

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2015년 8월 27일 (27.08.2015)



(10) 국제공개번호
WO 2015/126147 A1

- (51) 국제특허분류:
H01B 9/02 (2006.01) H01B 7/24 (2006.01)
H01B 7/18 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2015/001609
- (22) 국제출원일: 2015년 2월 17일 (17.02.2015)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2014-0018783 2014년 2월 19일 (19.02.2014) KR
10-2015-0023515 2015년 2월 16일 (16.02.2015) KR
- (71) 출원인: 엘에스전선 주식회사 (LS CABLE & SYSTEM LTD) [KR/KR]; 431-848 경기도 안양시 동안구 엘에스로 127 (호계동), Gyeonggi-do (KR).
- (72) 발명자: 김태성 (KIM, Tae-Seong); 463-839 경기도 성남시 분당구 성남대로 884-4, 701-701 (야탑동, 탑마을 경남아파트), Gyeonggi-do (KR). 박재철 (GWAG, Jae-Cheol); 704-837 대구시 달서구 진천로 77, 101-2101 (진천동, 계룡 리슈빌 아파트), Daegu (KR). 리녕학 (LI,

Ningxue); 431-905 경기도 안양시 동안구 동편로 120, 406-702 (관양동, 동편마을아파트), Gyeonggi-do (KR). 이주연 (LEE, Ju-Yeon); 200-936 강원도 춘천시 별말길 3-1, 19/3 (석사동), Gangwon-do (KR).

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

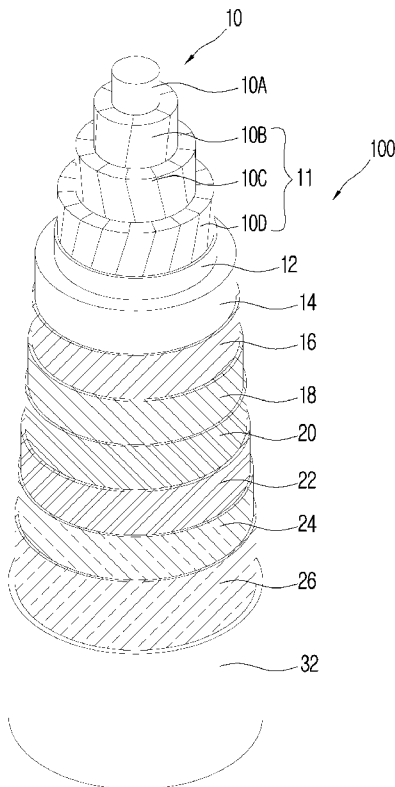
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, 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,

[다음 쪽 계속]

(54) Title: POWER CABLE

(54) 발명의 명칭 : 전력케이블



(57) Abstract: A power cable of the present invention comprises a central circular strand and an n ($n \geq 3$) number of flat strand layers in which a plurality of flat strands are stranded. The first flat strand layer is stranded on the central circular strand in an S or Z direction, and the mth ($2 \leq m \leq n$) flat strand layer includes a flat conductor stranded on the (m-1)th flat strand layer in the S or Z direction and an inner semi-conductive layer, an insulation layer, an outer semi-conductive layer, a metal sheath, and a cable protection layer on the outside of the flat conductor. The sum of reaction torques (T) according to the strand direction of each flat strand layer is defined as the product of the modulus of elasticity of each flat strand, the strain of each flat strand, the cross-sectional area of each flat strand, the sine value of the pitch angle of each flat strand, the distance from the center of the flat conductor to the center of gravity of each flat strand, and the number of flat strands constituting each flat strand layer. A ratio of the absolute values of reaction torques, between one direction in which the absolute value of the sum of reaction torques of the flat strand layer is relatively high and another direction in which the absolute value of the sum of reaction torques is relatively small satisfies, a value of 0.7 to 1.0, and the outermost flat strand layer of the flat conductor and a flat strand layer located to make contact with the inside of the outermost flat strand layer have different strand directions.

(57) 요약서:

[다음 쪽 계속]



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))
- 청구범위 보정 기한 만료 전의 공개이며, 보정서를 접수하는 경우 그에 관하여 별도 공개함 (규칙 48.2(h))

본 발명의 전력케이블은 중심 원형소선과 복수개의 평각소선이 연선했던 n 층($n \geq 3$)의 평각소선층을 포함하되, 제 1 평각소선층은 상기 중심 원형소선 상에 S 방향 또는 Z 방향으로 연선했고, 제 m ($2 \leq m \leq n$) 평각소선층은 제 $(m-1)$ 평각소선층 상에 S 방향 또는 Z 방향으로 연선했어 이루어지는 평각도체, 상기 평각도체의 외측으로 내부반도전층, 절연층, 외부반도전층, 금속시스 및 케이블 보호층을 포함하고, 상기 각 평각소선층의 연선했는 방향에 따른 리액션토크(T)의 합은 평각소선의 탄성계수, 평각소선의 변형율, 각 평각소선의 단면적, 각 평각소선의 피치 각도의 사인값, 평각도체의 중심에서 각 평각소선의 무게중심까지의 거리, 각 평각소선층을 이루는 평각소선의 개수의 곱으로 정의되며, 상기 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 상대적으로 큰 연선했는 방향에 대해 리액션토크의 합의 절대값이 상대적으로 작은 연선했는 방향의 리액션토크의 절대값의 비율이 0.7 내지 1.0 을 만족하고, 상기 평각도체의 상기 최외곽 평각소선층과 상기 최외곽 평각소선층에 접하여 내측에 위치하는 평각소선층은 그 연선했는 방향이 서로 상이한 것을 특징으로 한다.

명세서

발명의 명칭: 전력케이블

기술분야

- [1] 본 발명은 전력케이블에 관한 것으로서, 보다 구체적으로 평각소선이 연선했던 복수의 평각소선층을 구비한 평각도체를 포함하는 전력케이블에 관한 것으로서, 상기 평각도체를 이루는 각 평각소선층의 리액션토크의 합을 조절하여 절연층의 뒤틀림 현상을 방지하는 전력케이블에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로 전력케이블은 전력을 공급하는 도체를 이용하여 지중, 지상 또는 해저를 통하여 원하는 장소로 전력을 공급하도록 사용된다. 이러한 전력케이블은 상기 도체를 절연하는 것이 매우 중요하며, 이를 위하여 상기 도체를 절연시키는 절연층은 XLPE(Cross-linked Polyethylene; 가교 폴리에틸렌) 등을 원료로 하여 제작되거나, 또는 도체에 절연지를 감은 후에 절연지에 절연유를 함침하여 사용하고 있다.
- [3] 한편, 상기 전력케이블은 전력 수요의 증대에 대응하여 고전압을 전송할 수 있도록 그 내부에 구비된 도체의 직경이 점차 커지는 추세이다. 예전에는 복수개의 소선을 연선했던 도체의 경우, 도체를 구성하는 소선의 형태가 단면 형상이 원형인 소선을 주로 사용하였다. 하지만, 이러한 원형 소선을 사용한 도체의 경우 점적율이 상대적으로 낮게 되어 실제 전력을 전송하는 도체의 면적이 낮아지는 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위하여 최근에는 원형이 아닌 사각형 형상의 소위 '평각소선'을 연선했던 평각도체를 사용한 케이블이 개발되었다. 이러한 평각소선을 사용할 경우 도체의 점적율을 향상시킬 수 있으므로 원형 소선에 비해 전력을 전송하는 도체의 면적을 늘릴 수 있다.
- [4] 상기 평각소선을 사용하여 평각도체를 제작하는 과정을 살펴보면, 중앙의 원형 소선 상에 상기 복수의 평각소선을 Z방향 또는 S방향을 따라 연선했던 복수의 평각소선층을 형성하여 상기 평각도체가 완성된다. 이 경우, 상기 Z방향 또는 S방향을 따라 연선했던 각 평각소선층은 상기 연선했던 방향의 반대방향으로 회귀하려는 토크가 작용하며, 이를 '리액션토크(reaction torque)'라 정의할 수 있다.
- [5] 상기 리액션토크가 생기는 요인을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 상기 리액션토크는 온도변화에 따른 열응력에 의해 발생할 수 있다. 즉, 상기 복수의 평각소선층을 구비한 평각도체를 감싸는 절연층을 구성하는 경우에 상기 절연층이 예를 들어 XLPE로 이루어진 경우라면 대략 120°C 내지 130°C 정도에서 압출하여 형성되며, 상기 절연층이 절연유에 함침된 절연지로 구성되는 경우라면 대략 95°C 내지 100°C 정도에서 상기 절연지가 함침된다. 상기와 같이 상대적으로 고온의 온도에서 상기 절연층이 형성되는 경우 상기 절연층의

내부에 위치한 상기 평각도체도 대략 상기 절연층과 유사한 온도를 가지게 된다. 따라서, 이후에 상기 절연층 및 평각도체의 온도가 상기 고온에서 상온으로 하강하는 경우에 상기 평각도체에 구비된 복수의 평각소선층에 온도변화로 인한 열응력이 작용하여 리액션토크를 유발하게 된다.

