요하다.
- [0018] 중이온 가속기를 구성하는 저온 유지 장치(Cryomodule)는 다양한 중이온 가속관(QWR, HWR1, HWR2, SSR1, SSR2)으로 이루어져 있다. 중이온 가속관들을 고진공 및 극저온을 유지할 필요가 있다.
- [0019] 중이온 가속기는 저온초전도/상전도 이극자석, 사극자석, 육극자석, 팔극자석 등으로 구성된다. 그 중 저온초전도 자석은 고방사선에 의해 퀸치(Quench)가 발생하게 된다. 상전도 자석은 전자석을 이루는 물질 자체의 손상이 발생하게 된다. 이에 고방사선에 의한 퀸치와 전자석을 이루는 물질 자체의 손상을 줄일 필요가 있다.
- [0020] 사극자석은 가속기 전체에서 빔 이송에 사용되며 가속된 입자의 포커싱 또는 디포커싱 역할을 수행한다.
- [0021] 사극자석은 크게 3가지 특성으로 자기장 기울기(Gradient), 자기장 균일도(Uniformity) 및 로렌츠 힘을 받는 유효구간(Effective length) 특성을 가지고 있다. 먼저 자기장 기울기(Gradient) 특성의 경우, 공간에 대한 자기장의 기울기를 의미한다. 사극자석은 입자의 포커싱을 위해 대칭축으로부터 거리가 멀어질수록 자기장이 더 강해지는 특성이 있다. 즉 대칭축에 가까이 입사한 입자는 약한 로렌츠 힘(Lorentz force)이 작용되고, 대칭축에 멀리 입사한 입자는 강한 로렌츠 힘이 작용되어 입자의 경로를 휘어준다. 여기서 로렌츠 힘을 받는 유효구간(Effective length) 특성은 입자가 실제로 포커싱되도록 로렌츠 힘을 받는 유효구간을 의미한다. 자기장 균일도(Uniformity) 특성의 경우, 낮은 값일수록 최적의 사극자석에 가까움을 의미한다. 일반적인 사극자석은 다양한 성분들이 존재하는데, 이는 입자의 포커싱에 영향을 준다.
- [0022] 사극자석의 자기장은 일반적으로 원통좌표계에서 고조파 계수로 표현된다. 자유 공간에 전류 소스 또는 싱크가 없는 영역에서 원통좌표계의 라플라스 방정식의 해를 기반으로 하는 자속 밀도로 표현된다. 사극자석의 자기장은 수학식 1 및 2와 같이 표현된다.

수학식 1

$$B_{\rho}(\rho, \varphi, z) = \sum_{-\infty}^{\infty} (B_{\rho n, skew} \cos n\varphi + B_{\rho n, norm} \sin n\varphi)$$

$$B_{\varphi}(\rho, \varphi, z) = \sum_{-\infty}^{\infty} (B_{\varphi n, norm} \cos n\varphi - B_{\varphi n, skew} \sin n\varphi)$$

[0023]

- [0024] ρ , φ , 및 z 는 각각 빔 입자의 반경, 방위각 및 종 방향을 의미한다. n 은 고조파 계수에 대한 음이 아닌 정수이다. B_{ρ} 및 B_{φ} 는 방사 및 방위각 방향의 자기장 밀도이다. 고조파 계수에 대한 스큐(Skew)와 정상(Normal)에 관한 자기장 밀도를 통해 $B_n = (B_{n, skew}^2 + B_{n, norm}^2)^{1/2}$ 를 산출한다.

- [0025] 사극자석의 자기장 기울기(Gradient), 자기장 균일도(Uniformity) 및 로렌츠 힘을 받는 유효구간(Effective Length) 값은 수학식 2와 같이 표현된다.

수학식 2

$$G = \frac{B_2(\rho_0, z = 0)}{\rho_0}$$

$$U_n = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} B_n(\rho_0, z) dz}{\int_{-\infty}^{\infty} B_2(\rho_0, z) dz}$$

$$L_{eff} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} B_2(\rho_0, z) dz}{B_2(\rho_0, z = 0)}$$

[0026]

[0027]

G는 자기장 기울기이고, U는 자기장 균일도이고, L_{eff} 는 로렌츠 힘을 받는 유효구간이다. B_2 는 사극자석의 기본 자기장(Primary Magnetic Field)이고, ρ_0 는 기준 반경이다. 가장 이상적인 사극자석은 B_2 값만 있어야 한다.

