

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구  
국제사무국

(43) 국제공개일  
2016년 5월 19일 (19.05.2016)



(10) 국제공개번호  
**WO 2016/076451 A1**

- (51) 국제특허분류:  
*H01B 12/14* (2006.01) *H01B 12/00* (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2014/010807
- (22) 국제출원일: 2014년 11월 11일 (11.11.2014)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (71) 출원인: 엘에스전선 주식회사 (LS CABLE & SYSTEM LTD) [KR/KR]; 431-848 경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동), Gyeonggi-do (KR).
- (72) 발명자: 겸
- (71) 출원인 : 나진배 (NA, Jin Bae) [KR/KR]; 137-797 서울시 서초구 잠원로 157, 120 동 107 호 (잠원동, 신반포 16 차아파트), Seoul (KR). 김한중 (KIM, Han Joong) [KR/KR]; 150-937 서울시 영등포구 국제금융로 86, 101 동 2701 호 (여의도동, 롯데캐슬 아이비 아파트), Seoul (KR). 김영웅 (KIM, Young Woong) [KR/KR]; 441-470 경기도 수원시 권선구 임북로 50, 105 동 203 호 (임북동, 서수원자이아파트), Gyeonggi-do (KR). 최창열 (CHOI, Chang Yeol) [KR/KR]; 426-837 경기도 안산시 상록구 화랑로 527, 1011 동 1403 호 (성포동, 주공 10 단지아파트), Gyeonggi-do (KR). 성희경 (SUNG, Heo Gyung) [KR/KR]; 440-330 경기도 수원시 장안구

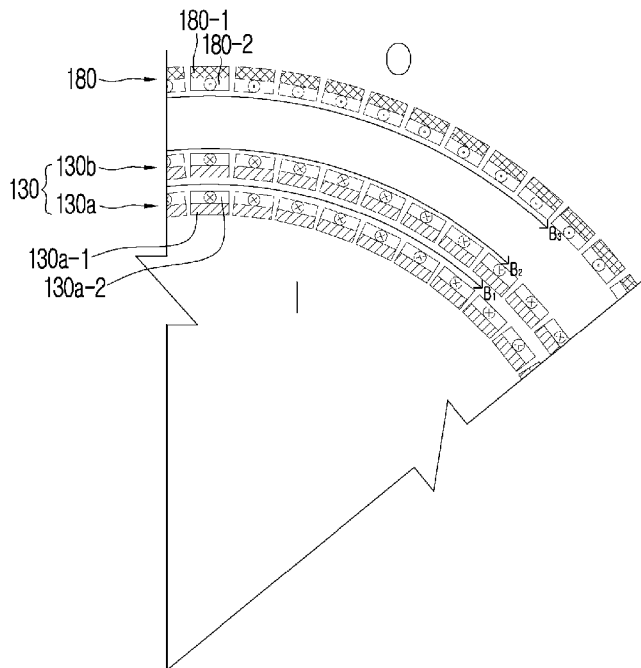
일월로 82 번길 2, 105 호 (천천동), Gyeonggi-do (KR). 이석주 (LEE, Seok Ju) [KR/KR]; 440-330 경기도 수원시 장안구 일월로 84, 404 호 (천천동), Gyeonggi-do (KR).

- (74) 대리인: 김준현 (KIM, Joon-Hyun) 등; 137-860 서울시 서초구 사임당로 174 강남미래타워 801, 퍼스트국제특허법률사무소, 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, KR, 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, 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,

[다음 쪽 계속]

(54) Title: SUPERCONDUCTIVE CABLE

(54) 발명의 명칭 : 초전도 케이블



(57) Abstract: The present invention relates to a superconductive cable using a superconductive wire comprising a metal substrate of a (Ni-W based) magnetic material as a superconductive layer, and a superconductive shield layer. The superconductive cable can minimize alternating current loss which occurs at the time of transmitting alternating current power.

(57) 요약서: 본 발명은 자성체 금속기판(Ni-W 계열)이 포함된 초전도 선재를 초전도 도체층 및 초전도 차폐층으로 사용하는 초전도 케이블에 있어서, 교류 전력 전송시에 발생하는 교류 손실(AC loss)을 최소화할 수 있는 초전도 케이블에 관한 것이다.



MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, **공개:**

TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,

KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). — 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

## 명세서

### 발명의 명칭: 초전도 케이블

#### 기술분야

- [1] 본 발명은 초전도 케이블에 관한 것이다. 보다 상세하게, 본 발명은 자성체 금속기관(Ni-W 계열)이 포함된 초전도 선재를 초전도 도체층 및 초전도 차폐층으로 사용하는 초전도 케이블에 있어서, 교류 전력 전송시에 발생하는 교류 손실(AC loss)를 최소화할 수 있는 초전도 케이블에 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] 이러한 초전도 케이블은 일반적으로 전력 전송을 위한 초전도 선재로 구성된 초전도 도체층과 함께 초전도 도체층에 의하여 유도되는 전자기 등의 차폐를 위한 초전도 차폐층을 구비할 수 있다. 상기 초전도 차폐층 역시 초전도 도체층과 마찬가지로 고가의 초전도 선재로 구성된다.
- [5] 즉, 초전도 도체층에서 전송되는 전력에 의하여 유도되는 전자기파는 초전도 차폐층을 통해 차폐될 수 있다.
- [6] 지금까지 개발된 BSCCO계의 1세대 초전도 선재는 비교적 간편한 기계가공법으로 제조가 가능하지만, BSCCO(Bi-2223, Bi-2212) 초전도 선재의 결정배향 특성상, 77 K 온도에서의 임계 전류밀도(Jc)를 10만 A/cm<sup>2</sup> 이상으로 향상시키는데 한계가 있고, 원가 구성에서 선재의 시스물질인 Ag 가격이 고가이기 때문에 성능대비가격을 낮추는 것이 어려워서, 최근 1세대 초전도 선재의 제조 및 사용이 감소하였다.
- [7] 반면 2세대 초전도 선재는 금속 기관위에 산화물막이 복층으로 증착된 형태를 하고 있어서 코팅 컨덕터(coated conductor, 이후 CC라고 기술)라고 부른다.
- [8] YBCO나 REBCO계의 2세대 초전도 선재는 자기장에서의 임계전류 특성이 높고 임계전류밀도가 1세대인 BSCCO 선재에 비하여 수십 배 이상으로 훨씬 높기 때문에 1990년대 초부터 1세대 고온 초전도 선재를 대체할 수 있는 차세대 초전도 선재로 주목 받으며 활발하게 다양한 제조 공정들이 개발되고 있다.
- [9] 2세대 초전도 선재는 일반적으로 금속기관 위에 증착된 여러 층의 산화물박막 및 보호층으로 이루어질 수 있다.
- [10] 2세대 초전도 선재는 많은 초전류(supercurrent)가 흐르도록 하기 위해서는 결정입계에서 초전류가 제한을 받기 때문에 공정 과정에서 초전도 선재 결정입자들을 양측으로 정렬시켜서 결정 배향성을 높이는 것이 중요하다. 2세대

초전도 선재는 주로 YBCO나 REBCO(RE=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho) 물질을 증착하며, 2세대 초전도 선재의 초전도 특성은 생성된 초전도 선재의 초전도층의 조성 및 밀도, 결정의 배향성 등에 크게 의존한다.

