

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2017년 1월 5일 (05.01.2017)



(10) 국제공개번호
WO 2017/003127 A1

- (51) 국제특허분류:
H01B 12/00 (2006.01) H01B 13/22 (2006.01)
H01B 1/02 (2006.01) H01B 13/00 (2006.01)
H01B 1/06 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2016/006646
- (22) 국제출원일: 2016년 6월 23일 (23.06.2016)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2015-0092921 2015년 6월 30일 (30.06.2015) KR
10-2015-0127565 2015년 9월 9일 (09.09.2015) KR
- (71) 출원인: 엘에스전선 주식회사 (LS CABLE & SYSTEM LTD.) [KR/KR]; 14119 경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동), Gyeonggi-do (KR).
- (72) 발명자: 나진배 (NA, Jin-Bae); 06514 서울시 서초구 잠원로 157, 120동 107호 (잠원동, 신반포 16차아파트), Seoul (KR). 김영웅 (KIM, Young-Woong); 16369 경기

도 수원시 권선구 임북로 50, 105동 203호 (임북동, 서수원자이아파트), Gyeonggi-do (KR). 최창열 (CHOI, Chang-Youl); 15295 경기도 안산시 상록구 화랑로 527, 1011동 1403호 (성포동, 주공 10단지아파트), Gyeonggi-do (KR). 류철휘 (RYU, Cheol-Hwi); 10077 경기도 김포시 김포한강 11로 38, 109동 603호 (운양동, 모담마을 한강화성파크드림아파트), Gyeonggi-do (KR). 이석주 (LEE, Seok-Ju); 16421 경기도 수원시 장안구 일월로 84, 404호 (천천동), Gyeonggi-do (KR).

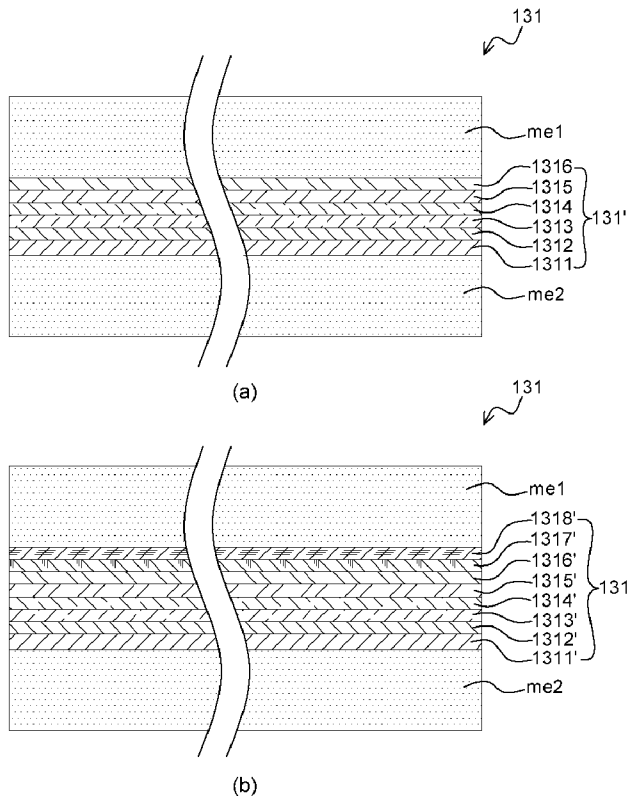
(74) 대리인: 김준현 (KIM, Joon Hyun) 등; 08502 서울시 금천구 가산디지털 1로 196, 에이스테크노타워 10차 607호 퍼스트국제특허법률사무소 (가산동), Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE,

[다음 쪽 계속]

(54) Title: SUPERCONDUCTING WIRE

(54) 발명의 명칭: 초전도 선재



(57) Abstract: The present invention relates to a superconducting wire having improved electrical and physical properties.

(57) 요약서: 본 발명은 전기적 특성 및 물리적 특성이 향상된 초전도 선재에 관한 것이다.



PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) **지정국** (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

- 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

명세서

발명의 명칭: 초전도 선재

기술분야

- [1] 본 발명은 초전도 선재에 관한 것이다. 보다 상세하게, 본 발명은 전기적 특성 및 물리적 특성이 향상된 초전도 선재에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 초전도 선재는 일정한 온도에서 전기저항이 제로에 가까이 수렴하므로, 낮은 전압에서도 큰 전력 전송 능력을 갖는다.
- [3] 이러한 초전도 선재를 구비하는 초전도 케이블은 극저온 환경을 형성 및 유지하고자 질소 등의 냉매를 사용하여 냉각시키는 방법 및/또는 진공층을 형성하는 단열의 방법을 사용한다.
- [4] 종래 소개된 초전도 케이블을 구성하는 초전도 선재들은 초전도 케이블을 제조하기 위하여 포머 등의 외측에 나선형으로 권선된 상태로 드럼 등에 권취되거나, 포설구간에서 초전도 케이블이 밴딩되는 경우 지속적인 텐션 또는 비틀림이 인가될 수 있으며, 이러한 스트레스는 두께가 0.1mm 정도밖에 안되는 초전도 선재의 끊어짐 등의 문제를 발생시킬 수 있다. 특히, 전체 초전도 케이블에서 초전도 선재가 차지하는 비용의 비율이 가장 크므로, 초전도 선재의 내구성 또는 물리적 신뢰성이 요구된다.
- [5] 또한, 초전도 선재는 인장력 또는 비틀림 등의 물리적인 스트레스가 인가되는 상황에서 단지 파손되거나 변형되어서는 안되며, 더 나아가 안정적인 전기적 특성이 보장되어야 한다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [6] 본 발명은 전기적 특성 및 물리적 특성이 향상된 초전도 선재를 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.

과제 해결 수단

- [7] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용된 초전도 선재에 있어서, 77K의 온도, 1 기압, 셀프 필드에서의 임계 전류(DC Ic)는 150A 내지 500A일 수 있다.
- [8] 여기서, 상기 초전도 선재를 직경 35밀리미터(mm)인 롤러 2개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 밴딩 스트레스 인가시의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상일 수 있다.
- [9] 또한, 상기 초전도 선재를 직경 50밀리미터(mm)인 롤러 4개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 더블-밴딩 스트레스 인가시의 임계

전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상일 수 있다.

- [10] 그리고, 상기 초전도 선재는 250MPa 길이방향 인장력 또는 0.2% 신장되는 길이방향 인장력이 인가되는 경우의 인장 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상일 수 있다.

- [11] 또한, 상기 초전도 선재를 길이방향으로 200 밀리미터(mm) 간격으로 비틀린 상태에서의 비틀림 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상일 수 있다.

- [12] 그리고, 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 경우의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상일 수 있다.

- [13] 또한, 상기 초전도 선재는 200 미터(m) 내지 400 미터(m) 단위로 접합되며, 접합부위의 저항은 200nΩ 이하일 수 있다.

- [14] 이 경우, 상기 접합 저항은 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 접합 부위별 접합 저항이 240 nΩ 이하가 되거나, 정상상태의 접합 저항보다 20 퍼센트 이하로 증가될 수 있다.

- [15] 이 경우, 상기 초전도 선재를 30기압의 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상일 수 있다.

- [16] 또한, 상기 임계 전류 이상의 전류에 대한 전압의 기울기는 25 내지 30일 수 있다.

- [17] 또한, 상기 초전도 선재의 교류 손실은 0.4 W/kA*m 이하일 수 있다.

- [18] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용된 초전도 선재에 있어서, 77K의 온도, 1 기압, 셸프 필드에서의 임계 전류(DC Ic)는 150A 내지 500A 이하이며, 상기 초전도 선재를 직경 35밀리미터(mm)인 롤러 2개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 밴딩 스트레스가 인가되는 경우, 상기 초전도 선재를 직경 50밀리미터(mm)인 롤러 4개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 더블-밴딩 스트레스가 인가되는 경우, 상기 초전도 선재에 250MPa 길이방향 인장력 또는 0.2% 신장되는 길이방향 인장력이 인가되는 경우, 상기 초전도 선재를 길이방향으로 200 밀리미터(mm) 간격으로 비튼 경우, 또는 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 경우 또는 상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상을 만족하고, 상기 초전도 선재는 200 미터(m) 내지 400 미터(m) 단위로 접합되며, 접합부위의 저항은 200nΩ 이하이며, 상기 접합 저항은 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 접합

부위별 접합 저항이 $240\text{ n}\Omega$ 이하가 되거나, 평상태의 접합 저항보다 20 퍼센트 이하로 증가되며, 상기 임계 전류 이상의 전류에 대한 전압의 기울기는 25 내지 30이고, 교류 손실은 $0.4\text{ W/kA}\cdot\text{m}$ 이하인 것을 특징으로 하는 초전도 선재를 제공할 수 있다.

[19] 또한, 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용된 초전도 선재에 있어서, 상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 초전도 선재의 부풀어오름이 육안으로 관찰되지 않는 것을 특징으로 하는 초전도 선재를 제공할 수 있다.

[20] 또한, 상기 과제를 해결하기 위하여, 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용된 초전도 선재에 있어서, 77K의 온도, 1 기압, 셸프 필드에서의 임계 전류(DC I_c)는 150A 내지 500A 이하이며, 상기 초전도 선재를 직경 35밀리미터(mm)인 롤러 2개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 밴딩 스트레스가 인가되는 경우, 상기 초전도 선재를 직경 50밀리미터(mm)인 롤러 4개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 더블-밴딩 스트레스가 인가되는 경우, 상기 초전도 선재에 250MPa 길이방향 인장력 또는 0.2% 신장되는 길이방향 인장력이 인가되는 경우, 상기 초전도 선재를 길이방향으로 200 밀리미터(mm) 간격으로 비튼 경우, 또는 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 경우 또는 상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상을 만족하고, 상기 초전도 선재는 200 미터(m) 내지 400 미터(m) 단위로 접합되며, 접합부위의 저항은 $200\text{ n}\Omega$ 이하이며, 상기 접합 저항은 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 접합 부위별 접합 저항이 $240\text{ n}\Omega$ 이하가 되거나, 평상태의 접합 저항보다 20 퍼센트 이하로 증가되며, 상기 임계 전류 이상의 전류에 대한 전압의 기울기는 25 내지 30이고, 교류 손실은 $0.4\text{ W/kA}\cdot\text{m}$ 이하이며, 상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 초전도 선재의 부풀어오름이 육안으로 관찰되지 않는 것을 특징으로 하는 초전도 선재를 제공할 수 있다.

