



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0059804
(43) 공개일자 2022년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 33/12 (2006.01) G01K 7/00 (2006.01)
G01R 31/08 (2006.01) G01R 33/00 (2006.01)
H01F 6/04 (2006.01) H01F 6/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01R 33/1238 (2018.01)
G01K 7/006 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0145402
(22) 출원일자 2020년11월03일
심사청구일자 2020년11월03일

(71) 출원인
창원대학교 산학협력단
경상남도 창원시 의창구 창원대로 20(퇴촌동)
(72) 발명자
박민원
경상남도 김해시 덕정로12번길 24 (관동동)
성해진
경상남도 창원시 마산회원구 구암북18길 39 (구암동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김종선, 이형석

전체 청구항 수 : 총 10 항

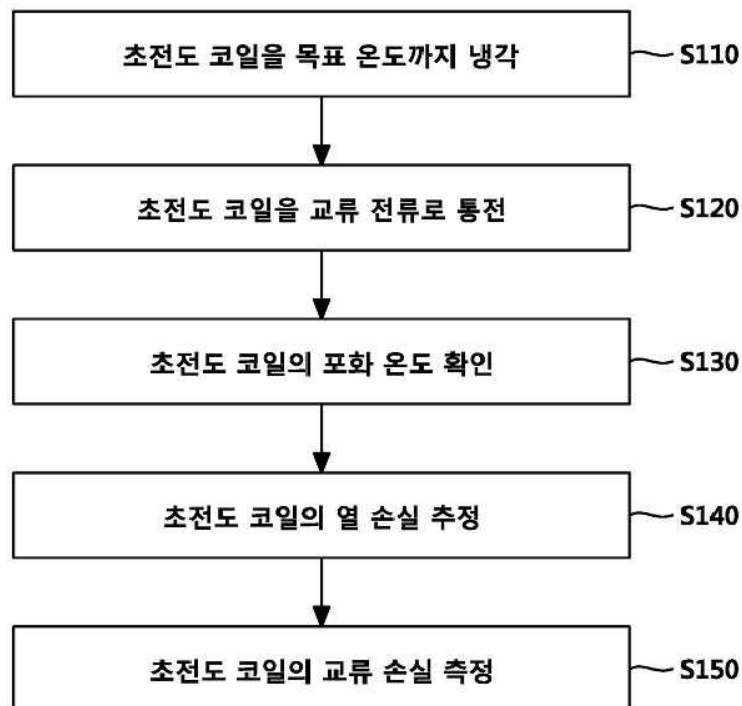
(54) 발명의 명칭 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법 및 그 장치

(57) 요약

초전도 코일의 교류 손실 측정 방법 및 그 장치가 제공된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법은, 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키는 단계; 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 교류 전류로 통전시키는 단계; 상기 교류 전류에 의해 상기 초전도 코일이 포화가 되는 포화 온도를 확인하는 단계;

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



상기 목표 온도 및 포화 온도를 기초로 하여 상기 초전도 코일의 열 손실을 추정하는 단계; 및 상기 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 교류 손실을 측정하는 단계를 포함한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업은 “과제고유번호: R18XA03”, “지원부처명: 한국전력공사”, “연구사업명: 연구용역”, “연구관리전문기관: 한국전력공사”, “연구과제명: 10 MW급 초전도풍력발전기 기반 부유식 해상풍력발전 플랫폼용 기초기술개발”, “연구기간: 2018.03.01 ~ 2021.02.28”, “주관기관: 창원대학교 산학협력단” 이다.

(52) CPC특허분류

G01R 31/083 (2013.01)

G01R 33/007 (2013.01)

H01F 6/04 (2013.01)

H01F 6/06 (2013.01)

(72) 발명자

고병수

경상남도 창원시 마산회원구 석전동6길 9 (석전동)

남기동

제주특별자치도 제주시 애월읍 애조로 232, 101동
401호 (앙뜨레타운)

김창현

경상남도 창원시 성산구 대암로 64, 6동 501호 (남양동, 상남동성아파트)

명세서

청구범위

청구항 1

초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키는 단계;

상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 교류 전류로 통전시키는 단계;

상기 교류 전류에 의해 상기 초전도 코일이 포화가 되는 포화 온도를 확인하는 단계;

상기 목표 온도 및 포화 온도를 기초로 하여 상기 초전도 코일의 열 손실을 추정하는 단계; 및

상기 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 교류 손실을 측정하는 단계를 포함하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 교류 손실을 측정하는 단계는,

상기 열 손실을 상기 초전도 코일의 교류 손실로 측정하는 단계를 포함하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법.

청구항 3

초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키는 단계;

상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 직류 전류로 통전시키는 단계;

상기 초전도 코일의 제1 온도를 확인하는 단계;

상기 초전도 코일의 제1 열 손실을 추정하는 단계;

상기 초전도 코일에 대응되는 전기자 코일을 교류 전류로 통전시키는 단계;

상기 초전도 코일의 제2 온도를 확인하는 단계;

상기 초전도 코일의 제2 열 손실을 추정하는 단계; 및

상기 제1 및 제2 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 교류 손실을 측정하는 단계를 포함하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 교류 손실을 측정하는 단계는,

상기 제1 및 제2 열 손실 간 차를 상기 초전도 코일의 교류 손실로 측정하는 단계를 포함하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법.