- [11] 2세대 초전도 선재의 금속기판은 완충층의 증착법에 따라 서로 다른 재료를 사용하는데, 하스텔로이(hastelloy, SUS 등의 합금) 또는 압연과 재결정 열처리를 통하여 미리 금속 결정을 양축 방향으로 배향시킨 Ni-W 합금기판(RABiTS, Rolling Assisted Bi-axially Textured Substrate)이 대표적으로 사용되고 있다.
- [12] 2세대 초전도 선재의 금속기판이 자성체로 구성되는 Ni-W 합금기판 등이 사용되는 경우, 초전도 케이블이 교류전력을 전송하는 경우에는 교류손실(AC loss)의 문제가 발생될 수 있다.
- [13] 초전도 선재가 사용되는 초전도 케이블은 일반적으로 전력 전송을 위한 초전도 선재로 구성된 초전도 도체층과 함께 초전도 도체층에 의하여 유도되는 전자기 등의 차폐를 위한 초전도 차폐층을 구비할 수 있다.
- [14] 최근 초전도 케이블은 전력 전송능력을 증대시키기 위하여 초전도 도체층과 초전도 차폐층은 각각 복층의 초전도 선재로 구성하는 경우가 많다.
- [15] 복층의 초전도 선재로 초전도 도체층과 초전도 차폐층이 구비되는 경우, 각각의 층을 구성하는 초전도 선재의 초전도 도체층 및 금속기판의 방향 또는 배향에 따라 교류손실의 문제가 더 심화되는 경우가 발생될 수 있다.
- [16] 초전도 선재의 교류손실과 관련하여, 일본 공개공보 JP2012-256508호는 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 폭을 줄여 교류손실을 최소화하는 기술에 대하여 개시하고는 있으나, 구체적으로 초전도 선재의 방향 또는 배향과 관련된 기술적 해결수단에 대한 인식 또는 암시는 존재하지 않고 있으며, 일본 등록특허 JP5192741호는 교류손실과 관련된 기술적 과제 및 기술적 해결방법을 개시하고 있으나, 본 발명과 기술적 해결방법에 있어서 큰 차이를 보이고 있으며 발명의 효과에 대하여도 의문되며, 일본 등록특허 JP5385746호는 초전도 케이블을 구성하는 초전도 선재의 층별 구조에 대한 개시는 존재하지만, 본 발명에 따른 기술적 과제를 해결하기 위한 기술적 해결수단에 대한 개시 또는 암시가 전혀 존재하지 않는다.

## 발명의 상세한 설명

### 기술적 과제

- [17] 본 발명은 초전도 케이블의 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 복층의 초전도 선재의 초전도층 및 금속기판의 방향성을 조절하여, 교류 전력 전송 시 발생될 수 있는 교류 손실을 최소화할 수 있는 초전도 케이블을 제공하는 것을 해결하고자 하는 과제로 한다.

### 과제 해결 수단

- [18] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 포머, 상기 포머 외부를 감싸도록 상기 포머의 길이방향으로 나란히 배치되는 복수 개의 초전도 선재를 포함하는

적어도 1층 이상의 초전도 도체층, 상기 초전도 도체층을 감싸는 절연층, 상기 절연층 외부에 감싸도록 상기 포머의 길이방향으로 나란히 배치되는 복수 개의 초전도 선재를 포함하여 구성되는 적어도 1층 이상의 초전도 차폐층을 포함하는 코어부, 상기 코어부 외측에 구비되며, 상기 코어부를 냉각하기 위한 액상 냉매의 순환유로가 구비되는 냉각부, 상기 냉각부 외측에 구비되며, 단열재가 복수 회 권선되어 구성되는 단열부 및, 상기 단열부 외측에 구비되며, 이격된 위치에 복수 개의 스페이서가 구비되는 진공부를 포함하며, 상기 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재는 금속기판층 및 상기 금속기판층 상부에 복수 층으로 증착되며 초전도 물질을 포함하여 구성된 초전도층을 포함하여 구성되고, 상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블을 포함할 수 있다.

- [19] 이 경우, 상기 초전도 도체층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치될 수 있다.
- [20] 그리고, 상기 초전도 차폐층 중 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기판층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치될 수 있다.
- [21] 여기서, 상기 초전도 차폐층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기판층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치될 수 있다.
- [22] 또한, 상기 초전도 도체층은 4층으로 구성되며, 상기 초전도 차폐층은 2층으로 구성될 수 있다.
- [23] 그리고, 상기 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층의 초전도 선재는 니켈 합금 재질로 구성된 금속기판층을 포함하는 2세대 초전도 선재일 수 있다.
- [24] 또한, 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 포머, 상기 포머 외측에 구비되는 적어도 1층 이상의 초전도 도체층, 상기 초전도 도체층을 감싸는 절연층 및, 상기 절연층 외부에 구비되는 적어도 1층 이상의 초전도 차폐층;을 포함하며, 상기 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재는 금속기판층 및 금속기판층 상부에 복수 층으로 증착되며 초전도 물질을 포함하는 초전도층을 포함하여 구성되고, 상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층 중 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층 및 초전도층의 방향이 반대가 되도록 배치되는 초전도 케이블을 제공할 수 있다.
- [25] 그리고, 상기 초전도 도체층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도

도체층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되고, 금속기관층은 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치될 수 있다.

- [26] 이 경우, 상기 초전도 차폐층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기관층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치될 수 있다.
- [27] 또한, 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 포머, 상기 포머 외부를 감싸는 적어도 1층 이상의 초전도 도체층, 상기 초전도 도체층을 감싸는 절연층, 상기 절연층 외부를 감싸는 적어도 1층 이상의 초전도 차폐층을 포함하는 코어부를 포함하며, 상기 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재는 금속기관층 및 금속기관층 상부에 복수 층으로 증착되며 초전도 물질을 포함하는 초전도층을 포함하여 구성되며, 상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되며, 상기 초전도 차폐층 중 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기관층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블을 제공할 수 있다.
- [28] 여기서, 상기 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되고 금속기관층은 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되며, 복수 층의 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고 금속기관층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치될 수 있다.
- [29] 또한, 상기 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층의 초전도 선재는 니켈 합금 재질로 구성된 금속기관층을 포함하는 2세대 초전도 선재일 수 있다.

### 발명의 효과

- [30] 본 발명에 따른 초전도 케이블에 의하면, 자성체 금속기관(Ni-W 계열)이 포함된 초전도 선재를 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 방향 또는 배향을 최적화하여 교류 전력 전송시에 발생하는 교류 손실(AC loss)를 최소화할 수 있다.
- [31] 또한, 본 발명에 따른 초전도 케이블에 의하면, 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 자기장 변화에 따른 임계전류 저하를 최소화하여 초전도 케이블을 포함하는 전력 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [32] 도 1은 본 발명에 따른 초전도 케이블의 단계별 탈피된 사시도를 도시한다.
- [33] 도 2는 1에 도시된 초전도 케이블의 단면도를 도시한다.
- [34] 도 3는 본 발명에 따른 초전도 케이블의 실시예의 개념도이다.
- [35] 도 4은 본 발명에 따른 초전도 케이블의 다른 실시예의 개념도이다.
- [36] 도 5는 본 발명에 따른 초전도 케이블의 다른 실시예를 도시한다.
- [37] 도 6은 도 5에 도시된 초전도 케이블이 수평방향으로 설치된 상태의 단면도를 도시한다.

