



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0103725
(43) 공개일자 2021년08월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01D 5/20 (2006.01) G01L 3/10 (2006.01)
G01R 33/12 (2006.01) G08C 17/02 (2006.01)
H01B 12/14 (2006.01) H01B 12/16 (2006.01)
H01F 6/06 (2006.01) H02K 55/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01D 5/2046 (2013.01)
G01L 3/105 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0018255

(22) 출원일자 2020년02월14일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

한국전력공사

전라남도 나주시 전력로 55(빛가람동)

창원대학교 산학협력단

경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20(퇴촌동)

(72) 발명자

박민원

경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20 창원대학교

성해진

경상남도 창원시 의창구 창원대학로 20 창원대학교

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

한양특허법인

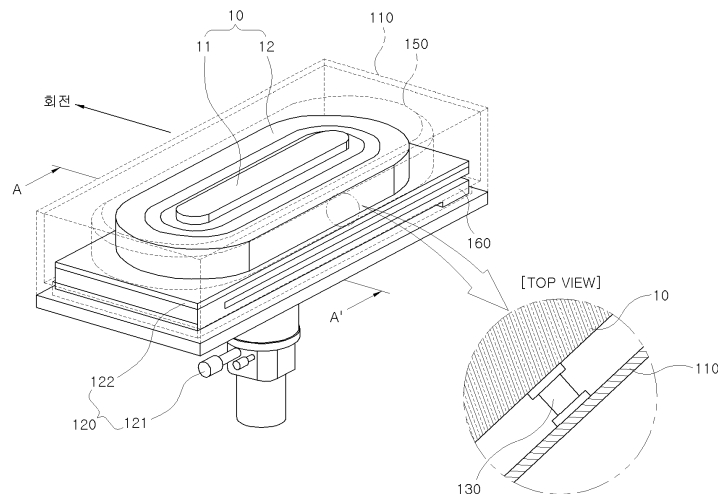
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 초전도코일의 토크 측정 장치, 이의 제어 방법 및 이를 이용한 초전도 회전기

(57) 요약

본 발명은 초전도코일의 토크 측정 장치, 이의 제어 방법 및 이를 이용한 초전도 회전기에 관한 것으로, 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치는, 초전도코일의 극저온 환경을 모뎀 구조로 형성하기 위한 크라이오스탯(cryostat); 상기 초전도코일의 동작온도를 기반으로 상기 크라이오스탯의 내부 공간을 냉각하기 위한 크라이오스탯 냉각부; 로터 회전에 의해 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하기 위한 로드셀; 및 상기 로드셀에 의해 측정된 힘의 세기를 이용하여 상기 초전도코일의 토크를 측정하기 위한 제어부;를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01R 33/12 (2021.05)

G08C 17/02 (2013.01)

H01B 12/14 (2013.01)

H01B 12/16 (2013.01)

H01F 6/06 (2013.01)

H02K 55/00 (2013.01)

(72) 발명자

고병수

경상남도 창원시 의창구 창원대학교로 20 창원대학교

남기동

경상남도 창원시 의창구 창원대학교로 20 창원대학교

김창현

경상남도 창원시 의창구 창원대학교로 20 창원대학교

명세서

청구범위

청구항 1

초전도코일(10)의 극저온 환경을 모듈 구조로 형성하기 위한 크라이오스탯(cryostat)(110);

상기 초전도코일의 동작온도를 기반으로 상기 크라이오스탯의 내부 공간을 냉각하기 위한 크라이오스탯 냉각부(120);

로터 회전에 의해 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하기 위한 로드셀(130); 및

상기 로드셀에 의해 측정된 힘의 세기를 이용하여 상기 초전도코일의 토크를 측정하기 위한 제어부(140);

를 포함하는 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 크라이오스탯은,

상기 초전도코일을 개별적으로 내부에 수납하는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 대류 및 복사에 의한 열전달을 차단시키기 위해 상기 크라이오스탯과 상기 초전도코일 사이에 열차단층을 형성하는 제1 적층 단열재(150);

를 더 포함하는 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 크라이오스탯은,

상기 초전도코일의 동작온도에 해당하는 20~40K의 내부 온도가 설정되고, 내부 진공도가 10^{-5} [torr] 이하로 유지되는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 크라이오스탯 냉각부는,

극저온 환경을 형성하기 위한 냉매를 공급하는 냉매 공급부(121); 및

상기 냉매를 공급받아 상기 초전도코일을 냉각시키는 냉각 플레이트(122);

를 포함하는 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 로드셀은,

상기 초전도코일과 상기 로터에 대응하는 스테이터에 장착되는 전기자코일이 쇠교하여 상기 로터 회전과 반대 방향으로 상기 초전도코일에 작용하는 전자기력과 그에 따른 변위에 의한 힘의 세기를 측정하는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 로드셀은,

상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 최저 동작온도를 보장하기 위해 열선을 이용한 히터(131); 및

상기 히터를 감싸 상기 히터에 의해 발생하는 열전달을 차단하기 위한 제2 적층 단열재(132);

를 포함하는 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 로드셀은,

상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 상기 초전도코일의 직선부와 상기 크라이오스탯의 내측면 사이에 설치하되,

상기 초전도코일에 맞는 일단에 설치하는 제1 온도센서(133)와 상기 크라이오스탯에 맞는 타단에 설치하는 제2 온도센서(134)를 포함하며,

상기 제1 온도센서와 상기 제2 온도센서의 센싱값 평균을 온도 측정값으로 판단하는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 제어부는,

수학적 $\text{토크} = (\text{로터의 반지름}) \times (\text{힘의 세기}) \times (\text{초전도코일의 극수})$ 에 상기 로드셀에 의해 측정된 힘의 세기를 적용하여 상기 초전도 코일에 발생하는 토크를 환산하는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기 또는 토크 정보를 통신부를 통해 외부 모니터링 서버에 전송하는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 온도 측정값을 확인하여 상기 로드셀의 운전온도 보다 낮을 경우, 상기 히터를 제어하여 상기 로드셀의 운전온도를 기준으로 미리 정해진 오차범위 이내의 온도까지 가열하는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 로드셀의 운전온도는, 최저 동작온도가 77K인 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 13

제 5 항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 초전도코일과 상기 로드셀의 접촉으로 인한 열부하를 고려하여 상기 냉매 공급부를 제어함에 따라, 상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 극저온 환경을 유지되게 하는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치.

