	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0127053 (43) 공개일자 2012년11월21일
<hr/>		
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H01F 6/06 (2006.01)	(71) 출원인 연세대학교 산학협력단 서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 (신촌동)	
(21) 출원번호 10-2011-0045279		
(22) 출원일자 2011년05월13일	(72) 발명자	
심사청구일자 2011년05월13일	고태국 서울특별시 양천구 목동서로 38, 목동아파트 110동 102호 (목동)	
	조현철 서울특별시 서초구 서초대로10길 35 (방배동) (뒷면에 계속)	
	(74) 대리인 특허법인가산	

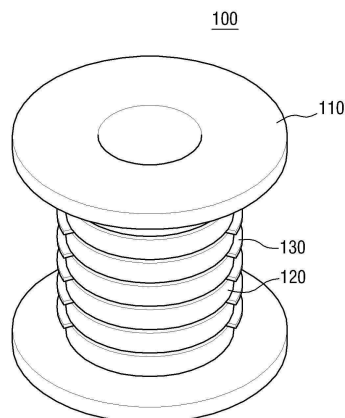
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈 및 이를 이용한 레이어 권선 방법

### (57) 요약

초전도 선재의 레이어 권선용 보빈 및 이를 이용한 레이어 권선 방법이 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈은, 초전도 선재가 와인딩되는 원통형의 보빈몸체; 및 상기 초전도 선재를 가이드하는 부채꼴형의 외주면을 가지는 복수의 스페이서를 포함하며, 상기 원통형의 보빈몸체는 상기 복수의 스페이서에 의해 복수의 층이 형성되며, 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선 방법은, 부채꼴형의 외주면을 가지는 복수의 스페이서에 의해 원통형의 보빈몸체의 층이 구분되는 보빈에 초전도 선재를 권선하는 방법에 있어서, 상기 보빈몸체의 시작층에서 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제1 단계; 상기 초전도 선재가 상기 스페이서가 형성되지 않은 부분으로 권선된 후에, 다음층에서 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제2 단계; 상기 제1 및 제2 단계가 반복적으로 수행되어 상기 보빈몸체의 종료층까지 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제3 단계; 및 상기 보빈몸체의 종료층에서 상기 보빈몸체의 시작층까지 상기 초전도 선재가 다시 권선되는 제4 단계를 포함한다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

**최석진**

서울특별시 서대문구 남가좌동 삼성래미안 1차 10  
6동 1303호

**나진배**

서울특별시 서초구 잠원로 157, 한신16차 120동  
107호 (잠원동)

**장재영**

인천광역시 서구 건지로 404, 한신희플러스 214동  
702호 (가좌동)

**황영진**

인천광역시 부평구 청중로20번길 2-12 (청천동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2010-0018852

부처명 교육과학기술부

연구사업명 중견연구자지원사업

연구과제명 단백질 구조규명의 초고자장 NMR 실현을 위한 고온초전도 인서트코일 기술 연구

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2010.07.01 ~ 2011.06.30

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

초전도 선재가 와인딩되는 원통형의 보빈몸체; 및

상기 초전도 선재를 가이드하는 부채꼴형의 외주면을 가지는 복수의 스페이서를 포함하며,

상기 원통형의 보빈몸체는 상기 복수의 스페이서에 의해 복수의 층이 형성되는 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈.

### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 초전도 선재는 직사각형 단면을 가지는 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈.

### 청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 초전도 선재의 폭은 상기 스페이서에 의해 구분되는 상기 보빈몸체의 층의 폭보다 작은 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈.

### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 부채꼴형의 스페이서는, 중심각이 120~300도 중 어느 하나의 각도를 가지는 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈.

### 청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 보빈몸체는 원형의 삽입홈을 구비하는 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈.

### 청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 삽입홈에 상기 스페이서가 삽입되어 상기 보빈몸체와 상기 스페이서가 연결되는 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈.

### 청구항 7

부채꼴형의 외주면을 가지는 복수의 스페이서에 의해 원통형의 보빈몸체의 층이 구분되는 보빈에 초전도 선재를 권선하는 방법에 있어서,

상기 보빈몸체의 시작층에서 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제1 단계;

상기 초전도 선재가 상기 스페이서가 형성되지 않은 부분으로 권선된 후에, 다음층에서 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제2 단계;

상기 제1 및 제2 단계가 반복적으로 수행되어 상기 보빈몸체의 종료층까지 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제3 단계; 및

상기 보빈몸체의 종료층에서 상기 보빈몸체의 시작층까지 상기 초전도 선재가 다시 권선되는 제4 단계를 포함하는 초전도 선재의 레이어 권선 방법.

