



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년12월04일
 (11) 등록번호 10-1463042
 (24) 등록일자 2014년11월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01R 33/3815 (2006.01) G01R 33/38 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2013-0075600
 (22) 출원일자 2013년06월28일
 심사청구일자 2013년06월28일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2005291829 A*
 KR1020020076640 A
 KR101014773 B1
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 군산대학교산학협력단
 전라북도 군산시 대학로 558 (미룡동, 군산대학교)
 연세대학교 산학협력단
 서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
 (72) 발명자
안민철
 전북 군산시 축동로 34, 508동 401호 (수송동, 제일오투그란데2단지아파트)
이우승
 경기 부천시 원미구 부천로96번길 73-3, (원미동)
고태국
 서울 양천구 목동서로 38, 110동 102호 (목동, 목동1단지아파트)
 (74) 대리인
 특허법인가산

전체 청구항 수 : 총 11 항

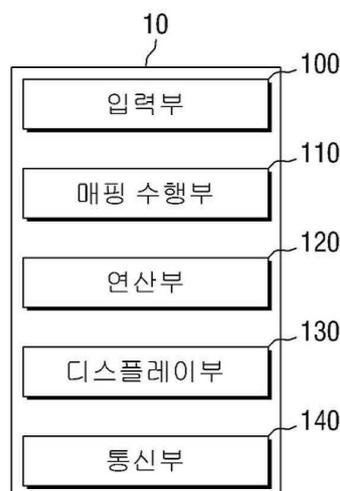
심사관 : 양찬호

(54) 발명의 명칭 자기장의 중심위치를 추정하는 장치 및 그 방법

(57) 요약

자기장 중심위치 추정 장치 및 그 방법이 개시된다. 보다 상세하게는, 제1 중심 좌표를 입력받는 입력부, 입력받은 상기 제1 중심 좌표를 비대칭 마그넷에 의하여 형성될 것으로 예상되는 자기장의 중심 좌표로 설정하여 상기 자기장에 분포에 대한 시뮬레이션을 수행하는 매핑 수행부 및 상기 수행된 매핑의 결과를 기초로, 상기 제2 중심 좌표에 포함되는 x좌표, y좌표 및 z좌표를 동시에 연산하는 연산부를 포함하는 자기장 중심위치 추정 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

제1 중심 좌표를 입력받는 입력부;

입력받은 상기 제1 중심 좌표를 비대칭 마그네틱에 의하여 형성될 것으로 예상되는 자기장의 중심 좌표로 설정하고, 상기 자기장의 분포에 대한 시뮬레이션을 수행하여 자기장 그래디언트(gradient)값을 획득하는 맵핑 수행부; 및

상기 획득한 자기장 그래디언트 값을 기초로, 사용자에게 의하여 입력된 초기 자기장의 중심 위치와의 상대 거리인 (x_0, y_0, z_0) 를 연산하고, 상기 (x_0, y_0, z_0) 를 이용하여 제2 중심 좌표를 연산하는 연산부를 포함하는 HTS 마그네틱의 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 맵핑 수행부는, 상기 자기장의 분포에 포함되는 복수의 위치에 대한 좌표 (x, y, z) 를 결정하여 상기 연산부로 제공하고,

상기 연산부는, 제공받은 상기 복수의 위치에 대한 좌표 (x, y, z) 를 이용하여 상기 제2 중심 좌표를 연산하는 HTS 마그네틱의 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 복수의 위치에 대한 좌표는, 상기 복수의 위치에 대한 좌표 (x, y, z) 상호간에 직교성 (orthogonality)을 가지는 좌표인 HTS 마그네틱의 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

연산부가 상기 복수의 위치에 대한 좌표 (x, y, z) 로부터 상기 제2 중심 좌표를 연산함에 있어서,

제1 연산식(

$$Bz(x, y, z) = Z0 + 2 \cdot Z1(z + z_0) - 3 \cdot X1(x + x_0) - 3 \cdot Y1(y + y_0) + 3 \cdot Z2[(z + z_0)^2 - 0.5 \cdot \{(x + x_0)^2 + (y + y_0)^2\}]$$

) 또는,

제2 연산식(

$$x_0 = -\frac{X1}{Z2}, y_0 = -\frac{Y1}{Z2}, z_0 = -\frac{Z1}{3 \cdot Z2}$$

)을 이용하되,

상기 $Bz(x, y, z)$ 는 축방향 자기장 분포이고, $Z1, X1, Y1$ 및 $Z2$ 는 각각 자기장 경사도(gradient)이고, $Z0$ 는 마그네틱 중심의 초기 자기장의 세기이고, 상기 x_0, y_0 , 및 z_0 는 상기 제1 중심 좌표와 상기 제2 중심 좌표와의 상대 거리인 HTS 마그네틱의 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 연산부는, 상기 복수의 위치에 대한 좌표(x,y,z)를 상기 제1 연산식에 대입하여 상기 x0, y0, 및 z0를 연산하는 HTS 마그넷의 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 매핑 수행부는, 상기 수행된 매핑의 결과로서 상기 Z1, X1, Y1 및 Z2 값을 획득하고,

상기 연산부는, 상기 획득된 Z1, X1, Y1 및 Z2 값을 상기 제2 연산식에 대입하여 상기 x0, y0, 및 z0를 연산하는 HTS 마그넷의 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 입력부는, (0,0,0)을 기준으로 하여 설정된 오차 범위, 상기 시뮬레이션 및 상기 연산이 반복 수행되는 횟수를 입력받는 HTS 마그넷의 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 매핑 수행부는, 상기 제2 중심 좌표가 상기 오차 범위 내에 포함되는 경우에는, 상기 제2 중심 좌표를 상기 자기장의 중심위치로 결정하는 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 매핑 수행부 및 상기 연산부는, 상기 제2 중심 좌표가 상기 오차 범위를 초과하는 경우에는, 입력받은 상기 횟수에 따라 상기 매핑을 재수행하는 HTS 마그넷의 자기장 중심위치 추정 장치.