발명의 효과

[21] 본 발명에 따른 초전도 선재는 초전도 케이블의 제조과정 및 포설과정 등에서 초전도 선재에 인가될 수 있는 인장력 또는 비틀림 등의 물리적 스트레스를 견딜

수 있도록 물리적 강성이 보장될 수 있다.

- [22] 또한, 본 발명에 따른 초전도 선재는 물리적 강성이 보장되어 초전도 선재의 파손 등을 방지함과 동시에 물리적 스트레스에 대한 물리적 강성이 보장됨과 동시에 전기적 특성도 함께 보장될 수 있다.

- [23] 또한, 본 발명에 따른 초전도 선재에 의하면, 초전도 케이블의 제조과정, 포설과정 및 운용과정에서 초전도 선재의 물리적 강성이 향상됨과 동시에 전기적 특성도 보장하여, 초전도 선재의 단선 등에 따른 제조비용을 크게 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [24] 도 1은 본 발명에 따른 초전도 선재의 단계별 탈피된 사시도를 도시한다.
 [25] 도 2는 1에 도시된 초전도 케이블의 단면도를 도시한다.
 [26] 도 3은 초전도 케이블에 적용될 수 있는 초전도 선재의 예를 도시한다.
 [27] 도 4은 본 발명에 따른 초전도 선재에 적용될 수 있는 초전도 선재의 몇가지 예들의 단면도를 도시한다.
 [28] 도 5는 본 발명에 따른 초전도 선재의 밴딩 시험을 위한 시험설비를 도시한다.
 [29] 도 6은 초전도 선재에 통전되는 전류에 따른 전압 그래프를 도시한다.
 [30] 도 7은 본 발명에 따른 초전도 선재의 기밀성(Hermeticity) 시험설비를 도시한다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [31] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명된 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록, 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [32] 도 1은 본 발명에 따른 초전도 선재가 적용된 초전도 케이블의 단계별 탈피된 사시도를 도시하며, 도 2는 1에 도시된 초전도 케이블의 단면도를 도시한다.
- [33] 본 발명에 따른 초전도 선재가 적용된 초전도 케이블의 기본 구조를 설명한다.
- [34] 도 1에 도시된 초전도 케이블은 포머(110), 상기 포머(110) 외부를 감싸도록 상기 포머(110)의 길이방향으로 나란히 배치되는 복수 개의 초전도 선재를 포함하는 적어도 1층 이상의 초전도 도체층(130), 상기 초전도 도체층(130)을 감싸는 절연 테이프(140), 상기 절연 테이프(140) 외부를 감싸도록 상기 포머(110)의 길이방향으로 나란히 배치되는 복수 개의 초전도 선재를 포함하여 구성되는 적어도 1층 이상의 초전도 차폐층(180)을 포함하는 코어부(100), 상기 코어부(100)를 냉각하기 위하여, 상기 코어부(100) 외측에 구비되며, 상기 코어부(100)를 냉각하기 위한 액상 냉매의 냉매유로를 구비하는 냉각부(200), 상기 냉각부(200) 외측에 구비되는 내부 금속관(300), 상기 내부 금속관(300)

외측에 구비되며, 단열재(401)가 여러 층으로 감겨진 단열층을 형성하는 단열부(400), 상기 냉각부(200)를 진공 단열시키기 위하여, 상기 단열부(400) 외부의 이격된 위치에 복수 개의 스페이서(560)를 구비하는 진공부(500), 상기 진공부(500) 외측에 구비되는 외부 금속관(600) 및, 상기 외부 금속관(600) 외측에 구비되어 시스층을 형성하는 외부자켓(700)를 포함할 수 있다.

- [35] 순차적으로 초전도 케이블을 구성하는 각각의 구성요소를 검토하면 다음과 같다. 상기 포머(110)는 납작하고 납작하고 긴 초전도 선재를 포머(110) 둘레에 장착하는 장소를 제공함과 동시에 형상을 형성하기 위한 틀로서 역할하고, 사고 전류가 흐르는 경로가 될 수 있다. 상기 포머(110)는 단면 원형의 복수의 구리(Cu) 도체 소선(111)들을 원형으로 압축한 형태를 가질 수 있다.
- [36] 구체적으로, 기본적으로 포머(110)는 둥근 원통형상으로 되었어, 납작하고 긴 초전도 선재를 올리기 위한 틀 역할을 한다. 상기 포머(110)의 직경은 초전도 선재의 폭을 고려하여 초전도 선재가 들뜨지 않고 초전도 선재끼리 포머(110)에 올렸을 때 최대한 원형에 가까운 구조로 이루어질 수 있도록 정해진다.
- [37] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 상기 포머는 중심부가 팽창 형태로 구성될 수도 있으나, 상기 포머(110)는 중공의 파이프 형상으로 이루어져 초전도 선재를 올리기 위한 틀의 역할과 동시에 내부에 냉매가 이동하기 위한 경로 역할을 하도록 구성될 수 있으며, 포머를 구성하는 각각의 도체 소선(111)들은 구리 등으로 구성될 수 있으며, 각각의 소선을 각각의 초전도 선재와 병렬연결을 함으로써, 전력계통에서 전력 시스템의 단락(웬치, 번개, 절연 파괴 등)으로 인한 고장전류 발생시 귀로도체 역할을 하도록 구성할 수도 있다.
- [38] 전력계통에서 고장전류 발생시 귀로도체의 역할은 도체 소선(111)으로 구성되는 포머 이외에도 후술하는 바와 같이 각각의 초전도 선재에 부착되며, 상온에서 통전성이 있는 금속 재질의 통전 레이어가 존재한다. 상기 통전 레이어는 금속 재질의 테이프 형태일 수 있다. 이에 대한 자세한 설명은 후술한다.
- [39] 고장전류의 용량에 따라 소선을 구성하는 구리 등의 도체 단면적이 정해질 수 있으며, 고압일 경우 구리 소선을 원형으로 압축하여, 연선했 형태로 이루어질 수 있다.
- [40] 후술하는 바와 같이, 본 발명에 따른 초전도 선재는 기계적 강성을 보강하기 위하여 초전도 선재의 양표면에 상온에서 통전성이 있는 금속 재질의 통전 레이어가 구비된다. 이와 같은 통전 레이어는 기계적 강성을 보강하여 초전도 선재의 권선시 비틀림 응력에 의한 끊어짐 등을 방지할 수 있다.
- [41] 이와 같은 통전 레이어는 초전도 선재의 기계적 강성을 보강함과 동시에 단락 등의 사고 발생시 상기 포머와 함께 사고 전류의 귀로 역할을 나누어 수행할 수 있으므로, 본 발명에 따른 초전도 선재가 적용된 초전도 케이블의 포머는 종래의 일반적인 초전도 케이블을 구성하는 포머의 직경보다 작은 직경을 가질 수 있다. 이에 대한 구체적인 설명은 뒤로 미룬다.

- [42] 상기 포머(110)를 구성하는 여러 가닥의 단면 원형의 도체 소선(111)들을 원형으로 압축한 연선의 형태를 이루기 때문에 포머(110)의 표면이 울퉁불퉁할 수밖에 없다. 따라서, 포머(110)의 울퉁불퉁한 표면을 평활하게 하기 위하여 포머(110)의 외부에 평활층(120)이 피복될 수 있다. 상기 평활층(120)은 반도체성 카본지 또는 황동 테이프 등의 재질이 사용될 수 있다.
- [43] 상기 평활층(120)과 초전도 도체층(130) 사이에는 도면에 도시되지 않았으나 쿠션층이 더 구비될 수 있다. 상기 쿠션층은 반도체 카본지 테이프를 이용하여, 초전도 도체층을 보호하기 위하여 구비될 수 있다.
- [44] 상기 평활층(120)에 의하여 평탄화된 상기 포머(110) 외측에 복수 개의 초전도 선재(131)로 둘러싸여 층이 형성되는 제1 초전도 도체층(130a)이 구비될 수 있다. 제1 초전도 도체층(130a)은 복수 개의 초전도 선재가 나란히 인접하여 상기 평활층(120) 둘레를 감싸도록 설치될 수 있다.
- [45] 또한, 도 1에 도시된 바와 같이, 초전도 케이블을 통해 송전 또는 배전하려는 전류의 용량에 따라 초전도 도체층(130)은 복층으로 구성할 수도 있다.
- [46] 도 1에 도시된 실시예는 총 2층의 초전도 도체층(130a, 130b)이 구비됨이 도시된다.
- [47] 초전도 도체층을 복층으로 구비하는 경우에는 초전도 도체층(130a, 130b) 사이에 절연 테이프(140)가 구비될 수 있다. 상기 초전도 도체층(130a, 130b) 사이에 절연 테이프(140)를 배치하는 이유는 각각의 층을 구성하는 초전도 도체층(130a, 130b)의 전류의 방향성을 제어하기 위함이다. 만일, 절연 테이프(140)가 구비되지 않는다면, 전류의 패스가 흐트러져 의도된 방향으로 전류가 흐를 수 없을 수도 있기 때문이다. 상기 절연 테이프(140)에 의하여 복층으로 적층된 초전도 도체층들의 통전 방향이 일치될 수 있다.
- [48] 또한, 부수적으로 상기 절연 테이프(140)를 구비하면, 각각의 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 표피효과를 방지할 수 있다.
- [49] 도 1에 도시된 실시예에서, 상기 초전도 도체층(130)은 제1 초전도 도체층(130a)과 제2 초전도 도체층(130b) 2층으로 구성된 예가 도시되었으나, 필요에 따라 더 많은 층의 초전도 도체층이 구비될 수도 있다.
- [50] 그리고, 각각의 초전도 도체층(130a, 130b)을 구성하는 각각의 초전도 선재는 포머(110)를 구성하는 각각의 소선들과 병렬 연결될 수 있다. 초전도 선재로 흐르던 전류가 단락(웬치, 번개, 절연 파괴, 초전도 조건의 파괴 등) 등의 사고시에 포머(110)의 소선으로 사고 전류가 분류되도록 하기 위함이다. 이와 같은 방법으로 초전도 선재의 발열 또는 손상 등을 방지할 수 있다.
- [51] 상기 제1 초전도 도체층(130a) 외측에 구비되는 제2 초전도 도체층(130b)의 외부에 내부 반도체층(150)이 구비될 수 있다. 상기 내부 반도체층(150)은 초전도 도체층(130)의 영역별 전계 집중을 완화하고 표면 전계를 고르게 하기 위하여 구비될 수 있다. 구체적으로, 초전도 선재의 모서리 부분에서 발생하는 전계 집중을 완화하고, 전계 분포를 고르게 하기 위해 구비될 수 있다. 이는 후술하는

외부 반도체층(170) 역시 마찬가지이다.