### 발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [38] 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.
- [39] 도 1은 본 발명에 따른 초전도 케이블의 단계별 탈피된 사시도를 도시하며, 도 2는 1에 도시된 초전도 케이블의 단면도를 도시한다.
- [40] 본 발명에 따른 초전도 케이블의 기본 구조를 설명한다.
- [41] 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 절연층(140), 상기 절연층(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 시스부(700)를 포함하며, 상기 단열부(400) 및 상기 외부 금속관(600) 사이의 평균 이격거리는 상기 진공부(500)에 구비된 스페이서(560)의 직경보다 크게 구성될 수 있다.
- [42] 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) 소선(111)들을 원형으로 압축한 형태를 가질 수 있다.

- [43] 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.
- [44] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 상기 포머는 중심부가 팽창 형태로 구성될 수도 있으나, 상기 포머(110)는 중공의 원통형상으로 이루어져 초전도 선재를 올리기 위한 틀의 역할과 동시에 내부에 냉매가 이동하기 위한 경로 역할을 하도록 구성될 수 있으며, 포머를 구성하는 각각의 소선(111)들은 구리 등으로 구성될 수 있으며, 각각의 소선을 초전도 선재와 병렬연결을 함으로써, 전력계통에서 고장전류 발생시 귀로도체 역할을 하도록 구성할 수도 있다.
- [45] 고장전류의 용량에 따라 소선을 구성하는 구리 등의 도체 단면적이 정해질 수 있으며, 고압일 경우 구리 소선을 원형으로 압축하여, 연선했 형태로 이루어질 수 있다.
- [46] 상기 포머(110)를 구성하는 여러 가닥의 단면 원형의 소선(111)들을 원형으로 압축한 연선의 형태를 이루기 때문에 포머(110)의 표면이 울록볼록할 수밖에 없다. 따라서, 포머(110)의 울록볼록한 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.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] 또한, 도 1에 도시된 바와 같이, 초전도 케이블을 통해 송전 또는 배전하려는 전류의 용량에 따라 초전도 도체층(130)은 복층으로 구성할 수도 있다.
- [50] 도 1에 도시된 실시예는 총 2층의 초전도 도체층(130a, 130b)이 구비됨이 도시된다. 또한, 초전도 도체층을 단순히 적층하여 배치하면 전류의 표피효과에 따라 전류 용량이 증가되지 않는다. 이러한, 문제점을 방지하기 위하여 초전도 도체층을 복층으로 구비하는 경우에는 초전도 도체층(130a, 130b) 사이에 절연층(140)이 구비될 수 있다. 상기 절연층(140)은 절연 테이프 형태로 구성될 수 있으며, 적층되는 초전도 도체층(130a, 130b) 사이에 배치되어 초전도 도체층(130a, 130b)을 상호 절연시켜 적층된 초전도 선재의 표피효과를 방지할 수 있다. 상기 절연층(140)에 의하여 복층으로 적층된 초전도 도체층들의 통전 방향이 일치될 수 있다.
- [51] 도 1에 도시된 실시예에서, 상기 초전도 도체층(130)은 제1 초전도

도체층(130a)과 제2 도전도 도체층(130b) 2층으로 구성된 예가 도시되었으나, 필요에 따라 더 많은 층의 도전도 도체층이 구비될 수도 있다.

- [52] 그리고, 각각의 도전도 도체층(130a, 130b)을 구성하는 도전도 선재는 포머(110)를 구성하는 각각의 소선들과 병렬 연결될 수 있다. 도전도 선재로 흐르던 전류가 도전도 조건의 파괴 등의 사고시에 포머(110)의 소선으로 흐르도록 하기 위함이다. 이와 같은 방법으로 도전도 조건이 만족되지 않는 경우, 도전도 선재의 저항이 커지고 그에 따른 도전도 선재의 발열 또는 손상 등을 방지하기 위함이다.
- [53] 상기 제1 도전도 도체층(130a) 외측에 구비되는 제2 도전도 도체층(130b)의 외부에 내부 반도체층(150)이 구비될 수 있다. 상기 내부 반도체층(150)은 도전도 도체층(130)의 영역별 전계 집중을 완화하고 표면 전계를 고르게 하기 위하여 구비될 수 있다. 구체적으로, 도전도 선재의 모서리 부분에서 발생하는 전계 집중을 완화하고, 전계 분포를 고르게 하기 위해 구비될 수 있다. 이는 후술하는 외부 반도체층(170) 역시 마찬가지이다.
- [54] 상기 내부 반도체층(150)은 반도체 테이프가 권선되는 방식으로 구비될 수 있다.
- [55] 상기 내부 반도체층(150) 외측에는 절연층(160)이 구비될 수 있다. 상기 절연층(160)은 도전도 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, 도전도 케이블은 도전도 선재의 도전도성을 위하여 극저온으로 냉각되고, 극저온에서는 XLPE가 파손되어 절연 파괴되는 문제점이 있고, 오일 방식(oil filled cable)은 환경 문제 등이 발생될 수 있으므로, 본 발명에 따른 도전도 케이블은 절연층(160)으로서 일반 종이 재질의 절연지를 사용할 수 있으며, 상기 절연층(160)은 절연지를 복수 회 권선하는 방식으로 구성될 수 있다.
- [56] 상기 절연지는 크라프트지나 PPLP(Polypropylene Laminated Paper)가 주로 사용된다. 다양한 지절연 물질 중 도전도 케이블의 경우 권선의 용이성과 절연내력 특성 고려하여 PPLP 절연지가 사용된다.
- [57] 상기 절연층(160) 외부에는 외부 반도체층(170)이 구비될 수 있다. 상기 외부 반도체층 역시 도전도 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.
- [58] 그리고, 상기 외부 반도체층(170) 외측에는 도전도 차폐층(180)이 구비될 수 있다. 상기 도전도 차폐층(180)을 형성하는 방법은 상기 도전도 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 도전도 차폐층(180)을 형성하기 위한 도전도 선재를 각각 원주방향으로 나란히 배치할 수 있다.

- [59] 2세대 초전도 선재로 구성된 차폐층에 통전되는 전류는 초전도 도체층에 흐르는 전류의 약 95% 정도가 되도록 설계하여 누설자계의 최소화가 가능할 수 있다.
- [60] 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.
- [61] 이와 같은 방법으로 초전도 케이블의 코어부(100)가 구성될 수 있으며, 도 1 및 도 2에서 상기 평활층 및 상기 반도전층은 동일 재질의 단일 층으로 구성되는 것으로 도시되었으나, 필요에 따라 다양한 부속층들이 추가될 수 있다.
- [62] 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 코어부에 구비되는 초전도 선재의 초전도 조건인 극저온이 유지되도록 할 수 있다.
- [63] 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.
- [64] 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.
- [65] 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 융기 및 함몰이 반복되는 굴고 구조(corrugated)를 가지며, 상기 내부 금속관(300)은 알루미늄 등의 재질로 구성될 수 있다.
- [66] 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.
- [67] 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.
- [68] 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.
- [69] 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.
- [70] 상기 단열부(400) 외측에는 진공부(500)가 구비될 수 있다. 상기 진공부(500)는 상기 단열부(400)에 의한 단열이 충분하지 못한 경우 발생할 수 있는 상기 단열층 방향으로의 대류 등에 의한 열전달을 최소화하기 위하여 구비될 있다.
- [71] 상기 진공부(500)는 상기 단열부(400) 외측에 이격 공간을 형성하고, 상기 이격 공간을 진공화시키는 방법으로 형성할 수 있다.
- [72] 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 있다.
- [73] 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.
- [74] 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 스페이서(560)는 복수 개가 구비될 수 있으며, 상기 스페이서(560)의 개수는 초전도 케이블의 종류 또는 크기에 따라 증감될 수 있다. 본 발명에 따른 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.
- [75] 상기 스페이서(560)의 재질은 폴리 에틸렌(FEP, PFA, ETFE, PVC, P.E, PTFE) 재질일 수 있다.
- [76] 또한, 상기 스페이서(560)은 필요에 따라 불화 폴리 에틸렌(PTFE, Poly Tetra Fluoro Ethylene) 재질로 구성되거나, 일반 수지 또는 폴리 에틸렌 재질로 구성된 뒤 표면이 불화 폴리 에틸렌 등으로 코팅될 수 있다. 이 경우, 상기 불화 폴리 에틸렌은 테프론일 수 있다.
- [77] 테프론(Teflon)은 불소수지의 일종으로, 테프론은 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. 또한, 테프론은 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.