- [6] 또한, 상기 리액션토크는 기계적 응력에 의해 유발될 수 있다. 즉, 상기 평각도체를 이루는 복수의 평각소선층을 연선하는 경우에 상기 전력케이블의 길이방향으로 소정의 장력을 가하여 상기 각 평각소선층을 연선할 수 있다. 이 경우, 상기 연선작업이 종료되고 상기 평각도체가 완성된다면, 상기 평각도체를 잡아당기는 장력이 사라지게 된다. 이 경우, 상기 평각도체의 각 평각소선층은 연선방향의 반대방향으로 회귀하려고 하게 되며 이에 의해 리액션토크를 유발할 수 있다.
- [7] 전술한 바와 같이 상기 복수의 평각소선층을 구비하는 평각도체에 의해 상기 평각도체의 외부에 위치한 절연층에 리액션토크가 작용하게 되면 상기 절연층의 뒤틀림 현상을 유발하게 되며, 나아가 상기 절연층에 잔류응력(residual stress)을 유발하여 상기 절연층의 절연 성능을 현저히 저하시키게 된다. 이는 상기 절연층이 포함된 전력케이블의 품질을 현저히 떨어뜨리는 요인으로 작용한다. 한편, 상기와 같은 문제점은 상기 절연층이 XLPE 또는 절연유에 함침된 절연지로 구성되는 경우에 모두 발생할 수 있다.
- [8] 한편, 갈수록 대용량의 전력을 전송할 수 있는 케이블이 요구되는 추세이며, 대용량의 전력을 공급하기 위해서는 케이블의 도체 사이즈가 커져야 한다. 하지만, 평각도체의 경우, 도체 사이즈가 커질수록 절연층에 작용하는 리액션토크가 커질 수 있으므로 더욱 문제가 될 수 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [9] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 평각소선이 연선된 복수의 평각소선층을 구비한 평각도체를 포함하는 전력케이블에 있어서, 상기 평각소선층의 각 층의 연선 방향에 따른 리액션토크의 합을 조절하여 절연층의 뒤틀림현상을 방지할 수 있는 전력케이블을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결 수단

- [10] 상기와 같은 본 발명의 목적은 중심 원형소선과 복수개의 평각소선이 연선된 n 층($n \geq 3$)의 평각소선층을 포함하되, 제1 평각소선층은 상기 중심 원형소선 상에 S방향 또는 Z방향으로 연선되고, 제 m ($2 \leq m \leq n$) 평각소선층은 제 $(m-1)$ 평각소선층 상에 S방향 또는 Z방향으로 연선되어 이루어지는 평각도체, 상기 평각도체를 감싸는 내부반도전층, 상기 내부반도전층을 감싸는 절연층, 상기 절연층을 감싸는 외부반도전층, 상기 외부반도전층 외부에 구비된 금속시스 및 상기 금속시스 외부에 구비되는 케이블 보호층을 포함하고,
- [11] 상기 평각도체의 상기 각 평각소선층의 연선방향에 따른 리액션토크(T)의

합은 하기식에 의해 계산되며,

$$[12] \quad T = E \cdot \epsilon \cdot A \cdot \sin \theta \cdot \frac{D_p}{2} \cdot N$$

[13] 여기서, 'E'는 상기 평각소선의 재질에 따른 탄성계수, 'ε'는 상기 평각소선의 재질에 따른 변형율, 'A'는 상기 각 평각소선의 단면적, 'θ'는 상기 각 평각소선의 피치 각도, 'D_p/2'는 상기 평각도체의 중심에서 상기 각 평각소선의 무게중심까지의 거리, 'N'은 상기 각 평각소선층을 이루는 평각소선의 개수로 정의되며,

[14] S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 비율이 하기식을 만족하고,

$$[15] \quad 0.7 \leq \frac{\text{제2방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값}}{\text{제1방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값}} \leq 1.0$$

[16] 여기서, S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값보다 큰 경우에는 S방향을 제1 방향 그리고 Z방향을 제2 방향으로 정의하고, Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값보다 큰 경우에는 Z방향을 제1 방향 그리고 S방향을 제2 방향으로 정의하며,

[17] 상기 평각도체의 상기 최외곽 평각소선층(제n 평각소선층)과 상기 최외곽 평각소선층에 접하여 내측에 위치하는 평각소선층(제(n-1) 평각소선층)은 그 연선방향이 서로 상이한 것을 특징으로 하는 전력케이블에 의해 달성된다.

[18] 여기서, 상기 평각도체에서 최외곽 평각소선층(제n 평각소선층)의 평각소선의 두께가 다른 평각소선층의 평각소선의 두께보다 작도록 결정될 수 있다. 또한, 상기 평각도체에서 최내곽 평각소선층(제1 평각소선층)의 평각소선의 두께는 다른 평각소선층의 평각소선의 두께보다 크도록 결정될 수 있다.

[19] 한편, 상기 평각도체의 크기는 1000 mm² 이상으로 결정될 수 있다.

[20] 한편, 상기 평각도체의 온도변화(ΔT)가 80°C인 경우에 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이가 60 N·m 이하일 수 있다.

[21] 또한, 상기 연선방향에 따른 상기 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값을 조절하는 경우에 상기 각 평각소선층의 층수, 상기 평각소선의 두께, 연선피치 및 연선방향 중에 적어도 하나를 조절할 수 있다.

[22] 여기서, 상기 복수의 평각소선층은 상기 연선방향이 교번적으로 이루어지거나, 또는 상기 복수의 평각소선층 중에서 적어도 하나의 이웃하는 2개의 평각소선층은 상기 연선방향이 동일하게 구성될 수 있다.

[23] 한편, 상기 제m 평각소선층에 포함되는 상기 평각소선의 갯수는 '6*m (1≤m≤n)'에 대응하도록 결정될 수 있다.

[24] 나아가, 상기 절연층은 절연유에 함침된 절연지로 이루어질 수 있다.

- [25] 또한, 상기 절연지는 크라프트지와 폴리프로필렌수지층으로 이루어지는 복합절연지를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [26] 전술한 구성을 가지는 본 발명에 따르면 평각소선이 연선된 복수의 평각소선층을 구비한 평각도체를 포함하는 전력케이블에 있어서, 상기 평각소선층의 각 층의 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 비율을 조절하여 상기 절연층에 작용하는 리액션토크를 최대한 상쇄시켜 상기 절연층의 뒤틀림현상을 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [27] 도 1은 일 실시예에 따른 평각도체를 구비한 전력케이블의 도면,
 [28] 도 2는 다른 실시예에 따른 평각도체를 구비한 전력케이블의 도면,
 [29] 도 3은 평각도체를 정면에서 바라본 정면도,
 [30] 도 4는 평각도체의 리액션토크를 구하기 위한 개략도이다.

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 평각소선이 연선된 평각소선층을 구비한 평각도체를 포함하는 전력케이블(이하, '전력케이블'이라 함)의 구성을 도시한 일부 절개 사시도이고, 도 3은 평각도체를 정면에서 바라본 정면도이다.
- [33] 도 1 및 도 3을 참조하면, 전력케이블(100)은 중심부를 따라 평각도체(10)를 구비한다. 평각도체(10)는 전류가 흐르는 통로 역할을 하게 된다.
- [34] 구체적으로, 상기 평각도체(10)는 도면에 도시된 바와 같이 중심 원형소선(10A)과 상기 중심 원형소선(10A)을 감싸도록 연선된 복수의 평각소선(40)으로 이루어진 평각소선층(11)을 구비할 수 있다. 여기서, 상기 중심 원형소선(10A)은 원형의 형상을 가지는 것이 바람직하며, 상기 평각소선(40)은 단면이 사각형 형상을 가지게 된다. 즉, 종래의 원형 소선 대신에 단면이 사각형 형상의 평각소선(40)을 사용함으로써, 이웃하는 소선 사이의 공극 발생을 방지하여 점적율을 향상시킬 수 있다. 여기서, 사각형이란 사전적으로 엄밀하게 해석되어서는 안된다. 즉, 본 명세서에 걸쳐 사용되는 사각형이란 모서리는 4개이지만 모서리를 연결하는 모든 면이 직선이 아니라, 일부면은 직선이 아닌 곡선형상을 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.
- [35] 예를 들어, 도 3에 도시된 바와 같이, 평각도체(10)의 중심에 원형소선(10A)을 배치하고, 그 외주를 따라 사각형 형상의 복수의 소선(40)을 연선한

평각소선층(11)을 복수 층을 형성할 수 있다. 복수 층의 평각소선층을 형성하는 경우, 중심원형소선(10A) 상에 복수 개의 평각소선(40)을 연선하여 제1 평각소선층(10B)을 형성하고, 제1 평각소선층(10B) 상에 복수 개의 평각소선을 연선하여 제2 평각소선층(10C)을 형성한다.

[36] 이와 같은 방법으로 제(m-1) 평각소선층 상에 복수 개의 평각소선을 연선하여 제m 평각소선층을 형성한다. 이렇게 차례대로 평각소선층을 원하는 층수(n층, $n \geq 3$)만큼 형성할 수 있다. 결국, 복수개의 평각소선이 연선된 n층($n \geq 3$)의 평각소선층을 포함하는 경우, 제1 평각소선층은 상기 중심원형소선(10A) 상에 연선되고, 제m ($2 \leq m \leq n$) 평각소선층은 제(m-1) 평각소선층 상에 연선되어 이루어진다.

[37] 본 발명의 실시예에 따르면, 제m 평각소선층에 포함되는 평각소선의 갯수는 ' $6 * m$ ($1 \leq m \leq n$)'에 해당한다. 즉, 제1 평각소선층의 경우에 6개의 평각소선이 필요하게 되며, 상기 평각소선층의 층수가 증가함에 따라 6의 배수만큼씩 각 층의 평각소선의 개수가 증가하게 된다.