### 청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 초전도 선재는 BSCCO(Bi-Sr-Ca-Cr-O) 계열의 선재 또는 CC(Coated Conductor) 계열의 선재 중 하나를 선택적으로 사용하는 초전도 선재의 레이어 권선 방법.

#### 청구항 9

제 7항에 있어서,

상기 초전도 선재는 직사각형 단면을 가지는 초전도 선재의 레이어 권선 방법.

#### 청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 초전도 선재의 폭은 상기 스페이서에 의해 구분되는 상기 보빈몸체의 층의 폭보다 작은 초전도 선재의 레이어 권선 방법.

#### 청구항 11

제 7항에 있어서,

상기 부채꼴형의 스페이서는, 중심각이 120~300도 중 어느 하나의 각도를 가지는 초전도 선재의 레이어 권선 방법.

#### 청구항 12

제 7항에 있어서

상기 제2 단계와 제4 단계에서 상기 스페이서가 형성되지 않은 부분으로 상기 초전도 선재가 권선될 때, 상기 초전도 선재의 기울기가 1~10도 사이에서 권선되는 초전도 선재의 레이어 권선 방법.

#### 청구항 13

제 7항에 있어서

상기 제2 단계와 상기 제4 단계에서 상기 스페이서가 형성되지 않은 부분으로 상기 초전도 선재가 권선될 때, 서로 반대 방향으로 권선되는 초전도 선재의 레이어 권선 방법.

#### 청구항 14

제 7항에 있어서

상기 제1 내지 제4 단계가 반복적으로 수행되어 상기 초전도 선재가 n회 권선되는 제5 단계를 더 포함하는 초전도 선재의 레이어 권선 방법.

### 명 세 서

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈 및 이를 이용한 레이어 권선 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 직사각형의 단면을 가진 고온 초전도 선재를 레이어 권선하기 위한 보빈 및 이를 이용한 레이어 권선 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 초전도 현상의 발견 이후 초전도 기술을 전력분야에 응용하고자 하는 노력이 경주되어 왔으며, 고온초전도(HTS)의 발견은 액체 헬륨을 이용한 극저온 냉각 방식에서 액체질소를 이용한 냉각 방식을 가능하게 하였다. 이러한 초전도 선재를 이용하여 코일을 제작할 때, 레이어 권선(layer winding) 또는 팬케이크 권선(pancake winding)이 이용된다.

[0003] 도 1에 원통형의 보빈(10)에 초전도 선재(S)를 레이어 권선하는 것을 도시하였다. 레이어 권선은 상하 방향으로

선을 감는 것으로, 일정한 기울기(피치)가 발생한다. 그리고, 레이어 권선을 통해 보빈(10)에 초전도 선재(S)가 한 층(single layer)에 권선된 후, 다시 바로 위의 층에 다시 권선되고, 이러한 레이어 권선이 수차례 반복된다.