[0028]

사극자석의 1차 고조파 계수인 B_2 를 제외한 각 고조파 계수에 대해 균일 성이 얻어진다. 균일도는 자석의 불균일도를 평가하는 데 사용된다.

[0029]

본 실시예의 따른 자기장 보정 장치는 자기장의 기울기와 유효구간에 영향을 주지 않으면서 모든 고조파 계수의 균일도의 절대 값의 합을 감소하도록 설계된다.

[0030]

도 1의 (a)는 일반적인 철심형 사극자석이고, 도 1의 (b)는 본 실시예에 따른 공심형 사극자석이다.

[0031]

일반적인 철심형 사극자석은 철심(Iron Yoke)과 저온초전도 사극 코일로 구성된다. 일반적인 철심형 사극자석은 철심의 포화로 인해 무게 및 부피가 커지게 되며 자기장이 한계에 다다르게 된다. 또한 비선형적인 자기장 특성으로 인해 입자의 이송에 필수적인 자기장 균일도(Uniformity) 특성 등을 일정한 수준으로 유지시키기 어렵다.

[0032]

공심형 사극자석은 철심의 제거로 인한 무게 및 부피 감소와, 자기장 한계 및 비선형적인 자기장 특성의 기술적 한계를 극복할 수 있다.

[0033]

공심형 사극자석은 다단으로 구비되며 내측에 외부와 연통되는 중공(H)이 형성된 권취코일부를 포함할 수 있다. 이 때 권취코일부는 설계 파라미터를 고려하여 이중 평형 코일(Double Pancake Coil)로 형성할 수 있다.

[0034]

권취코일부의 내경 및 외경은 마그네틱 필드 하모닉스(Magnetic Field Harmonics)의 사극성분을 만들어내기 위해 각각 레이스 트랙형(Race Track)으로 형성할 수 있다.

[0035]

권취코일부는 권선되는 재료, 사극자석의 용량 및 실험 환경에 따라 크기가 달라질 수 있다. 권취코일부 소재는 방사선, 열 등의 에너지 영향을 견디면서 쿼치(Quench) 및 물질 손상을 줄이기 위해 고온초전도 권취코일로 형성된 고온초전도 소재로 형성할 수 있다. 권취코일부는 최적의 자기장 기울기(Gradient)를 만족하기 위해 서로 다른 크기를 가진 복수의 권취코일부로 형성할 수 있다.

[0036]

복수의 권취코일부는 전자석부를 형성할 수 있다. 이 때 전자석부의 형성은 복수의 권취코일부를 크기 순서에 따라 적층하는 등의 다양한 방법으로 형성할 수 있다. 복수의 권취코일부는 제1 권취코일, 제2 권취코일, 제3 권취코일 등의 N 개의 권취코일로 형성할 수 있다. 이 때 제1 권취코일은 제2 권취코일보다 작은 크기로 형성할 수 있으며, 제2 권취코일은 제3 권취코일보다 작은 크기로 형성할 수 있다. 제1 권취코일 내지 제3 권취코일은 전자석부를 형성할 수 있다. 이 때 전자석부의 형성은 제1 권취코일 내지 제3 권취코일을 크기가 큰 순서대로 적층하는 등의 다양한 방법으로 형성할 수 있다.

[0037]

전자석부 가속되는 입자의 효과적인 포커싱을 수행하기 위해 네 개로 구비될 수 있다. 네 개의 전자석부는 입자의 포커싱을 위해 입자를 이송시키는 이송관의 외측에서 원주방향으로 양측이 서로 인접하며 사각형 형상을 이루도록 배치될 수 있다.