[38] 이 때 상기 각 평각소선층을 이루는 평각소선의 연선방향은 S 또는 Z방향 중에서 선택되며, 각 층의 연선방향은 서로 교번적으로 상이하게 이루어질 수 있다. 도 3에서는 중심원형소선(10A)의 외주를 따라 사각형 형상의 평각소선(40)을 연선한 평각소선층을 3층(10B, 10C, 10D) 형성한 것으로 도시하지만, 이에 한정되지 않으며 상기 층의 숫자는 4층 이상으로 이루어질 수 있으며, 나아가, 상기 각 층을 이루는 소선(40)의 개수, 두께, 너비 및 피치 등은 적절하게 변형이 가능하다.

[39] 한편, 상기 평각소선층(11)은 연속압출공정을 통하여 다수의 평각소선(40)의 단면을 사각형 형상으로 형성하고 상기 다수의 평각소선(40)을 중심원형소선(10A) 상에 연선하여 이루어진다. 상기 평각도체(10)는 전체적으로 원형의 형상을 가지도록 제작된다.

[40] 그런데, 상기 평각도체(10)는 그 표면이 평활하지 않아 전계가 불균일하거나, 전계집중이 발생할 수 있으며, 부분적으로 코로나 방전이 일어나기 쉽다. 또한, 평각도체(10) 표면과 후술하는 절연층(14) 사이에 공극이 생기게 되면 절연성능이 저하된다. 상기과 같은 문제점을 해결하기 위하여 평각도체(10) 외부를 반도체성 카본지와 같은 반도체성 물질 등으로 감싸게 되며, 반도체성 물질에 의해 형성된 층을 내부반도전층(12)으로 정의하게 된다.

[41] 결국, 내부반도전층(12)은 평각도체(10) 표면의 전계완화와 평각도체(10)와 절연층(14) 사이의 보이드(void)에 의해 발생하는 부분방전을 방지하게 된다. 또한, 내부반도전층(12)은 케이블에 있어서 이상적인 동심 원통형 전극형태를 유지하게 하여 평각도체(10) 표면을 평활하게 하여 전계집중을 완화시키며, 평각도체(10)와 절연층(14)을 서로 밀착시켜 평각도체(10) 표면에서 발생할 수 있는 코로나 방전을 방지할 수 있다. 나아가, 평각도체(10)와 내부반도전층(12) 사이 및 내부반도전층(12)과 절연층(14) 사이의 전자주입과 전자흐름을

방지하여 불순물을 흡착할 수 있다.

- [42] 한편, 내부반도전층(12)의 바깥쪽에는 절연층(14)이 구비된다. 절연층(14)은 평각도체(10)를 외부와 전기적으로 절연시켜준다. 일반적으로 절연층(14)은 파괴전압이 높고, 절연성능이 장기간 안정적으로 유지될 수 있어야 한다. 나아가, 유전손실이 적으며 내열성 등의 열에 대한 저항 성능을 지니고 있어야 한다.

- [43] 상기 절연층(14)은 폴리에틸렌 및 폴리프로필렌 등의 폴리올레핀 수지가 사용될 수 있다. 상기 폴리에틸렌 수지는 가교 수지일 수 있으며 가교제로서 실란 또는 유기 과산화물, 예를 들어, 다이큐밀퍼옥사이드(DCP) 등에 의해 제조될 수 있다.

- [44] 한편, 상기 절연층(14)은 절연지를 내부반도전층(12) 표면에 감는 지절연 공정을 통해 형성될 수도 있다. 또한, 절연특성을 향상시키기 위하여 평각도체(10) 표면에 절연지가 감긴 상태에서 절연유에 함침시키게 된다. 상기 함침공정을 통해 절연유가 절연지에 흡수되며, 이 때, 고점도의 절연유를 사용하게 되면 소위 'MI(mass impregnated) 케이블'로 정의되며, 상대적으로 저점도의 절연유를 사용하게 되면 소위 'OF(oil filled) 케이블'로 정의할 수 있다.

- [45] 구체적으로 상기 절연층(14)은 복수의 절연지를 감싸서 형성되며, 절연지로는 예를 들어 크래프트지(Kraft paper)를 사용하거나 크래프트지와 폴리프로필렌(Polypropylene) 수지 등과 같은 열가소성 수지가 반복적으로 적층된 복합 절연지를 사용할 수 있다.

- [46] 크래프트지만을 권취하여 절연유를 함침시킨 케이블의 경우에는 케이블 작동 시(통전 시) 케이블 도체에 흐르는 전류에 의하여 반경방향으로 안쪽, 즉 상기 내부반도전층 방향의 절연층 부분에서 반경방향으로 바깥쪽, 즉 후술하는 외부반도전층 방향의 절연층 부분으로 온도차가 발생하게 된다. 따라서, 보다 고온인 내부반도전층 쪽의 절연층 부분의 절연유가 점도가 낮아지고 열팽창을 하여 외부반도전층 쪽의 절연층으로 이동하게 되며, 온도 하강 시에는 열팽창에 의하여 이동한 절연유가 점도가 높아지고 원래대로 되돌아가지 않게 되어 반경방향으로 안쪽, 즉 내부반도전층 쪽의 절연층 부분에 기포가 발생하게 되어 절연 성능의 저하를 야기한다.

- [47] 하지만, 상기한 바와 같이 복합 절연지로 절연층을 형성하는 경우, 케이블 작동 시 기름에 함침되지 않는 폴리프로필렌(Polypropylene) 수지 등과 같은 열가소성 수지가 열팽창함으로써 절연유의 유동을 억제할 수 있으며, 폴리프로필렌 수지는 절연 저항이 크래프트지보다 크기 때문에 기포가 생성되더라도 기포에 분담되는 전압을 완화할 수 있다.

- [48] 또한, 폴리프로필렌 수지는 절연유가 함침되지 않기 때문에 중력에 의하여 절연유가 케이블 직경 방향으로 유동하는 것을 억제할 수 있을 뿐만 아니라, 케이블 제조시의 함침 온도 또는 케이블 작동시의 작동 온도에 따라 폴리프로필렌 수지가 열팽창하여 크래프트지에 면압을 가하게 되므로 절연유의

유동을 더욱 억제할 수 있다.

- [49] 전술한 복합 절연지는 폴리프로필렌 수지 등과 같은 열가소성 수지의 일면에 크래프트지를 적층한 것, 크래프트지의 상하면에 폴리프로필렌 수지 등과 같은 열가소성 수지를 적층한 것 또는 크래프트지와 폴리프로필렌 수지 등과 같은 열가소성 수지를 교대로 4층 이상으로 적층한 것 등을 사용할 수 있으며, 이러한 경우의 작용 및 효과는 상기한 폴리프로필렌(Polypropylene) 수지의 상하면에 크래프트지가 적층된 구조의 절연지의 경우와 같다.
- [50] 도 1을 다시 참조하면, 상기 절연층(14)의 내부뿐만 아니라 외부도 차폐하지 않으면, 전계의 일부는 절연층(14)으로 흡수되지만, 대부분의 전계는 외부로 방전된다. 이 경우, 전계가 소정치 이상으로 커지게 되면 전계에 의해 절연층(14)과 케이블(100)의 외피가 파손될 수 있다. 따라서, 절연층(14)의 바깥쪽에는 다시 반도체층이 구비되며, 전술한 내부반도체층(12)과 구별하기 위하여 외부반도체층(16)으로 정의된다. 외부반도체층(16)은 절연두께 편차에 따른 전계 불평등을 억제하여 절연층(14)을 보호하는 역할과 함께, 전술한 내부반도체층(12)과의 사이에 전기력선의 분포를 등전위로 만들어 절연층(14)의 절연내력을 향상시키는 역할을 하게 된다.
- [51] 한편, 상기 절연층에 함침된 절연유 또는 절연컴파운드는 외부의 물과 같은 이물질이 침입하게 되면 그 절연성능이 저하되므로 이를 방지하기 위하여 납(lead)으로 된 금속시스(metal sheath), 소위 '연피시스'(18)를 상기 외부반도체층(16)의 외부에 구비한다. 나아가, 상기 금속시스(18)의 외부에는 케이블 내부를 보호하기 위한 케이블 보호층을 구비한다.
- [52] 상기 케이블 보호층은 고분자수지로 이루어진 단일층으로 이루어질 수도 있으나, 여러 층으로도 이루어 질 수 있다. 본 발명의 일 실시예에 따른 케이블 보호층은 금속시스(18)의 외부에 폴리에틸렌(polyethylene) 등의 내부시스(20)를 구비하며, 상기 내부시스(20)의 위에는 부직포 테이프(22, 26)와 보강 테이프(24)를 감싸주며, 케이블(100)의 외곽에는 외부시스(32)를 구비하게 된다. 외부시스(32)는 전력케이블(100)의 외곽에 구비되어 케이블(100)의 내부 구성을 보호하는 역할을 하게 된다. 상기 외부시스(32)는 각종 환경에 견딜 수 있는 내후성 및 기계적 강도가 우수한 성질을 갖게 된다.
- [53] 한편, 도 2는 다른 실시예에 따른 전력케이블(200)의 내부 구성을 도시한 일부 절개 사시도이다. 도 2에 따른 전력케이블은 예를 들어 바다를 통해 육지를 연결시키는 소위 해저케이블로 사용될 수 있는 전력케이블의 구성을 도시한다. 평각도체(210), 내부반도체층(212), 절연층(214), 외부반도체층(216), 금속시스(218) 및 케이블 보호층을 이루는 부직포 테이프(222, 226), 보강테이프(224)는 전술한 도 1의 실시예와 유사하므로 차이점을 중심으로 살펴본다.
- [54] 도 2를 참조하면, 해저케이블로 사용되는 전력케이블(200)은 상기 케이블(200)의 외곽에 해저의 외부환경으로부터 케이블을 보호하도록 기계적

강도를 높이기 위한 철선을 감싸주는 철선외장(230)을 구비하게 된다.