- [0004] 레이어 권선은 한 번에 권선이 이루어지는 장점이 있고, 초전도 선재(S)를 전기적으로 연결하기 위한 접합부가 필요없는 장점이 있다. 그러나, 레이어 권선은 마그넷(magnet)의 손상 시 전체 마그넷을 교체하여야 하는 문제가 있다 또한, 원형 단면을 가진 선재는 레이어 권선이 유리하나, 직사각형 단면을 가진 선재는 레이어 권선이 불리하다.
- [0005] 도 2에 원형의 단면을 가진 선재를 레이어 권선하는 것이 도시되어 있으며, 도 3에 직사각형의 단면을 가진 선재를 레이어 권선하는 것이 도시되었다. 원형 단면에 의한 선재의 접촉 시 선재가 손상이 일어날 가능성은 직사각형 단면에 의한 선재 접촉보다 더 낮다. 그리고, 직사각형 단면을 가진 선재는 레이어 권선에서 선재의 위치가 고정되지 않고 유동될 가능성도 원형 단면을 가진 선재보다 높다.
- [0006] 도 4와 도 5에서 팬케이크 권선을 통해 권선된 초전도 선재가 도시되어 있다. 도 4는 단일 팬케이크 권선을 나타내며, 도 5는 더블(double) 팬케이크 권선을 나타낸다. 팬케이크 권선은 일반적인 테이프 형태로 초전도 선재(S)를 권선하는 것임을 알 수 있다. 더블 팬케이크 권선은 일반적인 테이프 형태로 두 층을 권선하고, 최내측 1턴(turn)의 선재가 1층에서 2층으로 이어진다. 즉, 초전도 선재의 일단은 1층에서 팬케이크 권선되고, 타단은 2층에서 팬케이크 권선된다.
- [0007] 이러한 팬케이크 권선된 모듈을 적층하여 초전도 마그넷을 형성하며, 마그넷의 손상 시 손상된 팬케이크 권선된 모듈만 교체가 가능한 장점이 있으며, 직사각형 단면을 가진 선재의 권선에 적합하다. 그러나, 팬케이크 권선된 모듈을 적층할 때, 초전도 선재를 전기적으로 연결하기 위한 접합부가 필요하고 이로 인해 접합 저항이 발생하는 문제가 있다.
- [0008] 일반적으로, 구리선과 금속 계열인 저온 초전도 선재는 레이어 권선을 하더라도 레이어 권선으로 인한 기울기에 의해 성능에 큰 영향을 받지 않아 레이어 권선이 이용된다.
- [0009] 그러나, 고온 초전도 선재는 세라믹 계열이므로 레이어 권선을 할 경우 기울기로 인해 연속적인 상하 방향의 권선이 어렵고, 고온 초전도 선재에 손상을 입힐 수 있다. 이러한 이유로 고온 초전도 선재는 일반적으로 횡방향으로 권선되는 팬케이크 권선을 선호한다. 특히, 현재 고온 초전도 선재는 직사각형 단면을 가진 형상으로 생산되기 때문에, 팬케이크 권선이 더욱 유리하다.
- [0010] 그러나, 대용량의 초전도 코일의 경우 팬케이크 권선은 여러 팬케이크 모듈을 접합해야 하므로 접합 저항이 발생하고, 이는 기기의 성능을 저하시키게 된다.
- [0011] 따라서, 고온 초전도 선재의 접합이 필요하지 않아 선재의 손상이 없고, 접합 저항을 줄일 수 있는 레이어 권선을 고온 초전도 선재의 권선에 적용할 필요성이 요청된다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로, 팬케이크 권선의 기술을 응용하여 고온 초전도 선재의 손상이 없고, 접합 저항을 줄일 수 있는 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈 및 이를 이용한 레이어 권선 방법을 제공하는 것이다.
- [0013] 또한, 팬케이크 권선의 기술을 응용한 고온 초전도 선재의 레이어 권선을 통해 대용량의 초전도 코일을 구현하는 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈 및 이를 이용한 레이어 권선 방법을 제공하는 것이다.
- [0014] 본 발명이 해결하고자 하는 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0015] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈은, 초전도 선재가 와인딩되는 원통형의 보빈몸체; 및 상기 초전도 선재를 가이드하는 부채꼴형의 외주면을 가지는 복수의 스페이서를 포함하며, 상기 원통형의 보빈몸체는 상기 복수의 스페이서에 의해 복수의 층이 형성된다.

[0016] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선 방법은, 부채꼴형의 외주면을 가지는 복수의 스페이서에 의해 원통형의 보빈몸체의 층이 구분되는 보빈에 초전도 선재를 권선하는 방법에 있어서, 상기 보빈몸체의 시작층에서 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제1 단계; 상기 초전도 선재가 상기 스페이서가 형성되지 않은 부분으로 권선된 후에, 다음층에서 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제2 단계; 상기 제1 및 제2 단계가 반복적으로 수행되어 상기 보빈몸체의 종료층까지 상기 초전도 선재가 1회 권선되는 제3 단계; 및 상기 보빈몸체의 종료층에서 상기 보빈몸체의 시작층까지 상기 초전도 선재가 다시 권선되는 제4 단계를 포함한다.

[0017] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

### 발명의 효과

[0018] 본 발명에 따르면, 팬케이크 권선의 기술을 응용한 초전도 선재의 레이어 권선을 통해 고온 초전도 선재의 접합이 필요 없어 선재의 손상을 방지하고, 초전도 코일의 접합 저항을 줄일 수 있다.

[0019] 또한, 팬케이크 권선의 기술을 응용한 초전도 선재의 레이어 권선을 통해 대용량의 초전도 코일을 구현할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 종래의 레이어 권선 방법의 사시도이다.

도 2는 원형 단면을 가진 선재를 레이어 권선한 단면도이다.

도 3은 직사각형 단면을 가진 선재를 레이어 권선한 단면도이다.

도 4는 종래의 팬케이크 권선 방법에 의해 권선된 선재의 평면도이다.

도 5는 종래의 더블 팬케이크 권선 방법에 의해 권선된 선재의 사시도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈의 사시도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈의 부분 사시도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈의 부분 평면도이다.

도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선 방법을 도시한 사시도이다.

도 11 내지 도 13은 더블 팬케이크 권선을 이용한 초전도 선재의 권선 방법을 도시한 사시도이다.