청구항 5

제 3항에 있어서,

상기 초전도 코일의 전류 밀도를 획득하는 단계;

상기 전류 밀도를 이용하여 전기장을 계산하는 단계;

상기 전류 밀도 및 자기장에 기초하여 상기 초전도 코일의 교류 손실을 계산하는 단계; 및

상기 측정된 교류 손실과 상기 계산된 교류 손실을 비교하는 단계를 더 포함하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법.

청구항 6

극저온 용기에 위치하는 초전도 코일과, 상기 초전도 코일의 온도를 측정하는 온도 센서와, 상기 초전도 코일을 지지하는 코일 지지부를 포함하는 초전도 코일부;

상기 초전도 코일에 대응하는 전기자 코일과, 상기 전기자 코일의 일단에 위치하는 자기 차폐층을 포함하는 전기자 코일부;

교류 전류를 인가하는 교류 전원 모듈과, 직류 전류를 인가하는 직류 전원 모듈을 포함하는 전원 인가부; 및

상기 초전도 코일의 제1 교류 손실 또는 제2 교류 손실을 측정하는 손실 측정부를 포함하며,

상기 제1 교류 손실은, 상기 초전도 코일에 교류 전류가 인가된 경우, 상기 초전도 코일의 온도 상승에 따라 발생하며,

상기 제2 교류 손실은, 상기 초전도 코일에 직류 전류가 인가된 후, 상기 전기자 코일에 교류 전류가 인가된 경우, 상기 전기자 코일의 자기장에 따라 발생하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 초전도 코일부는,

상기 극저온 용기가 3개 이상인, 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 온도 센서는,

상기 3개의 극저온 용기 중, 중앙의 극저온 용기에 위치하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치.

청구항 9

제 6항에 있어서,

상기 손실 측정부는,

극저온 용기에 위치한 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키고, 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 상기 교류 전원 모듈에 의해 교류 전류로 통전시키고, 상기 교류 전류에 의해 상기 초전도 코일이 포화가 되는 포화 온도를 상기 온도 센서를 이용하여 확인하고, 상기 목표 온도 및 포화 온도를 기초로 하여 상기 초전도 코일의 열 손실을 추정하며, 상기 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 상기 제1 교류 손실을 측정하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치.

청구항 10

제 6항에 있어서,

상기 손실 측정부는,

극저온 용기에 위치한 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키고, 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 상기 직류 전원 모듈에 의해 직류 전류로 통전시키고, 상기 초전도 코일의 제1 온도를 상기 온도 센서를 이용하여 확인하고, 상기 초전도 코일의 제1 열 손실을 추정한 후, 상기 전기자 코일을 상기 교류 전원 모듈에 의해 교류 전류로 통전시키고, 상기 초전도 코일의 제2 온도를 상기 온도 센서를 이용하여 확인하고, 상기 초전도 코일의 제2 열 손실을 추정하며, 상기 제1 및 제2 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 상기 제2 교류 손실을 측정하는, 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 초전도체는 구리선에 존재하는 않는 교류 손실(AC loss)이라는 특성이 존재한다. 교류 손실은 초전도체에 교류 전류가 통전되는 경우에 발생하는 손실이다. 교류 손실에는 초전도체의 내부 금속에 의한 히스테리시스 손실, 도체의 결합 손실, 구조 재료의 와전류 손실 등이 포함된다.

[0003] 한편, 초전도 코일의 손실은 온도로 변환된다. 저온 상태의 초전도 코일의 손실이 모두 고려가 되지 않는다면, 초전도 코일의 운전 온도가 변하게 된다. 그리하여, 교류 손실 등에 의한 열부하만큼 냉각할 수 없을 경우, 운전 중인 초전기 회전기에서 초전도체가 초전도성을 상실할 수 있어 회전기에 큰 문제를 초래할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 2005-0109807호 (2005.11.22. 공개)

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 0758149호 (2007.09.06. 등록)

(특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 2001-0093678호 (2001.10.29. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상기 문제점을 해결하기 위한 것으로, 초전도 코일의 정확한 교류 손실을 측정할 수 있는 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법 및 그 장치를 제공한다.

[0006] 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

[0007] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법은, 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키는 단계; 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 교류 전류로 통전시키는 단계; 상기 교류 전류에 의해 상기 초전도 코일이 포화가 되는 포화 온도를 확인하는 단계; 상기 목표 온도 및 포화 온도를 기초로 하여 상기 초전도 코일의 열 손실을 추정하는 단계; 및 상기 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 교류 손실을 측정하는 단계를 포함한다.