청구항 10

제1 중심 좌표를 입력받고, 상기 제1 중심 좌표를 기준으로 비대칭 마그넷에 의하여 형성될 것으로 예상되는 자기장의 분포에 대한 시뮬레이션을 수행하는 단계;

상기 시뮬레이션의 결과를 기초로 제2 중심 좌표에 포함되는 x좌표, y좌표 및 z좌표를 동시에 연산하고, 상기 연산된 제2 중심 좌표가 (0,0,0)을 기준으로 설정된 오차 범위 내에 포함되는지 여부를 판단하는 단계;

상기 제2 중심 좌표가 상기 오차 범위 내에 포함되는 경우, 상기 제2 중심 좌표를 상기 자기장의 중심 위치로 결정하는 단계를 포함하는 HTS 마그넷의 자기장 중심위치 추정 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제2 중심 좌표가 상기 오차 범위를 초과하는 경우, 상기 시뮬레이션 및 상기 연산을 소정의 횟수로 반복 수행하여 상기 제2 중심 좌표를 결정하는 단계를 더 포함하는 HTS 마그넷의 자기장 중심위치 추정 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 자기장 중심위치를 추정하는 방법 및 그 장치에 관한 것이다. 보다 상세하게는, HTS 마그넷에 대한 자기장의 중심위치를 정확하게 추정하여 자기장의 균일도 평가에 대한 신뢰성을 높일 수 있는 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] HTS(High Temperature Superconducting) 마그넷은 NMR 응용장치에 적용함에 있어서 다수의 장점이 있다. HTS

마그넷을 사용하는 장점 중 하나는 높은 임계 자기장 특성이다. 이에 따라, 1 GHz NMR 시스템을 위한 구성요소를 이루는 HTS 삽입 코일을 만들 수 있다. 또 다른 장점은 액체 헬륨없이 극저온 시스템에서 NMR 마그넷이 작동하게 만드는 운전 온도 범위이다. 그러나, 이러한 장점에도 불구하고 NMR 장치에서 사용하기 위한 HTS 마그넷의 몇몇 단점도 있다.

[0003] 대표적인 예로, 제작상의 오차로부터 발생하는 고차의 harmonic 오차이다. 그러나 현재로서는 보정 코일의 유한한 order를 디자인하거나 셋팅이 어렵다. 그러므로 보정 시스템의 효과적인 디자인을 찾는 것이 중요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는, HTS 마그넷의 조립과정 등에서 발생하는 조화 오차로 인해 발생하는 오류를 최소화하기 위하여, HTS 마그넷 자기장의 기준이 되는 3축에 대한 중심 좌표를 한번에 연산할 수 있는 자기장 중심위치 추정장치를 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는, HTS 코일의 조립과정 등에서 발생하는 조화 오차로 인해 발생하는 오류를 최소화하기 위하여, HTS 마그넷 자기장의 기준이 되는 3축에 대한 중심 좌표를 한번에 연산할 수 있는 자기장 중심위치 추정방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 아니한 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 중심위치 추정 장치는 제1 중심 좌표를 입력받는 입력부, 입력받은 상기 제1 중심 좌표를 비대칭 마그넷에 의하여 형성될 것으로 예상되는 자기장의 중심 좌표로 설정하여 상기 자기장에 분포에 대한 시뮬레이션을 수행하는 매핑 수행부 및 상기 수행된 매핑의 결과를 기초로, 제1 연산식 또는 제2 연산식을 이용하여 제2 중심 좌표를 연산하는 연산부를 포함하는 것일 수 있다.

[0008] 일 실시예에 따르면, 상기 매핑 수행부는, 상기 자기장의 분포에 포함되는 복수의 위치에 대한 좌표를 결정하여 상기 연산부로 제공하고, 상기 연산부는, 제공받은 상기 복수의 위치에 대한 좌표를 이용하여 상기 제2 중심 좌표를 연산하는 것일 수 있다.

[0009] 일 실시예에 따르면, 상기 복수의 위치에 대한 좌표는, 상기 복수의 위치에 대한 좌표 상호간에 직교성(orthogonality)을 가지는 좌표인 것일 수 있고, 상기 제1 연산식은

$$Bz(x, y, z) = Z0 + 2 \cdot Z1(z + z_0) - 3 \cdot X1(x + x_0) - 3 \cdot Y1(y + y_0) + 3 \cdot Z2[(z + z_0)^2 - 0.5 \cdot \{(x + x_0)^2 + (y + y_0)^2\}]$$

[0010] 이고, 상기 제2 연산식은,

$$x_0 = -\frac{X1}{Z2}, y_0 = -\frac{Y1}{Z2}, z_0 = -\frac{Z1}{3 \cdot Z2}$$

[0011] 이고, 상기 Bz(x,y,z)는 축방향 자기장 분포이고, Z1, X1, Y1 및 Z2는 각각 자기장 경사도(gradient)이고, Z0는 마그넷 중심의 초기 자기장의 세기이고, 상기 x0, y0, 및 z0는 상기 제1 중심 좌표와 상기 제2 중심 좌표와의 상대 거리인 것일 수 있다.

[0012] 일 실시예에 따르면, 상기 연산부는, 상기 복수의 위치에 대한 좌표를 상기 제1 연산식에 대입하여 상기 x0, y0, 및 z0를 연산하는 것일 수 있다.