청구항 14

초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법에 있어서,

(a) 크라이오스탯의 내부 공간에서 초전도코일의 직선부와 상기 크라이오스탯의 내측면 사이에 설치하는 로드셀의 온도 측정값을 확인하는 단계;

(b) 상기 온도 측정값과 상기 로드셀의 운전온도를 비교하는 단계;

(c) 상기 온도 측정값과 상기 로드셀의 운전온도의 비교 결과에 따라 상기 로드셀을 통해 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하는 단계; 및

(d) 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 이용하여 상기 초전도코일에 발생하는 토크를 측정하는 단계;

를 포함하는 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 (c) 단계는,

상기 온도 측정값이 상기 로드셀의 운전온도 보다 높을 경우에 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하는 것인 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 (b) 단계 이후에, 상기 온도 측정값이 상기 로드셀의 운전온도 보다 낮을 경우에 히터를 제어하여 상기 로드셀을 가열하는 단계;

를 더 포함하는 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법.

청구항 17

제 14 항에 있어서,

상기 (a) 단계 이전에, 상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 극저온 환경을 유지시키기 위해 냉매 공급 제어를 통해 상기 크라이오스탯의 내부 온도를 상기 초전도코일의 운전온도로 도달시키는 단계;

를 더 포함하는 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법.

청구항 18

회전축에 일체로 형성하여 함께 회전하는 원 형상의 로터 하우징에 다수 개의 초전도코일(10)을 장착하는 로터; 및 상기 초전도코일에 대향하여 쇄교하는 전기자코일을 장착하는 스테이터;를 포함하고,

상기 다수 개의 초전도코일 각각에 대한 기계적인 특성을 확인하기 위한 토크 측정 장치;를 더 포함하되,

상기 토크 측정 장치는,

상기 초전도코일의 극저온 환경을 모듈 구조로 형성하기 위한 크라이오스탯;

상기 초전도코일의 동작온도를 기반으로 상기 크라이오스탯의 내부 공간을 냉각하기 위한 크라이오스탯 냉각부;

상기 로터 회전에 의해 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하기 위한 로드셀; 및

상기 로드셀에 의해 측정된 힘의 세기를 이용하여 상기 초전도코일의 토크를 측정하기 위한 제어부;

를 포함하는 초전도 회전기.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 토크 측정 장치는,

상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 대류 및 복사에 의한 열전달을 차단시키기 위해 상기 크라이오스탯과 상기 초전도코일 사이에 열차단층을 형성하는 제1 적층 단열재;를 포함하는 초전도 회전기.

청구항 20

제 18 항에 있어서,

상기 로드셀은,

상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 최저 동작온도를 보장하기 위해 열선을 이용한 히터; 및

상기 히터를 감싸 상기 히터에 의해 발생하는 열전달을 차단하기 위한 제2 적층 단열재;

를 포함하는 초전도 회전기.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 로드셀은,

상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 상기 초전도코일의 직선부와 상기 크라이오스탯의 내측면 사이에 설치하되,
상기 초전도코일에 맞는 일단에 설치하는 제1 온도센서(133)와 상기 크라이오스탯에 맞는 타단에 설치하는 제2 온도센서(134)를 포함하며,
상기 제1 온도센서와 상기 제2 온도센서의 센스값 평균을 온도 측정값으로 판단하는 것인 초전도 회전기.

청구항 22

제 18 항에 있어서,
상기 제어부는,

수학적 $\text{토크} = (\text{로터의 반지름}) \times (\text{힘의 세기}) \times (\text{초전도코일의 극수})$ 에 상기 로드셀에 의해 측정된 힘의 세기를 적용하여 상기 초전도 코일에 발생하는 토크를 환산하는 것인 초전도 회전기.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 초전도코일의 토크 측정 장치, 이의 제어 방법 및 이를 이용한 초전도 회전기에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 로터 회전에 의해 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 이용하여 초전도코일에 발생하는 토크를 측정함으로써 초전도코일의 기계적인 특성을 확인하기 위한, 초전도코일의 토크 측정 장치, 이의 제어 방법 및 이를 이용한 초전도 회전기에 관한 것이다.
- [0002] 또한, 본 발명은 크라이오스탯의 극저온 환경에서 초전도코일의 운전온도(20~40K)와 로드셀의 운전온도(77K) 차이로 인해 로드셀의 파손을 방지함으로써 크라이오스탯의 내부 공간에서도 로드셀을 통해 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 정확하게 측정하기 위한, 초전도코일의 토크 측정 장치, 이의 제어 방법 및 이를 이용한 초전도 회전기에 관한 것이다.

배경 기술

- [0004] 초전도체는 극저온에서 전기적 저항이 '0'(zero)이 되는 소자이다. 이는 기존의 구리(cu)와 비교했을 때 고자장, 저손실, 그리고 소형화라는 이점을 제공하기 때문에, 이미 다양한 응용 분야에 활용되고 있다.
- [0005] 초전도 코일(superconducting coil)은 초전도체를 이용하여 만든 코일이다. 이러한 초전도 코일은 MRI, 입자가속기, 자기분리장치 등에 사용되어 효율과 성능을 향상시킨다. 또한 전력 케이블과 초전도 변압기, 초전도 모터 등과 같이 산업 전반에 걸쳐 그 응용기술이 지속적으로 연구되고 있다.
- [0006] 초전도 코일을 이용한 초전도 회전기는 점차 대형화되어 가고 있다. 초전도 코일도 대형화되면서 고자장 특성을 가지면서 초전도 특성으로 인해 일반 구리 코일과 비교하여 큰 전류밀도를 가지게 된다.
- [0007] 이와 같이, 초전도 회전기는 고자장과 고폭크를 요구하는 대형 풍력발전기나 선박추진용 모터 등에 적용할 수 있다.
- [0008] 일반적인 회전기는 회전자(계자)에 토크 미터를 적용하여 어느 정도의 토크가 발생하는지를 측정할 뿐, 코일이나 영구자석에 대한 기계적 안정성을 고려할 필요가 없다.
- [0009] 하지만, 초전도 회전기는 초전도 코일의 특성상 기계적으로 취약하므로 초전도코일 각각에 대한 기계적인 특성을 확인할 필요가 있다.
- [0010] 그런데, 초전도 회전기는 대형일 경우 저속 고폭크의 특성상 소형 회전기와 같이 토크 미터를 적용하기 곤란하다.
- [0011] 또한, 이러한 초전도 회전기는 육상 대형 회전기의 토크 계산에 적용하는 감속법(retardation method)을 통해