### 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 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 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] 이하, 본 발명에 대하여 첨부된 도면에 따라 보다 상세히 설명한다.

[0024] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈의 사시도이다.

[0025] 본 발명의 초전도 선재의 레이어 권선용 보빈(100)은 보빈몸체(120) 및 스페이서(130)를 포함한다. 그리고, 보빈배리어(110)를 더 포함한다.

[0026] 보빈몸체(120)는 초전도 선재(S)가 권선되는 곳으로, 원통 형상을 가질 수 있다. 또한, 보빈몸체(120)의 내부는

중공을 구비할 수 있다. 보빈몸체(120)의 재질은 자기장에 영향을 받지 않아야 하며, 유리섬유강화플라스틱(GFRP, Glass Fiber Reinforced Plastic) 및 베이클라이트(Bakelite), 절연 처리가 된 알루미늄 등이 바람직하다.

- [0027] 스페이서(130)는 보빈몸체(120)에 초전도 선재(S)를 권선할 때, 가이드하는 역할을 하며, 부채꼴 형상의 외주면을 가진다. 스페이서(130)가 보빈몸체(120)의 외주면에 일정 간격으로 위치하여 보빈몸체(120)가 일정한 간격으로 층(layer)을 구비하게 된다. 즉, 원통형의 보빈몸체(120)는 복수의 스페이서(130)에 의해 복수의 층이 형성되게 된다.
- [0028] 보빈배리어(110)는 보빈(100)의 형태를 유지하고, 보빈몸체(120)에 권선되는 초전도 선재(S)를 보빈(100)의 양 끝단에서 지지한다.
- [0029] 레이어 권선용 보빈(100)에 초전도 선재(S)가 권선될 때, 스페이서(130)에 의해 가이드되고, 초전도 선재(S)가 직선으로 권선되는 직선부(스페이서가 형성된 부분)와 초전도 선재(S)가 기울기(피치)를 가지며 권선되는 피치부(스페이서가 형성되지 않은 부분)로 보빈몸체(120)를 구분할 수 있다.
- [0030] 보빈(100)에 권선되는 초전도 선재(S)는 직사각형 단면을 가지는 것이 일반적이다. 팬케이크 권선을 응용한 레이어 권선이 적용되고, 보빈몸체(120)가 스페이서(130)에 의해 층이 구분되어, 직사각형 단면을 가진 초전도 선재(S)가 보빈몸체(120)의 외주면에 권선된다. 초전도 선재(S)의 폭은 스페이서(130)에 의해 구분되는 보빈몸체(120)의 한 층의 폭보다 작은 것이 바람직하다. 초전도 선재(S)의 폭은 스페이서(130)에 의해 구분되는 보빈몸체(120)의 한 층의 폭보다 작아야 초전도 선재(S)가 레이어 권선될 때 기울기로 인한 손상을 방지할 수 있게 된다. 그리고, 초전도 선재는 BSCCO(Bi-Sr-Ca-Cr-O) 계열의 선재 또는 CC(Coated Conductor) 계열의 선재 중 하나를 선택적으로 사용할 수 있다.
- [0031] 초전도 선재(S)는 스페이서(130)에 의해 가이드되어 보빈몸체(120)의 직선부에서 팬케이크 권선의 일종으로 권선되고, 보빈몸체(120)의 피치부에서 레이어 권선의 일종으로 권선된다.
- [0032] 도 6에 5개의 스페이서(130)에 의해 보빈몸체(120)가 6개의 층을 가진 레이어 권선용 보빈(100)이 도시되어 있다.
- [0033] 보빈몸체(120)는 원형의 삽입홈(미도시)을 구비하고, 이 원형의 삽입홈에 스페이서가 삽입되어 상기 보빈몸체와 상기 스페이서가 연결될 수 있다. 또는, 보빈몸체(120)가 중공을 가진 원통형의 일체로 구성되는 것이 아니라, 보빈몸체(120)가 한 층의 단위 보빈몸체(미도시)가 복수개 결합된 것일 수도 있다.
- [0034] 도 7에 레이어 권선용 보빈(100)의 일 부분인 하나의 스페이서(130)에 의해 2개의 층이 형성된 보빈몸체(120)의 부분 사시도가 도시되어 있으며, 도 8에 평면도가 도시되어 있다.
- [0035] 스페이서(130)는 외주면이 부채꼴의 형상을 가지며, 소정의 중심각을 가진다. 중심각은 120~300도 중 어느 하나의 각도를 가지는 것이 바람직하다.
- [0036] 도 9와 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선 방법을 도시한 사시도이다.
- [0037] 도 9와 도 10에서 5개의 스페이서(130)에 의해 보빈몸체(120)에 6개의 층이 형성된 초전도 선재(S)의 레이어 권선용 보빈이 도시되어 있다.
- [0038] 부채꼴형의 복수의 스페이서(130)에 의해 원통형의 보빈몸체(120)의 층이 구분되는 보빈(100)에 초전도 선재(S)를 권선할 때, 상기 보빈몸체(120)의 시작층에서 초전도 선재(S)를 1회 권선한다. 도 9와 도 10에서 최상층이 시작층이 되나, 최하층이 시작층이 될 수 있으며, 중간층이 시작층이 될 수도 있음은 물론이다. 초전도 선재(S)가 시작층에서 기울기 없이 직선으로 권선되므로 이는 팬케이크 권선과 동일한 효과를 가질 수 있다.
- [0039] 다음에, 초전도 선재가 상기 스페이서(130)가 형성되지 않은 부분으로 권선되고, 다음층에서 상기 초전도 선재(S)가 1회 권선된다. 이 때, 초전도 선재(S)가 기울기를 가지면서 자연스럽게 다음층에서 권선되므로 이는 레이어 권선의 일종이 된다.
- [0040] 그 다음에, 상기 보빈몸체(120)의 종료층까지 차례대로 상기 초전도 선재(S)가 반복적으로 1회 권선된다. 보빈몸체(120)의 각 층에서는 직선으로 초전도 선재(S)가 권선되며, 다음층으로 초전도 선재(S)가 이동할 때 초전도 선재(S)가 레이어 권선됨은 물론이다.
- [0041] 그 다음으로, 상기 보빈몸체(120)의 종료층에서 상기 보빈몸체의 시작층까지 상기 초전도 선재가 다시