[55] 구체적으로 상기 철선외장(230)은 전술한 도 1의 실시예에서 보강 테이프(226)의 외곽에 구비되거나, 또는 상기 보강 테이프(226)의 외곽에 부직포 테이프(미도시)를 다시 권취하고 상기 철선외장(230)을 구비할 수 있다.

[56] 상기 철선외장(230)의 외곽, 즉 전력케이블(200)의 외곽에는 서빙층(232)을 구비하게 된다. 서빙층(232)은 전력케이블(200)의 외곽에 구비되어 전력케이블(200)의 내부 구성을 보호하는 역할을 하게 된다. 특히, 해저케이블의 경우에 서빙층(232)은 해수 등과 같은 해저환경에 견딜 수 있는 내후성 및 기계적 강도가 우수한 성질을 갖게 된다. 예를 들어, 상기 서빙층(232)은 폴리프로필렌 얀(polypropylene yarn) 등으로 구성될 수 있다.

[57] 그런데, 전술한 바와 같이 상기 평각도체는 중심 원형소선 상에 상기 복수의 평각소선을 Z방향 또는 S방향을 따라 연선하여 복수의 평각소선층을 형성하여 완성된다. 이 경우, 상기 Z방향 또는 S방향을 따라 연선된 각 평각소선층은 상기 연선된 방향의 반대방향으로 회귀하려는 힘, 즉 리액션토크가 작용한다.

[58] 상기 리액션토크는 앞서 살펴본 바와 같이 온도변화에 따른 열응력 또는 기계적 응력에 의해 발생할 수 있다. 즉, 상기 절연층의 압출 온도(상기 절연층이 XLPE로 이루어진 경우) 또는 절연층의 함침온도(상기 절연층이 절연유에 함침된 절연지로 구성되는 경우)와 같이 상대적으로 고온의 온도에서 절연층이 형성되고 상온으로 온도가 하강하는 경우에 상기 평각도체에 구비된 복수의 평각소선층에 온도변화로 인한 열응력이 작용하여 리액션토크를 유발하게 된다.

[59] 또한, 상기 평각도체를 이루는 복수의 평각소선층을 연선하기 위하여 상기 전력케이블의 길이방향으로 소정의 장력을 가하고, 상기 평각도체의 완성 후에 상기 장력이 사라진다면 상기 평각도체의 각 평각소선층은 연선방향의 반대방향으로 회귀하려고 하게 되며 이에 의해 리액션토크를 유발할 수 있다.

[60] 전술한 바와 같이 복수의 평각소선층을 구비하는 평각도체에 의해 상기 평각도체의 외부에 위치한 절연층에 리액션토크가 작용하게 되면 상기 절연층의 뒤틀림 현상을 유발하게 되며, 나아가 상기 절연층에 잔류응력(residual stress)을 유발하여 상기 절연층의 절연 성능을 현저히 저하시키게 된다. 이는 상기 절연층이 포함된 전력케이블의 품질을 현저히 떨어뜨리는 요인으로 작용하며, 상기와 같은 문제점은 상기 절연층이 XLPE 또는 절연유에 함침된 절연지로 구성되는 경우에 모두 발생할 수 있다.

[61] 특히, 이러한 문제점은 상기 평각도체의 크기가 커질수록, 즉 상기 평각소선층의 층수가 많아질수록, 절연층의 뒤틀림 현상이 더욱 심해질 수 있다.

[62] 이를테면, 상기 평각도체의 크기가 1000 mm² 이하인 경우, 상기 리액션토크의 합의 비율이 조절되지 않더라도 각 층의 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 절대값의 차이가 크지 않아 크게 문제되지 않을 수 있으나, 상기 평각도체의 크기가 1000 mm² 이상인 경우에는 리액션토크의 합의 비율이 조절되지 않을 경우

절연층의 뒤틀림 현상이 크게 문제될 수 있다.

[63] 이하, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 전력케이블에 대해서 상세히 살펴보기로 한다.

[64] 먼저, 도면을 참조하여 각 평각소선층의 리액션토크의 합을 구하는 방법을 살펴보기로 한다.

[65] 도 4의 (A)는 중심 원형소선(10A) 상에 연선되는 제1 평각소선층(10B)의 단면을 도시하며, 도 4의 (B)는 상기 제1 평각소선층(10B)을 옆에서 바라본 측면도를 도시한다.

[66] 도 4의 (A)에 도시된 바와 같이 제1 평각소선층(10B)은 6개의 평각소선(40)이 상기 중심 원형소선(10A) 상에 연선되어 형성된다. 이 경우, 상기 제1 평각소선층(10B)을 이루는 복수의 평각소선(40)은 S방향 또는 Z방향의 어느 하나의 방향으로 연선될 수 있으며, 본 설명에서 상기 제1 평각소선층(10B)의 각 평각소선(40)은 S방향으로 연선되어 형성되는 것으로 설명한다. 이때, 상기 제1 평각소선층(10B)을 형성하는 각 평각소선(40)은 도 4의 (B)에 도시된 바와 같이 소정의 피치 각도(lay angle)(θ)를 이루며 연선된다. 또한, 각 평각소선(40)에는 상기 평각소선(40)의 길이방향에 평행하게 장력(W)이 작용하게 된다. 따라서, 상기 제1 평각소선층(10B)의 리액션토크의 합(T_1)은 하기 [수학식 1]과 같다.

[67] 수학식 1

$$T_1 = P * \frac{D_p}{2} * N$$

[68] 여기서, P는 상기 각 평각소선(40)에 작용하는 힘으로서 상기 평각소선(40)의 무게중심에 작용하며, 상기 평각소선(40)의 무게중심에서 반경방향에 수직한 방향으로 작용하는 힘으로 정의된다. 또한, ' $D_p/2$ '는 상기 평각도체의 중심에서 상기 각 평각소선의 무게중심까지의 거리로 정의되고, 상기 'N'은 각 평각소선층을 이루는 평각소선의 개수로 정의된다. 본 실시예의 제1 평각소선층(10B)에서 상기 N은 '6'에 해당한다.

[69] 그런데, 상기 힘(P)은 상기 평각소선(40)의 길이방향에 평행하게 장력(W)이 작용하는 경우에 ' $W * \sin\theta$ '로 정의될 수 있다. 이 경우, 상기 장력(W)은 ' $\sigma * A$ '로 정의될 수 있다. 여기서, ' σ '는 상기 평각소선의 재질에 따른 응력(stress)을 의미하며, 'A'는 각 평각소선의 단면적을 의미한다. 나아가, 상기 응력(σ)은 ' $E * \epsilon$ '으로 정의될 수 있다. 여기서, 'E'는 상기 평각소선의 재질에 따른 탄성계수(Young's modulus)를 의미하며, ' ϵ '는 상기 평각소선의 재질에 따른 변형율(strain)을 의미한다. 결과적으로 상기 제1 평각소선층(10B)의 리액션토크의 합(T_1)을 구하는 식은 하기 [수학식 2]로 다시 정의될 수 있다.

[70] 수학식 2

$$T_1 = E * \epsilon * A * \sin\theta * \frac{D_p}{2} * N$$

[71] 따라서, 각 평각소선층의 리액션토크의 합은 상기 [수학식 2]에 의해 계산될 수

있으며, 연선방향에 따른 각 평각소선층의 리액션토크의 합을 계산할 수 있게 된다.

- [72] 한편, 이론상으로는 상기 각 평각소선층의 층수, 상기 평각소선의 두께, 연선피치 및 연선방향 중에 적어도 하나를 적절히 조절하게 되면 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 비율을 '1'로 유지할 수 있다. 즉, 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이가 '0'이 되도록 할 수 있다. 이 경우, 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 대략 일치하게 되므로 상기 방향에 따른 리액션토크는 서로 상쇄되어 이론적으로 상기 평각도체의 연선방향에 따른 리액션토크가 상기 절연층으로 작용하지 않게 된다. 이 경우, 상기 평각도체의 리액션토크에 의한 상기 절연층의 뒤틀림현상은 발생하지 않게 된다.

- [73] 하지만, 상기와 같이 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 비율을 '1'로 정확히 유지하거나, 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이를 '0'으로 유지하는 것은 현실적으로 어려운 면이 있으므로, 본 발명에서는 상기 평각소선층(11)의 각 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 절대값의 비율이 하기 [수학식 3]을 만족하도록 결정될 수 있다.