관성모멘트를 구할 경우, 회전수를 정격의 130% 까지 상승시키거나 발전기로 운전하는 동기기를 전동기로 운전하는 초전도 발전기에 적용시켜 토크를 확인하기도 쉽지 않다. 이는 진공과 냉각을 유지시키기 까다롭기 때문이다.

[0012] 그리고, 초전도 회전기는 MW급으로 용량이 커질수록 로터의 지름이 증가함에 따라 관성모멘트가 증가하여 토크 제어기의 응답속도가 느려지는 한계가 있다. 특히, 풍력발전기는 정격 풍속 이하에서의 토크 제어가 매우 중요하다. 이는 토크 제어를 통해 풍력발전기의 최대 출력을 추정해야 하기 때문이다.

[0013] 따라서, 초전도 회전기는 초전도 코일 각각이 받는 힘을 측정하여 토크를 계산하는 방안이 마련될 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0015] (특허문헌 0001) 일본 등록특허공보 제5165614호 (2012.12.28 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명의 목적은 로터 회전에 의해 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 이용하여 초전도코일에 발생하는 토크를 측정함으로써 초전도코일의 기계적인 특성을 확인하기 위한, 초전도코일의 토크 측정 장치, 이의 제어 방법 및 이를 이용한 초전도 회전기를 제공하는데 있다.

[0017] 또한, 본 발명의 다른 목적은 크라이오스탯의 극저온 환경에서 초전도코일의 운전온도(20~40K)와 로드셀의 운전온도(77K) 차이로 인해 로드셀의 파손을 방지함으로써 크라이오스탯의 내부 공간에서도 로드셀을 통해 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 정확하게 측정하기 위한, 초전도코일의 토크 측정 장치, 이의 제어 방법 및 이를 이용한 초전도 회전기를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0019] 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치는, 초전도코일(10)의 극저온 환경을 모듈 구조로 형성하기 위한 크라이오스탯(cryostat)(110); 상기 초전도코일의 동작온도를 기반으로 상기 크라이오스탯의 내부 공간을 냉각하기 위한 크라이오스탯 냉각부(120); 로터 회전에 의해 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하기 위한 로드셀(130); 및 상기 로드셀에 의해 측정된 힘의 세기를 이용하여 상기 초전도코일의 토크를 측정하기 위한 제어부(140);를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 크라이오스탯은, 상기 초전도코일을 개별적으로 내부에 수납하는 것일 수 있다.

[0021] 실시예에 따르면, 상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 대류 및 복사에 의한 열전달을 차단시키기 위해 상기 크라이오스탯과 상기 초전도코일 사이에 열차단층을 형성하는 제1 적층 단열재(150);를 더 포함할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 크라이오스탯은, 상기 초전도코일의 동작온도에 적합한 20~40K의 내부 온도가 설정되고, 내부 진공도가 10^{-5} [torr] 이하로 유지되는 것일 수 있다.

[0023] 상기 크라이오스탯 냉각부는, 극저온 환경을 형성하기 위한 냉매를 공급하는 냉매 공급부(121); 및 상기 냉매를 공급받아 상기 초전도코일을 냉각시키는 냉각 플레이트(122);를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 로드셀은, 상기 초전도코일과 상기 로터에 대응하는 스테이터에 장착되는 전기자코일이 쇠교하여 상기 로터 회전과 반대 방향으로 상기 초전도코일에 작용하는 전자기력과 그에 따른 변위에 의한 힘의 세기를 측정하는 것일 수 있다.

[0025] 상기 로드셀은, 상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 최저 동작온도를 보장하기 위해 열선을 이용한 히터(131); 및 상기 히터를 감싸 상기 히터에 의해 발생하는 열전달을 차단하기 위한 제2 적층 단열재(132);를 포함할 수

있다.

