



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년10월26일
(11) 등록번호 10-0770816
(24) 등록일자 2007년10월22일

(51) Int. Cl.

C22C 49/06(2006.01)

(21) 출원번호 10-2003-7000464
(22) 출원일자 2003년01월13일
심사청구일자 2006년02월22일
번역문제출일자 2003년01월13일
(65) 공개번호 10-2003-0047989
공개일자 2003년06월18일
(86) 국제출원번호 PCT/US2001/005605
국제출원일자 2001년02월22일
(87) 국제공개번호 WO 2002/06550
국제공개일자 2002년01월24일
(30) 우선권주장
09/616,741 2000년07월14일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP 11508325 T
US 03795524 A1

(73) 특허권자

쓰리엠 이노베티브 프로퍼티즈 컴파니

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박
스 33427 쓰리엠 센터

(72) 발명자

맥크로우폴린

미국55133-3427미네소타주세인트폴포스트오피스박
스33427

존슨더그이.

미국55133-3427미네소타주세인트폴포스트오피스박
스33427

(74) 대리인

김영, 주성민

전체 청구항 수 : 총 8 항

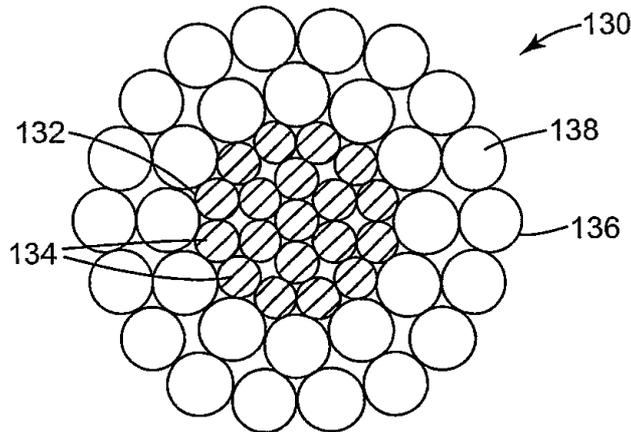
심사관 : 이학왕

(54) 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어, 케이블 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 캡슐화된 세라믹 산화물 섬유로부터의 와이어(134) 및 케이블(130)에 관한 것이다.

대표도 - 도7



(81) 지정국

국내특허 : 아랍에미리트, 안티구와바부다, 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바베이도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 벨리제, 캐나다, 스위스, 중국, 코스타리카, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 도미니카, 알제리, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그라나다, 그루지야, 가나, 감비아, 크로아티아, 헝가리, 인도네시아, 이스라엘, 인도, 아이슬란드, 일본, 케냐, 키르기스스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베리아, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 모로코, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 모잠비크, 노르웨이, 뉴질랜드, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 슬로베니아, 슬로바키아, 시에라리온, 타지키스탄, 투르크멘, 터키, 트리니다드토바고, 탄자니아, 우크라이나, 우간다, 우즈베키스탄, 베트남, 세르비아 앤 몬테네그로, 남아프리카, 짐바브웨

AP ARIPO특허 : 가나, 감비아, 케냐, 레소토, 말라위, 모잠비크, 수단, 시에라리온, 스와질랜드, 탄자니아, 우간다, 짐바브웨

EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르기스스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크멘

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 사이프러스, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴, 터키

OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디부아르, 카메룬, 가봉, 기니, 기니 비사우, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고

특허청구의 범위

청구항 1

알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 섬유를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 제품이며,
 섬유는 각각의 섬유의 총 금속 산화물 함량을 기준으로 35 중량% 내지 75 중량% 범위의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 50 중량% 미만 범위의 SiO_2 그리고 5 중량% 초과 범위의 B_2O_3 를 이론적 산화물 기준으로 함유하고,
 상기 제품은 $-75^{\circ}C$ 내지 $500^{\circ}C$ 의 온도에 걸친 비선형 열팽창 계수, 105 GPa 이하의 모듈러스 그리고 적어도 350 MPa의 평균 인장 강도를 가지는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 제품.

청구항 2

제1항에 있어서, 알루미늄 매트릭스 복합 재료 제품은 와이어의 형상인 알루미늄 매트릭스 복합 재료 제품.

청구항 3

제2항에 따르는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 제조하는 방법이며,
 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료를 제공하는 단계와,
 각각의 섬유의 총 금속 산화물 함량을 기준으로 35 중량% 내지 75 중량% 범위의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 50 중량% 미만 범위의 SiO_2 그리고 5 중량% 초과 범위의 B_2O_3 를 이론적 산화물 기준으로 함유하는 복수개의 실질적으로 연속인 섬유를 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료 내로 침지시키는 단계와,
 적어도 일부의 용융 매트릭스 재료가 복수개의 섬유 내로 침투하여 이를 습윤시켜 침투되어 습윤된 복수개의 섬유가 제공되게 하기 위해 적어도 일부의 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료의 진동을 일으키도록 초음파 에너지를 부여하는 단계와,
 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치된 복수개의 섬유를 가지며 $-75^{\circ}C$ 내지 $500^{\circ}C$ 의 온도에 걸친 비선형 열팽창 계수, 105 GPa 이하의 모듈러스 그리고 적어도 350 MPa의 평균 인장 강도를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공하도록 용융 매트릭스 재료가 응고되게 하는 조건 하에서 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료로부터 침투되어 습윤된 복수개의 섬유를 인출하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 4

제2항에 따르는 적어도 하나의 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 구비한 케이블.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 와이어는 도1의 그래프의 선 1 또는 2에 의해 나타낸 열팽창 거동을 가지는 케이블.