- [52] 상기 내부 반도체층(150)은 반도체 테이프가 권선되는 방식으로 구비될 수 있다.
- [53] 상기 내부 반도체층(150) 외측에는 절연층(160)이 구비될 수 있다. 상기 절연층(160)은 초전도 케이블의 절연 내력을 증가시키기 위하여 구비될 수 있다. 일반적으로 고전압 케이블의 절연을 위해서는 XLPE(Cross Linking-Polyethylene) 또는 오일 방식(oil filled cable)이 사용되지만, 초전도 케이블은 초전도 선재의 초전도성을 위하여 극저온으로 냉각되고, 극저온에서는 XLPE가 파손되어 절연 파괴되는 문제점이 있고, 오일 방식(oil filled cable)은 환경 문제 등이 발생할 수 있으므로, 본 발명에 따른 초전도 선재가 적용된 초전도 케이블은 절연층(160)으로서 일반 종이 재질의 절연지를 사용할 수 있으며, 상기 절연층(160)은 절연지를 복수 회 권선하는 방식으로 구성될 수 있다.
- [54] 상기 절연지는 크라프트지나 PPLP(Polypropylene Laminated Paper)가 주로 사용된다. 다양한 지절연 물질 중 초전도 케이블의 경우 권선의 용이성과 절연내력 특성 고려하여 PPLP 절연지가 사용된다.
- [55] 상기 절연층(160) 외부에는 외부 반도체층(170)이 구비될 수 있다. 상기 외부 반도체층 역시 초전도 도체층(130)의 영역별 전계 집중을 완화하고 표면 전계를 고르게 하기 위하여 구비될 수 있으며, 상기 외부 반도체층(170) 역시 반도체 테이프가 권선되는 방식으로 구비될 수 있다.
- [56] 그리고, 상기 외부 반도체층(170) 외측에는 초전도 차폐층(180)이 구비될 수 있다. 상기 초전도 차폐층(180)을 형성하는 방법은 상기 초전도 도체층(130)을 형성하는 방법과 마찬가지일 수 있다. 상기 외부 반도체층(170)의 표면이 고르지 못한 경우에는 필요에 따라 평활층(미도시)이 구비될 수 있으며, 상기 평활층 외부에 초전도 차폐층(180)을 형성하기 위한 초전도 선재를 각각 원주방향으로 나란히 배치할 수 있다.
- [57] 2세대 초전도 선재로 구성된 차폐층에 통전되는 전류는 초전도 도체층에 흐르는 전류의 약 95% 정도가 되도록 설계하여 누설자계의 최소화가 가능할 수 있다.
- [58] 상기 초전도 차폐층(180) 외측에는 코어부(100)의 외장 역할을 하는 코어 외장층(190)이 구비될 수 있다. 상기 코어 외장층(190)은 각종 테이프 또는 바인더 등을 포함할 수 있으며, 후술하는 냉각층에 코어부(100)가 노출될 수 있도록 외장 역할 및 코어부(100)의 모든 구성물을 결속해 주는 역할을 수행하며, SUS 재질 등의 금속 테이프로 구성될 수 있다.
- [59] 이와 같은 방법으로 초전도 케이블의 코어부(100)가 구성될 수 있으며, 도 1 및 도 2에서 상기 평활층 및 상기 반도체층은 동일 재질의 단일 층으로 구성되는 것으로 도시되었으나, 필요에 따라 다양한 부속층들이 추가될 수 있다.
- [60] 상기 코어부(100) 외측에는 냉각부(200)가 구비될 수 있다. 상기 냉각부(200)는 상기 코어부(100)의 초전도 선재를 냉각하기 위하여 구비될 수 있으며, 상기

냉각부(200)는 그 내측에 액상 냉매의 순환유로가 구비될 수 있다. 상기 액상 냉매로는 액상 질소가 사용될 수 있으며, 상기 액상 냉매(액상 질소)는 영하 -200도 정도의 온도를 갖도록 냉각된 상태로 상기 냉각 유로를 순환하며 냉각부 내부의 코어부(100)에 구비되는 초전도 선재의 초전도 조건인 극저온이 유지되도록 할 수 있다.

- [61] 상기 냉각부(200)에 구비되는 냉각유로는 일방향으로 액상 냉매가 흐르도록 할 수 있으며, 초전도 케이블의 접속함 등에서 회수되어 재냉각되어 다시 상기 냉각부(200)의 냉각유로로 공급될 수 있다.
- [62] 상기 냉각부(200) 외측에는 내부 금속관(300)이 구비될 수 있다. 상기 내부 금속관(300)은 후술하는 외부 금속관(600)과 함께 초전도 케이블의 포설 및 운전 중에 코어부(100)의 기계적인 손상을 방지하기 위한 초전도 케이블의 외장 역할을 수행한다. 초전도 케이블은 제작 및 운반이 용이하도록 드럼에 감기게 되며 설치 시에는 드럼에 감겨진 케이블을 전개하여 설치하므로 초전도 케이블에는 굽힘 응력 또는 인장 응력이 지속적으로 인가될 수 있다.
- [63] 이러한 기계적 응력이 인가되는 상황에서도 초기 성능을 유지하도록 하기 위하여 내부 금속관(300)을 구비할 수 있다. 따라서, 상기 내부 금속관(300)은 기계적 응력에 대한 강성 보강을 위하여 초전도 케이블의 길이 방향으로 용기 및 함몰이 반복되는 굴곡 구조(corrugated)를 가지며, 상기 내부 금속관(300)은 알루미늄 등의 재질로 구성될 수 있다.
- [64] 상기 내부 금속관(300)은 상기 냉각부(200) 외측에 구비되므로, 액상 냉매의 온도에 대응되는 극저온일 수 있다. 따라서, 상기 내부 금속관(300)은 저온부 금속관으로 구분될 수 있다.
- [65] 또한, 상기 내부 금속관(300) 외주면에는 반사율이 높은 금속 필름에 열전도율이 낮은 고분자가 얇게 코팅된 단열재가 여러 층으로 감겨진 단열층을 포함하는 단열부(400)가 구비될 수 있다. 상기 단열층은 멀티 레이어 인슐레이션(MLI, Multi Layer Insulation)을 구성하고, 상기 내부 금속관(300) 측으로 열침입이 발생하는 것을 차단하기 위하여 구비될 수 있다.
- [66] 특히, 상기 내부 금속관(300)이 금속 재질로 구성되므로 전도에 의한 열침입 또는 열교환이 용이하므로, 상기 단열부(400)는 주로 전도에 의한 열교환 또는 열침입을 최소화할 수 있으며, 반사율이 높은 금속 필름 재질로 인하여 복사에 의한 열교환 또는 열침입을 방지하는 효과도 얻을 수 있다.
- [67] 상기 단열부(400)의 층수는 열침입을 최소화 하기 위해 조절이 가능하다. 많은 층으로 구성되면 복사열 차단 효과는 높아지나, 전도열 차단 효과와 진공층의 두께가 얇아짐에 따른 대류에 의한 열차단 효과가 떨어지므로 적절한 층수를 사용하는 것이 중요하다.
- [68] 상기 단열부(400) 외측에는 진공부(500)가 구비될 수 있다. 상기 진공부(500)는 상기 단열부(400)에 의한 단열이 충분하지 못한 경우 발생될 수 있는 상기 단열층 방향으로의 대류 등에 의한 열전달을 최소화하기 위하여 구비될 있다.

- [69] 상기 진공부(500)는 상기 단열부(400) 외측에 이격 공간을 형성하고, 상기 이격 공간을 진공화시키는 방법으로 형성할 수 있다.
- [70] 상기 진공부(500)는 상온인 외부로부터 상기 코어부 측으로 대류 등에 의한 열침입을 방지하기 위하여 구비되는 이격 공간으로서, 물리적 이격 공간을 형성하기 위하여 적어도 하나의 스페이서(560)를 구비할 수 있다. 상기 진공부(500) 내의 이격 공간 그 외측에 구비되는 외부 금속관(600) 등과 상기 진공부(500) 내측의 상기 단열부(400)가 접촉되는 것을 초전도 케이블의 전 영역에서 방지하기 위하여 상기 이격 공간 내에 적어도 1개의 스페이서(560)를 구비할 수 있으며, 구체적으로 초전도 케이블 또는 스페이서의 종류 또는 크기에 따라 증감될 수 있다. 도 1 및 도 2에 도시된 초전도 케이블(1000)은 4개의 스페이서가 구비되는 것으로 도시되었으나 그 개수는 증감될 수 있다.
- [71] 상기 스페이서(560)는 초전도 케이블의 길이방향을 따라 배치될 수 있으며, 상기 코어부(100) 외측, 구체적으로는 상기 단열부(400)를 나선형 또는 원형으로 감싸도록 권선할 수 있다.
- [72] 상기 스페이서(560)의 개수는 본 발명에 따른 초전도 선재가 적용된 초전도 케이블은 3개 내지 5개의 스페이서가 구비될 수 있다. 상기 스페이서는 이격 공간을 형성하여 전도에 의한 열교환을 방지할 수 있으며, 스페이서의 구조는 단층 또는 복층으로 구성될 수 있다.
- [73] 상기 스페이서(560)는 다양한 수지 재질, 예를 들면 폴리 에틸렌(PE) 재질일 수 있다.
- [74] 또한, 상기 스페이서(560)는 필요에 따라 불소 수지(예를 들면, 불화 폴리 에틸렌(PTFE, Poly Tetra Fluoro Ethylene, 테프론(Teflon, 상표명)) 재질로 구성되거나, 일반 수지(예를 들면, 폴리 에틸렌) 재질로 구성된 뒤 표면이 불소 수지(예를 들면, 불화 폴리 에틸렌)로 코팅될 수 있다.
- [75] 불화 폴리 에틸렌은 불소수지의 일종으로, 불소와 탄소의 강력한 화학적 결합으로 인해 매우 안정된 화합물을 형성함으로써 거의 완벽한 화학적 비활성 및 내열성, 비점착성, 우수한 절연 안정성, 낮은 마찰계수 등의 특성들을 가지고 있다.
- [76] 또한, 불화 폴리 에틸렌은 어느 정도의 유연성을 가지므로, 상기 단열부(400)를 나선형으로 감싸며, 초전도 케이블의 길이방향으로 권선되어 배치될 수 있고, 어느 정도의 강도를 가지므로 단열부(400)와 외부 금속관(600)의 접촉을 방지하는 이격 수단으로 활용되어 진공부(500)를 구성하는 이격 공간을 물리적으로 유지하는 역할을 수행할 수 있다. 상기 스페이서(560)의 직경은 4 밀리미터(mm) 내지 8 밀리미터(mm)일 수 있다. 상기 스페이서(560)의 단면 형태는 원형, 삼각형, 사각형, 별형 등의 다양한 형태가 가능하다.
- [77] 상기 스페이서(560)이 구비된 상기 진공부(500) 외측에는 외부 금속관(600)이 구비될 수 있다. 상기 외부 금속관(600)은 상기 내부 금속관(300)과 동일한 형태와 재질로 구성될 수 있으며, 상기 외부 금속관(600)은 상기 내부

금속관(300)보다 더 큰 직경으로 구성되어 스페이서(560)를 통한 이격 공간의 형성을 가능하게 할 수 있다. 상기 스페이서(560)에 대한 자세한 설명은 뒤로 미룬다.