- [0026] 상기 로드셀은, 상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 상기 초전도코일의 직선부와 상기 크라이오스탯의 내측면 사이에 설치되되, 상기 초전도코일에 맞닿는 일단에 설치하는 제1 온도센서(133)와 상기 크라이오스탯에 맞닿는 타단에 설치하는 제2 온도센서(134)를 포함하며, 상기 제1 온도센서와 상기 제2 온도센서의 센싱값 평균을 온도 측정값으로 판단하는 것일 수 있다.
- [0027] 상기 제어부는, 수학적 $\text{토크} = (\text{로터의 반지름}) \times (\text{힘의 세기}) \times (\text{초전도코일의 극수})$ 에 상기 로드셀에 의해 측정된 힘의 세기를 적용하여 상기 초전도 코일에 발생하는 토크를 환산하는 것일 수 있다.
- [0028] 상기 제어부는, 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기 또는 토크 정보를 통신부를 통해 외부 모니터링 서버에 전송하는 것일 수 있다.
- [0029] 상기 제어부는, 상기 온도 측정값을 확인하여 상기 로드셀의 운전온도 보다 낮을 경우, 상기 히터를 제어하여 상기 로드셀의 운전온도를 기준으로 미리 정해진 오차범위 이내의 온도까지 가열하는 것일 수 있다.
- [0030] 상기 로드셀의 운전온도는, 최저 동작온도가 77K인 것일 수 있다.
- [0031] 상기 제어부는, 상기 초전도코일과 상기 로드셀의 접촉으로 인한 열부하를 고려하여 상기 냉매 공급부를 제어함에 따라, 상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 극저온 환경을 유지되게 하는 것일 수 있다.
- [0033] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법은, 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법에 있어서, (a) 크라이오스탯의 내부 공간에서 초전도코일의 직선부와 상기 크라이오스탯의 내측면 사이에 설치하는 로드셀의 온도 측정값을 확인하는 단계; (b) 상기 온도 측정값과 상기 로드셀의 운전온도를 비교하는 단계; (c) 상기 온도 측정값과 상기 로드셀의 운전온도의 비교 결과에 따라 상기 로드셀을 통해 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하는 단계; 및 (d) 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 이용하여 상기 초전도코일에 발생하는 토크를 측정하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0034] 상기 (c) 단계는, 상기 온도 측정값이 상기 로드셀의 운전온도 보다 높을 경우에 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하는 것일 수 있다.
- [0035] 실시예에 따르면, 상기 (b) 단계 이후에, 상기 온도 측정값이 상기 로드셀의 운전온도 보다 낮을 경우에 히터를 제어하여 상기 로드셀을 가열하는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0036] 실시예에 따르면, 상기 (a) 단계 이전에, 상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 극저온 환경을 유지시키기 위해 냉매 공급 제어를 통해 상기 크라이오스탯의 내부 온도를 상기 초전도코일의 운전온도로 도달시키는 단계;를 더 포함할 수 있다.
- [0038] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 초전도 회전기는, 회전축에 일체로 형성하여 함께 회전하는 원 형상의 로터 하우징에 다수 개의 초전도코일(10)을 장착하는 로터; 및 상기 초전도코일에 대향하여 채교하는 전자기코일을 장착하는 스테이터;를 포함하고, 상기 다수 개의 초전도코일 각각에 대한 기계적인 특성을 확인하기 위한 토크 측정 장치;를 더 포함하되, 상기 토크 측정 장치는, 상기 초전도코일의 극저온 환경을 모듈 구조로 형성하기 위한 크라이오스탯; 상기 초전도코일의 동작온도를 기반으로 상기 크라이오스탯의 내부 공간을 냉각하기 위한 크라이오스탯 냉각부; 상기 로터 회전에 의해 상기 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 측정하기 위한 로드셀; 및 상기 로드셀에 의해 측정된 힘의 세기를 이용하여 상기 초전도코일의 토크를 측정하기 위한 제어부;를 포함할 수 있다.
- [0039] 상기 토크 측정 장치는, 상기 크라이오스탯의 내부 공간에서 대류 및 복사에 의한 열전달을 차단시키기 위해 상기 크라이오스탯과 상기 초전도코일 사이에 열차단층을 형성하는 제1 적층 단열재;를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0041] 본 발명은 로터 회전에 의해 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 이용하여 초전도코일에 발생하는 토크를 측정

함으로써 초전도코일의 기계적인 특성을 확인할 수 있다.

- [0042] 또한, 본 발명은 크라이오스탯의 극저온 환경에서 초전도코일의 운전온도(20~40K)와 로드셀의 운전온도(77K) 차이로 인해 로드셀의 파손을 방지함으로써 크라이오스탯의 내부 공간에서도 로드셀을 통해 초전도코일에 작용하는 힘의 세기를 정확하게 측정할 수 있다.
- [0043] 또한, 본 발명은 초전도 응용 기기를 제작함에 있어서 초전도코일이 받는 힘에 대한 영향 평가를 수행할 수 있다.
- [0044] 또한, 본 발명은 극저온 환경에 존재하는 초전도코일에 대한 전자기력과 토크를 용이하게 측정할 수 있다.
- [0045] 또한, 본 발명은 초전도 회전기 단락시험, 정격속도 이상에서의 과도한 측정법이 아닌 용량에 맞는 정격 운전 조건에서의 초전도코일의 토크를 측정할 수 있다.
- [0046] 또한, 본 발명은 초전도코일에서 발생하는 직접적인 손실 및 효율을 계산할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0048] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 초전도 회전기를 나타낸 도면,
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치를 나타낸 도면,
- 도 3은 도 2의 토크 측정 장치의 A-A' 단면을 나타낸 도면,
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0049] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 다만, 하기의 설명 및 첨부된 도면에서 본 발명의 요지를 흐릴 수 있는 공지 기능 또는 구성에 대한 상세한 설명은 생략한다. 또한, 도면 전체에 걸쳐 동일한 구성 요소들은 가능한 한 동일한 도면 부호로 나타내고 있음에 유의하여야 한다.
- [0050] 이하에서 설명되는 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위한 용어로 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0051] 따라서 본 명세서에 기재된 실시 예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시 예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0052] 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시되었으며, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다. 본 발명은 첨부한 도면에 그려진 상대적인 크기나 간격에 의해 제한되어지지 않는다.
- [0053] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다. 또한, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0054] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0055] 또한, 명세서에서 사용되는 "부"라는 용어는 소프트웨어, FPGA 또는 ASIC과 같은 하드웨어 구성요소를 의미하며, "부"는 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 "부"는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. "부"는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다. 따라서, 일 예로서 "부"는 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들,

서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로 코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 "부"들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수의 구성요소들 및 "부"들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 "부"들로 더 분리될 수 있다.