- [74] 수학식 3

$$0.7 \leq \frac{\text{제2방향으로연선된평각소선층의리액션토크의합의절대값}}{\text{제1방향으로연선된평각소선층의리액션토크의합의절대값}} \leq 1.0$$

- [75] 여기서, S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값보다 큰 경우에는 S방향이 제1 방향 그리고 Z방향이 제2 방향으로 정의되고, Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값보다 큰 경우에는 Z방향이 제1 방향 그리고 S방향이 제2 방향으로 정의된다. 즉, 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 상대적으로 큰 연선방향이 제1 방향으로 정의되며, 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 상대적으로 작은 연선방향이 제2 방향으로 정의된다.

- [76] 상기 평각도체(10)의 상기 평각소선층(11)의 각 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 절대값의 비율이 상기 [수학식 3]의 범위를 벗어나게 되면, 어느 하나의 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 다른 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값에 비해 상대적으로 크게 되어 상기 절연층에 뒤틀림 현상을 유발할 수 있다.

- [77] 한편, 각 평각소선층의 리액션토크의 합을 구하기 위한 상기 [수학식 2]에서 변형율(ϵ)은 ' $\alpha \cdot \Delta T$ '로 정의될 수 있다. 여기서, ' α '는 평각소선의 재질에 따른 선팅창계수이며, ' ΔT '는 상기 평각도체의 온도변화에 해당한다. 이때, 상기 평각도체의 온도변화는 일반적으로 상기 평각도체의 외부에 위치한 절연층을 형성하는 경우에 발생하는 최고온도와 상온의 차이에 해당하게 된다.
- [78] 즉, 상기 절연층을 구성하는 경우에 상기 절연층이 예를 들어 XLPE로 이루어진 경우라면 대략 120°C 내지 130°C 정도에서 압출하여 형성되며, 상기 절연층이 절연유에 함침된 절연지로 구성되는 경우라면 대략 95°C 내지 100°C 정도에서 상기 절연지가 함침된다. 따라서, 상온을 대략 20°C로 정의하게 되면, 상기 절연층을 XLPE로 형성하는 경우에 온도변화(ΔT)는 대략 100°C에 해당하며, 상기 절연층을 절연지로 형성하는 경우에 온도변화(ΔT)는 대략 80°C에 해당한다.
- [79] 결국, 리액션토크의 합의 비율을 구하는 것이 아니라 리액션토크의 합의 차이를 구하는 경우에는 상기 변형율(ϵ)이 온도의 함수이므로 온도 조건이 필요하게 되며, 상기 온도변화(ΔT)는 상기 절연층의 종류에 따라 달라지게 된다. 예를 들어, 상기 절연층이 절연지로 형성되어 상기 온도변화(ΔT)가 대략 80°C인 경우에 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이는 하기 [수학식 4]를 만족하도록 결정될 수 있다.
- [80] 수학식 4
- $$|(Z\text{방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값}) - (S\text{방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값})| \leq 60Nm$$
- [81] 즉, 상기 [수학식 3]과 같이 제1 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값에 대한 상기 제2 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 비율을 대략 0.7 내지 1.0으로 유지하면서, 또는 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이를 60 N · m 이하로 유지하는 것이 바람직하며, 이 경우 상기 평각소선층의 각 연선방향에 따른 리액션토크가 상기 절연층으로 작용하는 경우에 그 크기를 줄여 상기 절연층의 뒤틀림 현상을 방지할 수 있다.
- [82] 상기와 같이 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 비율 또는 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이를 조절하기 위해서는 상기 각 평각소선층의 층수, 상기 평각소선의 두께, 연선피치 및 연선방향 중에 적어도 하나를 조절할 수 있다.
- [83] 이 경우, 상기 리액션토크는 일종의 모멘트로 볼 수 있으므로, 상기 리액션토크의 스칼라값은 상기 평각도체의 중심에서 상기 평각소선층의 무게중심까지의 거리와 상기 평각소선층의 두께(상기 평각소선의 높이)와, 상기

평각소선층의 피치(또는 피치배수)에 의해 결정될 수 있다.

- [84] 예를 들어, 어느 하나의 평각소선층의 두께가 두꺼워질수록 해당 평각소선층의 연선 방향에 따른 리액션토크는 커질 수 있으며, 또한, 상기 평각도체의 중심에서 멀어질수록 해당 평각소선층의 연선 방향에 따른 리액션토크가 커질 수 있다. 또한, 상기 평각소선층의 피치가 작아질수록 그 반대방향으로 회귀하려는 힘이 강해져 리액션토크가 커질 수 있다.
- [85] 예를 들어, 전력케이블의 평각도체가 모두 4개의 평각소선층($n=4$)을 가지는 경우에 최외곽에 위치한 제4 평각소선층이 상기 평각도체의 중심에서 가장 멀리 위치하게 된다. 따라서, 일반적으로 최외곽에 위치한 상기 제 n 평각소선층(제4 평각소선층)의 리액션토크의 값이 제일 클 수 있으며, 상기 제 n 평각소선층의 두께 또는 피치를 변화시키는 경우에 상기 평각소선층의 연선방향에 따른 리액션토크의 변화가 크게 된다. 즉, 최외곽에 위치한 상기 제 n 평각소선층(제4 평각소선층)의 두께를 너무 크게 한다면, 내측의 제1 내지 제3 평각소선층의 두께 및 피치를 조절하더라도 연선방향에 따른 리액션토크의 비율을 맞출 수 없게 된다. 결국, 최외곽에 위치한 상기 제 n 평각소선층(제4 평각소선층)에 의한 리액션토크의 값을 줄이기 위하여 최외곽에 위치한 제 n 평각소선층의 평각소선의 두께를 상대적으로 다른 평각소선층의 평각소선에 비해 제일 작도록 결정할 수 있다.
- [86] 또한, 최내곽에 위치한 제1 평각소선층은 평각도체의 중심에 위치한 중심 원형소선 상에 연선되므로 상기 제1 평각소선층에 의한 리액션토크의 값은 상대적으로 작을 수 있다. 따라서, 제1 평각소선층의 평각소선의 두께는 다른 평각소선층의 평각소선의 두께에 비해 상대적으로 크게 구성될 수 있다. 이에 의해, 제1 평각소선층에 의한 리액션토크의 값을 상대적으로 작게 함과 동시에 평각도체의 전력을 전송하기 위한 도체 면적을 충분히 확보할 수 있게 된다.
- [87] 한편, 최외곽층인 평각소선층(제 n 평각소선층)에 접하여 바로 내측에 위치하는 평각소선층(제 $(n-1)$ 평각소선층)은 제1 및 제2 평각소선층에 비해 평각도체의 중심에 위치한 중심 원형소선에서 멀리 떨어져 위치하므로, 제 $(n-1)$ 평각소선층에 의한 리액션토크의 값도 제1 및 제2 평각소선층에 비해 상대적으로 크게 된다. 이 경우, 상기 제 n 평각소선층과 제 $(n-1)$ 평각소선층이 모두 동일한 연선방향을 가지게 된다면, 평각도체의 중심에서 멀리 위치한 두 개의 평각소선층에 의해 모두 동일한 연선방향으로 리액션토크가 작용하여 각 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 비율을 맞출 수 없게 된다. 따라서, 상기 평각도체를 이루는 제 n 평각소선층의 연선방향과 제 $(n-1)$ 평각소선층의 연선방향은 서로 상이하도록 결정될 수 있다.
- [88] 한편, 상기 평각도체를 이루는 복수의 평각소선층의 연선방향을 살펴보면, 상기 복수의 평각소선층은 상기 연선방향이 교번적으로 이루어질 수 있다. 즉, 이웃하는 2개의 평각소선층은 그 연선방향이 서로 상이하도록 구성될 수 있다. 이는 서로 이웃하는 2개의 평각소선층이 모두 동일한 연선방향을 가지도록

구성된다면 상기 연선방향으로 작용하는 리액션토크의 합이 다른 연선방향에 따른 리액션토크의 합보다 커질 수 있을 뿐만 아니라, 상기 각 평각소선층을 이루는 평각소선을 연선하는 경우에 이웃하는 2개의 평각소선층을 서로 반대방향으로 연선하는 것이 각 층을 이루는 복수의 평각소선이 동심 원통형태를 유지하도록 하는데 유리하기 때문이다.

[89] 그런데, 경우에 따라서는 각 평각소선층의 평각소선의 두께 및 피치를 조절하여도 상기 [수학식 3] 또는 [수학식 4]를 만족시키지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우, 상기 복수의 평각소선층 중에서 적어도 하나의 이웃하는 2개의 평각소선층은 상기 연선방향이 동일하도록 구성될 수 있다. 즉, 상기 각 평각소선층의 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 절대값의 비율 또는 차이를 조절하는 경우에 각 평각소선층의 평각소선의 두께 및 피치에 의해 조절이 곤란한 경우에는 상기 연선방향을 조절할 수 있으며, 적어도 하나의 이웃하는 2개의 평각소선층의 연선방향이 서로 동일하도록 구성할 수 있다.

[90] 결국, 상기와 같이 상기 각 평각소선층의 층수, 상기 평각소선의 두께, 연선평치 및 연선방향 중에 적어도 하나를 조절하여 각 평각소선층의 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 절대값의 비율을 조절하거나, 또는 각 평각소선층의 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 절대값의 차이를 조절할 수 있다.

[91] 본 발명자는 상기와 같은 결과를 확인하기 위하여 실험을 수행하였으며 실험결과는 하기 [표 1] 내지 [표 3]에 도시된다.