- [78] 그리고, 상기 외부 금속관(600) 외측에는 초전도 케이블 내부를 보호하기 위한 외장 기능을 수행하는 외부자켓(700)이 구비될 수 있다. 상기 외부자켓은 통상적인 전력용 케이블의 외부자켓(700)을 구성하는 시스제가 사용될 수 있다. 상기 외부자켓(700)은 그 내부의 금속관(600) 등의 부식을 방지하고 외력에 의한 케이블 손상을 방지할 수 있다. 폴리에틸렌(PE) 폴리염화비닐(PVC) 등의 재질로 구성될 수 있다.
- [79] 도 3은 초전도 케이블에 적용될 수 있는 초전도 선재의 예를 도시한다. 구체적으로, 도 3(a)는 통전 레이어가 구비되지 않은 기존의 초전도 선재(131')의 단면도를 도시하며, 도 3(b)는 상온 통전성이 있는 금속 재질의 통전 레이어가 부가된 초전도 선재(131)를 도시한다.
- [80] 초전도 케이블을 구성하는 초전도 선재는 초전도 케이블의 길이방향을 따라 나선형으로 권선되므로 비틀림 응력이 지속적으로 인가되므로, 초전도 케이블의 제작과정 또는 권취과정에서 초전도 선재의 끊어짐 현상이 발생할 수 있고, 초전도 케이블은 전술한 바와 같이, 단락(웬치, 번개, 절연 파괴, 초전도 조건의 파괴 등) 등의 사고시에 귀로 도체로써 포머(110)가 사용된다.
- [81] 본 발명에 따른 초전도 선재는 양표면에 상온 통전성이 있는 금속 재질의 통전 레이어(me1, me2)가 구비되어 초전도 선재 자체의 기계적 강성을 보장하는 효과를 제공함과 동시에 초전도 시스템의 단락 사고 발생시 통전 레이어(me1, me2)가 귀로 도체의 기능을 포머와 함께 수행하게 되므로 통전 레이어(me1, me2)가 구비되지 않는 초전도 선재가 적용된 초전도 케이블에 비해 포머의 직경을 줄일 수 있으므로, 초전도 케이블 전체의 직경과 무게까지 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 구체적으로 검토한다.
- [82] 도 3(a)에 도시된 종래의 초전도 선재는 폭이 $x(\text{mm})$ 및 두께가 $y(\text{mm})$ 이며, 도 3(b)에 도시된 본 발명에 따른 초전도 선재는 종래의 초전도 선재의 양표면에 금속 재질로 구성되고 폭 $x(\text{mm})$ 및 두께 $y(\text{mm})$ 내지 $2y(\text{mm})$ 인 통전 레이어(me1, me2)가 부가된다.
- [83] 따라서, 본 발명에 따른 초전도 선재(131)는 기존의 초전도 선재(131')에 두께가 $y(\text{mm})$ 내지 $2y(\text{mm})$ 인 통전 레이어를 구비하여 전체적으로 두께가 $3y(\text{mm})$ 내지 $5y(\text{mm})$ 로 구성될 수 있다.
- [84] 후술하는 실험에서 사용된 초전도 선재는 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm), 즉 $y=0.1$ 인 초전도 선재가 사용되었다.
- [85] 상기 통전 레이어는 후술하는 바와 같이 솔더링되어 기존의 초전도 선재에 부가될 수 있다.
- [86] 상기 통전 레이어(me1, me2)가 기존의 초전도 선재(131)의 양표면에

솔더링되어 부가되고, 초전도 선재(131)의 측면이 솔더링되거나 초전도 선재(131) 전체의 표면이 금속 코팅되면, 단락 등의 사고 발생시 사고전류는 각각의 초전도 선재(131)과 각각 병렬 연결된 포머(110)의 소선 이외에도 각각의 초전도 선재에 부가된 통전 레이어 측으로도 분류되므로 통전 레이어(me1, me2)는 포머와 함께 귀로 도체의 역할을 분담할 수 있다.

- [87] 또한, 각각의 통전 레이어(me1, me2)는 폭이 폭이 $x(\text{mm})$ 이고 두께가 $y(\text{mm})$ 내지 $2y(\text{mm})$ 이지만 기존의 두께가 $y(\text{mm})$ 인 초전도 선재의 양표면에 각각 부가되므로, 기존의 초전도 선재의 일표면에 $2y(\text{mm})$ 내지 $4y(\text{mm})$ 인 통전 레이어를 하나만 부가하는 경우보다 표피 효과 등에 따른 통전 능력이 더 커질 수 있다.
- [88] 초전도 선재의 일표면에만 통전 레이어를 부가하는 경우보다, 초전도 선재의 양표면에 통전 레이어를 부가하는 경우, 초전도 선재의 밴딩시에 통전 레이어의 분리현상을 최소화하며 강성이 보장될 수 있으며, 귀로도체로 통전 레이어를 활용하는 경우에도 통전 레이어를 초전도 선재의 양표면에 부가하는 것이 유리하고 포머의 직경을 줄이는 것에 유리함을 짐작할 수 있다.
- [89] 여기서, 기존의 초전도 선재의 두께가 약 0.1 밀리미터(mm)이며, 각각의 통전 레이어가 약 0.1 밀리미터(mm) 내지 0.2 밀리미터(mm) 인 경우, 본 발명에 따른 초전도 선재의 초전도 선재의 두께는 0.3밀리미터(mm) 내지 0.5밀리미터(mm)로 구성되어 기존의 초전도 선재에 비해 두께가 크게 증가된 것으로 보이나, 개선된 초전도 선재의 두께 역시 박막 수준에 불과하여 초전도 케이블 전체 두께에 미치는 영향이 크지 않으나, 전술한 바와 같이 절연되지 않은 소선들이 밀집한 형태로 구성되는 포머의 단면적은 10퍼센트(%) 내지 40퍼센트(%) 정도까지 감소될 수 있다.
- [90] 본 발명에 따른 초전도 선재는 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용되며, 77K의 온도, 1 기압, 션프 필드에서의 임계 전류(DC Ic)는 150A 내지 500A일 수 있다.
- [91] 도 4은 본 발명에 따른 초전도 선재들의 단면 구성도이다.
- [92] 구체적으로, 도 4(a)는 본 발명에 따른 초전도 선재에 적용이 가능한 초전도 선재의 하나의 실시예의 단면도를 도시하며, 도 4(b)는 초전도 선재의 다른 실시예의 단면도를 도시한다.
- [93] 설명의 편의를 위하여 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재(131)을 예로 들어 설명한다.
- [94] 본 발명에 따른 초전도 선재는 1세대 초전도 선재 또는 2세대 초전도 선재일 수 있다.
- [95] 특정온도 이하에서 전기저항이 '0'이 되는 현상을 초전도 현상이라고 하며, 절대영도 0K(-273°C)가 아닌 100K(-173°C)부근으로 상대적으로 절대온도에 대비 높은 온도에서 초전도 현상을 나타내는 것을 고온 초전도(High Temperature

Superconductor)라고 한다. 전력 케이블 분야에서 사용되는 초전도 선재는 고온 초전도체를 사용하며, 최근 YBCO 또는 ReBCO를 주재료로 Coated Conductor(CC)형의 2세대 선재가 소개되었다. 2세대 초전도 선재는 초전도 선재의 증착 레이어에 구비된 초전도 물질은 주로 YBCO나 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho) 물질 등이 사용되는 초전도 선재를 의미한다.

- [96] 2세대 초전도 선재를 자세히 설명하면, 2세대 초전도 선재는 금속 기판 레이어, 증착 레이어, 은(Ag) 레이어 등을 포함하여 구성될 수 있다. 금속 기판 레이어는 선재의 베이스 부재로 사용되며, 초전도 선재의 기계적 강도 유지하는 역할을 하며, 하스텔로이(Hastelloy), 니켈-텅스텐(Ni-W) 등이 사용될 수 있다. 상기 증착 레이어는 금속기판에 초전도층을 증착하기 위한 버퍼(buffer) 레이어, 초전도 레이어를 포함하며 통전시 전류의 통전 경로로 사용되는 초전도 레이어를 포함하여 구성될 수 있다.
- [97] 은(Ag) 레이어는 은(Ag) 또는 구리(Cu) 합금 레이어로 구성될 수 있으며, 은(Ag) 합금 레이어는 초전도층과 구리(Cu) 합금 레이어 사이에 위치하여, 증착을 가능하게 할 수 있으며, 구리(Cu) 합금 레이어는 기계적 강도를 보강하는 역할을 수행할 수 있다. 각각의 합금 레이어는 응용기기에 따라 두께와 재질을 상이하게 구성할 수 있으며, 상온 통전성이 있다는 특성이 있다.
- [98] 도 4에 도시된 본 발명에 따른 초전도 선재는 2세대 초전도 선재로서, 하스텔로이(Hastelloy), 니켈-텅스텐(Ni-W) 재질의 금속 기판 레이어가 사용된 초전도 선재가 사용될 수 있으며, 도 4에는 2가지 종류의 초전도 선재가 적용되는 예가 도시된다.
- [99] 본 발명에 따른 초전도 선재는 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용되며, 77K의 온도, 1 기압(atm), 셀프 필드(self-field)에서의 임계 전류(DC Ic)는 150A 내지 500A일 수 있으며, 여기서 셀프 필드란 자기 자신에게 흐르는 전류에 의해서 생기는 자기장 환경을 의미한다.
- [100] 상기 임계 전류는 연속 측정 방법으로 측정 대상 초전도 선재를 약 0.5m ~ 1m 간격마다 측정할 수 있다. 이 경우, 상기 임계 전류는 연속적인 직류전압(DC) 인가하여 흐를 수 있는 최대 전류(웬치 등의 단락 전까지)를 의미한다.
- [101] 도 4(a)는 YBCO계의 초전도 물질이 사용된 초전도 선재(131)를 도시하며, 도 4(b)는 ReBCO계의 초전도 물질이 사용된 초전도 선재(131)의 단면도를 도시한다.
- [102] 도 4(a)에 도시된 초전도 선재(131)를 구성하는 금속 기판 레이어(1311)의 재질은 니켈-텅스텐(Ni-W) 합금일 수 있으며, 상기 금속 기판 레이어(1311)는 금속 재질의 테이프 형태로 구성될 수 있다.
- [103] 상기 니켈-텅스텐(Ni-W) 합금 재질로 구성되는 금속 기판 레이어(1311) 상부에는 복수 개의 버퍼 레이어(1312, 1313, 1314) 및 YBCO 재질의 초전도

레이어(1315)를 포함하는 증착 레이어가 구비될 수 있다.