[0008] 또한, 상기 교류 손실을 측정하는 단계는, 상기 열 손실을 상기 초전도 코일의 교류 손실로 측정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법은, 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키는 단계; 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 직류 전류로 통전시키는 단계; 상기 초전도 코일의 제1 온도를 확인하는 단계; 상기 초전도 코일의 제1 열 손실을 추정하는 단계; 상기 초전도 코일에 대응되는 전기자 코일을 교류 전류로 통전시키는 단계; 상기 초전도 코일의 제2 온도를 확인하는 단계; 상기 초전도 코일의 제2 열 손실을 추정하는 단계; 및 상기 제1 및 제2 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 교류 손실을 측정하는 단계를 포함한다.

[0010] 또한, 상기 교류 손실을 측정하는 단계는, 상기 제1 및 제2 열 손실 간 차를 상기 초전도 코일의 교류 손실로 측정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 그리고, 상기 초전도 코일의 전류 밀도를 획득하는 단계; 상기 전류 밀도를 이용하여 전기장을 계산하는 단계;

상기 전류 밀도 및 자기장에 기초하여 상기 초전도 코일의 교류 손실을 계산하는 단계; 및 상기 측정된 교류 손실과 상기 계산된 교류 손실을 비교하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0012] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치는, 극저온 용기에 위치하는 초전도 코일과, 상기 초전도 코일의 온도를 측정하는 온도 센서와, 상기 초전도 코일을 지지하는 코일 지지부를 포함하는 초전도 코일부; 상기 초전도 코일에 대응하는 전기자 코일과, 상기 전기자 코일의 일단에 위치하는 자기 차폐층을 포함하는 전기자 코일부; 교류 전류를 인가하는 교류 전원 모듈과, 직류 전류를 인가하는 직류 전원 모듈을 포함하는 전원 인가부; 및 상기 초전도 코일의 제1 교류 손실 또는 제2 교류 손실을 측정하는 손실 측정부를 포함하며, 상기 제1 교류 손실은, 상기 초전도 코일에 교류 전류가 인가된 경우, 상기 초전도 코일의 온도 상승에 따라 발생하며, 상기 제2 교류 손실은, 상기 초전도 코일에 직류 전류가 인가된 후, 상기 전기자 코일에 교류 전류가 인가된 경우, 상기 전기자 코일의 자기장에 따라 발생한다.

[0013] 또한, 상기 초전도 코일부는, 상기 극저온 용기가 3개 이상일 수 있다.

[0014] 또한, 상기 온도 센서는, 상기 3개의 극저온 용기 중, 중앙의 극저온 용기에 위치할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 손실 측정부는, 극저온 용기에 위치한 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키고, 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 상기 교류 전원 모듈에 의해 교류 전류로 통전시키고, 상기 교류 전류에 의해 상기 초전도 코일이 포화가 되는 포화 온도를 상기 온도 센서를 이용하여 확인하고, 상기 목표 온도 및 포화 온도를 기초로 하여 상기 초전도 코일의 열 손실을 추정하며, 상기 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 상기 제1 교류 손실을 측정할 수 있다.

[0016] 그리고, 상기 손실 측정부는, 극저온 용기에 위치한 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키고, 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 상기 직류 전원 모듈에 의해 직류 전류로 통전시키고, 상기 초전도 코일의 제1 온도를 상기 온도 센서를 이용하여 확인하고, 상기 초전도 코일의 제1 열 손실을 추정한 후, 상기 전기자 코일을 상기 교류 전원 모듈에 의해 교류 전류로 통전시키고, 상기 초전도 코일의 제2 온도를 상기 온도 센서를 이용하여 확인하고, 상기 초전도 코일의 제2 열 손실을 추정하며, 상기 제1 및 제2 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 상기 제2 교류 손실을 측정할 수 있다.

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

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따르면, 초전도 회전기 등에 초전도 코일을 장착하기 전에 교류 손실을 측정할 수 있고, 정확히 측정된 교류 손실을 적용하여 초전도 회전기 등의 냉각 시스템을 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법의 순서를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법의 순서를 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치의 구성을 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치의 초전도 코일부 및 전기자 코일부의 구성을 도시한 도면이다.

도 5는 초전도 코일 및 전기자 코일에서 발생하는 교류 손실을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 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 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 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.

[0021] 비록 제1, 제2 등이 다양한 소자, 구성요소 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 이들 소자, 구성요소 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 소자, 구성요소 또는

는 섹션들을 다른 소자, 구성요소 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 소자, 제1 구성요소 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 소자, 제2 구성요소 또는 제2 섹션 일 수도 있음은 물론이다.

[0022] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "이루어지다(made of)"는 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0023] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 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.

[0024] 이하, 본 발명에 대하여 첨부된 도면에 따라 보다 상세히 설명한다.

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법의 순서를 도시한 도면이다.

[0026] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법은, 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키며(S110), 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 교류 전류로 통전시키고(S120), 상기 교류 전류에 의해 상기 초전도 코일이 포화가 되는 포화 온도를 확인하고(S130), 상기 목표 온도 및 포화 온도를 기초로 하여 상기 초전도 코일의 열 손실을 추정하며(S140), 상기 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 교류 손실을 측정한다(S150).