- [0056] 아래에서는 첨부한 도면을 참고하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.
- [0057] 공간적으로 상대적인 용어인 "아래(below)", "아래(beneath)", "하부(lower)", "위(above)", "상부(upper)" 등은 도면에 도시되어 있는 바와 같이 하나의 구성 요소와 다른 구성 요소들과의 상관관계를 용이하게 기술하기 위해 사용될 수 있다. 공간적으로 상대적인 용어는 도면에 도시되어 있는 방향에 더하여 사용시 또는 동작시 구성요소들의 서로 다른 방향을 포함하는 용어로 이해되어야 한다. 예를 들면, 도면에 도시되어 있는 구성요소를 뒤집을 경우, 다른 구성요소의 "아래(below)" 또는 "아래(beneath)"로 기술된 구성요소는 다른 구성요소의 "위(above)"에 놓여질 수 있다. 따라서, 예시적인 용어인 "아래"는 아래와 위의 방향을 모두 포함할 수 있다. 구성요소는 다른 방향으로도 배향될 수 있고, 이에 따라 공간적으로 상대적인 용어들은 배향에 따라 해석될 수 있다.
- [0058] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다.
- [0059] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 초전도 회전기를 나타낸 도면이고, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치를 나타낸 도면이며, 도 3은 도 2의 토크 측정 장치의 A-A' 단면을 나타낸 도면이다.
- [0060] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 초전도 회전기(1)는, 회전축(2)에 일체로 형성하여 함께 회전하는 원 형상의 로터 하우징(3)에 다수 개의 초전도코일(superconducting coil)(10)을 장착하는 로터(rotor), 초전도코일(10)에 대향하여 채교하는 전기자코일(20)을 장착하는 스테이터(stator)를 포함한다.
- [0061] 여기서, 초전도코일(10)은 직선부와 곡선부가 형성된 레이스트랙형 보빈(11)에 초전도선재(12)가 권선된 계좌코일로서, 주 동작에 필요한 주 자속을 만들어 내는 권선 부분이고, 전기자코일(20)은 슬롯에 코일이 권선된 형태로서, 자속을 끊으며 기전력이 유도되는 권선 부분이다.
- [0062] 여기서, 로터는 다수 개의 초전도코일(10) 각각에 대한 기계적인 특성을 확인하기 위해 도 2 및 도 3에 도시된 초전도코일의 토크 측정 장치를 포함한다.
- [0063] 이러한 초전도 회전기(1)는 풍력발전기에 적용할 수 있다. 즉, 풍력발전기는 토크 제어를 통해 최대 출력을 추정해야 하므로, 정격 풍속 이하로 토크를 제어하는 것이 매우 중요하다.
- [0064] 하나의 초전도코일(10)은 초전도 회전기(1)에서 하나의 극(pole)으로 기능한다. 그래서, 토크 측정 장치는 초전도코일(10) 각각의 간격이 존재하므로 로드셀(130)를 이용하여 초전도코일(10)이 받는 힘을 측정하여 토크를 도출할 수 있다.
- [0065] 참고로, 영구자석 회전기는 영구자석이 로터에 삽입되는 형태가 되므로 로드셀(130)를 이용하여 하나의 극이 받는 힘을 측정하여 토크를 도출하기 용이하지 않다.
- [0066] 이하, 도 2 및 도 3을 참조하여 초전도코일의 토크 측정 장치에 대해 구체적으로 살펴보기로 한다.
- [0067] 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치는 초전도코일(10)의 극저온 환경을 모듈 구조로 형성하기 위한 크라이오스탯(cryostat)(110), 초전도코일(10)의 동작온도를 기반으로 크라이오스탯(110)의 내부 공간을 냉각하기 위한 크라이오스탯 냉각부(120), 로터 회전에 의해 초전도코일(10)과 전기자코일(20)이 채교하여 로터 회전과 반대 방향으로 작용하는 힘의 세기를 측정하기 위한 로드셀(130), 로드셀(130)에 의해 측정된 힘의 세기를 이용하여 초전도코일(10)의 토크를 측정하기 위한 제어부(140)를 포함한다.
- [0068] 구체적으로, 크라이오스탯(110)은 초전도코일(10)의 동작온도로 극저온 환경을 유지한다. 이에, 크라이오스탯(110)은 초전도코일(10)의 동작온도에 해당하는 20~40K의 내부 냉각 온도가 설정된다. 이때, 크라이오스탯(110)은 극저온 환경을 효율적으로 유지시키기 위해 내부에 초전도코일(10)을 개별적으로 수납하는 것이 바람직하다.