- [104] 도 4(a)에 도시된 실시예에서 3층의 버퍼 레이어(1312, 1313, 1314)가 증착되고, 구체적으로 버퍼 레이어를 구성하는 각각의 레이어는 Y₂O₃, YSZ, CeO₂ 등의 재질로 된 층으로 구성될 수 있다. 각각의 버퍼 레이어 상부에는 YBCO 재질의 초전도 레이어(1315)가 증착되고, 상기 초전도 레이어(1315) 외측에는 초전도 선재의 보호 등의 목적으로 은(Ag) 레이어(1316)로서 은(Ag) 층이 구비될 수 있다.
- [105] 도 4(a)에 도시된 초전도 선재(131)의 상부 및 하부 즉 기관 레이어(1311)의 외측 및 상기 은(Ag) 레이어(1316)에 금속 재질의 통전 레이어(me1, me2)가 구비될 수 있다.
- [106] 상기 통전 레이어(me1, me2)를 상기 초전도 선재(131)의 양측에 모두 구비하는 이유는 일측에만 통전 레이어가 구비되는 경우보다 물리적 강성 보강이 강화되고, 밴딩 방향에 따른 물리적 성질의 편차를 최소화할 수 있으며, 귀로 도체로서의 용량을 증대하기 위함은 전술한 바와 같다.
- [107] 또한, 각각의 초전도 도체층 또는 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재(131)는 초전도 조건이 유지되는 것을 전제로 설계 용량에 따른 통전 기능이 구현되지만 시스템의 문제 등으로 인하여 초전도 조건이 파괴되는 경우에는 초전도 선재(131)를 흐르던 전류는 전술한 포머를 통하여 통전되도록 구성되며, 상기 포머의 직경 또는 도체 소선의 개수 등은 사고 전류 통전을 위한 용량에 대응하여 결정될 수 있다.
- [108] 그러나, 포머(110)의 직경은 전체 초전도 케이블의 직경에 큰 비중을 차지하므로, 사고 전류 통전을 대비하기 위한 포머의 직경을 줄여야 초전도 케이블 전체 직경 또는 무게를 줄일 수 있다.
- [109] 따라서, 도 4에 도시된 바와 같이, 초전도 선재(131)의 상부와 하부에 금속 재질, 예를 들면 황동 재질의 통전 레이어(me1, me2)를 구비하여 초전도 선재(131)의 강성을 보강함과 동시에 사고 전류의 귀로 도체로 사용하고, 포머의 직경 등을 최소화할 수 있다.
- [110] 상기 금속 재질의 통전 레이어(me1, me2)는 금속 박막층 형태로 구성될 수 있으며, 구체적으로 황동(Brass) 재질로 구성될 수 있다.
- [111] 황동(brass)이란 구리에 아연을 첨가해서 만든 합금을 말하는 것으로, 상기 통전 레이어는 황동 이외의 전기전도성이 좋은 구리 합금으로 대체될 수도 있다.
- [112] 이하의 설명에서 황동 재질의 통전 레이어라는 의미는 황동 이외의 구리 합금을 포함하는 개념으로 이해되는 것이 바람직하다.
- [113] 상기 황동 재질의 금속 재질의 통전 레이어(me1, me2)는 황동 등의 금속 박막층 형태로 부가될 수 있으며, 황동 박막층은 0.1 밀리미터(mm) 내지 0.2 밀리미터(mm)의 두께를 가질 수 있다. 초전도 선재(131)의 일측에 부착되는 황동 테이프 형태의 금속 재질의 통전 레이어(me)의 두께가 0.125 밀리미터(mm)라고 가정하는 경우, 전체 초전도 선재(131)의 두께는 약 0.4 밀리미터(mm) 정도가 될

수 있다.

- [114] 만일, 초전도 선재(131)의 적어도 일측면에 구비되는 금속 재질의 통전 레이어의 두께가 0.1 밀리미터(mm) 이하이면 초전도 선재의 충분한 강성 보강이 어렵고, 0.2 밀리미터(mm) 이상이면 밴딩시 통전 레이어가 구비된 초전도 선재(131)의 일면에서 금속 재질의 통전 레이어가 분리되는 현상 및 통전 레이어가 구비된 전체 초전도 선재(131)의 두께가 과도하게 두꺼워지는 문제가 발생될 수 있는 것으로 확인되었다.
- [115] 하나의 실시예로서, 초전도 선재(131)의 두께가 0.1 밀리미터(mm) 정도이며, 0.125 밀리미터(mm) 두께의 황동 테이프 형태의 금속 재질의 통전 레이어를 양측에 부착하여 두께가 0.35 밀리미터(mm)로 3 ~ 4배로 증가될 수 있으나, 전체 두께가 1 밀리미터(mm)도 안될 정도로 충분히 작으므로 초전도 케이블 전체 두께에 미치는 영향은 미미하나, 초전도 선재(131)의 강성이 보강되고, 사고 전류의 귀로 도체로 사용될 수 있으므로, 결과적으로 포머의 직경 또는 무게를 줄일 수 있다.
- [116] 환언하면, 초전도 선재(131)의 상부와 하부에 금속 박막층으로서의 황동 재질의 통전 레이어(me1, me2)를 구비하여 초전도 선재(131)의 강성을 보강함과 동시에 포머의 직경 또는 무게를 줄일 수 있으므로, 상기 초전도 선재(131)를 구성하는 상기 금속 기판 레이어의 외측 및 상기 은(Ag) 레이어의 외측 모두에 미리 결정된 두께를 갖는 통전 레이어가 구비되는 경우 상기 초전도 선재(131)에 통전 레이어가 구비되지 않는 경우보다 상기 포머의 직경 또는 무게가 줄어들 수 있음을 의미한다.
- [117] 이와 같이, 상기 초전도 선재(131)의 양측에 통전 레이어(me1, me2)를 솔더 등에 의하여 부착한 상태에서 사고 전류 발생시 상기 증착 레이어(1315)의 초전도 레이어를 통해 흐르던 전류가 상기 통전 레이어(me1, me2)로 흐르도록 하기 위하여 상기 초전도 선재(131)와 부착된 통전 레이어(me1, me2)는 전기적으로 연결되어야 한다.
- [118] 따라서, 상기 초전도 선재(131)와 초전도 선재(131)의 양측에 부착된 통전 레이어(me1, me2)는 사고 전류의 통전을 위하여 각각 병렬 연결되고, 상기 초전도 선재(131)와 초전도 선재(131)의 양측에 부착된 통전 레이어(me1, me2)를 각각 전기적으로 연결하는 방법은 도 4에 도시되지 않았으나 초전도 선재(131)의 측면을 금속 베이스 솔더로 솔더링하거나 초전도 선재(131)를 전기 전도성이 좋은 금속, 예를 들면 구리(Cu) 재질로 도금하는 방법이 사용될 수 있다.
- [119] 두 가지 방법 모두 통전 레이어(me1, me2)가 부착된 초전도 선재(131)의 두께 또는 부피 증가를 최소화하면서 각각의 통전 레이어(me1, me2)와 초전도 선재(131)를 전기적으로 연결할 수 있다.
- [120] 또한, 이와 같이 초전도 선재(131)를 구성하는 금속 기판 레이어(1311), 초전도 레이어를 포함하는 증착 레이어(1312 내지 1315) 및 은(Ag) 레이어(1316)는 구리 도금 또는 측면 솔더링에 의하여 전기적으로 각각 병렬 연결되면, 상기 초전도

레이어(1315)는 금속 기판 레이어(1311), 은(Ag) 레이어(1316) 및 각각의 통전 레이어(me1, me2)가 전기적 연결되고, 사고 전류는 상기 통전 레이어(me1, me2) 이외에 상기 금속 기판 레이어(1311) 및 상기 은(Ag) 레이어(1316) 까지 분류될 수 있다.

- [121] 그리고, 상기 금속 박막층으로서의 통전 레이어(me1, me2)는 상기 초전도 선재(131)에 솔더링되어 부착될 수 있다. 상기 통전 레이어(me1, me2)를 상기 초전도 선재(131)의 양측에 솔더링하기 위한 솔더는 주석(Sn), 납(Pb) 및 은(Ag)을 구성 성분으로 하며, 녹는점은 200°C 이하인 재질일 수 있다. 그러나, 위와 같은 솔더 재질 이외에도 상기 통전 레이어(me1, me2)와 상기 초전도 선재(131)를 구성하는 금속 기판 레이어(1311) 또는 은(Ag) 레이어(1316)를 통전 가능하게 부착하는 방법이라면 다양한 솔더 또는 부착방법이 적용될 수도 있다.
- [122] 도 4(b)은 ReBCO계의 초전도 물질이 사용된 초전도 선재(131')를 도시한다. 도 4(a)를 참조한 설명과 중복되는 설명은 생략한다.
- [123] 도 4(b)에 도시된 초전도 선재(131')를 구성하는 금속 기판 레이어(1311')의 재질은 니켈-텅스텐(Ni-W) 합금일 수 있으며, 상기 금속 기판 레이어(1311')는 금속 박막층 형태로 구성될 수도 있음은 마찬가지이다.
- [124] 상기 니켈-텅스텐(Ni-W) 합금 재질로 구성되는 금속 기판 레이어(1311') 상부에는 적어도 6층으로 구성된 버퍼 레이어(1312', 1313', 1314', 1315', 1316') 및 상기 ReBCO계의 초전도 레이어(1317')를 포함하는 증착 레이어(1312' 내지 1317')가 구비되고, 상기 증착 레이어 증착 레이어(1312' 내지 1317') 외측에는 은(Ag) 레이어(1318')로서 은(Ag) 층이 구비될 수 있다.
- [125] 상기 버퍼 레이어(1312', 1313', 1314', 1315', 1316')를 구성하는 각각의 시드층은 Al₂O₃, Y₂O₃, IBAD-MGo, EPI-MGo 및 LaMoO₃ 층으로 구성될 수 있다.
- [126] 도 4(b)에 도시된 초전도 선재(131') 역시 상기 금속 기판 레이어(1311') 및 상기 은(Ag) 레이어(1318') 외측에 각각 통전 레이어(me1, me2)가 구비되어 도 4(a)에 도시된 초전도 실시예와 마찬가지로 물리적 강성보강 및 사고 전류 분류에 사용될 수 있다.
- [127] 위와 같이, 초전도 선재(131')의 양측면에 황동 등의 재질로 금속 박막층으로 구성되는 통전 레이어를 구성하고 사고 전류의 통전수단으로 사용하는 방법에 의하여 사고 전류의 귀로 도체 역할을 수행하는 포머의 직경을 감소시킬 수 있다.
- [128] 물론, 도 4에 도시된 초전도 선재(131')를 구성하는 금속 기판 레이어 및 은(Ag) 레이어 역시 금속 재질로 구성되어 사고 전류의 바이패스 기능이 존재하지만, 종래의 초전도 선재의 두께를 기준으로 금속 기판 레이어 및 은(Ag) 레이어가 차지하는 단면적이 크지 않아 사고 전류의 바이패스 용량도 미미한 수준이었다.
- [129] 그러나, 전술한 바와 같이, 금속 재질의 통전 레이어(me)는 각각 0.125 밀리미터(mm) 정도의 두께를 가지므로, 이를 통한 통전량은 사고 전류의 귀로 역할을 위한 포머의 직경에 영향을 미칠 수 있음은 전술한 바와 같다.