권선된다. 물론, 보빈몸체(120)의 각 층에서는 직선으로 초전도 선재(S)가 직선으로 권선되며, 다음층으로 초전도 선재(S)가 이동할 때 초전도 선재(S)가 기울기를 가지며 권선된다.

[0042] 그리고, 시작층에서 종료층까지 스페이서(130)가 형성되지 않은 부분에서 권선될 때와 반대로 종료층에서 시작층까지 스페이서(130)가 형성되지 않은 부분에서 권선될 때, 권선의 방향이 반대로 되고, 초전도 선재(S)가 X자 형으로 포개어져 권선된다. 즉, 도 10에 도시한 바와 같이, 1차 권선시와 2차 권선시에 스페이서가 형성되지 않은 부분으로 상기 초전도 선재가 권선될 때, 서로 반대 방향으로 권선된다.

[0043] 또한, 스페이서가 형성되지 않은 부분으로 초전도 선재(S)가 권선될 때, 상기 초전도 선재의 기울기가 1~10도 사이에서 권선되는 것이 바람직하다.

[0044] 초전도 코일의 용량에 따라, 보빈(100)에 초전도 선재를 수 차례 권선할 수 있다. 즉, 초전도 선재가 보빈몸체(120)의 시작층에서 종료층까지 권선되고, 종료층에서 시작층까지 권선되는 것을 1회 권선으로 본다면, 초전도 코일의 필요 용량에 따라 초전도 선재(S)가 n회 권선될 수 있다(단, n은 자연수).

[0045] 그리고, 도 10의 부분 확대도에 도시한 바와 같이, 보빈몸체(120)의 직선부와 피치부가 순차적으로 권선되므로, 직사각형 단면을 가진 선재를 레이어 권선할 때 선재의 위치가 유동하지 않고 잘 고정되게 된다.

[0046] 이때, 초전도 코일의 용량이 커질수록 초전도 선재의 권선 두께가 두꺼워지므로, 초전도 코일의 용량에 맞추어 스페이서(130)의 두께를 탄력적으로 적용하는 것이 바람직하다. 또한, 부채꼴형의 스페이서는, 중심각이 120~300도 중 어느 하나의 각도를 가지는 것이 바람직하다. 특히, 스페이서(130)가 형성되지 않은 보빈몸체(120)의 중심각(A)은 150도 정도로 되는 것이 바람직하며, 스페이서(130)의 중심각은 210도 정도가 바람직하다.

[0047] 직사각형 단면을 가진 초전도 선재(S)가 보빈몸체(120)에 권선될 때, 스페이서(130)에 의해 가이드되어 권선되는 초전도 선재(S)는 기울기 없이 권선(팬케이크 권선의 효과)되고, 스페이서(130)가 형성되지 않은 부분에서 권선되는 초전도 선재(S)는 기울기(피치)를 가지며 권선(레이어 권선의 효과)된다.