- [0038] 이송관의 크기, 입자에 특성에 따라 복수 개의 권취코일부에는 코일과 코일 사이를 연결시켜주는 지지대를 더 포함할 수 있다. 복수의 권취코일부는 지지대를 통해 복수 개의 권취코일부 간의 간격 및 이송관의 원주면 중심으로부터 각각의 권취코일부까지의 거리를 조절할 수 있다. 이송관의 크기, 입자의 특성에 따라 권취코일부의 내경 및 외경의 길이와 레이스 트랙 곡률의 상한선은 다양하게 설계 변경될 수 있다.
- [0039] 네 개의 전자석부는 무게 감소, 부피 감소, 환경 및 유지 보수 개선 및 선형적인 자기장 특성을 만족하기 위해 철심을 포함하지 않은 공심형으로 형성할 수 있다.
- [0040] 가속기는 공심형 사극자석을 포함할 수 있다. 이를 통해 가속기는 선형적인 자기장 특성을 만족하면서 입자를 가속시킬 수 있다. 공심형 사극자석은 운전전류에 따른 자기장 기울기(Gradient), 자기장 균일도(Uniformity) 및 로렌츠 힘을 받는 유효구간(Effective length) 값이 선형적으로 나타나는 자기장 특성이 나타난다. 철심의 제거, 특히 서로 다른 크기를 가진 복수의 권취코일부가 전자석부를 형성하였기 때문이다. 공심형 사극자석은 일반적인 철심형 사극자석보다 선형적인 자기장 특성을 만족한다.
- [0041] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 보정 장치를 예시한 블록도이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 보정 장치에서 하나의 도선을 예시한 도면이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 보정 장치에서 배치된 도선 다발을 예시한 도면이다.
- [0042] 자기장 보정 장치(10)는 공심형 사극자석(100), 도선 다발(200), 및 전원 공급부(300)를 포함한다. 공심형 사극자석(100)에 설치된 도선 다발(200)에 전원 공급부(300)가 연결된다. 자기장 보정 장치(10)는 전원 공급부(300)를 제어하는 처리부를 포함할 수 있다.
- [0043] 공심형 사극자석(100)은 다단으로 구비되며 중공이 형성된 복수 개의 권취코일부가 서로 다른 크기를 가지며 형성되는 전자석부를 포함한다. 전자석부는 네 개로 구비되어 양측이 서로 인접하며 사각형 형상을 이룬다.
- [0044] 도선 다발(200)은 공심형 사극자석(100)의 내부에 배치되고, 빔 입자의 영역의 외각에 배치된다. 도선 다발(200)은 사각형의 금속을 절연체가 감싸는 구조로 형성되며, 복수의 도선이 일렬로 배치된다. 도선 다발(200)은 구리선 등으로 구현될 수 있으며, 도선 기능을 수행하는 금속이면 적용될 수 있다.
- [0045] 전원 공급부(300)는 도선 다발(200)에 기설정된 전류를 공급한다. 전원 공급부(300)는 도선 다발에 포함된 복수의 도선을 그룹핑하여 각 그룹에 속하는 도선마다 상이한 전류를 공급할 수 있다.
- [0046] 처리부는 공심형 사극자석의 자기장에 대한 원통좌표계의 고조파 계수를 산출하고, 고조파 계수에 따른 자기장 균일도를 기준으로 각 그룹에 속하는 도선마다 공급할 전류의 크기를 산출한다. 처리부는 프로세서 등으로 구현될 수 있다.
- [0047] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 보정 장치가 전류를 조정하여 자기장의 균일도를 최적화하는 과정을 예시한 흐름도이다.
- [0048] 단계 S510에서 처리부는 초기 파라미터를 입력받는다.
- [0049] 설계된 자기장 보정 장치의 각 구성요소의 예시적인 파라미터가 표 1에 기재되어 있다. AHQM은 공심형 고온초전도 사극자석(Air-Core High Temperature Superconducting Quadruple Magnet)이고, CBAS는 구리선 다발에 의한 능동형 자기장 보정(Copper Wire Bunch Active Shim)이다.

표 1

Descriptions	Symbol	Value
Reference radius	R_{ref}	105 mm
Distance between magnet center and innermost coil in AHQM	R_{coil}	312 mm
Outer side length of the CBAS	S_{out}	280 mm
Inner side length of the CBAS	S_{in}	260 mm
Side length of copper wire	S_{wire}	10 mm
Length of AHQM and copper wire		621 mm
Number of copper wire in the CBAS		108
Range of current magnitude of copper wire		From -100 A to 100 A

[0050]

[0051] 단계 S520에서 처리부는 공심형 고온초전도 사극자석(Air-Core High Temperature Superconducting Quadruple Magnet, AHQM)의 고조파 계수를 수학적식을 통해 산출한다.