[0027] 초전도선에 교류 전류로 인해 영향을 받게 되면, 일반 구리선에서 발생하는 손실과 다른 손실이 발생한다. 일반적으로, 단일 초전도선의 교류 손실 측정은 초전도선에 발생하는 전류와 미세한 전압에 의해 측정이 가능하나, 초전도 코일의 경우 코일의 정확한 손실을 정의하기 어렵다.

[0028] 이때, 각 초전도 코일은 낮은 냉각 온도를 유지시키기 위해, 극저온 용기(Cryostat)와 같은 장비를 가지며, 상기 극저온 용기에서 초전도 코일의 냉각이 가능하다. 여기에서, 초전도 코일과 극저온 용기 사이에는 MLI(Multi Layer Insulation)를 이용하여 내부의 대류 및 복사에 의한 열전달을 차단할 수 있고, 대류 및 복사에 의한 열전달을 최소화하기 위하여 극저온 용기 내부의 진공도를 10^{-5} torr 이하로 유지할 수 있다.

[0029] 초전도 코일에 교류 전류가 통전 시, 극저온 용기의 진공 상태에서 초전도 코일에 열 부하에 의한 손실이 발생한다.

[0030] 보다 구체적으로, 초전도 코일을 냉각하여 목표 온도까지 도달하는 경우의 온도를 T0라 하자. 목표 온도 도달 이후, 교류 전류를 통전시키고, 상기 교류 전류에 의해 포화가 되는 온도를 측정하여 T1이라 하자. 목표 온도와 포화 온도를 이용하여 아래의 수학적 식 1과 같이 초전도 코일의 열 손실을 추정할 수 있다.

수학적 식 1

$$Q = cm\Delta t$$

[0031]

[0032] 여기에서, Q 는 열 손실에 의한 열량이며, c 는 초전도 코일의 비열, m 은 초전도 코일의 질량, Δt 는 초전도 코일의 온도 변화이다. 상기 Δt 는 T1-T0가 된다.

[0033] 상기 수학적 식 1에 의해 추정되는 열량은 초전도 코일의 열 손실이 되고, 상기 열 손실을 상기 초전도 코일의 교류 손실로 측정할 수 있다.

[0034] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법을 통해, 초전도 코일의 교류 전류 통전 시, 온도 포화가 이루어진 이후 초전도 코일의 발열을 계산하여 정확한 교류 손실 측정이 이루어진다.

[0035] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법의 순서를 도시한 도면이다.

- [0036] 도 2를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법은, 초전도 코일을 목표 온도까지 냉각시키며(S210), 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일을 직류 전류로 통전시키고(S220), 상기 초전도 코일의 제1 온도를 확인하고(S230), 상기 초전도 코일의 제1 열 손실을 추정한다(S240). 그런 다음, 상기 초전도 코일에 대응되는 전기자 코일을 교류 전류로 통전시키고(S250), 상기 초전도 코일의 제2 온도를 확인하고(S260), 상기 초전도 코일의 제2 열 손실을 추정하고(S270), 상기 제1 및 제2 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일의 교류 손실을 측정한다(S280).
- [0037] 대용량의 초전도 회전에 적용되는 초전도 코일은 20~40K의 낮은 냉각 온도를 효율적으로 유지시키기 위해, 하나의 초전도 코일마다 개별적인 극저온 용기를 적용한다. 즉, 하나의 극저온 용기에 하나의 초전도 코일이 위치하게 된다. 여기에서, 초전도 코일과 극저온 용기 사이에는 MLI(Multi Layer Insulation)를 이용하여 내부의 대류 및 복사에 의한 열전달을 차단할 수 있고, 대류 및 복사에 의한 열전달을 최소화하기 위하여 극저온 용기 내부의 진공도를 10^{-5} torr 이하로 유지할 수 있다.
- [0038] 초전도 코일은 직류 전류에 의해 일정한 자체 자계(self magnetic field)가 생성되고, 전기자 코일은 교류 전류에 의한 교번 자계(alternating magnetic field)가 생성된다. 이때, 초전도 코일에는 교류 전류에 의해 유도되는 교번 자계에 의한 교류 손실(AC loss)이 발생한다. 즉, 초전도 코일은 전기자 코일에 인가되는 교류 전류에 의해 외부 자기장의 영향을 받게 된다.
- [0039] 먼저, 초전도 코일에 직류 전류가 통전 시, 극저온 용기의 진공 상태에서 초전도 코일에 열 부하에 의한 손실이 발생한다. 전기자 코일에 전류가 흐르지 않는 상태에서 초전도 코일에 자기장을 만들어 줄 수 있는 만큼 직류 전류가 흐르면, 초전도 코일을 이용한 회전기 등의 무부하 상태가 된다.
- [0040] 보다 구체적으로, 초전도 코일을 냉각하여 목표 온도까지 도달 이후, 직류 전류를 통전시키고, 상기 직류 전류에 의한 현재 온도를 측정한다. 목표 온도와 직류 전류에 의한 현재 온도를 이용하여 상기 수학식 1과 같이 초전도 코일의 열 손실을 추정할 수 있다. 편의상, 초전도 코일의 직류 전류에 의해 측정되는 온도를 제1 온도라 하고, 초전도 코일의 열 손실을 제1 열 손실이라 한다.
- [0041] 다음으로, 전기자 코일에 교류 전류가 흘러 이에 의한 교번 자계가 생성되어 교류 손실이 일어나므로, 초전도 코일의 온도가 상승한다. 교번 자계에 의한 초전도 코일의 온도 상승을 이용하여 상기 수학식 1과 같이 초전도 코일의 열 손실을 추정할 수 있다. 편의상, 초전도 코일의 교류 전류에 의한 온도를 제2 온도라 하고, 초전도 코일의 열 손실을 제2 열 손실이라 한다.
- [0042] 그런 다음, 초전도 코일의 직류 전류에 의해 추정되는 열 손실과 교류 전류에 의해 추정되는 열 손실을 이용하여 최종적으로 교류 손실을 측정할 수 있다. 구체적으로, 교류 손실을 측정하는 경우, 제1 열 손실 및 제2 열 손실 간 차를 초전도 코일의 교류 손실로 측정할 수 있다.
- [0043] 따라서, 본 발명의 다른 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법을 통해, 초전도 코일에 외부 자기장이 영향을 미칠 경우, 초전도 코일의 온도 변화에 따른 구간별 열 손실 계산과, 온도 포화 이후 외부 자기장에 대한 코일의 발열을 계산하여 정확한 교류 손실 측정이 이루어진다.
- [0044] 또한, 상술하여 설명한 여러 초전도 코일의 교류 손실 측정 방법을 통해 도출되는 교류 손실을 이론적으로 계산되는 초전도 코일의 교류 손실과 비교하여 검증할 수 있다.
- [0045] 보다 구체적으로, 상기 초전도 코일의 전류 밀도를 획득하고, 상기 전류 밀도를 이용하여 전기장을 계산하며, 상기 전류 밀도 및 자기장에 기초하여 상기 초전도 코일의 교류 손실을 계산하고, 상기 계산된 교류 손실을 상술하여 설명한 측정된 교류 손실과 비교할 수 있다.
- [0046] 초전도 코일의 전류 밀도를 획득한 경우, 다음의 수학식 2와 같이 전기장을 계산할 수 있다.