[0013] 일 실시예에 따르면, 상기 매핑 수행부는, 상기 수행된 매핑의 결과로서 상기 Z1, X1, Y1 및 Z2 값을 획득하고, 상기 연산부는, 상기 획득된 Z1, X1, Y1 및 Z2 값을 상기 제2 연산식에 대입하여 상기 x0, y0, 및 z0를 연산하는 것일 수 있고, 상기 입력부는, (0,0,0)을 기준으로 하여 설정된 오차 범위, 상기 시뮬레이션 및 상기 연산이 반복 수행되는 횟수를 입력받는 것일 수 있다.

[0014] 일 실시예에 따르면, 상기 매핑 수행부는, 상기 제2 중심 좌표가 상기 오차 범위 내에 포함되는 경우에는, 상기 제2 중심 좌표를 상기 자기장의 중심위치로 결정하는 것일 수 있고, 상기 매핑 수행부 및 상기 연산부는, 상기 제2 중심 좌표가 상기 오차 범위를 초과하는 경우에는, 입력받은 상기 횡수에 따라 상기 매핑을 재 수행하는 것일 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 중심위치 추정 방법은 제1 중심 좌표를 입력받고, 상기 제1 중심 좌표를 기준으로 비대칭 마그네틱에 의하여 형성될 것으로 예상되는 자기장의 분포에 대한 시뮬레이션을 수행하는 단계, 상기 시뮬레이션의 결과를 기초로 상기 제2 중심 좌표에 포함되는 x좌표, y좌표 및 z좌표를 동시에 연산하고, 상기 연산된 제2 중심 좌표가 (0,0,0)을 기준으로 설정된 오차 범위 내에 포함되는지 여부를 판단하는 단계, 상기 제2 중심 좌표가 상기 오차 범위 내에 포함되는 경우, 상기 제2 중심 좌표를 상기 자기장의 중심 위치로 결정하는 단계를 포함하는 것일 수 있다.

[0016] 일 실시예에 따르면, 상기 제2 중심 좌표가 상기 오차 범위를 초과하는 경우, 상기 시뮬레이션 및 상기 연산을 소정의 횡수로 반복 수행하여 상기 제2 중심 좌표를 결정하는 단계를 더 포함하는 것일 수 있다.

발명의 효과

[0017] 상기와 같은 본 발명에 따르면, HTS 마그네틱의 자기장 중심에 대한 3축 좌표를 동시에 연산할 수 있다는 장점이 있다.

[0018] 또한, 1차적으로 연산된 HTS 마그네틱의 자기장 중심좌표가 소정의 오차 범위에 포함되는 경우, 더 이상 연산 과정을 반복하지 아니하고 1차적으로 연산된 HTS 마그네틱의 자기장 중심좌표를 HTS 마그네틱에 의하여 실제로 형성되는 자기장에 대한 중심 좌표로 결정함으로써 신속하게 HTS 마그네틱의 자기장 중심좌표를 연산할 수 있다는 장점이 있다.

[0019] 본 발명에 따른 효과는 이상에서 예시된 내용에 의해 제한되지 않으며, 더욱 다양한 효과들이 본 명세서 내에 포함되어 있다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 중심위치 추정 장치를 개략적으로 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 중심위치 추정 방법을 순서도로 표시한 것이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 센터링 전후의 자기장 분포에 대한 측정 결과를 도시한 것이다.

도 4는 Z2 그레디언트의 차이에 따른 자기장의 분포를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0022] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0023] 비록 제1, 제2 등이 다양한 구성요소들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 구성요소들은 이들 용어에 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위하여 사용되는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 구성요소는 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 구성요소일 수도 있음은 물론이다.

[0024] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예들에 대해 설명한다.

- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 중심위치 추정 장치(10)를 개략적으로 도시한 것이다.
- [0026] 도 1을 참조하면, 자기장 중심위치 추정 장치(10)는, 입력부(100), 매핑 수행부(110), 연산부(120), 디스플레이 부(130) 및 통신부(140)를 포함할 수 있다.
- [0027] 입력부(100)는, 매핑 수행부(110)에 의하여 수행되는 매핑을 위한 중심 좌표를 입력받도록 구성될 수 있다. 중심 좌표는 물리적인 HTS 마그네틱의 중심위치가 바람직할 것이나, 이에 의하여 제한되는 것은 아니다. 입력부(100)는 사용자로부터 중심 좌표 값을 입력받도록 구성되는 것이 바람직할 것이나, 이에 의하여 제한되는 것은 아니며, 중심 좌표가 미리 설정되어 있는 경우도 배제하는 것은 아니다. 몇몇 실시예의 경우에는 입력부(100)의 기능을 디스플레이부(130)가 수행할 수 있도록 구성될 수 있다. 이 경우 디스플레이부(130)는 터치 감지 소자를 구비하도록 구성될 수 있다. 사용자가 중심 좌표를 입력하는 경우뿐만 아니라, HTS 마그네틱의 규격을 사용자가 입력하도록 구성될 수도 있다. 이 경우, 입력받은 HTS 마그네틱의 규격 정보에 따라 매핑 수행부(110)는 HTS 마그네틱의 물리적인 중심좌표를 연산하여, 연산된 물리적인 중심좌표를 매핑을 수행하기 위한 중심좌표로 설정하도록 구성될 수도 있다. 후술하는 바와 같이 디스플레이부(130)가 터치 감지소자를 포함하는 경우에는 사용자에게 의한 터치 입력을 수신하여 중심좌표를 입력받도록 구성될 수 있다. 또한, 중심좌표가 물리적인 HTS 마그네틱의 중심위치인 경우, 통신부(150)는 사용자로부터 HTS 마그네틱과 관련된 정보, 예를 들면 HTS 마그네틱의 용도 등을 입력받고, 이에 해당하는 HTS 마그네틱과 관련된 규격 정보를 검색하여 사용자에게 제공하도록 구성될 수 있다. 다만, 전송받은 HTS 마그네틱과 관련된 규격 정보를 사용자에게 제공함과 동시에 매핑 수행부(110)로 전송하여, 매핑 수행부(110)는 전송받은 HTS 마그네틱과 관련된 규격 정보를 이용하여 물리적인 중심 좌표를 연산하도록 구성될 수도 있다. 입력부(100)는 키보드, 마우스 등 다양한 입력 모드를 포함할 수 있다. 본 명세서에서 언급되는 대문자 X,Y,Z와 소문자 x,y,z는 구별되는 개념이다. 즉, 예를 들면, Z0(대문자)는 마그네틱 중심의 초기 자기장의 세기를 의미하는 것이고, z0(소문자)는 z축에서의 중심위치 이동치, 즉 중심위치의 상대적인 거리를 의미하는 것으로서, 본 명세서에서의 대문자와 소문자는 구별되어 이해되어야 할 것이다.
- [0028] 매핑 수행부(110)는, 입력부(100)로부터 중심 좌표를 제공받아 가상의 매핑을 수행하도록 구성될 수 있다. 매핑 수행부(110)에 의하여 수행되는 매핑은 입력된 중심좌표를 기준으로 HTS 마그네틱에 의하여 형성되는 자기장에 대한 예상 분포를 시뮬레이션 하도록 구성될 수 있다. 또한, 매핑 수행부(110)에 의한 매핑 수행의 결과로, 매핑 수행부(110)는 새로운 중심 좌표를 연산하기 위한 임의의 좌표값을 획득하도록 구성될 수 있다. 여기에서, 임의의 좌표값은 아래의 수학식 4에 나타나는 x, y, z 에 대입되어 새로운 중심 좌표와의 상대 거리인 (x_0, y_0, z_0) 를 연산하기 위한 것으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 다른 실시예로서 수학식 4를 이용하여 (x_0, y_0, z_0) 의 값을 연산하는 경우에는 수학식 4에 포함되는 미지수($Z_0, Z_1, X_1, Y_1, Z_2, x, y, z$)의 값을 알아야 한다. 미지수의 값을 연산하기 위해서 자기장의 분포에 포함되는 임의의 복수의 위치에 대한 좌표, 즉, 수학식 4에서 (x, y, z) 로 표시되는 좌표 값이 요구된다. 예를 들어, 8개의 (x, y, z) 좌표가 요구된다면, 이보다 더 많은 11개의 좌표를 획득하도록 구성될 수 있다. 여기에서, 8개의 (x, y, z) 좌표라 함은, (x, y, z) 에 포함되는 각각의 x, y, z 값이 아니라, 공간 좌표상의 특정 위치에 대한 좌표인 (x, y, z) 가 8개인 것을 의미한다. 즉, 8개의 서로 다른 위치에 대한 좌표일 수 있다. 즉, 매핑 수행부(110)는, 연산부(120)가 수학식 4에 포함되는 미지수를 연산하기 위한 복수의 좌표 (x, y, z) 의 값을 매핑의 결과로 획득할 수 있고, 복수의 (x, y, z) 좌표를 수학식 4에 대입하여 (x_0, y_0, z_0) 를 연산할 수 있다.
- [0029] 또한, 매핑 수행부(110)는, 본 발명의 일 실시예로서 수학식 6을 이용하여 (x_0, y_0, z_0) 를 연산하도록 구성되는 경우에는, 자기장 그래디언트 값인 Z_1, X_1, Y_1, Z_2 값을 매핑 수행의 결과로 획득하도록 구성될 수 있다. 상술한 본 발명의 다른 실시예로서 (x_0, y_0, z_0) 를 연산하도록 구성되는 경우에, 매핑 수행부(110)가 획득하는 임의의 복수의 좌표는, 예를 들면, 첫 번째 획득되는 임의의 좌표인 (x_1, y_1, z_1) 과 두 번째 획득되는 임의의 좌표인 (x_2, y_2, z_2) 상호 간에 직교성(orthogonality)이 확보되는 좌표값인 것이 바람직하다. 다만, 여기에서는 첫 번째 획득되는 임의의 좌표와 두 번째 획득되는 임의의 좌표와의 관계만을 설명하였으나, 이는 단지 본 발명의 설명을 위한 것으로, 이에 의하여 제한되는 것은 아니며, 획득되는 모든 임의의 좌표 간에 직교성이 확보될 수 있는 좌표값인 것이 바람직할 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 매핑 수행부(110)는, 임의의 좌표값은 cylindrical helix 방향으로 진행하여 임의의 좌표값을 획득하는 것일 수 있다. 또한, 예를 들어 가상 cylinder 형상의 중심은 입력된 중심좌표일 수 있다. 다만, 이는 매핑 수행부(110)가 임의의 좌표값을 선택하기 위한 실시예를 설명한 것에 불과한 것으로서, 임의의 좌표값 상호간에 직교성(orthogonality)이 확보되는 좌표값이라면, 자기장 내의 어떠한 좌표값도 포함할 수 있다.
- [0030] 매핑 수행부(110)는, 자기장 중심위치 추정 장치(10)에 포함되어 구성될 수 있으나, 매핑 수행부(110)는 자기장 중심위치 추정 장치(10)와 별도로 구성될 수 있다. 여기에서 포함되어 구성된다는 것은, 자기장 중심위치 추정