[92] 표 1

[Table 1]

	연선방 향	층별 평각소 선 개수	층별 평각소선 의 두께(mm)	층별 단면적(mm ²)	피치 각도(θ)	리액션토 크의합(N · m)
중심 원형소선		1	12.00	113.10		
제1 평각소선층	Z	6	3.00	137.13	9.94	1.40E+01
제2 평각소선층	S	12	3.40	221.73	12.11	4.05E+01
제3 평각소선층	Z	18	3.80	331.19	13.80	9.23E+01
제4 평각소선층	S	24	4.15	462.23	14.95	1.78E+02

[93] 상기 [표 1]은 종래 방법에 의한 평각도체의 구성에서 각 연선방향에 따른 각

평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값을 상기 [수학식 2]를 사용하여 계산하였다. 여기서, 상기 탄성계수(E)는 120,000(MPa), 선팅창계수는 $1.70E-05(k^{-1})$, 온도 변화(ΔT)는 80(k)를 적용하였다.

- [94] 이 경우, 상기 S방향이 제1 방향으로 정의되고, 상기 Z 방향이 제2 방향으로 정의된다. 따라서, 상기 제1 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값에 대한 상기 제2 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 비율은 대략 0.486에 해당하며, 상기 S방향을 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향을 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이는 대략 $112 N \cdot m$ 에 해당한다. 따라서, 상기 [표 1]에 의한 평각도체는 전술한 [수학식 3] 또는 [수학식 4]의 조건을 만족시키지 못하므로 상기 평각도체에 의해 상기 절연층으로 리액션토크가 작용하여 상기 절연층에 잔류응력을 유발하여 절연성능을 떨어뜨리게 된다.

- [95] 표 2

[Table 2]

	연선방 향	층별 평각소 선 개수	층별 평각소선 의 두께(mm)	층별 단면적(mm^2)	피치 각도(θ)	리액션토 크의합($N \cdot m$)
중심 원형소선		1	12.00	113.10		
제1 평각소선층	Z	6	4.10	201.16	10.05	2.25E+01
제2 평각소선층	S	12	3.50	252.78	12.52	5.27E+01
제3 평각소선층	Z	18	3.75	353.68	13.95	1.08E+02
제4 평각소선층	S	24	3.00	344.66	14.40	1.32E+02

- [96] 한편, 상기 [표 2]는 본 발명에 의한 전력케이블에 있어서 평각도체의 연선방향에 따른 각 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값을 계산하였다. 상기 [표 1]의 전력케이블과 비교하여, 최외곽의 평각소선층, 즉 제4 평각소선층의 평각소선의 두께를 다른 층에 비해 상대적으로 얇게 결정하고, 제1 평각소선층의 평각소선의 두께를 다른 층에 비해 상대적으로 두껍게 결정하였다.

- [97] 이 경우, 상기 S방향이 제1 방향으로 정의되고, 상기 Z 방향이 제2 방향으로 정의된다. 따라서, 상기 제1 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의

절대값에 대한 상기 제2 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 비율은 대략 0.705에 해당하며, 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이는 대략 $54.4\text{N} \cdot \text{m}$ 에 해당한다. 따라서, 상기 [표 2]에 의한 평각도체는 전술한 [수학식 3] 또는 [수학식 4]의 조건을 만족시키게 되므로 상기 평각도체에 의해 상기 절연층으로 작용하는 리액션토크의 양이 상대적으로 작게 되어 상기 절연층의 절연성능을 떨어뜨리지 않게 된다.

[98] 표 3

[Table 3]

	연선방 향	층별 평각소 선 개수	층별 평각소선 의 두께(mm)	층별 단면적(mm^2)	피치 각도(θ)	리액션토 크의합($\text{N} \cdot \text{m}$)
중심 원형소선		1	12.00	113.10		
제1 평각소선층	Z	6	3.90	188.97	9.54	1.98E+01
제2 평각소선층	S	12	3.45	244.44	11.83	4.73E+01
제3 평각소선층	S	18	3.90	363.67	13.29	1.04E+02
제4 평각소선층	Z	24	3.10	355.20	13.85	1.30E+02

[99] 한편, 상기 [표 3]은 본 발명에 의한 전력케이블에 있어서 평각도체의 연선방향에 따른 각 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값을 계산하였다. 상기 [표 2]의 전력케이블과 비교하여 상기 복수의 평각소선층 중에서 적어도 하나의 이웃하는 2개의 평각소선층은 상기 연선방향이 동일하게 구성된다. 본 실시예에서는 제2 평각소선층과 제3 평각소선층의 연선방향이 서로 동일하게 구성된다. 또한, 상기 [표 1]의 전력케이블과 비교하여 최외곽의 평각소선층, 즉 제4 평각소선층의 평각소선의 두께를 다른 층에 비해 상대적으로 얇게 결정하고, 제1 평각소선층의 평각소선의 두께를 다른 층에 비해 상대적으로 두껍게 결정하였다.

[100] 이 경우, 상기 S방향이 제1 방향으로 정의되고, 상기 Z방향이 제2 방향으로 정의된다. 따라서, 상기 제1 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값에 대한 상기 제2 방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의

절대값의 비율은 대략 0.989에 해당하며, 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이는 대략 $1.63\text{N} \cdot \text{m}$ 에 해당한다. 따라서, 상기 [표 3]에 의한 평각도체는 전술한 [수학식 3] 또는 [수학식 4]의 조건을 만족시키게 되므로 상기 평각도체에 의해 상기 절연층으로 작용하는 리액션토크의 양이 상대적으로 작게 되어 상기 절연층의 절연성능을 떨어뜨리지 않게 된다.

- [101] 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.

산업상 이용가능성

- [102] 본 발명에 따르면 평각소선이 연선된 복수의 평각소선층을 구비한 평각도체를 포함하는 전력케이블에 있어서, 상기 평각소선층의 각 층의 연선방향에 따른 리액션토크의 합의 비율을 조절하여 상기 절연층에 작용하는 리액션토크를 최대한 상쇄시켜 상기 절연층의 뒤틀림현상을 방지할 수 있다.

[103]

[104]

청구범위

[청구항 1]

중심 원형소선과 복수개의 평각소선이 연선했던 n 층($n \geq 3$)의 평각소선층을 포함하되, 제1 평각소선층은 상기 중심 원형소선 상에 S방향 또는 Z방향으로 연선했고, 제 m ($2 \leq m \leq n$) 평각소선층은 제 $(m-1)$ 평각소선층 상에 S방향 또는 Z방향으로 연선했어 이루어지는 평각도체;

상기 평각도체를 감싸는 내부반도전층;

상기 내부반도전층을 감싸는 절연층;

상기 절연층을 감싸는 외부반도전층;

상기 외부반도전층 외부에 구비된 금속시스; 및

상기 금속시스 외부에 구비되는 케이블 보호층;을 포함하고,

상기 평각도체의 상기 각 평각소선층의 연선했는 방향에 따른 리액션토크(T)의 합은 하기식에 의해 계산되며,

$$T = E \cdot \epsilon \cdot A \cdot \sin \theta \cdot \frac{D_p}{2} \cdot N$$

여기서, 'E'는 상기 평각소선의 재질에 따른 탄성계수, 'ε'는 상기 평각소선의 재질에 따른 변형율, 'A'는 상기 각 평각소선의 단면적, 'θ'는 상기 각 평각소선의 피치 각도, 'D_p/2'는 상기 평각도체의 중심에서 상기 각 평각소선의 무게중심까지의 거리, 'N'은 상기 각 평각소선층을 이루는 평각소선의 개수로 정의되며, S방향으로 연선했는 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 Z방향으로 연선했는 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 비율이 하기식을 만족하고,

$$0.7 \leq \frac{\text{제2방향으로연선했는평각소선층의리액션토크의합의절대값}}{\text{제1방향으로연선했는평각소선층의리액션토크의합의절대값}} \leq 1.0$$

여기서, S방향으로 연선했는 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 Z방향으로 연선했는 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값보다 큰 경우에는 S방향을 제1 방향 그리고 Z방향을 제2 방향으로 정의하고, Z방향으로 연선했는 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값이 S방향으로 연선했는 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값보다 큰 경우에는 Z방향을 제1 방향 그리고 S방향을 제2 방향으로 정의하며,

상기 평각도체의 상기 최외곽 평각소선층(제 n 평각소선층)과 상기 최외곽 평각소선층에 접하여 내측에 위치하는 평각소선층(제 $(n-1)$ 평각소선층)은 그 연선했는 방향이 서로 상이한 것을 특징으로 하는 전력케이블.

[청구항 2]

제1항에 있어서,

상기 평각도체에서 최외곽 평각소선층(제 n 평각소선층)의

평각소선의 두께가 다른 평각소선층의 평각소선의 두께보다 작은 것을 특징으로 하는 전력케이블.

[청구항 3]

제2항에 있어서,

상기 평각도체에서 최내곽 평각소선층(제1 평각소선층)의 평각소선의 두께는 다른 평각소선층의 평각소선의 두께보다 큰 것을 특징으로 하는 전력케이블.

[청구항 4]

제1항에 있어서,

상기 평각도체의 크기는 1000 mm^2 이상인 것을 특징으로 하는 전력케이블.