수학식 2

$$E = E_0 \left(\frac{J}{J_c} \right)^n$$

[0047]

[0048] 여기에서, J 는 전류 밀도, E 는 전기장 이다. 또한, E_0 는 특성 전기장으로 $(1 \times 10^{-4} V/m)$ 이며, J_c 는 임계 전류 밀도이다.

[0049] 그리고, 초전도 코일의 교류 손실은 다음의 수학적 식 3과 같이 계산할 수 있다.

수학적 식 3

$$Q_{AC} = \frac{1}{V} \int_0^T dt \int_0^V E \cdot J dv$$

[0050]

[0051] 여기에서, Q_{AC} 는 초전도 코일의 교류 손실이며, T 는 교류 전류의 주기, V 는 초전도 코일의 총 부피이다.

[0052] 상술하여 설명한 여러 초전도 코일의 교류 측정 방법을 통해, 초전도 회전기 등에 초전도 코일을 적용하기 전에 교류 손실을 정확히 측정할 수 있고, 이에 교류 손실에 따른 영향을 정확히 반영하여 초전도 회전기 등의 냉각 시스템을 구성할 수 있다.

[0053] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치의 구성을 도시한 도면이다. 또한, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치의 초전도 코일부 및 전기자 코일부의 구성을 도시한 도면이다. 그리고, 도 5는 초전도 코일 및 전기자 코일에서 발생하는 교류 손실을 설명하기 위한 도면이다.

[0054] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초전도 코일의 교류 손실 측정 장치(이하 '교류 손실 측정 장치'라 함, 100)는, 초전도 코일부(110), 전기자 코일부(120), 전원 인가부(130), 손실 측정부(140)를 포함한다.

[0055] 초전도 코일부(110)는 극저온 용기(114)에 위치하는 초전도 코일(112)과, 상기 초전도 코일(112)의 온도를 측정하는 온도 센서(116)와, 상기 초전도 코일(112)을 지지하는 코일 지지부(118)를 포함할 수 있다.

[0056] 각 극저온 용기(114)에 각각의 초전도 코일(112)이 위치한다. 초전도 코일(112)은 회전기의 계자 역할을 하며, 자기장을 생성한다.

[0057] 도면에는 도시하지 않았으나, 초전도 코일(112)이 위치한 극저온 용기(114)의 내부가 진공이 되도록 진공 챔버(미도시)가 연결될 수 있다. 내부를 진공으로 하여 대류와 복사에 의한 열 전달을 차단하며, 냉각 효율을 최대화 하기 위하여 극저온 용기(114) 내부의 진공도를 10^{-5} torr 이하로 유지하는 것이 바람직하다.

[0058] 이때, 초전도 코일부(110)는 극저온 용기(112)가 3개 이상일 수 있다. 이에, 3개 이상의 초전도 코일(112)을 이용하여 교류 손실을 측정할 수 있다. 이는 코일 상호 간 전자기장 및 전자기적 힘을 확인하기 위함이다.