- [78]     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.
- [79]     그리고, 상기 외부 금속관(600) 외측에는 초전도 케이블 내부를 보호하기 위한 외장 기능을 수행하는 시스부(700)가 구비될 수 있다. 상기 시스부는 통상적인 전력용 케이블의 시스부(700)를 구성하는 시스재가 사용될 수 있다. 상기 시스부(700)는 그 내부의 금속관(600) 등의 부식을 방지하고 외력에 의한 케이블 손상을 방지할 수 있다. 상기 시스부(700)는 폴리에틸렌(PE) 폴리염화비닐(PVC) 등의 재질로 구성될 수 있다.
- [80]     도 2에 도시된 바와 같이, 상기 진공부(500)에 구비된 상기 스페이서(560)는 상기 내부 금속관(300) 외부에 구비되는 단열부(400)를 감싸도록 4개가 구비됨이 도시된다.
- [81]     도 3는 본 발명에 따른 초전도 케이블의 실시예의 개념도이다.
- [82]     도 3에 도시된 실시예는 2개의 초전도 도체층 및 1개의 초전도 차폐층이 구비된 예를 도시한다.
- [83]     본 발명에 따른 초전도 케이블을 구성하는 초전도 선재는 2세대 초전도 선재로서, 니켈-텅스텐(Ni-W) 합금 재질의 금속기판 사용된 실시예를 도시한다.
- [84]     2개의 초전도 도체층은 내측의 제1 초전도 도체층 및 외측의 제2 초전도 도체층으로 구성될 수 있다.
- [85]     도면 상의 도시의 편의를 위하여, 각각의 초전도 선재는 예를 들면 니켈-텅스텐(Ni-W) 등의 니켈 합금 재질로 구성된 금속기판층 및 금속기판층 상부에 구비되며 초전도층(레이어) 또는 초전도 물질을 포함하고 증착 등의 방법으로 부가된 복수의 막을 포함하는 초전도층으로 구성되는 것으로 단순화하여 도시 및 설명한다.
- [86]     본 발명에 따른 초전도 케이블을 구성하는 초전도 선재는 2세대 초전도 선재일 수 있으며, 초전도 선재의 초전도층에 구비된 초전도 물질은 주로 YBCO나 REBCO(RE=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho) 물질 등일 수 있다.

- [87] 구체적으로, 특정온도 이하에서 전기저항이 '0'이 되는 현상을 초전도 현상이라고 하며, 절대영도(-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, BSCCO를 주재료로 하는 1세대 선재와, YBCO 또는 ReBCO를 주재료로 Coated Conductor(CC)형의 2세대 선재가 소개되었다.
- [88] 최근 2세대 초전도 선재의 사용이유 1세대 초전도 선재의 경우 Ag를 모재로 사용하여 초전도 선재의 가격을 낮추기 어렵고 2세대 초전도 선재가 교류 손실풍특성이 더 우수하며, 1세대 초전도 선재는 필라멘트 구조를 갖는 반면 2세대 초전도 선재의 경우 레이어(Layer) 구조 특성이 히스테리시스 손실의 측면에서 더 효율적이라는 장점이 있다.
- [89] 2세대 초전도 선재는 세부적으로 금속기판층, 완충층, 초전도층, 보호층 등을 포함하여 구성될 수 있다. 금속기판층은 선재의 베이스 부재로 사용되며, 초전도 선재의 기계적 강도 유지하는 역할을 하며, 하스텔로이(Hastelloy), 니켈-텅스텐(Ni-W) 등의 물질을 사용될 수 있다. 상기 완충층은 금속기판에 초전도층을 증착하기 위한 버퍼(buffer) 역할을 할 수 있다. 상기 초전도층은 통전시 전류의 통전 경로로 사용되며, 보호층의 재질은 은(Ag) 또는 구리(Cu) 합금 레이어로 구성될 수 있다. 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 있다.
- [90] 그리고 설명의 편의를 위하여 초전도 선재는 크게 금속기판층과 초전도층으로 이분되는 것으로 설명한다. 따라서, 완충층은 금속기판층과 초전도층 사이에 구비되고, 보호층은 초전도층 외측에 구비되는 것으로 이해될 수 있다.
- [91] 그리고, 상기 초전도 선재의 초전도층에 구비된 초전도 물질은 주로 YBCO나 REBCO(RE=Sm, Gd, Nd, Dy, Ho) 물질 등일 수 있음은 이미 언급한 바와 같다.
- [92] 도 3에 도시된 실시예는 상기 초전도 도체층 중 제1 초전도 도체층(130a) 및 제2 초전도 도체층(130b)의 금속기판층(130a-1, 130b-1)이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 제1 초전도 도체층(130a) 및 제2 초전도 도체층(130b)의 초전도층(130a-2, 130b-2)은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치된다.
- [93] 그리고, 도 3에 도시된 실시예에서, 초전도 케이블의 내측에 구비된 제1 초전도 도체층(130a)을 구성하는 초전도 선재의 초전도층(130a-2) 및 제2 초전도 도체층(130b)의 초전도층(130b-2)를 통해 전류가 흐르는 경우, 각각의 제1 초전도 도체층(130a) 및 제2 초전도 도체층(130b)의 외측에 각각의 초전도층(130a-2, 130b-2)를 흐르는 전류에 의하여 원형 자기장이 형성될 수 있다.
- [94] 각각의 제1 초전도 도체층(130a) 및 제2 초전도 도체층(130b)의 외측에 각각 원형 자기장이 형성되는 이유는 각각의 층을 구성하는 초전도 선재에 흐르는

전류의 방향이 동일한 경우에는 각각의 층을 구성하는 인접한 초전도 선재 사이의 자기장 중 수직 성분이 서로 상쇄되기 때문이다.