[0052] 단계 S530에서 처리부는 도선 다발에 공급되는 전류의 크기를 설정한다. 초기에는 랜덤하게 입력할 수 있다.

[0053] 단계 S540에서 처리부는 도선 다발에 의한 자기장 보정(Copper Wire Bunch Active Shim, CMAS)에 따른 고조파 계수를 산출한다.

[0054] 단계 S550에서 처리부는 전체 자기장 균일도를 산출한다. 전체 자기장 균일도는 모든 고조파 계수의 균일도의 절대 값의 합으로 정의될 수 있다.

[0055] 단계 S560에서 처리부는 목적 함수인 자기장 균일도의 최소값을 검출하여 자기장 에러 최적화 여부를 판단한다. 목적 함수를 만족하면, 단계 S580에서 최종 파라미터를 출력한다. 목적 함수를 만족하지 않으면, 단계 S570에서 처리부는 도선 다발에 공급되는 전류의 크기를 조절한다.

[0056] 도 6은 자기장 보정 장치의 제1 배치 모드를 예시한 도면이고, 도 7은 자기장 보정 장치의 제2 배치 모드를 예시한 도면이고, 도 8은 자기장 보정 장치의 제1 배치 모드와 제2 배치 모드에서 측정된 균일도를 예시한 도면이다.

[0057] 도 6을 참조하면, 제1 배치 모드는 복수의 도선을 4개의 그룹으로 나눠 배치한다. 도 7을 참조하면, 제2 배치 모드는 복수의 도선을 8개의 그룹으로 나눠 배치한다. 표 1과 같이 설계된 공심형 사극자석의 자기장 보정 장치에서 최적화된 전류는 표 2와 같이 표현되고, 자기장 성질은 표 3과 같이 표현된다.

표 2

Number	Case A	Case B
0	17.11 A	17.57 A
1	-20.44 A	-20.47 A
2	-23.03 A	-23.67 A
3	-89.27 A	-89.58 A
4		0.15 A
5		0.08 A
6		4.24 A
7		1.34 A

[0058]

표 3

Magnetic field factors	Before CBAS	Case A	Case B
Gradient (T/m)	12.0927	12.0931	12.0931
Effective length (mm)	555.4	555.6	555.6
6 th uniformity (10 ⁻² %)	2.6424	0.0100	0.0029
10 th uniformity (10 ⁻² %)	7.7567	7.2991	7.3030
Total uniformity (10 ⁻² %)	10.8176	8.4894	8.2909

[0059]

[0060]

표 3과 도 8을 참조하면, 전원 공급부가 공심형 사극자석 내부에 그룹별로 배치된 도선 다발에 그룹별로 상이한 전류를 공급하여, 고조파 계수 중에서 6차 성분을 포함하는 자기장 오차를 보정하는 것을 쉽게 파악할 수 있다.

[0061]

본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0062]