- [130] 따라서, 포머의 직경 설계시 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재(131')의 금속 재질의 통전 레이어(me)를 포함하여, 금속 기판 레이어 및 은(Ag) 레이어를 통한 사고 전류의 통전량을 고려하여 포머의 직경을 종래보다 감소되도록 설정할 수 있다. 초전도 선재의 금속 재질의 통전 레이어(me), 금속 기판 레이어 및 은(Ag) 레이어를 통한 사고 전류의 통전에 따른 열해석 방법으로 최대 허용 가능 전류량을 판단할 수 있으며, 그에 따라 포머의 직경을 축소 설계할 수 있다.
- [131] 도 5는 본 발명에 따른 초전도 선재의 밴딩 시험을 위한 시험설비를 도시한다. 구체적으로 도 5(a)는 밴딩 스트레스 인가시의 임계 전류를 측정하기 위한 장비를 도시하며, 도 5(b)는 더블 밴딩 스트레스 인가시의 임계 전류를 측정하기 위한 장비를 도시한다.
- [132] 밴딩 스트레스 인가시의 임계 전류는 초전도 선재(131)를 서로 다른 방향으로 밴딩하여 2개의 롤러를 경유하여 임계 전류를 측정하고, 더블 밴딩 스트레스 인가시의 임계 전류는 초전도 선재(131)를 서로 다른 방향으로 밴딩하여 2개의 롤러를 경유하여 임계 전류를 측정할 수 있다.
- [133] 본 발명에 따른 초전도 선재는 황동 재질의 통전 레이어(me1, me2)가 부가된 초전도 선재(131)의 두께를 도 3(b)에 도시된 바와 같이, 3y 내지 5y로 구성하는 경우, 상기 상온 통전성이 있는 금속 박막층으로서의 통전 레이어(me1, me2)가 부가된 초전도 선재의 인장강도는 95 퍼센트 전류 감쇄 (IC relentation) 기준 200 메가파스칼(Mpa) 내지 800 메가파스칼(Mpa) 정도로 확인되어 초전도 선재를 초전도 케이블에 권선하는 경우 충분한 강성을 확보할 수 있음이 확인되었다.
- [134] 95 퍼센트 전류 감쇄 (IC relentation) 기준은 초전도 선재의 양단에 점진적으로 인장력을 증가시키면서 초기 통전량의 95 퍼센트의 전류량이 확보될때까지의 인장력을 측정하는 시험방법이므로 200 메가파스칼(Mpa) 내지 800 메가파스칼(Mpa)의 인장력이 초전도 선재에 인가되는 경우에도 적어도 95 퍼센트의 통전량을 확보할 수 있음을 의미하는 것이다. 이와 같은 조건은 다른 측면에서 도 5 이하에 도시된 시험방법 등을 동원하여 측정된 시험방법도 통과될 수 있음을 의미한다. 즉, 이하의 설명에서 요구되는 물리적 특성 또는 전기적 특성은 스트레스 조건을 미리 결정하고 그때의 임계 전류가 평상시 초전도 선재의 임계 전류의 95퍼센트를 만족하는지 여부를 검토하는 방법이다.
- [135] 도 5(a)에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 금속 레이어 층이 구비된 초전도 선재를 직경 35밀리미터(mm)인 롤러(r1, r2) 2개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 밴딩 스트레스 인가시의 임계 전류는 밴딩 스트레스가 인가되지 않은 초전도 선재의 임계 전류의 95퍼센트 이상의 조건을 만족한다.
- [136] 또한, 도 5(b)에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 금속 레이어 층이 구비된 초전도 선재를 직경 50밀리미터(mm)인 롤러(r1, r2, r3 및 r4) 4개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 더블-밴딩 임계 전류는 밴딩 스트레스가 인가되지 않은 초전도 선재의 임계 전류의 95퍼센트 이상을 만족한다.
- [137] 본 발명에 따른 초전도 선재는 전술한 바와 같이, 금속 레이어 층이 구비되어

초전도 케이블의 제조과정 또는 포설과정에서 충분한 물리적 강성을 확보해야 하며, 밴딩 스트레스 이외에 인장 스트레스, 비틀림 스트레스 인가시에도 인장 스트레스 또는 비틀림 스트레스가 인가되지 않은 초전도 선재의 임계 전류의 95퍼센트 이상의 조건을 만족할 수 있다.

- [138] 구체적으로는, 본 발명에 따른 초전도 선재는 250MPa 길이방향 인장력 또는 0.2% 신장되는 길이방향 인장력이 인가되는 경우의 인장 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상일 수 있으며, 본 발명에 따른 초전도 선재를 길이방향으로 200 밀리미터(mm) 간격으로 비틀린 상태에서의 비틀림 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상일 수 있다.
- [139] 또한, 비틀림 스트레스와 관련하여 본 발명에 따른 초전도 선재를 길이방향으로 200 밀리미터(mm) 간격으로 비틀린 상태에서의 비틀림 임계 전류는 비틀림 없는 초전도 선재의 임계 전류의 95퍼센트 이상인 것이 바람직하다.
- [140] 초전도 선재(131)는 일반적으로 1킬로미터 이내의 거리에서 접속 저항을 줄이기 위해 3회 이하로 접속되는 것이 바람직하다. 따라서, 초전도 선재는 200 미터(m) 내지 400 미터(m) 단위로 접합되며, 하나의 접합부위에서의 저항은 200nΩ 이하(100nΩ 내지 200nΩ)일 수 있다.
- [141] 또한, 본 발명에 따른 초전도 선재의 교류 손실은 0.4 W/kA*m 이하인 것이 바람직하다. 여기서의 교류 손실은 1m 길이의 단일 초전도 선재의 1kA 교류 전류 통전 시 발생하는 손실이 0.4 W 이하여야 함을 의미하는 것이다. 이는 초전도 케이블이 아닌 단일 초전도 선재의 교류 손실의 범위를 규정한 것이다.
- [142] 더 나아가, 인장력과 비틀림이 동시에 적용되는 경우에도 동일한 기준의 임계 전류 조건 및 접합 부위에서의 저항 조건이 만족되는 것이 바람직하다.
- [143] 본 발명에 따른 초전도 선재는 케이블의 길이방향을 따라 길이방향 접합되어야 하며 각각의 접합 부위에서의 접합 저항은 200nΩ 이하일 수 있다. 이와 같은 접합 저항은 초전도 선재가 기계적 스트레스를 받지 않은 상태에서 측정됨을 전제로 하며, 초전도 선재가 장력을 받으며 초전도 케이블의 포머 등에 권선된 상태에서도 각각의 접합 부위에서의 저항이 20퍼센트 이상 증가되지 않는 것이 바람직하다.
- [144] 결론적으로, 상기 접합 저항은 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중, 즉 인장력이 인가되는 경우에도 240 nΩ 이하로 측정되거나, 평상태의 접합 저항보다 20 퍼센트 이하로 증가되는 것이 바람직하다.
- [145] 이와 같은 물리적 스트레스에 대한 초전도 선재의 임계 전류가 스트레스가 없는 상태의 초전도 선재의 임계 전류의 약 95퍼센트 이상이라는 전기적 특성을 만족해야 초전도 케이블의 제조과정 또는 포설과정에서 초전도 선재의 내구성 및 통전성을 보장할 수 있다.
- [146] 도 6은 초전도 선재에 통전되는 전류에 따른 전압 그래프를 도시한다.

- [147] 상기 임계 전류는 연속적인 직류전압(DC) 인가하여 흐를 수 있는 최대 전류(웬치 등의 단락 전까지)를 의미한다. 따라서, 임계 전류 이상의 전류가 통전되면 저항이 급격하게 증가하게 되어 전압도 급격하게 증가된다. 따라서, 전압의 증가율이 지나치게 큰 것은 바람직하지 않다.
- [148] 본 발명에 따른 2세대 초전도 선재는 상기 임계 전류 이상의 전류에 대한 전압의 기울기는 25 내지 30의 범위를 만족하는 것이 바람직하다. 상기 기울기(n)은 임계 전류를 측정하는 방법으로 자연스럽게 측정할 수 있다.
- [149] 도 7은 본 발명에 따른 초전도 선재의 기밀성(Hermeticity) 시험설비를 도시한다.
- [150] 초전도 선재의 기밀성이란 초전도 선재가 고압의 액체 질소에 침지된 상태에서 초전도 선재가 부풀지 않고 원래의 형태를 유지하며 미리 결정된 범위의 임계 전류가 보장됨을 의미하는 것이다.
- [151] 시험방법은 도 7에 도시된 바와 같이, 초전도 선재(131)를 배치한 금속관(S) 내에 액체 질소(L)를 충전하고 금속관(S)의 내부압이 30기압(atm) 정도가 되도록 외부에서 금속관(S) 내측으로 기체 질소로 압력을 인가한 상태를 16시간 정도 유지한 후 초전도 선재의 부풀어오름(ballooning) 육안 검사 및 임계 전류를 측정하는 방법이 사용될 수 있다.
- [152] 이와 같은 시험 조건에서, 초전도 선재가 육안 검사에서 부풀지 않고 임계 전류가 통상적인 임계 전류의 95퍼센트 정도를 유지하면 기밀성 조건을 만족하는 것으로 판단할 수 있다.
- [153] 본 명세서에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 당업자는 이하에서 서술하는 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경 실시할 수 있을 것이다. 그러므로 변형된 실시가 기본적으로 본 발명의 특허청구범위의 구성요소를 포함한다면 모두 본 발명의 기술적 범주에 포함된다고 보아야 한다.