- [95] 그리고, 전술한 초전도 도체층과 달리, 초전도 차폐층(180)을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층(180-1)은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되고, 초전도 차폐층(180)을 구성하는 초전도 선재의 초전도층(180-2)은 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치된다.
- [96] 그리고, 상기 제1 초전도 도체층(130a) 및 제2 초전도 도체층(130b)을 구성하는 초전도 선재의 초전도층(130a-2, 130b-2)에 전류가 인가되면, 초전도 차폐층(180)을 구성하는 초전도 선재의 초전도층(180-2)은 제1 초전도 도체층(130a) 및 제2 초전도 도체층(130b)을 구성하는 초전도 선재의 초전도층(130a-2, 130b-2)의 전류방향과 반대방향으로 전류가 유도되고, 유도 자기장은 제1 초전도 도체층(130a) 및 제2 초전도 도체층(130b)와 반대로 그 내부를 따라 원형으로 형성될 수 있으며, 상기 제1 초전도 도체층(130a), 상기 제2 초전도 도체층(130b) 및 상기 초전도 차폐층(180)의 경계영역 및 내외부 영역의 주요 자기장은 초전도 도체층 또는 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층의 위치에 의하여 결정될 수 있다.
- [97] 즉, 특정 지점에서의 자기장의 크기는 근거리에 존재하는 초전도 도체층 또는 초전도 차폐층을 구성하는 초전도층의 유무 및 초전도 선재의 초전도층과 금속기판층이 자성체인지 여부에 따라 결정 될 수 있다.
- [98] 이는, 초전도 도체층 또는 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층에 전류가 흘러 발생하는 자기장은 강자성을 갖는 금속기판층을 관통하여 다른 영역까지 전파되는 양은 미미하다고 가정할 수 있기 때문이다.
- [99] 따라서, 유도 자기장에 의한 자기력선을 단순화하여 표현하는 경우, 상기 제1 초전도 도체층(130a), 상기 제2 초전도 도체층(130b) 및 상기 초전도 차폐층(180)의 경계영역, 초전도 도체층 및 초전도 차폐층 내외부 영역의 주요 자기장은 각각 B1, B2, B3으로 표현될 수 있다.
- [100] 각각의 자기장(B1, B2, B3)은 자성체로 구성된 금속기판층에 의하여 그 자기력선의 궤적의 영향을 받게 되므로, 자기장에 의한 자기력선의 궤적과 각각의 초전도 도체층 또는 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층의 방향을 잘 결정해야 한다.
- [101] 예를 들어, 도 3에 도시된 실시예의 초전도 도체층 중 최외부 도체층인 제2 초전도 도체층(130b)을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층(130b-1) 및 초전도층(130b-2)의 방향이 반대가 되면, 즉 제2 초전도 도체층(130b)을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층(130b-1)이 초전도 케이블의 반지름 방향을 향하고, 초전도층(130b-2)이 중심 방향을 향한다면, 제2 초전도 도체층(130b)에 의하여 형성되어 제2 초전도 도체층(130b)을 감싸는 자기장(B2)은 인접한 금속기판층(130b-1)의 강자성에 의하여 왜곡 또는 상쇄되어 자기장의 크기 변화를 유도할 것이며, 자기장의 왜곡 또는 상쇄는 역으로 전송되는 교류 전류의

손실을 야기할 수도 있다.

- [102] 특정 초전도 도체층에 의하여 형성되는 자기장 중 의미있는 크기를 갖는 주요 자기장은 해당 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층 및 초전도층 중 초전도층과 인접한 경계 영역에 원주방향으로 형성되고, 반대편 금속기판층 너머 형성되는 자기장은 금속기판층의 강자성 또는 해당 초전도 도체층과 인접한 초전도 도체층에 의하여 형성되는 자기장에 의하여 상쇄 또는 간섭되는 것으로 볼 수 있다.
- [103] 자기장의 자기력선의 변화는 결국, 초전도 도체층 자체의 임계 전류 또는 허용 가능한 전류를 감소시키게 되며, 교류 손실의 원인이 되며, 더 나아가 임계 전류 이상의 전류가 흐르게 되는 경우 각종 고장 또는 사고의 원인이 될 수 있다.
- [104] 만일, 초전도 도체층이 3개 이상으로 구성되는 경우, 중간에 개재되는 초전도 도체층의 경우에는 방향을 뒤집어도 부득이하게 상호 인접하여 적층된 초전도 도체층들에 의한 자기장에 어느 정도의 영향을 받게 된다. 그러나, 초전도 도체층이 복층으로 적층되어 구성되더라도, 최외부에 위치한 초전도 도체층은 초전도층을 초전도 케이블의 중심방향이 되도록 도 3와 반대 방향으로 배치하면 전술한 교류 손실의 문제가 가장 심각하다는 것을 짐작할 수 있다.
- [105] 따라서, 상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것이 교류 손실을 최소화하기 위하여 바람직하다.
- [106] 초전도 도체층을 흐르는 전류에 대응하여 반대방향 유도 전류가 발생하는 초전도 차폐층(180)은 그 외부 방향으로 노출되는 자기장의 크기는 최소화되어야 한다. 따라서, 도 3에 도시된 바와 같이, 초전도 차폐층(180)의 금속기판층(180-1)은 반지름 방향으로 외측에 배치되어 초전도 차폐층 외부 방향으로 노출되는 자기장의 크기를 최소화할 수 있다.
- [107] 도 3에 도시된 실시예로부터 파악할 수 있듯이, 초전도 도체층의 경우, 각각의 초전도 도체층에 의한 자기장은 각각의 도체층을 감싸도록 형성되고, 초전도 차폐층을 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 초전도 차폐층 내측에 원형으로 형성될 수 있다.
- [108] 따라서, 초전도 차폐층(180)의 경우에는 초전도 도체층 경우와 반대로, 초전도 차폐층(180)을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층(180-1)이 초전도 케이블의 중심방향이 아닌 반지름 방향으로 배치되어야 외부로 노출되는 자기장의 크기 및 교류 손실도 최소화할 수 있다.
- [109] 정리하면, 초전도 도체층 및 초전도 차폐층이 각각 복층으로 구성되는 경우에는 상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층 중 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층 및 초전도층의 방향이 반대가 되도록 하는 것이 바람직하고, 구체적으로는 도 3에 도시된 바와 같이, 상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의

금속기관층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되며, 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층이 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되고, 초전도층은 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되는 것이 바람직하다.

[110] 도 4은 본 발명에 따른 초전도 케이블의 다른 실시예의 개념도이다.

[111] 도 4에 도시된 실시예는 2개의 초전도 도체층 및 1개의 초전도 차폐층이 구비된 예를 도시한다. 도 3를 참조한 설명과 중복된 설명은 생략한다. 도 3에 도시된 실시예는 도 3에 도시된 실시예와 마찬가지로 초전도 도체층이 복수 층이라는 점에서 일치하지만, 전력 전송 용량을 증대시키기 위하여 초전도 도체층의 개수가 4개라는 점에서 차이가 있다.

[112] 또한, 초전도 도체층의 증가에 따라 초전도 차폐층의 개수도 2개로 증가했다.

[113] 이미 언급한 내용을 통해서도 알 수 있듯이, 2개의 초전도 차폐층(180a, 180b) 중 최내부의 제1 초전도 차폐층(180a)을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층(180a-1)과 초전도층(180a-2)의 위치가 변경되는 경우, 제1 초전도 차폐층(180a)에 의하여 형성되는 자기장이 제1 초전도 차폐층(180a)을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층(180a-1)에 의하여 영향을 받고, 수평 방향 자기장의 중 일부가 수직방향 성분이 강화될 것이므로, 초전도 도체층과 마찬가지로 유도 전류와 관련된 교류 손실이 증대되어 차폐 능력을 저하시킬 수 있다.

[114] 따라서, 초전도 도체층 및 초전도 차폐층 모두 복수 층으로 구성되는 경우, 최외부 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층이 초전도 케이블의 중심방향을 향하도록 배치하고, 초전도 차폐층은 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층이 초전도 케이블의 중심 방향을 향하도록 내측으로 배치되도록 하면, 최외부 초전도 도체층 및 최내부 초전도 차폐층이 자기장에 의한 교류 손실을 최소화할 수 있다.