[0048] 그러므로, 직사각형 단면을 가진 고온 초전도 선재(S)를 팬케이크 권선하지 않아 팬케이크 코일을 전기적으로 연결하는 접합 물질이 필요하지 않다. 이로 인해 접합 저항도 발생하지 않게 된다. 그리고, 스페이서(130)에 의해 직사각형 단면을 가진 초전도 선재(S)를 가이드하여 권선하기가 용이하고, 스페이서(130)가 형성되지 않은 부분에서만 기울기를 가지며 초전도 선재(S)가 권선되어 초전도 선재(S)의 손상을 방지하고, 초전도 선재(S)를 한 번에 권선할 수 있다.

[0049] 여기에서, 초전도 선재(S)는 직사각형 단면을 가질 수 있으며, 상기 초전도 선재(S)의 폭은 스페이서(130)에 의해 구분되는 보빈몸체(120)의 층의 폭보다 작은 것이 바람직하다. 또한, 초전도 선재는 BSCCO(Bi-Sr-Ca-Cr-O) 계열의 선재 또는 CC(Coated Conductor) 계열의 선재 중 하나를 선택적으로 사용할 수 있다.

[0050] 이하, 본 발명의 실시예에 따른 초전도 선재의 레이어 권선 방법과 더블 팬케이크 권선 방법에 따른 특성을 실험 결과를 통해 살펴 보도록 한다.

[0051] 도 11 내지 도 13은 더블 팬케이크 권선을 이용한 초전도 선재(S)의 권선 방법을 도시한 사시도이다.

[0052] 초전도 선재(S)의 길이 방향의 가운데 부분을 기준으로 한 쪽은 상부에서 1회 팬케이크 권선되고, 다른 쪽은 하부에서 1회 팬케이크 권선되며(도 10), 상부 및 하부에서 각각 수 차례 팬케이크 권선이 이루어지고(도 11), 더블 팬케이크 권선된 모듈을 적층한 후, 초전도 선재 조각을 이용하여 더블 팬케이크 권선된 모듈들을 연결한다(도 11).

[0053] 도 10에서 최내측 1턴(turn)의 초전도 선재(S)가 더블 팬케이크 권선의 움직임을 지지하게 된다. 그러므로, 도 13의 부분 확대도에 도시한 바와 같이, 하나의 더블 팬케이크 모듈에 권선시 최내측 초전도 선재(S)에 의해서만 상부와 하부가 연결되고, 더블 팬케이크 모듈 간은 최외측 선재에 인듐(Indium), 납(Pb)과 같은 솔더(solder paste)를 녹여 초전도 선재 간을 연결한다. 이에 반해, 본 발명의 레이어 권선은 도 10의 부분 확대도에 도시한 바와 같이, 상하층의 초전도 선재(S)가 일대일로 연결되어 벽돌을 쌓듯이 초전도 선재(S)가 지지되게 된다. 그러므로, 직사각형 단면의 선재를 레이어 권선하더라도 선재의 위치가 잘 고정되게 된다.

[0054] 동일한 실험 조건을 위해, 본 발명의 레이어 권선은 도 10에 도시한 레이어 권선용 보빈(100)에 초전도 선재(S)를 5회 권선하며, 더블 팬케이크 권선은 도 13에 도시한 바와 같이 5회 권선한 초전도 선재(S)가 구비된 3개의 더블 팬케이크 모듈을 인듐(Indium) 솔더를 사용하여 연결한 2 종류의 샘플 보빈을 준비한다.

[0055] 두 샘플 보빈의 물리적 특성은 아래의 표 1과 같다.



표 1

[0056]

	팬케이크 권선용 보빈	레이어 권선용 보빈
내경(Inner diameter)	60mm	
외경(Outer diameter)	초전도 선재의 종류에 따라 가변	
높이(Height)	37mm	
선재 길이(Wire length)	5.94mm	5.88mm
접합점(Joint)	2	없음

[0057]

초전도 선재(S)의 폭 및 길이는 동일하고, 초전도 선재(S)의 샘플은 3가지를 이용한다. 초전도 선재(S)의 샘플은 BSCCO(Bi-Sr-Ca-Cr-O) 계열의 선재 중 한 종류, CC(Coated Conductor) 계열의 선재 중 두 종류를 사용한다. CC(Coated Conductor) 계열의 선재는 안정화층(Stabilizer)이 있는 CC 선재와 안정화층이 없는 CC 선재를 사용한다.

[0058]

세 종류의 초전도 선재(S)의 물리적 특성은 아래의 표 2와 같다.