장치(10)와 물리적으로 일체로 형성되는 경우뿐만 아니라, 물리적으로는 일체로 형성되지 아니하더라도 전기적으로 연결되는 경우까지도 포함하는 개념이다. 또한, 별도로 구성된다는 것은 물리적으로도 일체로 형성되지 아니할 뿐만 아니라, 전기적으로도 완전히 단절된다는 의미이다. 매핑 수행부(110)가 자기장 중심위치 추정 장치(10)와 별도로 구성되는 경우에는, 자기장 중심위치 추정 장치(10)는 매핑 수행부(110)에 의하여 수행된 매핑 결과를 사용자로 부터 입력받아 HTS 마그넷의 중심위치를 추정하기 위한 연산을 수행하도록 구성될 수 있다. 이하에서는, 설명의 편의상 매핑 수행부(110)가 자기장 중심위치 추정 장치(10)에 포함되어 구성되는 경우를 예를 들어 설명하기로 한다. 매핑 수행부(110)는, HTS 마그넷의 자기장의 분포 특성을 분석하기 위해 3축 매핑 시스템으로 이루어질 수 있다. 3축 매핑 시스템은 스테핑(stepping) 모터와 드라이버(driver) 시스템으로 구성될 수 있으며, 스테핑 모터와 드라이버(driver) 시스템은 HTS 마그넷의 자기장을 측정하는 자기장 센서를 이동시키거나 고정하는 기능을 수행할 수 있다. 또한, 센서의 3축 움직임을 제어하는 3개의 스테핑 모터를 포함할 수 있다. 각 스테핑 모터는 자기장 측정 센서의 선형운동으로 스테핑 모터의 회전 변환 시스템으로 설치될 수 있다. 스테핑 모터 작동을 위한 하나의 펄스는 축을 따라 20 μm씩 움직이도록 구성될 수 있다. 극저온 가우스 미터는 자기장 센서와 같이 사용될 수 있다.

[0031] 참고적으로, 본 발명의 일 실시예에 의한 HTS 코일은 비대칭적인 것으로서, 3개의 DP(double pancake)로 제작될 수 있다. 두 개의 DP 코일은 제조 공정에서 발생하는 오차를 제외하고는 정확히 같은 물리적인 수치를 가지며, 다른 하나의 DP 코일은 조화 자기장 오차를 발생시키는 비대칭적인 구조로 이루어질 수 있다. 각 DP 코일 모듈은 lap joint 방법으로 연결되어 구성될 수 있다. 이는 본 발명의 일 실시예를 설명한 것에 불과한 것으로서, 이에 의하여 HTS 마그넷의 구조가 제한되지 아니함은 물론이다.

[0032] 연산부(120)는 수행된 매핑의 결과를 기초로 하여 새로운 자기장의 중심을 구하기 위한 연산을 수행할 수 있다. 연산부(120)는 수학적 4 또는 수학적 6을 이용하여 자기장의 3축, 즉, x축, y축 및 z축 각각의 좌표를 한번에 연산하도록 구성될 수 있다. 축방향 자기장 분포 $B_z(x,y,z)$ 는 직각 좌표계의 2차 제한을 통해 수학적 4로 표현될 수 있다. 이와 관련된 내용은 F.Romeo and D.I. Hoult, "Magnet field profiling and correcting coil design", Magn.Reson.Med., vol1, pp.44-65,1984 를 참조할 수 있다. 자기장 분포는 높은 차수의 제한이 유효할 수 있다. 왜냐하면 자기장 중심 주위의 작은 영역 안에서의 고차 조화(harmonic) 값은 충분히 작을 수 있기 때문이다. 또한, 이러한 방법이 자기장의 매핑 과정에서 노이즈에 대한 면역성을 줄 수 있다.

[0033] 일반적으로 원통형으로 권선되는 마그넷(전자석)의 중심 근처에서의 자기장은 수학적 1로 표현될 수 있다.

수학적 1

[0034]
$$B_z(r,\theta,\phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (n+m+1)r^n P_n^m(\cos\theta) \times [A_{n+1}^m \cos m\phi + B_{n+1}^m \sin m\phi]$$

[0035] 수학적 1은 가장 일반적인 경우를 서술할 수 있는 식으로써, 마그넷이 비대칭인 경우 등을 모두 포괄하여 서술할 수 있는 식이다. $P_n^m(\cos\theta)$ 는 정수 n, m에 대응하는 버금 르장드르 다항식(Associated Legendre

Polynomials)이고, A_{n+1}^m 및 B_{n+1}^m 는, 함수를 표현하기 위한, 즉, B_z 라는 함수의 형태에 대응하도록 바뀌

는 해당 버금 르장드르 다항식 차수의 계수를 의미한다. $B_z(r,\theta,\phi)$ 에서, r은 좌표계의 중심으로부터 해

당 위치까지의 거리, θ 는 z축으로부터 양의 방향으로 해당 위치까지의 각도, ϕ 는 x축과 양의 방향으로 해당

위치까지의 각도를 의미한다. n,m은 0부터 시작되는 정수이며, B_z 는 해당 위치에서 z축 방향의 자기장을 의미한다. 수학적 1에서 좌표에 관한 내용은

"http://ko.wikipedia.org/wiki/%EA%B5%AC%EB%A9%B4%EC%A2%8C%ED%91%9C%EA%B3%84"를 참조할 수 있고, 버금 르장드르 다항식에 관한 내용은 "http://en.wikipedia.org/wiki/Associated_Legendre_polynomials"를 참조할 수 있다.

[0036] 통상적으로 원통형으로 권선되는 전자석은 대칭성을 가지고 있으므로, 수학적 2와 같이 간략히 표현될 수 있다.