10: 자기장 보정 장치

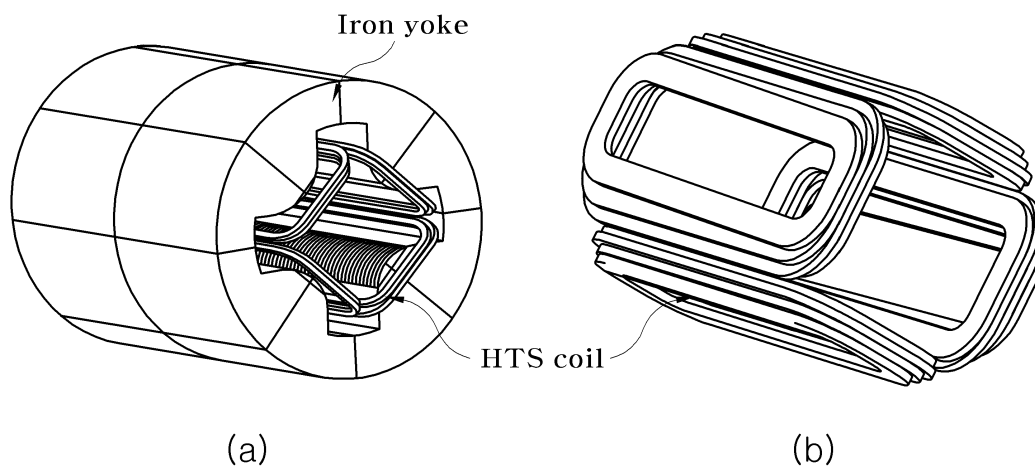
100: 공심형 사극자석

200: 도선 다발

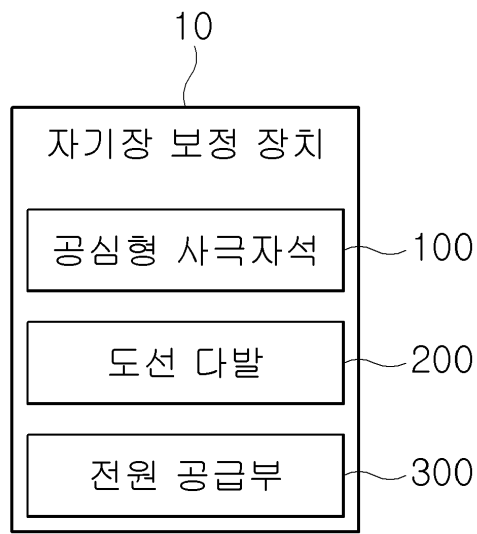
300: 전원 공급부