표 2

[0059]

	Type 1	Type 2	Type 3
제조사(Manufacturer)	American Superconductor	서남	SuperPower
도체(Conductor)	BSCCO	CC	CC
길이(Width)	4mm	4mm	4mm
두께(Thickness)	0.26mm	0.1mm	0.055mm
안정화층(Stabilizer)	Stainless steel	Copper	-
기판(Substrate)	-	Hastelloy	Hastelloy
77K에서 임계전류(Critical Current @ 77K)	125A	112A	111A

[0060]

실험은 두 종류의 샘플 보빈(팬케이크 권선용 보빈과 레이어 권선용 보빈)에 세 종류의 초전도 선재(Type 1, Type 2, Type 3)를 권선한 총 6개의 샘플에 실시되었다.

[0061]

6개의 샘플의 77K의 임계 전류(Critical Current)는 아래의 표 3과 같다.

표 3

[0062]

	Type 1의 임계전류	Type 2의 임계전류	Type 3의 임계전류
팬케이크 보빈	81A	98A	84A
레이어 보빈	81A	103A	81A

[0063]

표 3의 결과에서 알 수 있듯이, 임계 전류의 측정 결과 각 샘플 보빈, 즉 초전도 선재(S)의 권선 방법에 따라 임계 전류는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. BSCCO 선재의 경우 권선 방법에 따라 임계 전류의 차이가 없으며, 안정화층(Stabilizer)이 있는 CC 선재와 안정화층이 없는 CC 선재의 경우에도 각각 5A와 3A 정도의 임계 전류의 차이가 있다.

[0064]

보빈에 권선하지 않은 경우의 초전도 선재(S)의 임계 전류와 비교하면 아래의 표 4와 같다.

표 4

[0065]

	Type 1	Type 2	Type 3
팬케이크 보빈	0.65(81A/125A)	0.88(98A/112A)	0.76(84A/111A)
레이어 보빈	0.65(81A/125A)	0.92(103A/112A)	0.73(81A/111A)

[0066]

표 3과 표 4의 결과를 통해, 각 초전도 선재의 임계 전류는 권선 방법에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있고, 안정화층이 있는 CC 선재가 단일의 선재와 비교하여 임계 전류의 크기가 가장 작게 감소함을 알 수 있다.

[0067]

그러므로, 본 발명의 레이어 권선용 보빈(100)에 레이어 권선한 것은 팬케이크 권선한 것과 임계 전류가 거의

비슷하므로, 직사각형 단면을 가진 고온 초전도 선재(S)를 레이어 권선했을 수 있음을 알 수 있다.

[0068] 따라서, 고온 초전도 선재(S)를 팬케이크 권선했지 않고, 레이어 권선했어 접합 저항이 없는 고온 초전도 코일의 구현이 가능하다.

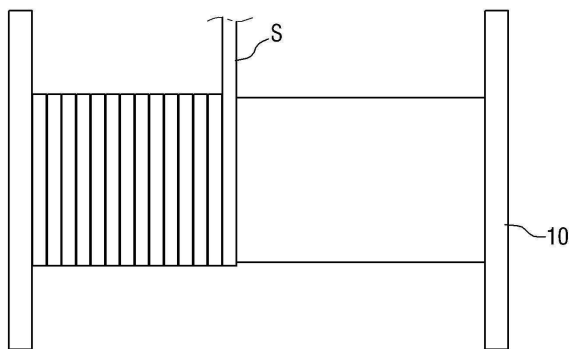
[0069] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

### 부호의 설명

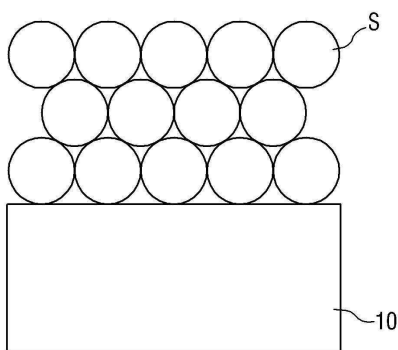
[0070] 100: 레이어 권선했 보빈                      110: 보빈배리어  
120: 보빈몸체                                      130: 스페이서