[0059] 도 4를 참조하면, 3개의 코일 중 중앙에 위치하는 코일을 이용하여 교류 손실을 측정할 수 있다. 이를 위해, 3개의 극저온 용기(114) 중, 중앙의 극저온 용기(114)에 위치하는 초전도 코일(112)에만 온도 센서(116)가 연결될 수 있다. 나란히 배치된 3개의 초전도 코일(112) 중, 중앙의 코일은 교류 손실을 측정하기 위한 것이며, 중앙의 양 측에 위치한 초전도 코일(112)은 초전도 회전기와 동일한 상황을 시뮬레이션하기 위한 것이다.

[0060] 전기자 코일부(120)는 초전도 코일(112)에 대응하는 전기자 코일(122)과, 상기 전기자 코일(122)의 일단에 위치하는 자기 차폐층(124)을 포함할 수 있다. 여기에서, 전기자 코일(122)은 구리 코일과 철심으로 구성될 수 있으며, 자기 차폐층(124)은 금속 또는 합금으로 구성될 수 있다.

[0061] 이러한 전기자 코일부(120)는 초전도 회전기 등에 사용되는 전기자의 한 극에 해당하는 부분이며, 임의의 교류 전류를 흘려 주어 초전도 코일(112)이 초전도 회전기 등의 부하 시와 같은 영향을 받도록 한다.

[0062] 전원 인가부(130)는 교류 전류를 인가하는 교류 전원 모듈(132)과, 직류 전류를 인가하는 직류 전원 모듈(134)을 포함할 수 있다.

[0063] 교류 전원 모듈(132)은 직접 초전도 코일(112)에 교류 전류를 인가하여 상기 초전도 코일(112)을 통전시킬 수 있다. 또한, 초전도 코일(112)에 직류 전류의 인가 후, 교류 전원 모듈(132)은 전기자 코일(122)에 교류 전류를

인가할 수 있다.

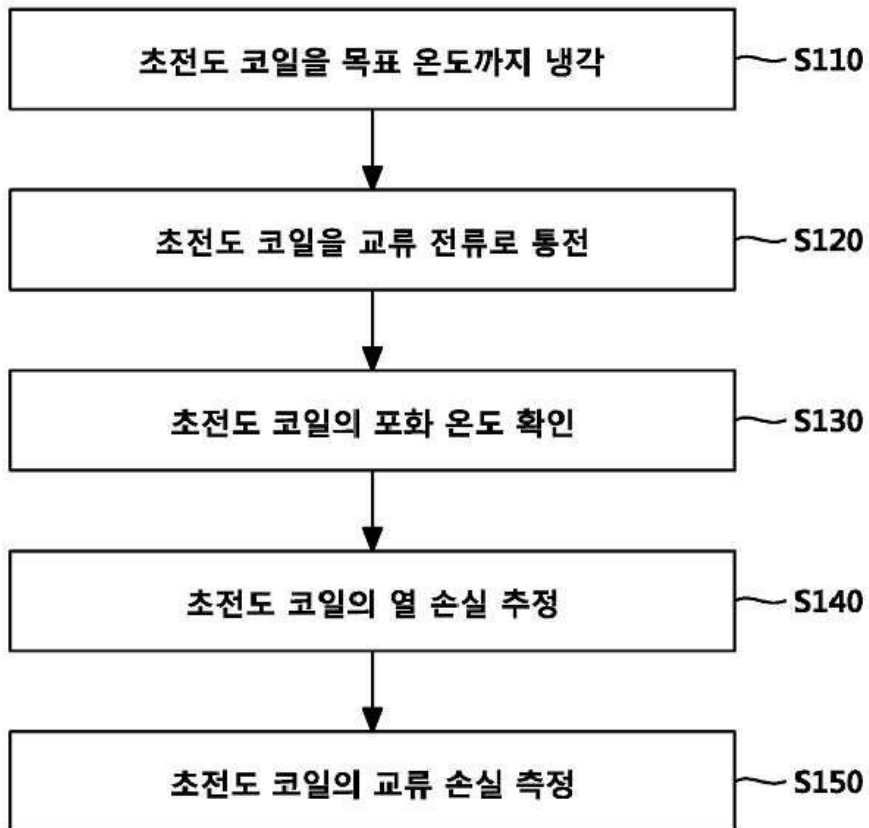
- [0064] 직류 전원 모듈(134)은 초전도 코일(112)에 직류 전류를 인가하여 상기 초전도 코일(112)을 통전시킬 수 있다.
- [0065] 손실 측정부(140)는 제1 교류 손실 또는 제2 교류 손실을 측정할 수 있다.
- [0066] 이때, 제1 교류 손실은 초전도 코일(112)에 교류 전류가 인가된 경우, 상기 초전도 코일(112)의 온도 상승에 따라 발생한다. 또한, 제2 교류 손실은 초전도 코일(112)에 직류 전류가 인가된 후, 전기자 코일(122)에 교류 전류가 인가된 경우, 상기 전기자 코일(122)의 자기장에 따라 발생한다.
- [0067] 보다 구체적으로, 손실 측정부(140)는 극저온 용기(114)에 위치한 초전도 코일(112)을 목표 온도까지 냉각시키고, 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일(112)을 상기 교류 전원 모듈(132)에 의해 교류 전류로 통전시키고, 상기 교류 전류에 의해 상기 초전도 코일(112)이 포화가 되는 포화 온도를 온도 센서(116)를 이용하여 확인하고, 상기 목표 온도 및 포화 온도를 기초로 하여 상기 초전도 코일(112)의 열 손실을 추정하며, 상기 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일(112)의 제1 교류 손실을 측정할 수 있다.
- [0068] 여기에서, 교류 전류에 의해 발생하는 초전도 코일(112)의 열 손실이 제1 교류 손실이 된다. 그러므로, 초전도 코일의 교류 전류 통전 시, 온도 포화가 이루어진 이후 초전도 코일(112)의 발열을 계산하여 정확한 교류 손실 측정이 이루어진다.
- [0069] 또한, 손실 측정부(140)는 극저온 용기(114)에 위치한 초전도 코일(112)을 목표 온도까지 냉각시키고, 상기 목표 온도에서 상기 초전도 코일(112)을 직류 전원 모듈(134)에 의해 직류 전류로 통전시키고, 상기 초전도 코일(112)의 제1 온도를 온도 센서(116)를 이용하여 확인하고, 상기 초전도 코일(112)의 제1 열 손실을 추정한 후, 전기자 코일(122)을 교류 전원 모듈(132)에 의해 교류 전류로 통전시키고, 상기 초전도 코일(112)의 제2 온도를 상기 온도 센서(116)를 이용하여 확인하고, 상기 초전도 코일(112)의 제2 열 손실을 추정하며, 상기 제1 및 제2 열 손실을 기초로 상기 초전도 코일(112)의 상기 제2 교류 손실을 측정할 수 있다.
- [0070] 여기에서, 초전도 코일(112)의 제1 열 손실 및 제2 열 손실의 차가 제2 교류 손실이 된다. 그러므로, 초전도 코일(112)에 외부 자기장이 영향을 미칠 경우, 초전도 코일(112)의 온도 변화에 따른 구간별 열 손실 계산과, 온도 포화 이후 외부 자기장에 대한 코일의 발열을 계산하여 정확한 교류 손실 측정이 이루어진다.
- [0071] 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