[115] 또한, 복수 층의 초전도 도체층 및 복수 층의 초전도 차폐층 각각의 금속기관층 및 초전도층의 방향을 최외부 초전도 도체층 및 최내부 초전도 차폐층과 대응되도록 구성하는 것이 실험적으로도 교류 손실이 최소화됨이 확인되었다.

[116] 따라서, 복수 층의 초전도 도체층(130) 및 복수 층의 초전도 차폐층(180) 각각은 동일한 방향을 향하도록 적층시키는 것이 바람직하다.

[117] 결론적으로, 상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층 중 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층 및 초전도층의 방향이 반대가 되도록하고, 더 상세하게 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층은 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치하고, 초전도 선재의 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되며, 도 4에 도시된 바와 같이, 초전도 도체층 및 초전도 차폐층이 복층으로 구성되는 경우라면, 복수 층의 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층은 모두 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되며, 복수 층의 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의

초전도층은 모두 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기관층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것이 교류 손실을 최소화할 수 있는 조건이라는 결론에 이를 수 있다.

- [118] 도 5는 본 발명에 따른 초전도 케이블의 다른 실시예를 도시하며, 도 6은 도 5에 도시된 초전도 케이블이 수평방향으로 설치된 상태의 단면도를 도시한다. 도 1 내지 도 4을 참조한 설명과 중복된 설명은 생략한다. 도 5 및 도 6에 도시된 실시예는 초전도 케이블에 구비된 코어부(100)의 개수가 3개인 3상 초전도 케이블을 도시한다.
- [119] 또한, 도 5 및 도 6에 도시된 실시예는 도 1 및 도 2에 도시된 실시예와 달리, 초전도 도체층이 각각의 코어부에서 4개, 각각의 차폐층이 2개씩 구비되는 도 4에 도시된 설명이 적용될 수 있는 예이다.
- [120] 따라서, 도 5 및 도 6에 도시된 실시예는 초전도 도체층 및 초전도 차폐층 모두 복수 층으로 구성되는 경우, 도 4를 참조하여 설명한 바와 같이, 초전도 도체층(130)은 최외부 초전도 도체층(130d)의 금속기관층이 초전도 케이블의 중심방향을 향하도록 배치하고, 초전도 차폐층은 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층이 초전도 케이블의 반지름 방향을 향하도록 외측으로 배치되도록 하면, 최외부 초전도 도체층 및 최내부 초전도 차폐층이 자기장에 의한 교류 손실을 최소화할 수 있다.
- [121] 따라서, 복수 층의 초전도 도체층(130) 및 복수 층의 초전도 차폐층(180) 각각은 동일한 방향을 향하도록 적층시킬 수 있다.
- [122] 3상 초전도 케이블은 각각의 코어부(100)가 독립적으로 냉각부(200)를 구비하는 구조가 아니라 3개의 코어부(100) 외측에 냉각부(200)를 공유하는 구조를 가질 수 있으며, 상기 냉각부(200) 외측에 진공부(500) 역시 공유되는 구조일 수 있다.
- [123] 본 명세서는 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]

포머, 상기 포머 외부를 감싸도록 상기 포머의 길이방향으로 나란히 배치되는 복수 개의 초전도 선재를 포함하는 적어도 1층 이상의 초전도 도체층, 상기 초전도 도체층을 감싸는 절연층, 상기 절연층 외부를 감싸도록 상기 포머의 길이방향으로 나란히 배치되는 복수 개의 초전도 선재를 포함하여 구성되는 적어도 1층 이상의 초전도 차폐층을 포함하는 코어부;  
상기 코어부 외측에 구비되며, 상기 코어부를 냉각하기 위한 액상 냉매의 순환유로가 구비되는 냉각부;  
상기 냉각부 외측에 구비되며, 단열재가 복수 회 권선되어 구성되는 단열부; 및,  
상기 단열부 외측에 구비되며, 이격된 위치에 복수 개의 스페이서가 구비되는 진공부;를 포함하며,  
상기 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재는 금속기관층 및 상기 금속기관층 상부에 복수 층으로 증착되며 초전도 물질을 포함하여 구성된 초전도층을 포함하여 구성되고, 상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.

### [청구항 2]

제1항에 있어서,  
상기 초전도 도체층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기관층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.

### [청구항 3]

제1항에 있어서,  
상기 초전도 차폐층 중 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기관층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.

### [청구항 4]

제3항에 있어서,  
상기 초전도 차폐층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기관층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.

### [청구항 5]

제2항 또는 제4항에 있어서,

- 상기 초전도 도체층은 4층으로 구성되며, 상기 초전도 차폐층은 2층으로 구성되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.
- [청구항 6] 제1항에 있어서,  
상기 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층의 초전도 선재는 니켈 합금 재질로 구성된 금속기판층을 포함하는 2세대 초전도 선재인 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.
- [청구항 7] 포머;  
상기 포머 외측에 구비되는 적어도 1층 이상의 초전도 도체층;  
상기 초전도 도체층을 감싸는 절연층; 및,  
상기 절연층 외부에 구비되는 적어도 1층 이상의 초전도 차폐층;을 포함하며,  
상기 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재는 금속기판층 및 금속기판층 상부에 복수 층으로 증착되며 초전도 물질을 포함하는 초전도층을 포함하여 구성되고,  
상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층 중 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층 및 초전도층의 방향이 반대가 되도록 배치되는 초전도 케이블.
- [청구항 8] 제7항에 있어서,  
상기 초전도 도체층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되고, 금속기판층은 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.
- [청구항 9] 제7항에 있어서,  
상기 초전도 차폐층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기판층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.
- [청구항 10] 포머, 상기 포머 외부를 감싸는 적어도 1층 이상의 초전도 도체층, 상기 초전도 도체층을 감싸는 절연층, 상기 절연층 외부를 감싸는 적어도 1층 이상의 초전도 차폐층을 포함하는 코어부;를 포함하며,  
상기 초전도 도체층 및 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재는 금속기판층 및 금속기판층 상부에 복수 층으로 증착되며 초전도 물질을 포함하는 초전도층을 포함하여 구성되며,  
상기 초전도 도체층 중 최외부 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 금속기판층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고

초전도층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되며, 상기 초전도 차폐층 중 최내부 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층이 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고, 금속기판층은 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.

[청구항 11]

제10항에 있어서,

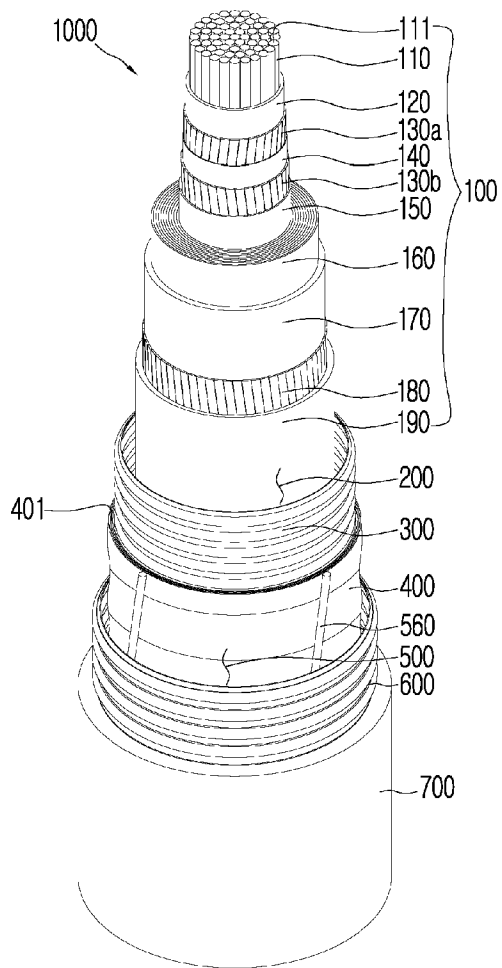
상기 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층은 복수 층으로 구성되며, 복수 층의 초전도 도체층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되고 금속기판층은 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되며, 복수 층의 초전도 차폐층을 구성하는 초전도 선재의 초전도층은 모두 초전도 케이블의 중심 방향으로 배치되고 금속기판층은 모두 초전도 케이블의 반지름 방향으로 배치되는 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.