### 도면

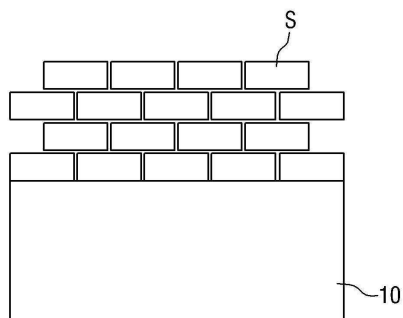
#### 도면1



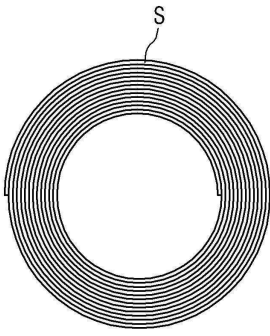
#### 도면2



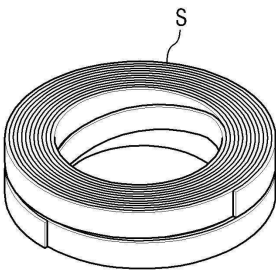
#### 도면3



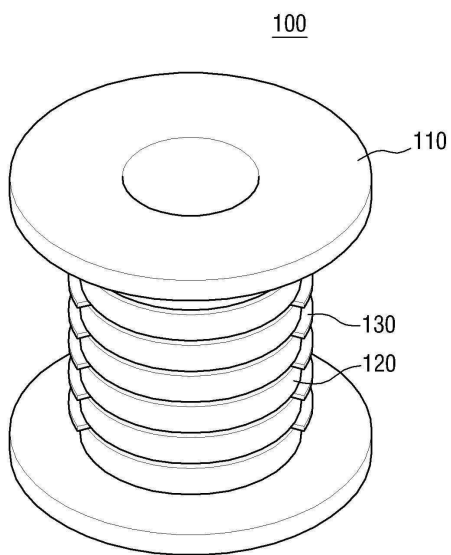
도면4



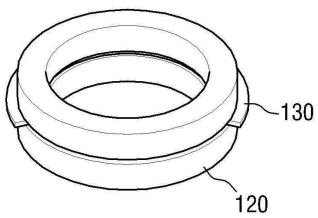
도면5



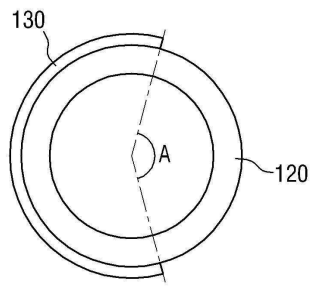
도면6



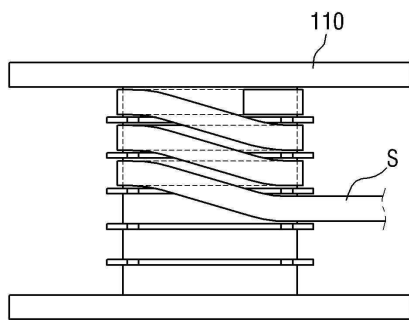
도면7



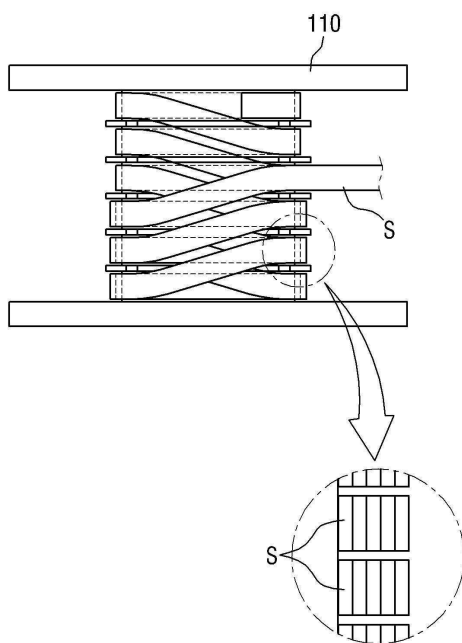
도면8



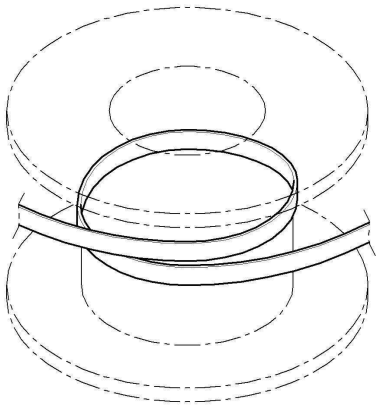
도면9



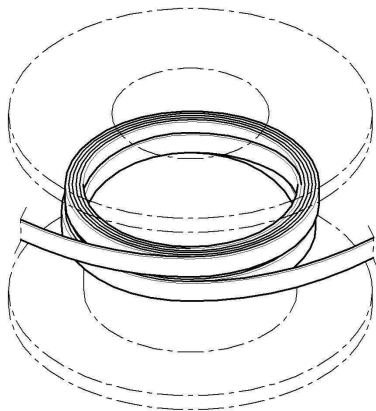
도면10



도면11



도면12



도면13