[청구항 5]

제1항에 있어서,

상기 평각도체의 온도변화(ΔT)가 80°C 인 경우에 상기 S방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값과 상기 Z방향으로 연선된 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값의 차이가 $60 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이하인 것을 특징으로 하는 전력케이블.

[청구항 6]

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 연선방향에 따른 상기 평각소선층의 리액션토크의 합의 절대값을 조절하는 경우에 상기 각 평각소선층의 층수, 상기 평각소선의 두께, 연선폰치 및 연선방향 중에 적어도 하나를 조절하는 것을 특징으로 하는 전력케이블.

[청구항 7]

제6항에 있어서,

상기 복수의 평각소선층은 상기 연선방향이 교번적으로 이루어지는 것을 특징으로하는 전력케이블.

[청구항 8]

제6항에 있어서,

상기 복수의 평각소선층 중에서 적어도 하나의 이웃하는 2개의 평각소선층은 상기 연선방향이 동일한 것을 특징으로하는 전력케이블.

[청구항 9]

제1항에 있어서,

상기 제 m 평각소선층에 포함되는 상기 평각소선의 갯수는 ' $6 \cdot m$ ($1 \leq m \leq n$)'에 대응하는 것을 특징으로 하는 전력케이블.

[청구항 10]

제1항에 있어서,

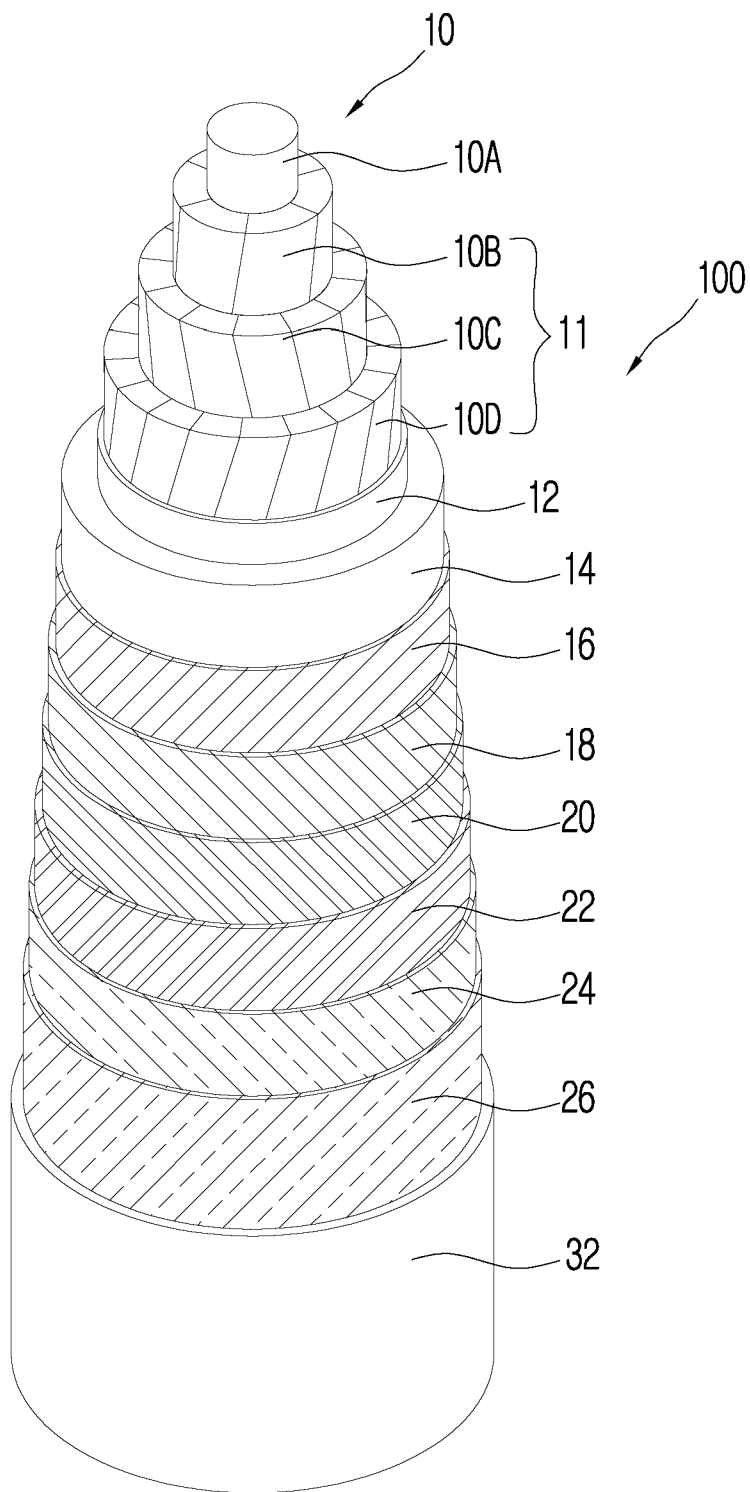
상기 절연층은 절연유에 함침된 절연지로 이루어지는 것을 특징으로 하는 전력케이블.

[청구항 11]

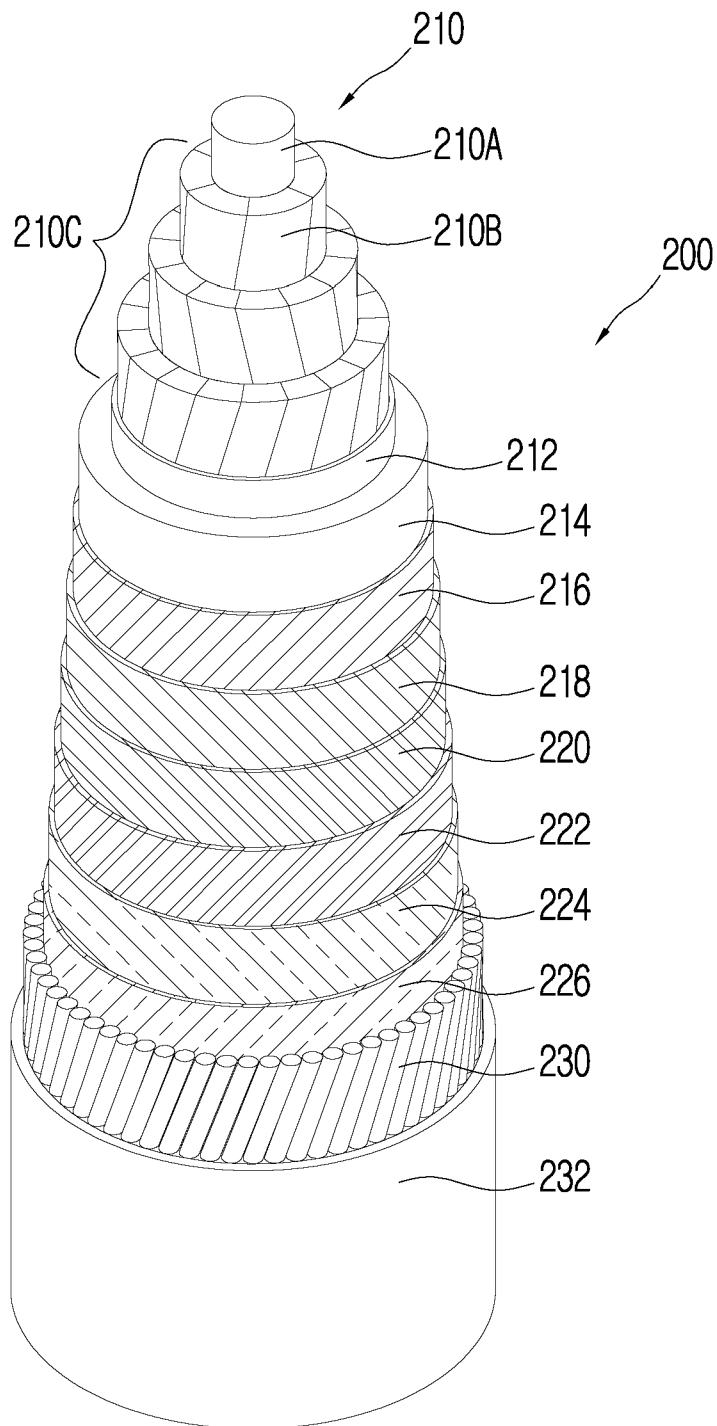
제10항에 있어서,

상기 절연지는 크라프트지와 폴리프로필렌수지층으로 이루어지는 복합절연지를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력케이블.