청구범위

- [청구항 1] 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용된 초전도 선재에 있어서, 77K의 온도, 1 기압, 셸프 필드에서의 임계 전류(DC I_c)는 150A 내지 500A인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 초전도 선재를 직경 35밀리미터(mm)인 롤러 2개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 밴딩 스트레스 인가시의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 초전도 선재를 직경 50밀리미터(mm)인 롤러 4개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 더블-밴딩 스트레스 인가시의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 초전도 선재는 250MPa 길이방향 인장력 또는 0.2% 신장되는 길이방향 인장력이 인가되는 경우의 인장 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
상기 초전도 선재를 길이방향으로 200 밀리미터(mm) 간격으로 비틀린 상태에서의 비틀림 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 6] 제1항에 있어서,
초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 경우의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 7] 제1항에 있어서,
상기 초전도 선재는 200 미터(m) 내지 400 미터(m) 단위로 접합되며, 접합부위의 저항은 200nΩ 이하인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 8] 제7항에 있어서,
상기 접합 저항은 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 접합 부위별 접합 저항이 240 nΩ 이하가 되거나, 평상태의 접합 저항보다 20 퍼센트 이하로 증가되는 것을

- 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 9] 제1항에 있어서,
상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 10] 제1항에 있어서,
상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 초전도 선재의 부풀어오름이 육안으로 관찰되지 않는 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 11] 제1항에 있어서,
상기 임계 전류 이상의 전류에 대한 전압의 기울기는 25 내지 30인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 12] 제1항에 있어서,
상기 초전도 선재의 교류 손실은 $0.4 \text{ W/kA} \cdot \text{m}$ 이하인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.
- [청구항 13] 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용된 초전도 선재에 있어서,
77K의 온도, 1 기압, 셀프 필드에서의 임계 전류(DC I_c)는 150A 내지 500A 이하이며,
상기 초전도 선재를 직경 35밀리미터(mm)인 롤러 2개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 밴딩 스트레스가 인가되는 경우,
상기 초전도 선재를 직경 50밀리미터(mm)인 롤러 4개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 더블-밴딩 스트레스가 인가되는 경우,
상기 초전도 선재에 250MPa 길이방향 인장력 또는 0.2% 신장되는 길이방향 인장력이 인가되는 경우,
상기 초전도 선재를 길이방향으로 200 밀리미터(mm) 간격으로 비튼 경우, 또는
초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 경우 또는 상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상을 만족하고,
상기 초전도 선재는 200 미터(m) 내지 400 미터(m) 단위로 접합되며, 접합부위의 저항은 $200\text{n}\Omega$ 이하이며, 상기 접합 저항은 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 접합 부위별

접합 저항이 $240\text{ n}\Omega$ 이하가 되거나, 평상태의 접합 저항보다 20 퍼센트 이하로 증가되며,

상기 임계 전류 이상의 전류에 대한 전압의 기울기는 25 내지 30이고, 교류 손실은 $0.4\text{ W/kA}\cdot\text{m}$ 이하인 것을 특징으로 하는 초전도 선재.

[청구항 14] 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용된 초전도 선재에 있어서, 상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 초전도 선재의 부풀어오름이 육안으로 관찰되지 않는 것을 특징으로 하는 초전도 선재.

[청구항 15] 폭이 0.4 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이고 두께가 0.3 밀리미터(mm) 내지 0.5 밀리미터(mm)이며, 초전도 물질로 YBCO 또는 ReBCO(Re=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho)가 사용된 초전도 선재에 있어서, 77K의 온도, 1 기압, 셀프 필드에서의 임계 전류(DC I_c)는 150A 내지 500A 이하이며,

상기 초전도 선재를 직경 35밀리미터(mm)인 롤러 2개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 밴딩 스트레스가 인가되는 경우, 상기 초전도 선재를 직경 50밀리미터(mm)인 롤러 4개를 사용하여 순차적으로 방향 변경하며 밴딩한 후의 더블-밴딩 스트레스가 인가되는 경우,

상기 초전도 선재에 250MPa 길이방향 인장력 또는 0.2% 신장되는 길이방향 인장력이 인가되는 경우,

상기 초전도 선재를 길이방향으로 200 밀리미터(mm) 간격으로 비튼 경우, 또는

초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 경우 또는 상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에 16시간 침지한 상태에서의 임계 전류는 상기 임계 전류의 95퍼센트 이상을 만족하고,

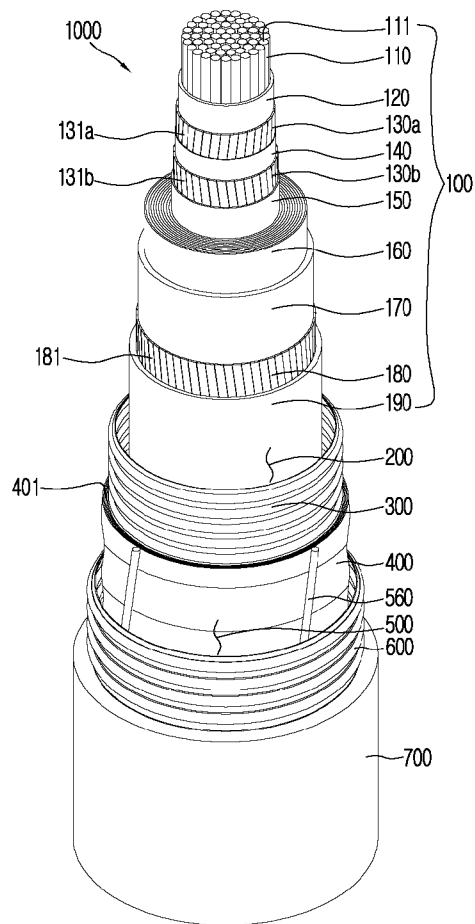
상기 초전도 선재는 200 미터(m) 내지 400 미터(m) 단위로 접합되며, 접합부위의 저항은 $200\text{ n}\Omega$ 이하이며, 상기 접합 저항은 초전도 케이블의 포머에 상기 초전도 선재를 220 밀리미터(mm) 전후의 피치로 권선하고 초전도 선재의 길이방향으로 3 kg ~ 8 kg의 하중이 인가되는 접합 부위별 접합 저항이 $240\text{ n}\Omega$ 이하가 되거나, 평상태의 접합 저항보다 20 퍼센트 이하로 증가되며,

상기 임계 전류 이상의 전류에 대한 전압의 기울기는 25 내지 30이고, 교류 손실은 $0.4\text{ W/kA}\cdot\text{m}$ 이하이며,

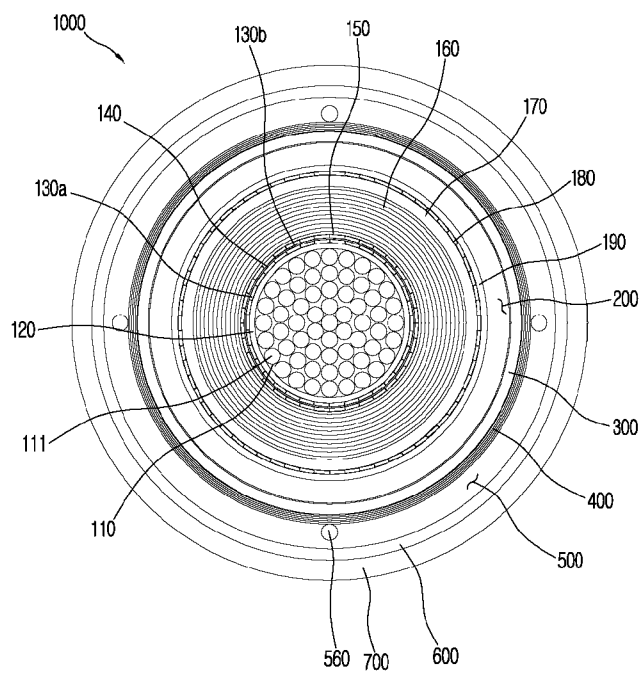
상기 초전도 선재를 내부압이 30기압 정도로 유지되는 액체 질소에

16시간 침지한 상태에서의 초전도 선재의 부풀어오름이 육안으로 관찰되지 않는 것을 특징으로 하는 초전도 선재.

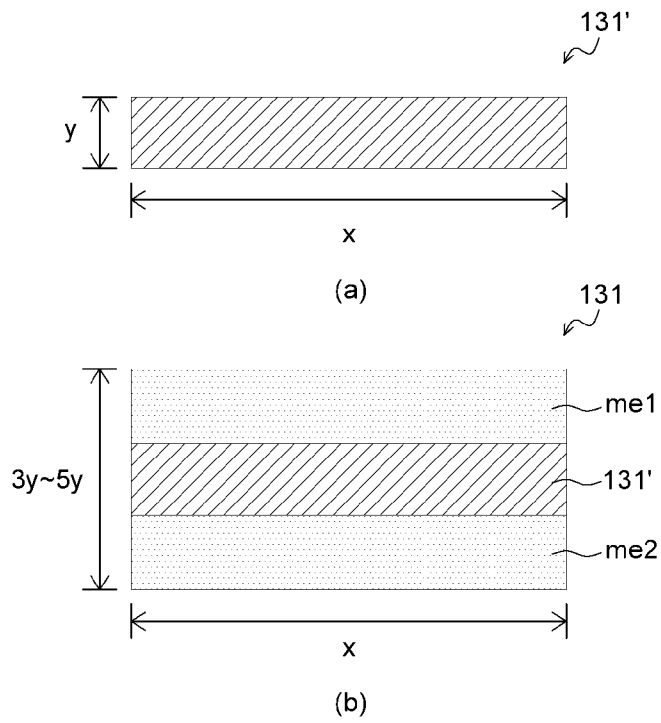
[도1]