- [0069] 또한, 크라이오스탯(110)은 전도 냉각의 효율을 확보하기 위해 내부 진공도가 10^{-5} [torr] 이하로 유지되고, 내부 공간에서 대류 및 복사에 의한 열전달을 차단시켜 냉각 손실을 최소화시키기 위해 제1 적층 단열재(multi layer insulation)(150)가 배치될 수 있다. 도 2에서 TOP VIEW에서 제1 적층 단열재(150)는 도면에 도시하지 않았으나 초전도코일(10)과 크라이오스탯(110) 사이에 배치하여 열차단층을 형성한다.
- [0070] 이러한 크라이오스탯(110)은 초전도 회전기(1)에서 초전도코일(10)을 모듈화시켜 구조적으로 개별 운전을 가능하게 한다.
- [0071] 이러한 초전도코일(10)과 크라이오스탯(110)의 코일 모듈 구조는 개별적인 수리와 교체가 가능한 구조를 제공하고, 초전도코일(10)의 극저온 환경을 구성하기 위해 내부 공간을 축소시키기 때문에 내부 진공 상태를 형성 또는 유지를 용이하게 할 뿐만 아니라 원하는 냉각 온도에 빠르게 도달 또는 유지를 용이하게 할 수 있다.
- [0072] 그리고, 크라이오스탯(110)은 고리 형상인 로터 하우징(3)의 외주면을 따라 복수 개가 설치되고, 각 크라이오스탯(110)은 서로 인접하여 배치된다.
- [0073] 다음으로, 크라이오스탯 냉각부(120)는 극저온 환경을 형성하기 위해 크라이오스탯(110)의 내부 공간을 냉각한다.
- [0074] 이러한 크라이오스탯 냉각부(120)는 극저온 환경을 형성하기 위한 냉매(액체헬륨, 액체질소 등)를 공급하는 냉매 공급부(121), 냉매를 공급받아 초전도코일(10)을 냉각시키는 냉각 플레이트(122)를 포함한다.
- [0075] 여기서, 냉각 플레이트(122)는 냉매 공급부(121)로부터 공급된 냉매가 내부에 형성된 냉매 유로를 통한 흐름을 통해 냉각되고, 다시 냉매 공급부(121)로 재유입하는 냉매 순환 구조를 형성할 수 있다. 이때, 냉매 순환을 통해 냉각된 냉각 플레이트(122)는 전도에 의한 열전달을 통해 초전도코일(10)을 냉각하게 된다.
- [0076] 또한, 제1 적층 단열재(150)는 다층의 복사설프로서, 냉각 플레이트(122)에서 대류나 복사에 의한 열전달을 차단하여 냉각 플레이트(122)가 초전도코일(10)을 냉각할 때 전도에 의한 열전달 효율을 최대한 확보할 수 있게 한다.
- [0077] 그리고, 냉각 플레이트(122)는 크라이오스탯(110)의 하부면 상에 배치되는 지지 플레이트(160)지지 플레이트(160), 초전도코일(10)은 냉각 플레이트(122) 상에 배치된다.
- [0078] 다음으로, 로드셀(130)은 로터 회전에 의해 초전도코일(10)과 전기자코일(20)이 쇠교하여 로터 회전과 반대 방향으로 초전도코일(10)에 작용하는 힘의 세기를 측정한다.
- [0079] 이때, 로터는 초전도코일(10)의 직선부에 직교하는 방향으로 회전하고, 초전도코일(10)에는 로터 회전과 반대 방향으로 토크가 발생하게 된다.
- [0080] 즉, 토크는 로터가 회전하게 되면 초전도코일(10)과 전기자코일(20) 사이의 상호작용으로 발생하게 되고, 로드셀(130)은 초전도코일(10)에 작용하는 전자기력과 그에 따른 변위에 의한 힘의 세기를 측정한다.
- [0081] 그래서, 로드셀(130)은 로터가 회전하는 반대측에 설치하되, 크라이오스탯(110)의 내부 공간에서 초전도코일(10)의 직선부와 크라이오스탯(110)의 내측면 사이에 설치한다.
- [0082] 이러한 로드셀(130)은 외력에 의해 비례적으로 변하는 탄성체와 이를 전기적으로 변경하는 스트레인게이지(straingauge)를 이용하여 구성할 수 있다.
- [0083] 한편, 로드셀(130)은 최저 동작온도가 77K이다. 즉, 로드셀(130)은 초전도코일(10)의 동작온도를 기준으로 크라이오스탯(110)의 내부 냉각 온도(즉, 20~40K)가 설정되므로, 크라이오스탯(110)의 내부 공간에 설치될 경우 초전도코일(10)에 작용하는 힘의 세기를 정확하게 측정하기 곤란할 수 있다.
- [0084] 그래서, 로드셀(130)은 크라이오스탯(110)의 내부 공간에서 최저 동작온도를 보장하기 위해 열선을 이용한 히터(131)를 적용한다.
- [0085] 이때, 로드셀(130)은 히터(131)에 의한 열부하를 최소화시키기 위해, 히터(131)에 의해 발생하는 열전달을 차단하는 제2 적층 단열재(132)를 감싸준다.
- [0086] 또한, 로드셀(130)은 자체 온도를 측정하기 위해 양 끝단에 제1 및 제2 온도센서(133, 134)를 설치하고, 양 끝단의 센싱값 평균을 온도 측정값으로 판단한다. 여기서, 제1 온도센서(133)는 초전도코일(10)에 맞닿는 로드셀(130)의 일단에 배치되고, 제2 온도센서(134)는 크라이오스탯(110)에 맞닿는 로드셀(130)의 타단에 설치된다.

- [0087] 즉, 로드셀(130)은 초전도코일(10)의 전도에 의해서 온도가 낮아지므로 양 끝단에서 온도 차이가 존재한다. 이에, 로드셀(130)의 온도 측정값은 제1 온도센서(133) 뿐만 아니라 제2 온도센서(134)를 통해 얻어진 양 끝단의 센싱값 평균을 로드셀(130)의 온도 측정값으로 정의할 수 있다.
- [0088] 이와 같은 로드셀(130)의 온도 측정값은 로드셀(130)의 가운데 지점의 온도에 해당하는 것으로 볼 수 있다. 부가적으로, 이러한 로드셀(130)의 온도 측정값은 물성에 따라 로드셀(130)의 각 구간별 온도를 보간하여 예측할 수도 있다.
- [0089] 다음으로, 제어부(140)는 로드셀(130)에 의해 측정된 힘의 세기를 이용하여 초전도코일(10)의 토크를 측정한다. 즉, 제어부(140)는 로드셀(130)에 의해 초전도코일(10)에 작용하는 힘의 세기를 이용하여 초전도코일(10)에 발생하는 토크를 환산한다.
- [0090] 토크는 아래 수학적 식 1과 같이 환산된다.