[청구항 12]

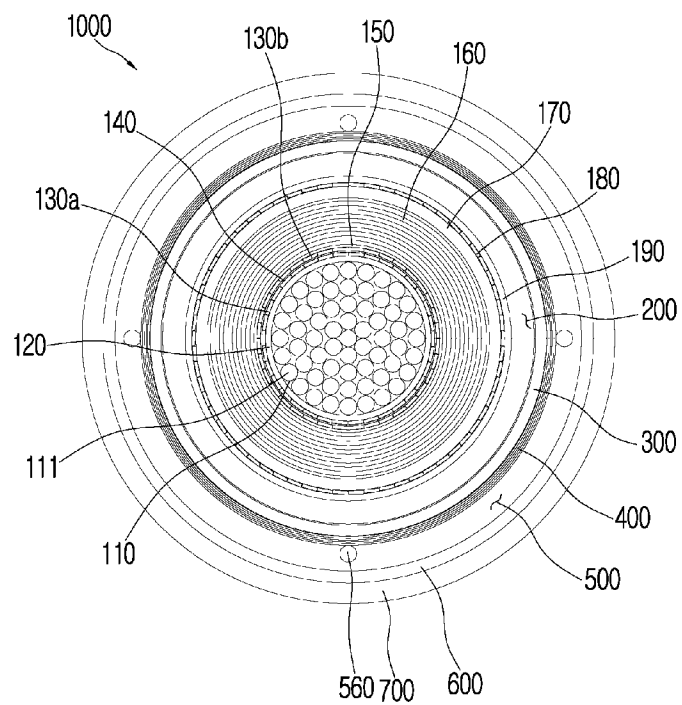
제10항에 있어서,

상기 초전도 도체층 및 상기 초전도 차폐층의 초전도 선재는 니켈 합금 재질로 구성된 금속기판층을 포함하는 2세대 초전도 선재인 것을 특징으로 하는 초전도 케이블.

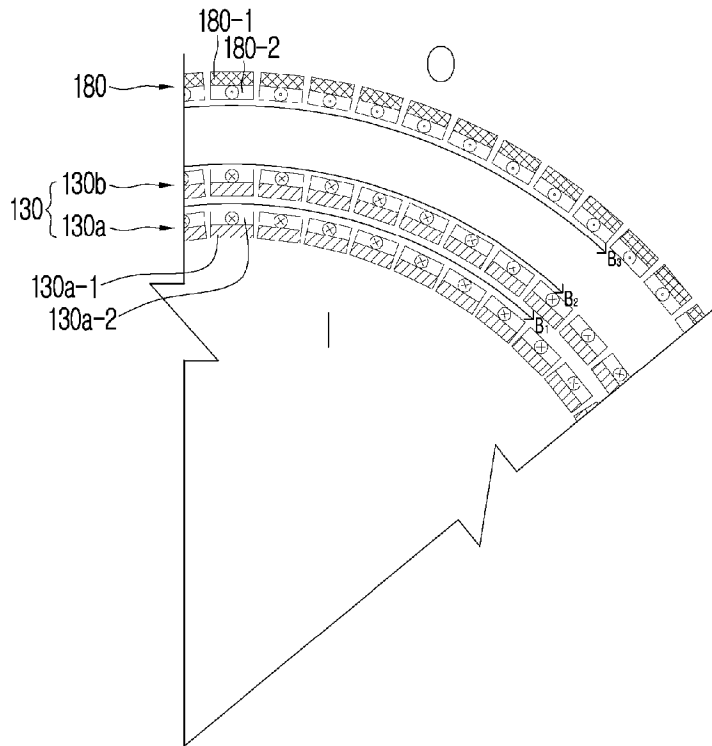
[Fig. 1]



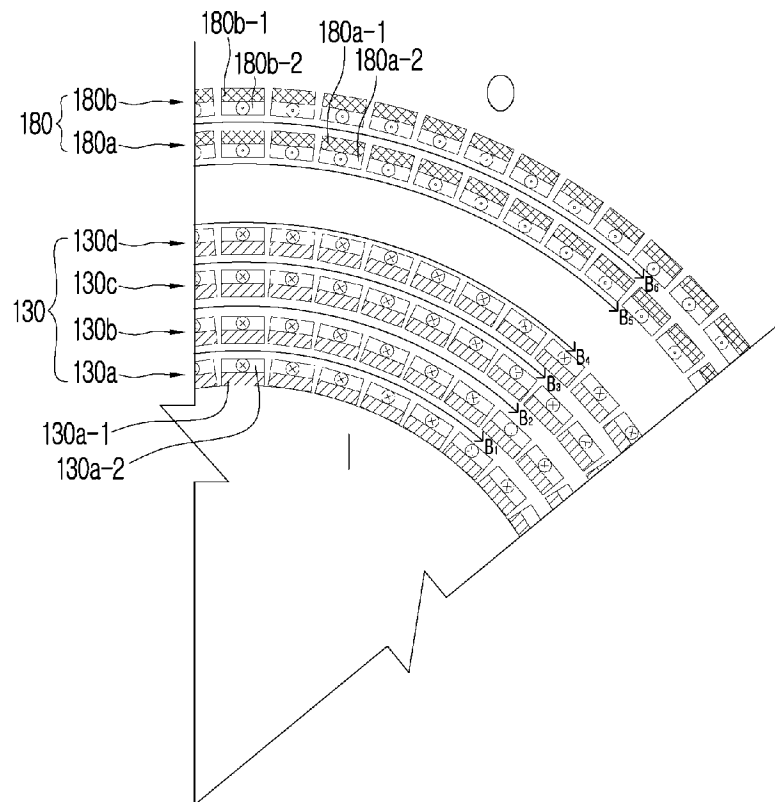
[Fig. 2]



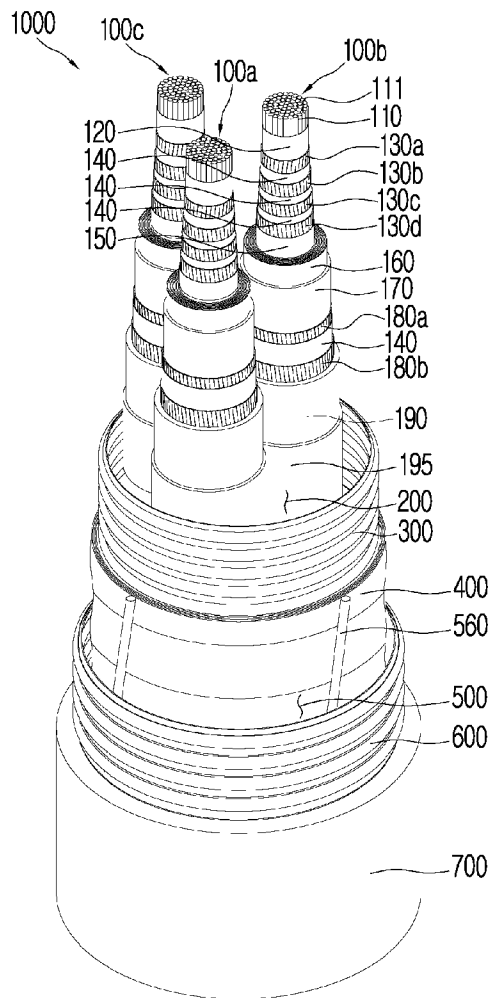
[Fig. 3]