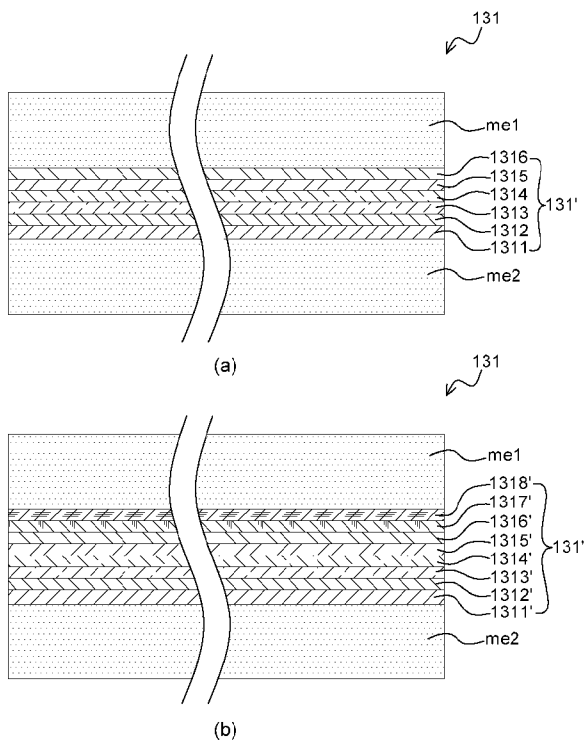
[도2]



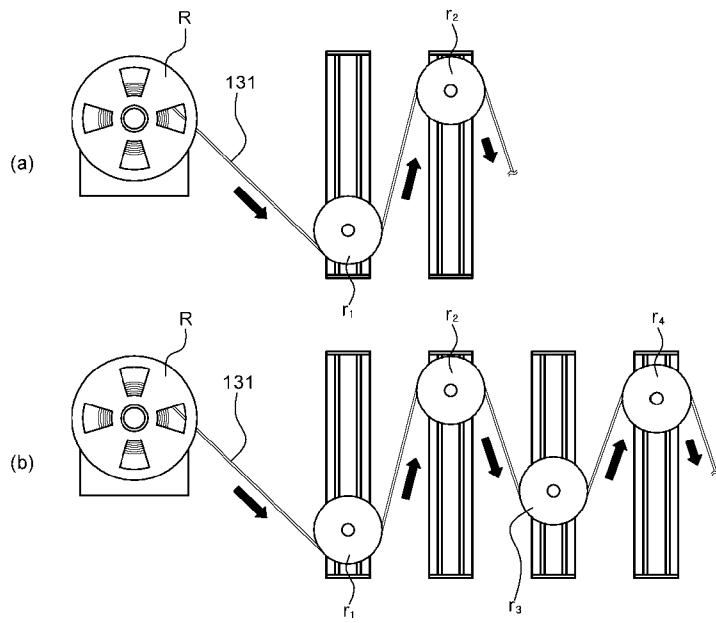
[도3]



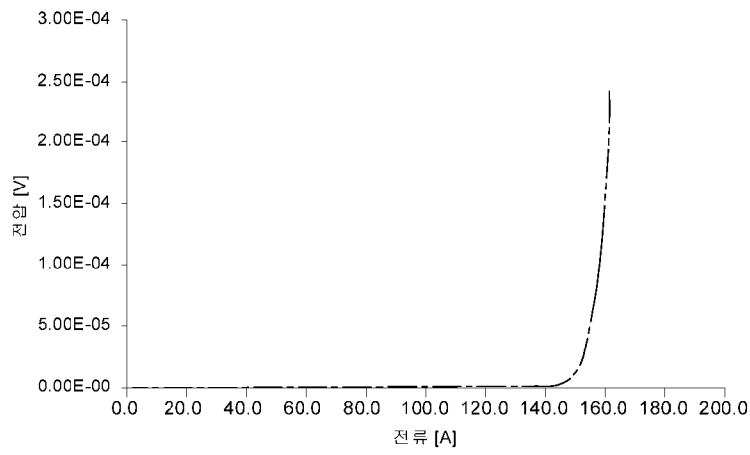
[도4]



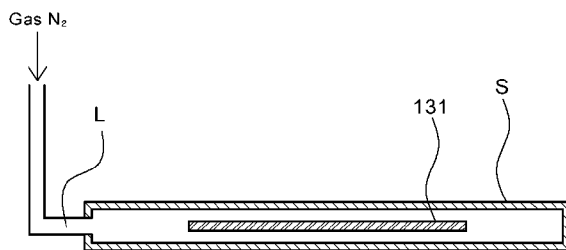
[도5]



[도6]



[도7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2016/006646**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*****H01B 12/00(2006.01)i, H01B 1/02(2006.01)i, H01B 1/06(2006.01)i, H01B 13/22(2006.01)i, H01B 13/00(2006.01)i***

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01B 12/00; H01B 11/06; H01B 12/02; H01B 12/06; H01B 12/10; H01B 17/50; H01B 1/02; H01B 1/06; H01B 13/22; H01B 13/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: superconductivity, width, thickness, YBCO, critical current

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KR 10-2014-0067495 A (KOREA ELECTROTECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE) 05 June 2014	1-6,9-12,14
Y	See abstract, paragraphs [3], [30]-[40] and figures 3, 9.	7,8,13,15
Y	KR 10-2013-0107301 A (SUPERPOWER INC.) 01 October 2013 See abstract and paragraph [34].	7,8,13,15
A	KR 10-2011-0033865 A (AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION) 31 March 2011 See abstract and paragraph [50].	1-15
A	KR 10-0742501 B1 (LS CORP.) 24 July 2007 See abstract, pages 4, 5 and figures 1-4c.	1-15
A	WO 2010-011739 A1 (AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION) 28 January 2010 See abstract, paragraphs [55]-[61] and figure 2.	1-15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 OCTOBER 2016 (18.10.2016)

Date of mailing of the international search report

19 OCTOBER 2016 (19.10.2016)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2016/006646

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-2014-0067495 A	05/06/2014	KR 10-1410841 B1 US 2015-0248952 A1 WO 2014-081097 A1	23/06/2014 03/09/2015 30/05/2014
KR 10-2013-0107301 A	01/10/2013	CN 103210455 A EP 2617042 A1 JP 2013-543631 A US 2012-0065074 A1 US 8716188 B2 WO 2012-037231 A1	17/07/2013 24/07/2013 05/12/2013 15/03/2012 06/05/2014 22/03/2012
KR 10-2011-0033865 A	31/03/2011	AU 2009-274080 A1 AU 2009-274080 B2 CA 2731693 A1 CA 2731693 C CN 102105947 A CN 102105947 B EP 2324482 A1 EP 2324482 B1 JP 2011-529255 A JP 5016139 B2 US 2010-0022396 A1 US 8195260 B2 WO 2010-011739 A1	28/01/2010 12/12/2013 28/01/2010 09/09/2014 22/06/2011 03/04/2013 25/05/2011 23/04/2014 01/12/2011 05/09/2012 28/01/2010 05/06/2012 28/01/2010
KR 10-0742501 B1	24/07/2007	NONE	
WO 2010-011739 A1	28/01/2010	AU 2009-274080 A1 AU 2009-274080 B2 CA 2731693 A1 CA 2731693 C CN 102105947 A CN 102105947 B EP 2324482 A1 EP 2324482 A4 EP 2324482 B1 JP 2011-529255 A JP 5016139 B2 KR 10-1242007 B1 KR 10-2011-0033865 A US 2010-0022396 A1 US 8195260 B2	28/01/2010 12/12/2013 28/01/2010 09/09/2014 22/06/2011 03/04/2013 25/05/2011 01/05/2013 23/04/2014 01/12/2011 05/09/2012 11/03/2013 31/03/2011 28/01/2010 05/06/2012

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H01B 12/00(2006.01)i, H01B 1/02(2006.01)i, H01B 1/06(2006.01)i, H01B 13/22(2006.01)i, H01B 13/00(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H01B 12/00; H01B 11/06; H01B 12/02; H01B 12/06; H01B 12/10; H01B 17/50; H01B 1/02; H01B 1/06; H01B 13/22; H01B 13/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))
eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 초전도, 폭, 두께, YBCO, 임계 전류

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	KR 10-2014-0067495 A (한국전기연구원) 2014.06.05 요약, 문단번호 [3], [30]-[40] 및 도면 3, 9 참조.	1-6, 9-12, 14
Y		7, 8, 13, 15
Y	KR 10-2013-0107301 A (수퍼파워, 인크.) 2013.10.01 요약 및 문단번호 [34] 참조.	7, 8, 13, 15
A	KR 10-2011-0033865 A (아메리칸 수퍼컨덕터 코퍼레이션) 2011.03.31 요약 및 문단번호 [50] 참조.	1-15
A	KR 10-0742501 B1 (엘에스전선 주식회사) 2007.07.24 요약, 페이지 4, 5 및 도면 1-4c 참조.	1-15
A	WO 2010-011739 A1 (AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION) 2010.01.28 요약, 문단번호 [55]-[61] 및 도면 2 참조.	1-15

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2016년 10월 18일 (18.10.2016)

국제조사보고서 발송일

2016년 10월 19일 (19.10.2016)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소

대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

김연정

전화번호 +82-42-481-3325



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2014-0067495 A	2014/06/05	KR 10-1410841 B1 US 2015-0248952 A1 WO 2014-081097 A1	2014/06/23 2015/09/03 2014/05/30
KR 10-2013-0107301 A	2013/10/01	CN 103210455 A EP 2617042 A1 JP 2013-543631 A US 2012-0065074 A1 US 8716188 B2 WO 2012-037231 A1	2013/07/17 2013/07/24 2013/12/05 2012/03/15 2014/05/06 2012/03/22
KR 10-2011-0033865 A	2011/03/31	AU 2009-274080 A1 AU 2009-274080 B2 CA 2731693 A1 CA 2731693 C CN 102105947 A CN 102105947 B EP 2324482 A1 EP 2324482 B1 JP 2011-529255 A JP 5016139 B2 US 2010-0022396 A1 US 8195260 B2 WO 2010-011739 A1	2010/01/28 2013/12/12 2010/01/28 2014/09/09 2011/06/22 2013/04/03 2011/05/25 2014/04/23 2011/12/01 2012/09/05 2010/01/28 2012/06/05 2010/01/28
KR 10-0742501 B1	2007/07/24	없음	
WO 2010-011739 A1	2010/01/28	AU 2009-274080 A1 AU 2009-274080 B2 CA 2731693 A1 CA 2731693 C CN 102105947 A CN 102105947 B EP 2324482 A1 EP 2324482 A4 EP 2324482 B1 JP 2011-529255 A JP 5016139 B2 KR 10-1242007 B1 KR 10-2011-0033865 A US 2010-0022396 A1 US 8195260 B2	2010/01/28 2013/12/12 2010/01/28 2014/09/09 2011/06/22 2013/04/03 2011/05/25 2013/05/01 2014/04/23 2011/12/01 2012/09/05 2013/03/11 2011/03/31 2010/01/28 2012/06/05