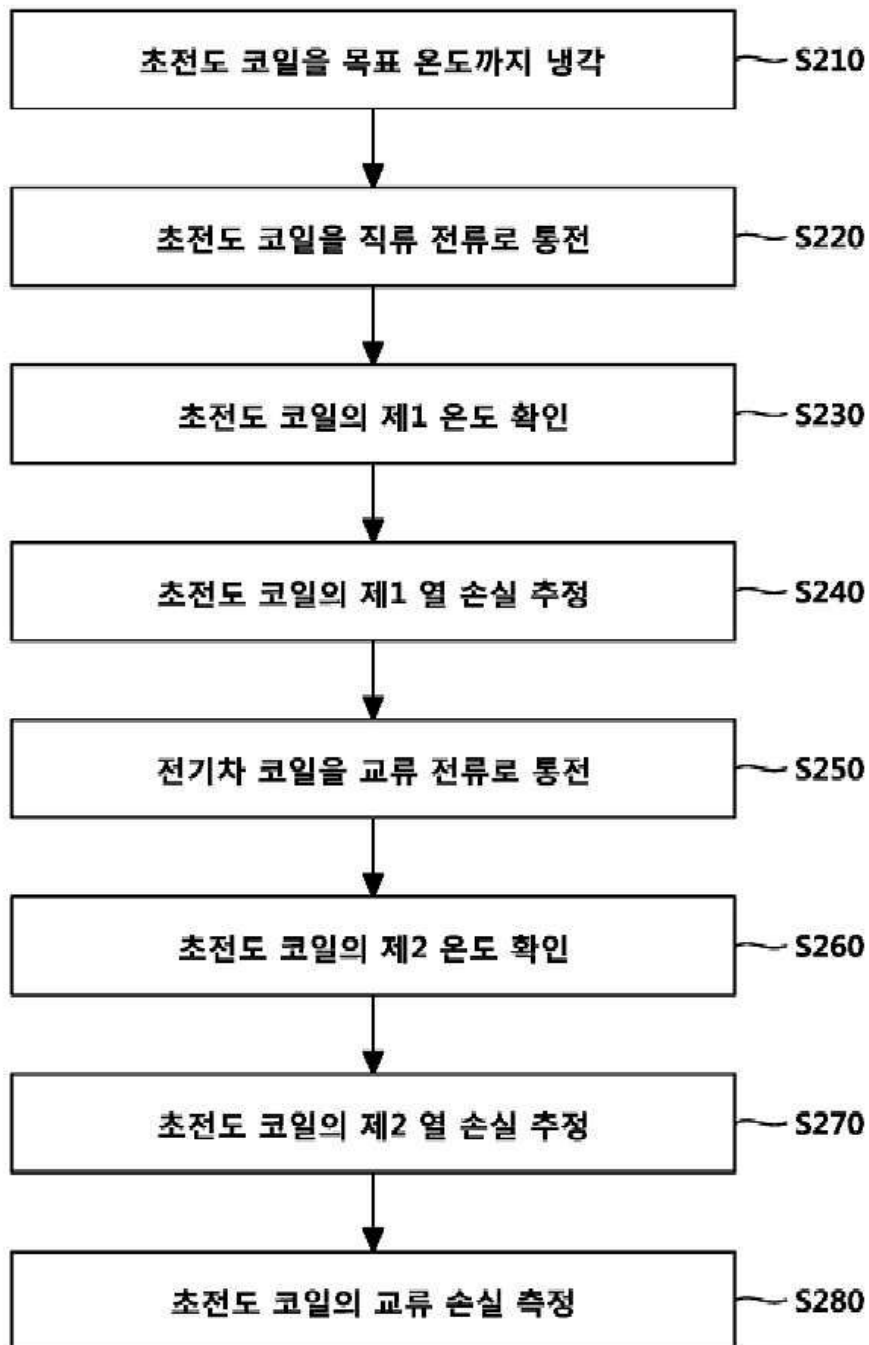
- [0072] 100: 교류 손실 측정 장치
- 110: 초전도 코일부
- 112: 초전도 코일 114: 극저온 용기
- 116: 온도 센서 118: 코일 지지부
- 120: 전기자 코일부
- 122: 전기자 코일 124: 자기 차폐층
- 130: 전원 인가부
- 132: 교류 전원 모듈 134: 직류 전원 모듈
- 140: 손실 측정부