수학적 식 1

- [0091]
$$\text{토크} = (\text{로터의 반지름}) \times (\text{힘의 세기}) \times (\text{초전도코일의 극수})$$
- [0093] 이러한 토크는 로터의 회전수, 출력전압값 및 출력전류값 등이 확인되면 초전도 회전기(1)의 효율을 계산할 때 활용될 수 있다.
- [0094] 아울러, 제어부(140)는 초전도코일(10)에 기계적 안정성을 판단할 수 있는 근거로 초전도코일(10)에 작용하는 힘의 세기 또는 토크를 활용 가능하므로, 통신부(170)를 통해 초전도코일(10)에 작용하는 힘의 세기 또는 토크 정보를 외부 모니터링 서버(미도시)에 전송할 수 있다.
- [0095] 이때, 제어부(140)는 초전도코일(10) 각각에 대한 코일 식별자를 외부 모니터링 서버에 함께 전송함에 따라 기계적 안정성 판단을 위한 초전도코일(10) 각각을 특정할 수 있다.
- [0096] 또한, 제어부(140)는 로드셀(130)의 온도 측정값을 확인하여 로드셀(130)의 운전온도(즉, 77K) 보다 낮을 경우 히터(131)를 제어하여 로드셀(130)의 운전온도를 기준으로 미리 정해진 오차범위 이내의 온도까지 가열한다.
- [0097] 이처럼, 제어부(140)는 우선 초전도코일(10)의 운전온도에 도달한 다음, 로드셀(130)의 온도 측정값을 지속적으로 확인하여 로드셀(130)의 운전온도를 지속적으로 유지시킨다.
- [0098] 그리고, 제어부(140)는 크라이오스탯 냉각부(120)의 냉매 공급부(121)를 제어하여 크라이오스탯(110)의 내부 공간에서 극저온 환경을 유지되게 한다.
- [0099] 여기서, 크라이오스탯(110)의 내부 공간은 진공상태이므로 분자의 대류가 거의 없는 상태이고, 초전도코일(10)과 로드셀(130)은 적층 단열재로 인해 열교환이 거의 없는 상태이다. 즉, 초전도코일(10)은 크라이오스탯(110)의 내부 진공 상태에서, 제1 적층 단열재(150)제1 적층 단열재(150)(132)의 이중 열차단을 통해 로드셀(130)과 대류 또는 복사에 의한 열교환을 기대하기 어렵다.
- [0100] 그런데, 제어부(140)는 초전도코일(10)과 로드셀(130)의 접촉으로 인한 열 부하를 고려하여 냉매 공급부(121)의 냉매 공급을 제어한다.
- [0101] 또한, 제어부(140)는 적하나 이상의 프로세서와 컴퓨터 판독 가능한 명령들을 저장하기 위한 메모리를 포함한다.
- [0102] 이러한 제어부(140)는 적어도 하나의 프로세서에 의해 메모리에 저장된 컴퓨터 판독 가능한 명령들이 실행될 때, 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법을 수행하게 된다.
- [0103] 여기서, 프로세서는 적어도 하나 이상의 프로세서로서, 컨트롤러(controller), 마이크로 컨트롤러(microcontroller), 마이크로 프로세서(microprocessor), 마이크로 컴퓨터(microcomputer) 등으로도 호칭될 수 있다. 그리고, 프로세서는 하드웨어(hardware) 또는 펌웨어(firmware), 소프트웨어, 또는 이들의 결합에 의해 구현될 수 있다.
- [0104] 또한, 메모리는 하나의 저장 장치일 수 있거나, 또는 복수의 저장 엘리먼트의 집합적인 용어일 수 있다. 메모리

에 저장된 컴퓨터 판독 가능한 명령들은 실행가능한 프로그램 코드 또는 파라미터, 데이터 등일 수 있다. 그리고, 메모리는 RAM(Random Access Memory)을 포함할 수 있거나, 또는 자기 디스크 저장장치 또는 플래시(flash) 메모리와 같은 NVRAM(Non-Volatile Memory)을 포함할 수 있다.

- [0105] 이하, 도 4를 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법에 대해 설명하기로 한다.
- [0107] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 초전도코일의 토크 측정 장치의 제어 방법을 나타낸 도면이다.
- [0108] 도 4를 참조하면, 제어부(140)는 크라이오스탯(110)의 내부 공간에서 극저온 환경을 유지시키기 위해 냉매 공급 제어를 통해 크라이오스탯(110)의 내부 온도를 초전도코일(10)의 운전온도로 도달시킨다(S201).
- [0109] 이후, 제어부(140)는 로드셀(130)의 온도 측정값을 확인한 후(S202), 로드셀(130)의 온도 측정값이 로드셀(130)의 운전온도 보다 낮을 경우에 히터(131)를 제어하여 로드셀(130)을 가열한다(S203, S204).
- [0110] 여기서, 로드셀(130)는 로터가 회전하는 반대측에 설치하되, 크라이오스탯(110)의 내부 공간에서 초전도코일(10)의 직선부와 크라이오스탯(110)의 내측면 사이에 설치한다.
- [0111] 반면, 제어부(140)는 로드셀(130)의 온도 측정값이 로드셀(130)의 운전온도 보다 높을 경우에 로드셀(130)을 통해 초전도코일(10)에 작용하는 힘의 세기를 측정한다(S203, S205).
- [0112] 이후, 제어부(140)는 초전도코일(10)에 작용하는 힘의 세기를 이용하여 초전도코일(10)에 발생하는 토크를 측정한다(S206).
- [0113] 일부 실시 예에 의한 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CDROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.
- [0114] 비록 상기 설명이 다양한 실시예들에 적용되는 본 발명의 신규한 특징들에 초점을 맞추어 설명되었지만, 본 기술 분야에 숙달된 기술을 가진 사람은 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서도 상기 설명된 장치 및 방법의 형태 및 세부 사항에서 다양한 삭제, 대체, 및 변경이 가능함을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 상기 설명에서보다는 첨부된 특허청구범위에 의해 정의된다. 특허청구범위의 균등 범위 안의 모든 변형은 본 발명의 범위에 포함된다.