도면

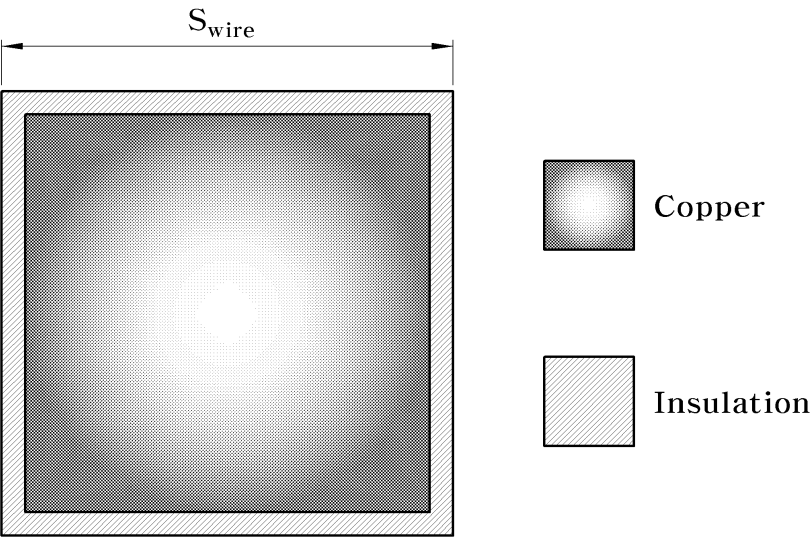
도면1



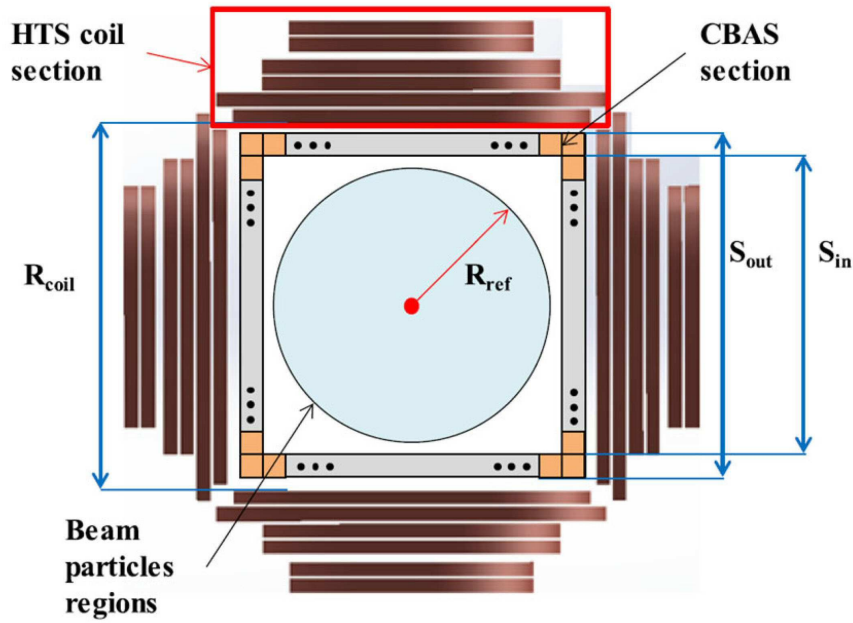
도면2



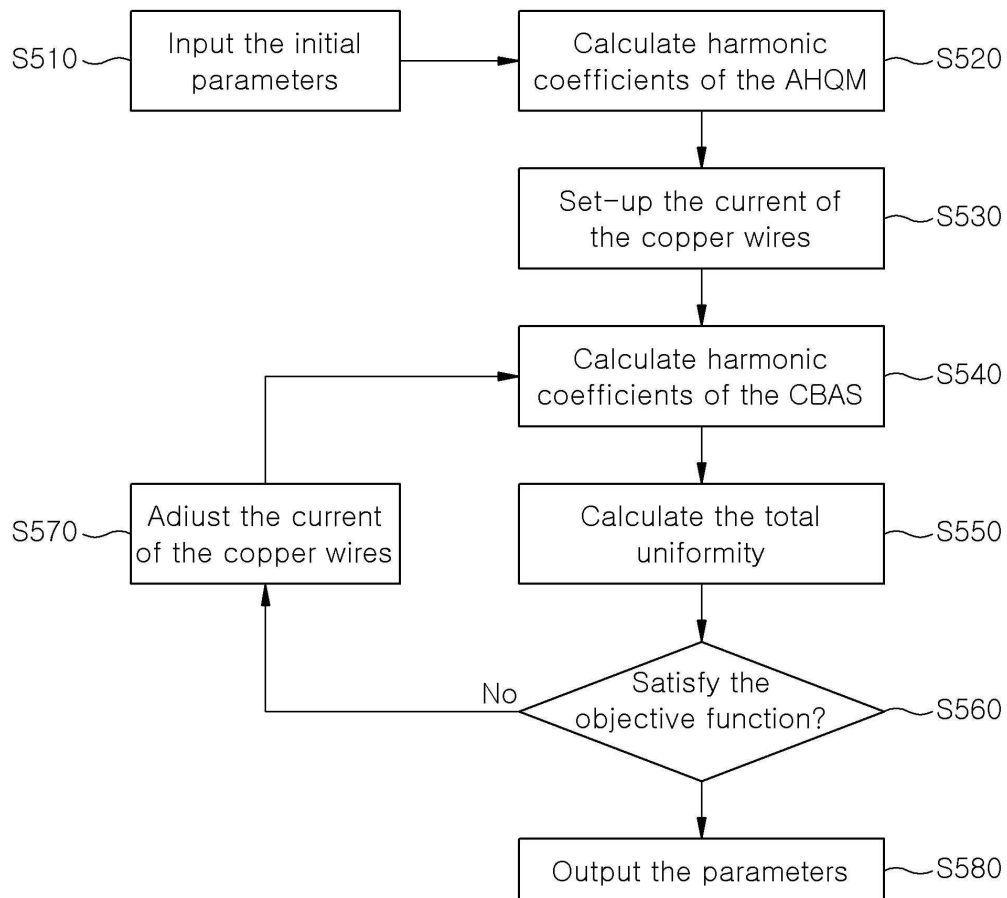