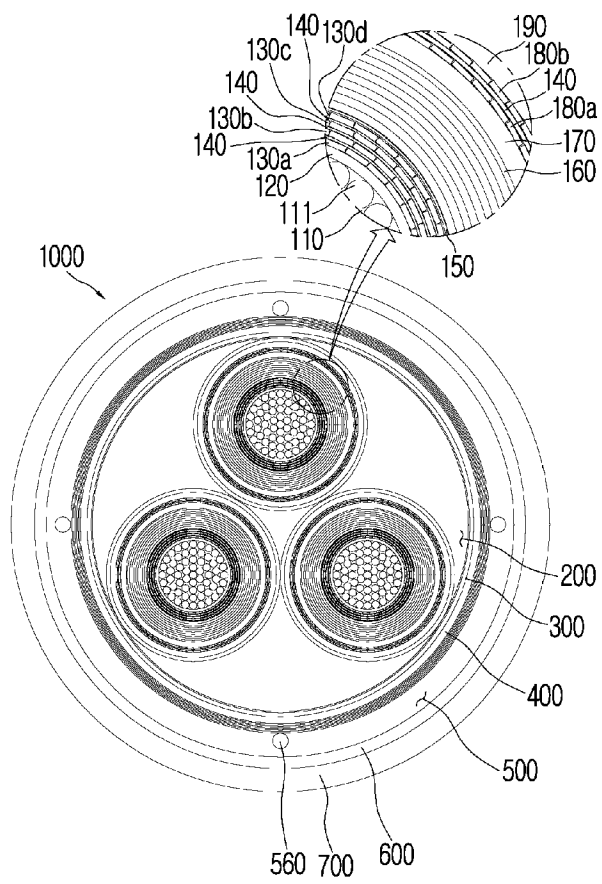
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2014/010807

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

*H01B 12/14(2006.01)i, H01B 12/00(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 12/14; H01B 12/00; A61B 5/055; H01B 12/06; 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: superconductor, shielding, substrate, direction

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                         | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2012-256508 A (SUMITOMO ELECTRIC IND. LTD. et al.) 27 December 2012<br>See abstract, paragraphs [0005], [0027]-[0034] and figures 9-11. | 1-2,5-6               |
| A         |                                                                                                                                            | 3-4,7-12              |
| Y         | JP 5192741 B2 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD. et al.) 08 May 2013<br>See paragraphs [0008]-[0022] and figure 2.                               | 1-2,5-6               |
| A         | KR 10-2014-0115169 A (LS CABLE & SYSTEM LTD.) 30 September 2014<br>See abstract, paragraphs [0033]-[0037], claim 1 and figures 1-7.        | 1-12                  |
| A         | US 2012-0046541 A1 (WHEATON, Andrew J.) 23 February 2012<br>See abstract, paragraphs [0018]-[0031], claims 1-7 and figures 1-8a.           | 1-12                  |
| E         | KR 10-2015-0050515 A (LS CABLE & SYSTEM LTD.) 08 May 2015<br>See abstract, paragraphs [0087]-[0110], claims 1-12 and figures 3, 4.         | 1-12                  |



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

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 AUGUST 2015 (12.08.2015)

Date of mailing of the international search report

12 AUGUST 2015 (12.08.2015)

Name and mailing address of the ISA/KR



Korean Intellectual Property Office  
Government Complex-Daejeon, 189 Sconsa-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/KR2014/010807**

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| JP 2012-256508 A                          | 27/12/2012          | NONE                    |                     |
| JP 5192741 B2                             | 08/05/2013          | JP 2008-047519 A        | 28/02/2008          |
| KR 10-2014-0115169 A                      | 30/09/2014          | NONE                    |                     |
| US 2012-0046541 A1                        | 23/02/2012          | CN 102370484 A          | 14/03/2012          |
|                                           |                     | CN 102370484 B          | 28/05/2014          |
|                                           |                     | JP 2012-040369 A        | 01/03/2012          |
|                                           |                     | US 8299788 B2           | 30/10/2012          |
| KR 10-2015-0050515 A                      | 08/05/2015          | NONE                    |                     |

**A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))****H01B 12/14(2006.01)i, H01B 12/00(2006.01)i****B. 조사된 분야**

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H01B 12/14; H01B 12/00; A61B 5/055; H01B 12/06; 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) &amp; 키워드: 초전도, 차폐, 기판, 방향

**C. 관련 문헌**

| 카테고리* | 인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재                                                                                   | 관련 청구항   |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Y     | JP 2012-256508 A (SUMITOMO ELECTRIC IND. LTD. 외 1) 2012.12.27<br>요약, 문단번호 [0005],[0027]-[0034] 및 도면 9-11 참조. | 1-2,5-6  |
| A     |                                                                                                              | 3-4,7-12 |
| Y     | JP 5192741 B2 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD. 외 1) 2013.05.08<br>문단번호 [0008]-[0022] 및 도면 2 참조.                  | 1-2,5-6  |
| A     | KR 10-2014-0115169 A (엘에스전선 주식회사) 2014.09.30<br>요약, 문단번호 [0033]-[0037], 청구항 1 및 도면 1-7 참조.                   | 1-12     |
| A     | US 2012-0046541 A1 (ANDREW J. WHEATON) 2012.02.23<br>요약, 문단번호 [0018]-[0031], 청구항 1-7 및 도면 1-8a 참조.           | 1-12     |
| E     | KR 10-2015-0050515 A (엘에스전선 주식회사) 2015.05.08<br>요약, 문단번호 [0087]-[0110], 청구항 1-12 및 도면 3,4 참조.                | 1-12     |

☐ 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

“&amp;” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2015년 08월 12일 (12.08.2015)

국제조사보고서 발송일

2015년 08월 12일 (12.08.2015)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



대한민국 특허청

(302-701) 대전광역시 서구 청사로 189,

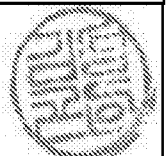
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-472-7140

심사관

김성곤

전화번호 +82-42-481-8746



| 국제조사보고서에서<br>인용된 특허문헌 | 공개일        | 대응특허문헌           | 공개일        |
|-----------------------|------------|------------------|------------|
| JP 2012-256508 A      | 2012/12/27 | 없음               |            |
| JP 5192741 B2         | 2013/05/08 | JP 2008-047519 A | 2008/02/28 |
| KR 10-2014-0115169 A  | 2014/09/30 | 없음               |            |
| US 2012-0046541 A1    | 2012/02/23 | CN 102370484 A   | 2012/03/14 |
|                       |            | CN 102370484 B   | 2014/05/28 |
|                       |            | JP 2012-040369 A | 2012/03/01 |
|                       |            | US 8299788 B2    | 2012/10/30 |
| KR 10-2015-0050515 A  | 2015/05/08 | 없음               |            |