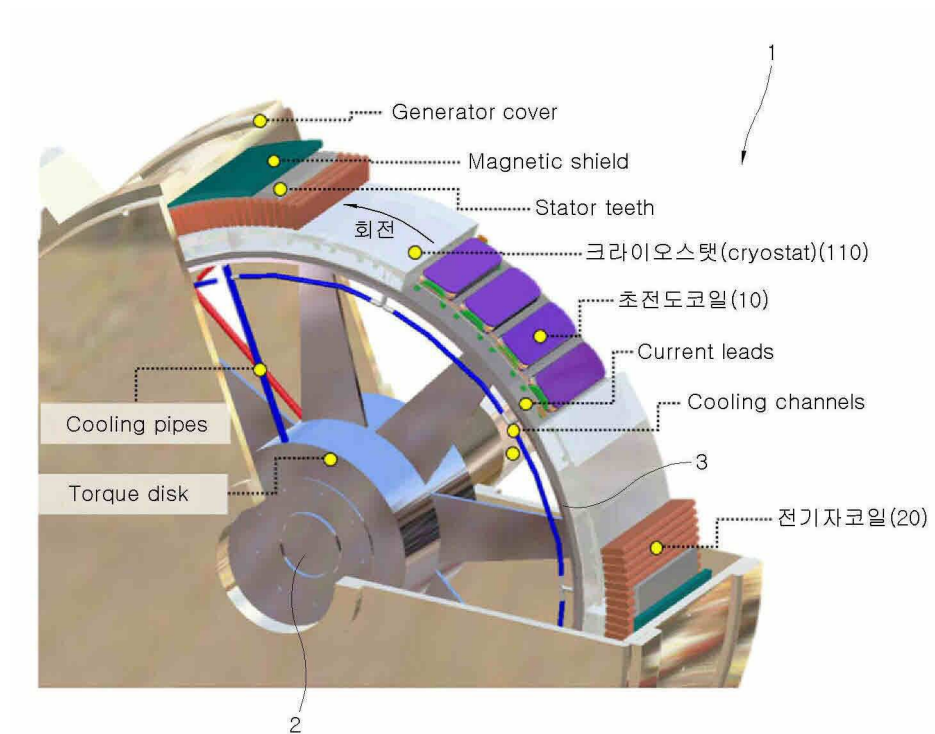
부호의 설명

- [0116] 10 ; 초전도코일 11 ; 보빈
12 ; 초전도선재 20 ; 전기자코일
110 ; 크라이오스탯(cryostat) 120 ; 크라이오스탯 냉각부
121 ; 냉매 공급부 122 ; 냉각 플레이트
130 ; 로드셀 131 ; 히터
132 ; 제2 적층 단열재 133 ; 제1 온도센서
134 ; 제2 온도센서 140 ; 제어부
150 ; 제1 적층 단열재 160 ; 지지 플레이트

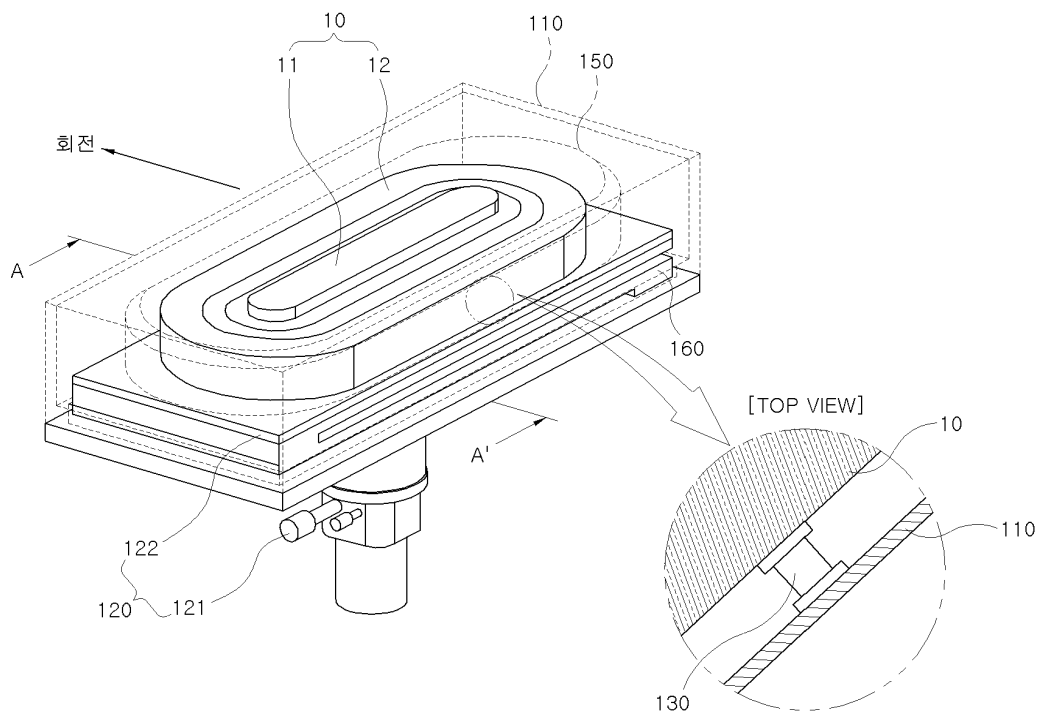
170 ; 통신부

도면

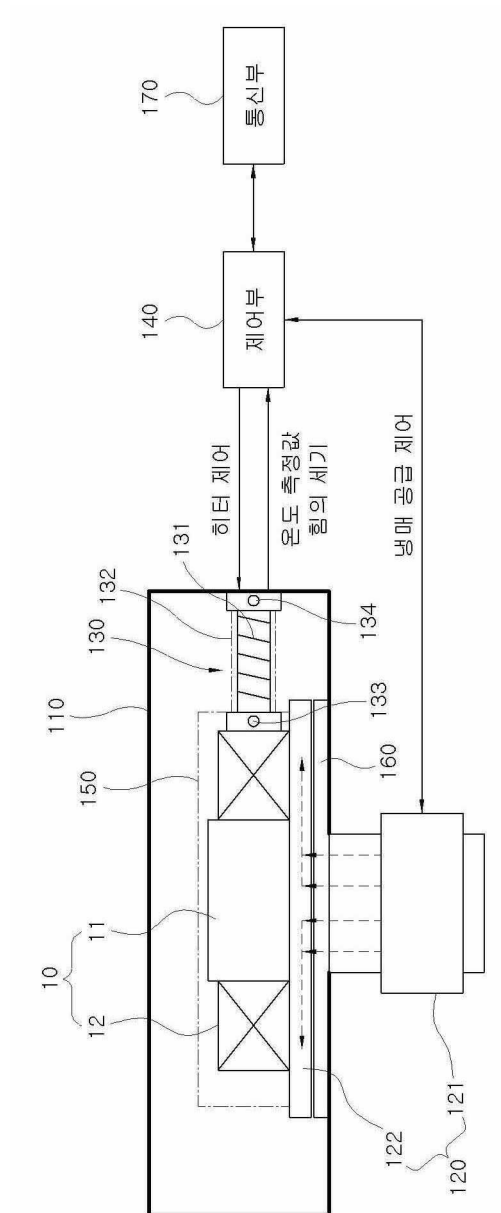
도면1



도면2



도면3



도면4