도면3



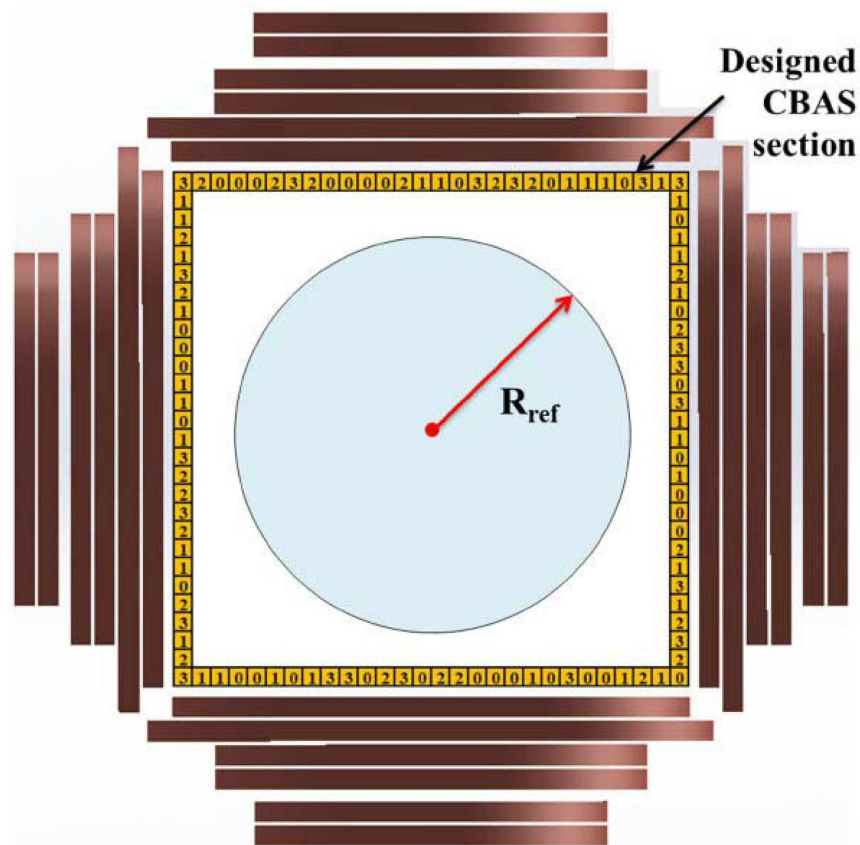
도면4



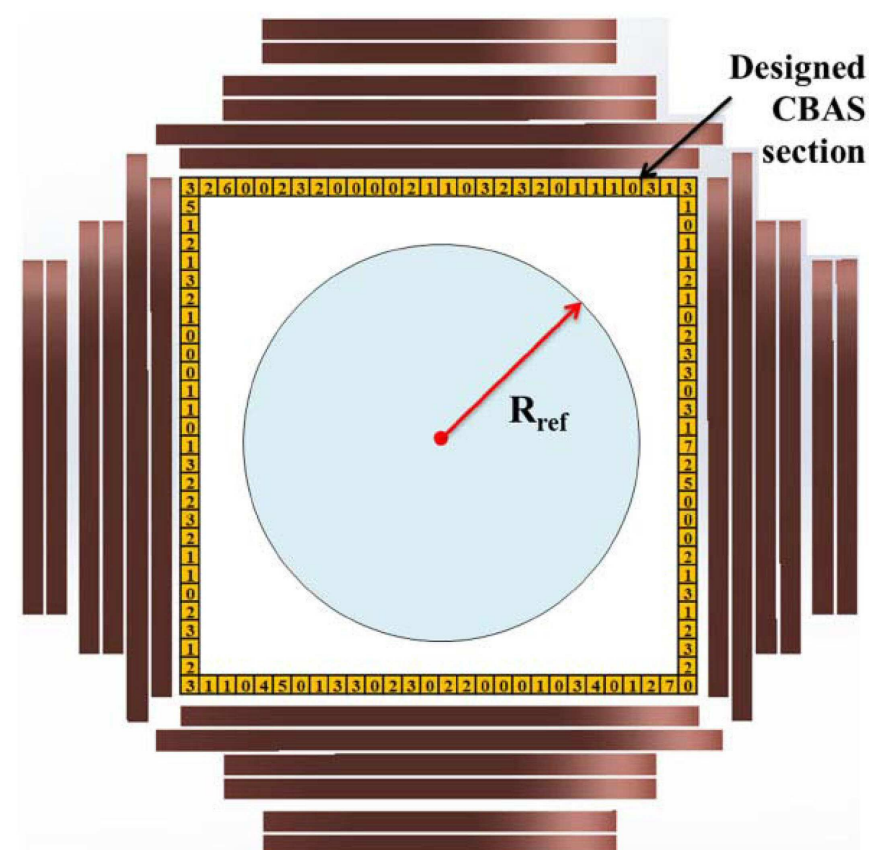
도면5



도면6



도면7



도면8