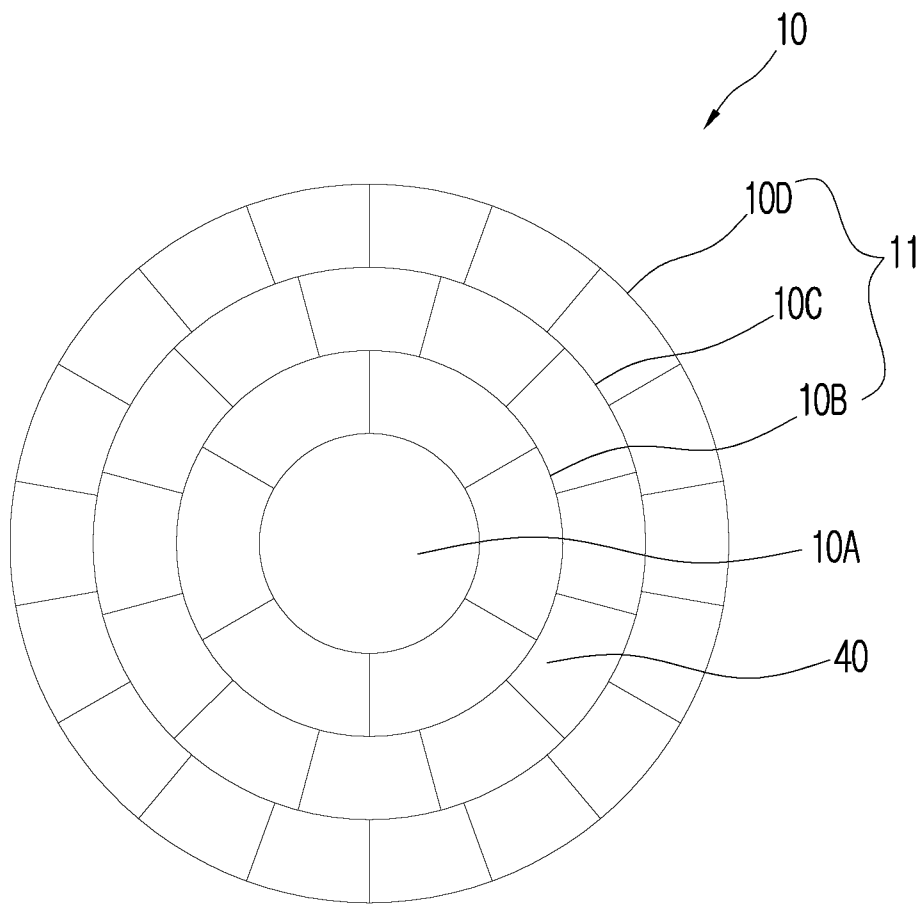
[Fig. 1]



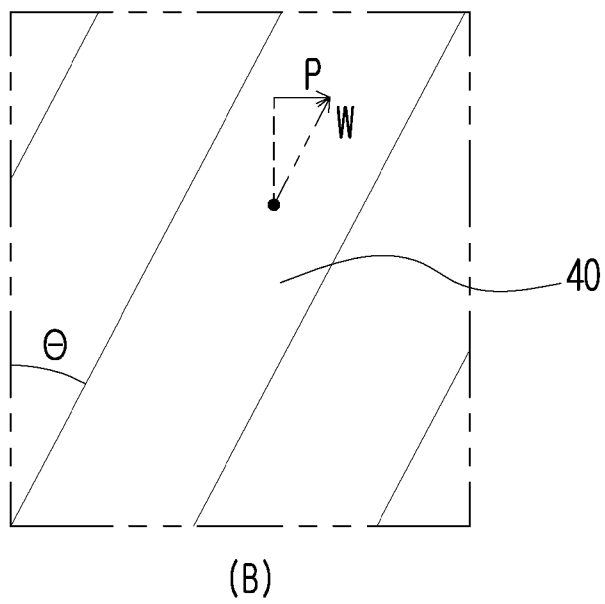
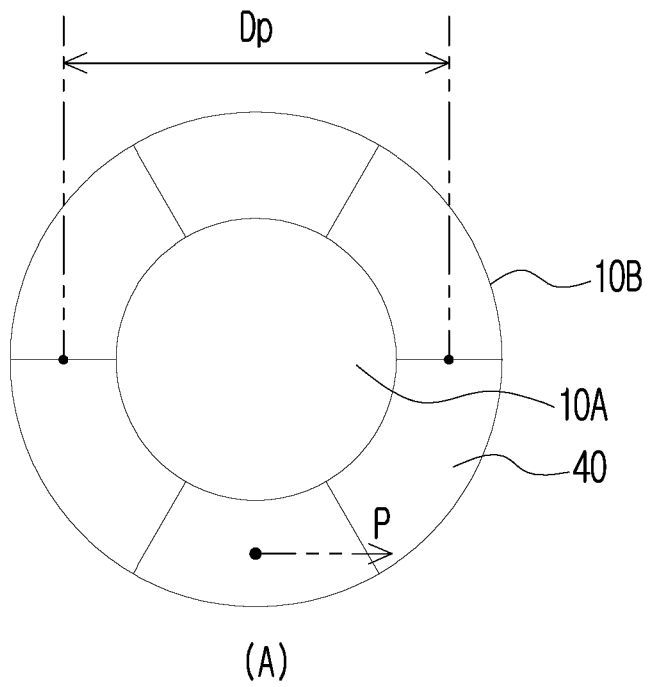
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2015/001609**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H01B 9/02(2006.01)i, H01B 7/18(2006.01)i, H01B 7/24(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 9/02; H01B 5/10; H01R 43/00; H01B 7/04; G02B 6/44; H01B 7/18; H01B 7/24

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: power cable, rectangular strand, reaction torque

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2012-0170900 A1 (FANCHER, Michael L. et al.) 05 July 2012 See abstract, paragraphs [0046]-[0048], [0059]-[0061], claims 1-6 and figures 1, 2.	1-11
A	KR 10-2012-0057824 A (TAI HAN ELECTRIC WIRE CO., LTD.) 07 June 2012 See abstract, paragraphs [0013]-[0023], claim 1 and figure 1.	1-11
A	CN 201838380 U (HANGZHOU CABLE CO., LTD.) 18 May 2011 See abstract, paragraphs [0018], [0019] and figure 1.	1-11
A	CN 202771837 U (HANGZHOU CABLE CO., LTD.) 06 March 2013 See abstract, paragraphs [0007]-[0009], claim 1 and figure 1.	1-11
A	KR 10-2011-0045057 A (3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY) 03 May 2011 See abstract, paragraphs [0056]-[0063] and figures 4a-4e.	1-11



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

"I" 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

11 JUNE 2015 (11.06.2015)

Date of mailing of the international search report

15 JUNE 2015 (15.06.2015)

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/KR2015/001609

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
US 2012-0170900 A1	05/07/2012	AU 2012-204300 A1 CA 2823637 A1 EP 2661754 A2 JP 2014-507758 A MX 2013007577 A WO 2012-094504 A2 WO 2012-094504 A3	15/08/2013 12/07/2012 13/11/2013 27/03/2014 22/11/2013 12/07/2012 23/08/2012
KR 10-2012-0057824 A	07/06/2012	NONE	
CN 201838380 U	18/05/2011	NONE	
CN 202771837 U	06/03/2013	NONE	
KR 10-2011-0045057 A	03/05/2011	CA 2733530 A1 CN 102124528 A EP 2321830 A1 JP 2012-500452 A JP 5628172 B2 RU 2447526 C1 US 2010-0038112 A1 US 8525033 B2 WO 2010-019333 A1	18/02/2010 13/07/2011 18/05/2011 05/01/2012 19/11/2014 10/04/2012 18/02/2010 03/09/2013 18/02/2010

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H01B 9/02(2006.01)i, H01B 7/18(2006.01)i, H01B 7/24(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H01B 9/02; H01B 5/10; H01R 43/00; H01B 7/04; G02B 6/44; H01B 7/18; H01B 7/24

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: 전력 케이블, 평각소선, 리액션토크

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	US 2012-0170900 A1 (FANCHER MICHAEL L. 외 3명) 2012.07.05 요약, 문단번호 [0046]-[0048],[0059]-[0061], 청구항 1-6 및 도면 1,2 참조.	1-11
A	KR 10-2012-0057824 A (대한전선 주식회사) 2012.06.07 요약, 문단번호 [0013]-[0023], 청구항 1 및 도면 1 참조.	1-11
A	CN 201838380 U (HANGZHOU CABLE CO., LTD.) 2011.05.18 요약, 문단번호 [0018],[0019] 및 도면 1 참조.	1-11
A	CN 202771837 U (HANGZHOU CABLE CO., LTD.) 2013.03.06 요약, 문단번호 [0007]-[0009], 청구항 1 및 도면 1 참조.	1-11
A	KR 10-2011-0045057 A (쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니) 2011.05.03 요약, 문단번호 [0056]-[0063] 및 도면 4a-4e 참조.	1-11

☐ 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

2015년 06월 11일 (11.06.2015)

국제조사보고서 발송일

2015년 06월 15일 (15.06.2015)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소

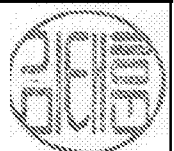
대한민국 특허청
(302-701) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-472-7140

심사관

김태훈

전화번호 +82-42-481-8407



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
US 2012-0170900 A1	2012/07/05	AU 2012-204300 A1 CA 2823637 A1 EP 2661754 A2 JP 2014-507758 A MX 2013007577 A WO 2012-094504 A2 WO 2012-094504 A3	2013/08/15 2012/07/12 2013/11/13 2014/03/27 2013/11/22 2012/07/12 2012/08/23
KR 10-2012-0057824 A	2012/06/07	없음	
CN 201838380 U	2011/05/18	없음	
CN 202771837 U	2013/03/06	없음	
KR 10-2011-0045057 A	2011/05/03	CA 2733530 A1 CN 102124528 A EP 2321830 A1 JP 2012-500452 A JP 5628172 B2 RU 2447526 C1 US 2010-0038112 A1 US 8525033 B2 WO 2010-019333 A1	2010/02/18 2011/07/13 2011/05/18 2012/01/05 2014/11/19 2012/04/10 2010/02/18 2013/09/03 2010/02/18