수학식 2

$$B_z(r, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1) A_{n+1}^0 r^n P_n^0(\cos \theta)$$

[0037]

[0038] 수학식 2는 구면좌표계를 이용한 표시 방법이다. 일반적으로 중심 근처에서의 자기장을 표현할 경우, 수학식 2의 차수 n이 커질 때 계수 A_n^0 는 줄어들게 되며, 따라서 무한대의 항을 전개하지 아니하더라도 일정 차수의 항 까지만 전개하여 이용하더라도 근사적으로 유효한 자기장 분포의 표현이 가능할 수 있다.

[0039] 상기 사실을 바탕으로 하여 완벽히 대칭을 이루는 자기장의 분포를 직교좌표계의 표현으로 2차 항까지 표현한 자기장의 분포의 예시는 수학식 3과 같다.

수학식 3

$$B_z(x, y, z) = Z_0 + 3Z_2(z^2 - (1/2)(x^2 + y^2))$$

[0040]

[0041] 일반적으로, 자기장의 분포의 정확한 모습을 정량적으로 나타내기 위해서는 6차 이상의 전개식이 필요하지만, 국소적인 공간, 예를 들면 권선된 전자석의 중심 근처와 같은 공간에 한정할 경우 자기장 분포의 굴곡, 대칭의 중심 등의 개형만을 표현하기 위해서는 2차의 전개식으로 충분히 표현이 가능하다.

[0042] 자기장 분포를 표현함에 있어서, 완벽하게 대칭을 이루는 자기장의 분포라도 자기장의 기준점인 (0,0,0)이 시스템이 인지하고 있는 시스템의 시작점과 다를 경우, 수학식 3에 나타나지 않는 1차의 항이 표시되어야만 자기장의 분포를 정확히 표현할 수 있다. 이 경우에 수학식 4와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$B_z(x, y, z) = Z_0 + 2 \cdot Z_1(z + z_0) - 3 \cdot X_1(x + x_0) - 3 \cdot Y_1(y + y_0) + 3 \cdot Z_2[(z + z_0)^2 - 0.5 \cdot \{(x + x_0)^2 + (y + y_0)^2\}]$$

[0043]

[0044] 수학식 4에서, Z1, X1, Y1 및 Z2는 자기장 그래디언트(gradient, 경사도)이고, Z0는 마그넷 중심의 초기 자기장의 세기이다. 자기장 그래디언트는 매핑 수행 후 데이터 처리를 통하여 결정되는 것일 수 있다. (xo, yo, zo)는 입력부(100)에 입력된 중심 좌표와, 새로운 중심 좌표의 상대적인 거리일 수 있다. (xo, yo, zo)를 $(-\frac{X1}{Z2}, -\frac{Y1}{Z2}, -\frac{Z1}{3Z2})$ 로 설정하여 자기장의 분포를 다시 표현하면, 수학식 5와 같이 표현될 수 있다.

수학식 5

$$B_z(x, y, z) = Z_0' + 3Z_2(z^2 - (1/2)(x^2 + y^2))$$

[0045]

[0046] 수학식 5에서, Z_0' 는 모든 상수항의 합을 의미하는 것일 수 있다. 수학식 5는 완벽히 대칭을 이루는 자기장의

분포에 대한 수학적 식 3과 일치한다. 이는 자기장의 중심위치를 $(-\frac{X1}{Z2}, -\frac{Y1}{Z2}, -\frac{Z1}{3Z2})$ 만큼 이동할 경우 초기 위치보다 대칭성을 가지는 위치로 이동하였음을 의미한다.

[0047] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 자기장 중심위치 추정장치(10)는, 매핑 수행부(110)가 매핑 수행의 결과로 Z1, X1, Y1 및 Z2와 같은 자기장 그래디언트 값을 획득하고, 연산부(120)는, 획득한 자기장 그래디언트 값을 수학적 식 6에 대입하여, 사용자에게 의하여 입력된 초기 자기장의 중심위치와의 상대 거리인 (x0, y0, z0)를 연산하도록 구성될 수 있다.

수학적 식 6

$$x_0 = -\frac{X1}{Z2}, y_0 = -\frac{Y1}{Z2}, z_0 = -\frac{Z1}{3 \cdot Z2}$$

[0048]

[0049] 상술한 바와 같이 본 발명의 다른 실시예에 의한 자기장 중심위치 추정 장치는, 매핑 수행부(110)가 자기장 그래디언트 값을 획득하지 않도록 구성되는 경우이다. 본 발명의 다른 실시예에 의하는 경우에는 상술한 바와 같이 복수의 (x, y, z)값을 매핑 수행부(110)가 획득하고, 연산부(120)는 수학적 식 4를 이용하여 (x0, y0, z0)를 연산하도록 구성될 수 있다.

[0050] 본 명세서에서 언급되는 자기장 그래디언트에 대해서 설명하면, 예를 들어 마그넷의 자기장 분포가 z축에만 의존한다고 가정하자. 그리고 편의상 2차(Z^2)까지만 고려한다면 자기장의 분포는 수학적 식 7로 표현될 수 있다.

수학적 식 7

$$B_z(z) = Z0 + 2Z1z + 3Z2z^2$$

[0051]

[0052] 수학적 식 7에서 Z2의 의미는 얼마나 Z^2 에 대하여 비례적으로 커지는가를 표현하는 것이다. 도 4를 참조하면, 아래쪽에 있는 그래프(40)는 위쪽에 있는 그래프(50)보다 Z2 그래디언트가 2배 큰 경우를 나타낸다.