도면

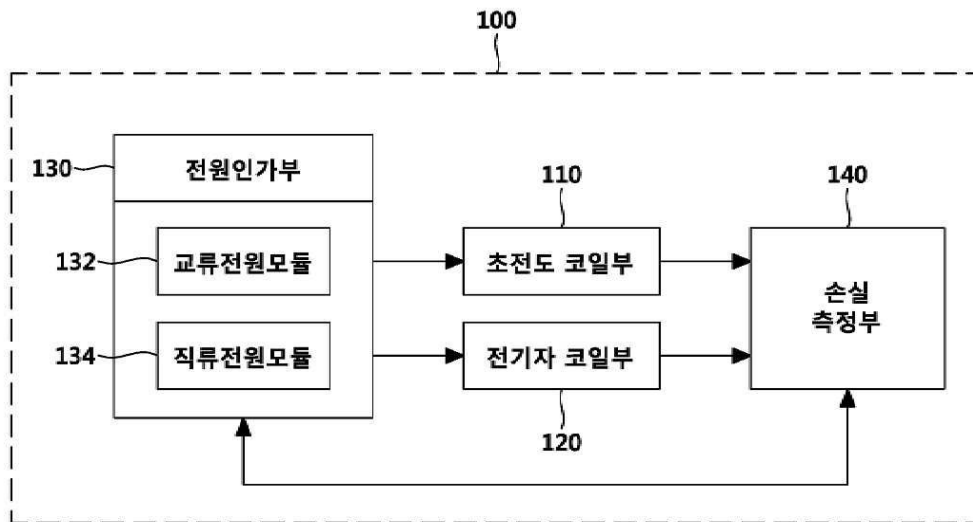
도면1



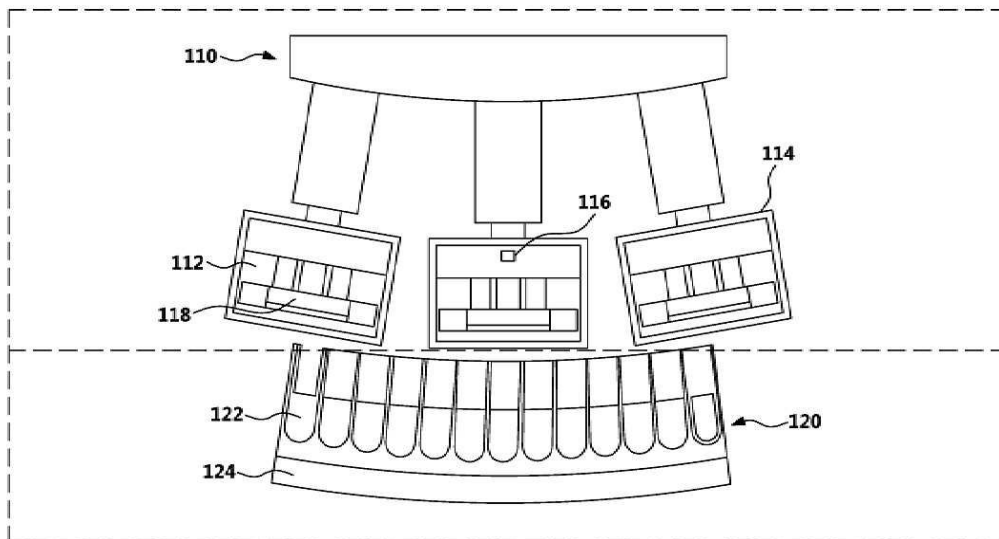
도면2



도면3



도면4



도면5