[0053] 연산부(120)에 의하여 연산된 (x0, y0, z0)를 기초로 하여 연산부(120)는 새로운 중심좌표를 설정할 수 있다. 예를 들어, 입력부(100)에 입력된 초기 중심 좌표가 (3,1,2)이라고 하고, 연산된 (x0, y0, z0)값이 (-1, -1, -1)이라면, 새로운 중심 좌표와 초기 중심좌표간의 상대적인 거리는 (-1, -1, -1)이 된다. 따라서, 새로운 중심 좌표는 (2, 0, 1)이 될 수 있다. 매핑 수행부(110)는 연산부(120)에 의하여 연산된 새로운 중심 좌표를 새로운 매핑 중심 좌표로 하여 매핑을 재 수행할 수 있다. 본 명세서에서는, 필요한 경우 자기장 중심좌표의 움직임을 뱃셈뿔뿔이라고 표현한다. 매핑 수행부(110)는, 연산부(120)로부터, 연산된 새로운 중심 좌표를 전송받은 경우 새로운 중심좌표가 (0,0,0)이거나, (0,0,0)이 아니라고 하더라도 새로운 중심 좌표가 (0,0,0)을 기준으로 하여 소정의 오차 범위 내에 포함되는 경우에는 매핑을 수행하지 아니하고, 전송받은 새로운 중심좌표를 자기장의 중심위치로 결정할 수 있다. 매핑을 재 수행하지 아니하는 중심좌표에 대한 오차범위는 사용자로부터 입력받도록 구성될 수 있으며, 미리 설정된 것일 수도 있다. 오차 범위 내에 포함된다는 것은 오차 범위로 설정된 값을 포함하는 오차 범위는 "이하"를 의미하는 것일 수 있다. 오차 범위는, 예를 들어 0.000001m 일 수 있으나, 이에 의하여 제한되는 것은 아니다. 새로운 자기장의 중심 좌표가 오차범위 내에 포함되지 않는다면, 매핑 수행부(110)는 매핑을 반복하여 수행할 수 있다. 바람직하게는 10회 이상 반복하는 것일 수 있다. 반복하는 횟수는 사용자로부터 입력 받도록 구성될 수 있으나, 이에 의하여 제한되는 것은 아니며, 미리 설정된 것일 수도 있다. 즉, 정리하면, 연산된 새로운 중심 좌표가 오차범위내에 포함되는 경우에는 매핑 수행부(110)는 매핑을 재 수행하지 아니하고 새로운 중심좌표를 자기장의 중심위치로 결정하고, 오차 범위내에 포함되지 아니하는 경우라면, 다시 매핑을 수행하여 새로운 중심 좌표를 설정하도록 구성될 수 있다. 이때, 반복하는 횟수는 10회 이상 반복하는 것이 바람직할 수 있다. 이로 인하여 자기장의 중심위치를 정확하게 추정할 수 있다.

[0054] 디스플레이부(130)는, 자기장의 분포 등 자기장 중심위치의 추정과 관련된 일체의 정보를 디스플레이 하도록

130 : 디스플레이부

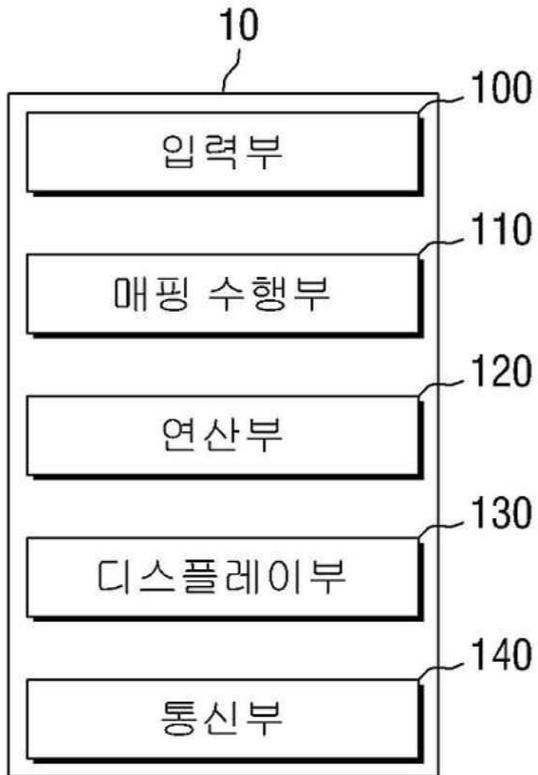
140 : 통신부

20: 센터링 과정을 거친 후의 자기장 분포

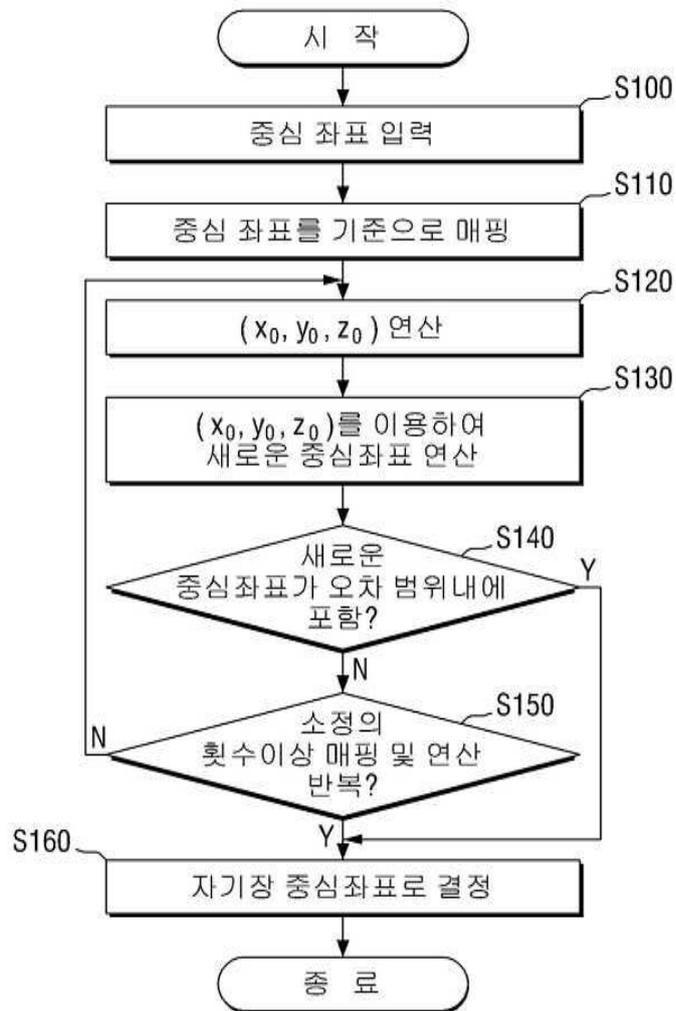
30: 센터링 과정을 거치기 전의 자기장 분포

도면

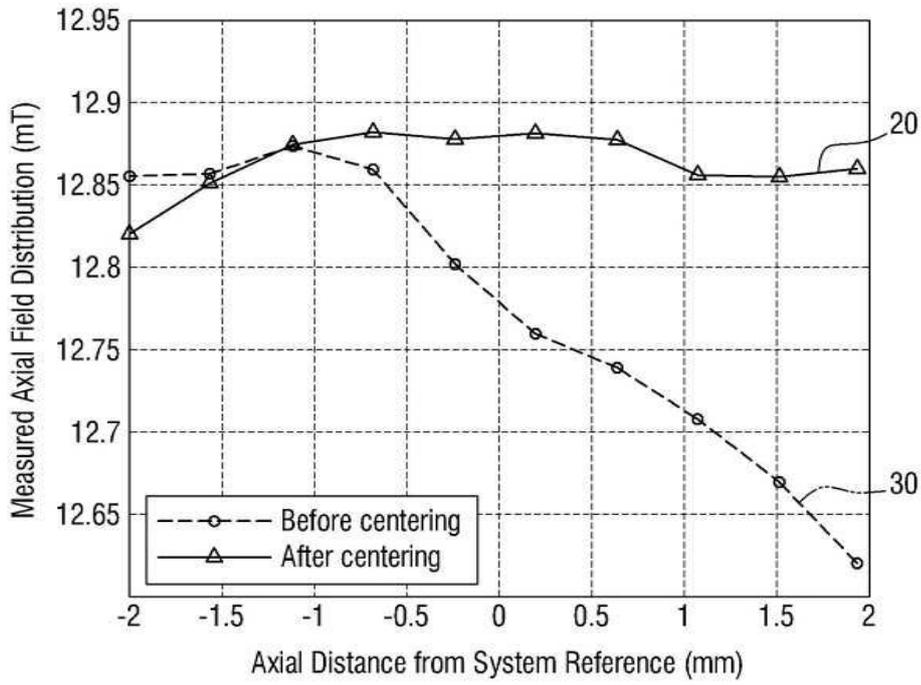
도면1



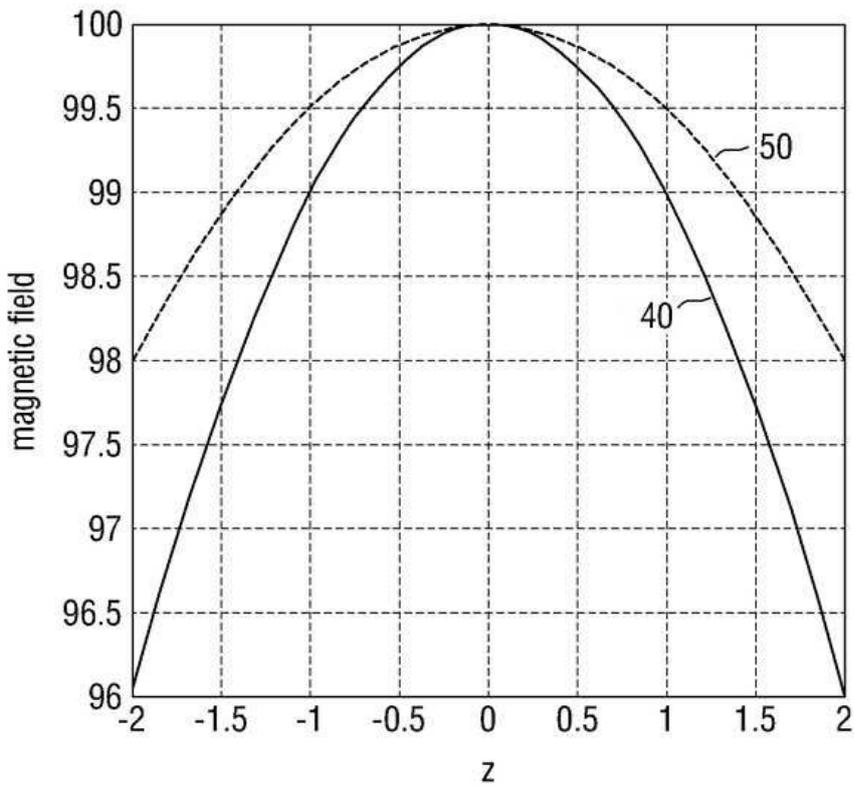
도면2



도면3



도면4



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 10

【변경전】

상기 시물레이션 ~ 상기 제2 중심 좌표에

【변경후】

상기 시물레이션 ~ 제2 중심 좌표에