청구항 6

알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 배치된 세라믹 산화물 섬유를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어이며,
 세라믹 산화물 섬유는 173 GPa 이하의 모듈러스를 갖고,
 와이어는 105 GPa 이하의 모듈러스를 가지는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 와이어는 적어도 350 MPa의 평균 인장 강도를 가지는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어.

청구항 8

알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치된 세라믹 산화물 섬유를 갖는 적어도 1개의 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 구비한 케이블이며,

섬유는 240 GPa 이하의 모듈러스를 갖고,

와이어는 105 GPa 이하의 모듈러스와 적어도 350 MPa의 평균 인장 강도를 가지는 케이블.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

- 청구항 24
- 삭제
- 청구항 25
- 삭제
- 청구항 26
- 삭제
- 청구항 27
- 삭제
- 청구항 28
- 삭제
- 청구항 29
- 삭제
- 청구항 30
- 삭제
- 청구항 31
- 삭제
- 청구항 32
- 삭제
- 청구항 33
- 삭제
- 청구항 34
- 삭제
- 청구항 35
- 삭제
- 청구항 36
- 삭제
- 청구항 37
- 삭제
- 청구항 38
- 삭제
- 청구항 39
- 삭제

- 청구항 40
- 삭제
- 청구항 41
- 삭제
- 청구항 42
- 삭제
- 청구항 43
- 삭제
- 청구항 44
- 삭제
- 청구항 45
- 삭제
- 청구항 46
- 삭제
- 청구항 47
- 삭제
- 청구항 48
- 삭제
- 청구항 49
- 삭제
- 청구항 50
- 삭제
- 청구항 51
- 삭제
- 청구항 52
- 삭제
- 청구항 53
- 삭제
- 청구항 54
- 삭제
- 청구항 55
- 삭제

명세서

<1> <정부의 실시권>

<2> 미국 정부는 미국 국방성 고등 연구 계획국(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)에 의해 사정된 계약서 제MDA 972-90-C-0018호의 조항들에 의해 제공된 바와 같이 본 발명의 완납된 실시권(paid-up license) 그리고 합리적인 조건으로 타인에게 실시권을 허여할 것을 특허권자에게 요구할 제한된 상황에서의 권리를 갖는다.

기술분야

<3> 본 발명은 알루미늄 매트릭스 내에 실질적으로 연속인 세라믹 산화물 섬유로 보강된 복합 재료 와이어 그리고 이러한 와이어를 합체한 케이블에 관한 것이다.

배경기술

<4> 금속 매트릭스 복합 재료(MMC: metal matrix composite)는 오랫동안 저중량과 함께 높은 강도 및 강성의 조합으로 인해 유망한 재료로서 인식되어 왔다. MMC는 일반적으로 섬유로 보강된 금속 매트릭스를 포함한다. 섬유의 선택에 있어서, 고강도, 높은 탄성 계수 및 낮은 열팽창 계수를 갖는 보강 섬유가 선호되는 것으로 널리 인정되고 있다.

<5> 노출된 가공 송전 케이블(bare overhead power transmission cable)의 보강 부재로서 와이어 형태의 금속 매트릭스 복합 재료의 사용은 특히 중요하다. 이러한 케이블에서의 신규 재료에 대한 필요성은 규제 완화(deregulation)로 인한 전력 조류(power flow)의 부하 증대 및 변화로 인해 기존의 송전 기반 시설의 송전 용량을 증가시킬 필요성에 의해 압박되고 있다. 이러한 신규 재료를 위한 원하는 성능 요건은 내식성, 내환경성(environmental endurance)(예컨대, UV 및 습기), 고온에서의 강도의 유지성 그리고 내크리프성(creep resistance)을 포함한다.

<6> 이 성능을 위한 중요 특성은 탄성 계수, 밀도, 열팽창 계수, 전도도 그리고 강도이다. 이들 특성은 일반적으로 섬유 부피(체적) 분율(fiber volume fraction)과 공동으로 구성 성분의 선택 및 순도(즉, 금속 매트릭스의 재료와 섬유 함량)에 의해 지배된다. 이들 특성 중에서, 높은 인장 강도 및 강성을 갖는 섬유로부터 제조되는 와이어의 개발이 강조되어 왔다. 고강도의 재료를 제조하는 것에 대한 집중은 부분적으로는 복합 재료가 강철 등의 종래의 재료와 경제적으로 경쟁하기 위해 그 강도가 가능하면 높아야 한다는 가정에 의해 압박되고 있다. 예컨대, 오우치(Ouchi) 등의 "SiC 섬유 보강 알루미늄 복합 재료 와이어를 사용한 복합 재료 전도체의 기계적 특성 (Mechanical Properties of Composite Conductors using SiC Fiber Reinforced Aluminum Composite Wires)" [전기 학회 국내 심포지움, 1996]에는 상표명 "니칼론(NICALON)"으로 시판되는 고강도 섬유로 보강된 알루미늄 와이어가 개시되어 있는데, 여기에는 가공 송전 케이블에 사용되는 "고강도"의 MMC 와이어에 대한 필요성이 기재되어 있다.

<7> 다양한 케이블 특히 가공 송전 케이블에 사용되는 적절한 특성을 갖는 복합 재료에 대한 필요성이 여전히 존재한다.

발명의 상세한 설명

<8> 본 발명은 실질적으로 연속인 섬유 알루미늄 매트릭스 복합 재료에 관한 것이다. 본 발명의 실시예는 알루미늄 복합 재료 제품, 바람직하게는 와이어, 테이프 등의 긴 금속 복합 재료 제품에 관한 것이다. 이러한 제품은 바람직하게는 알루미늄(예컨대, 고순도 알루미늄 또는 그 합금)을 함유한 매트릭스 내에 포함된 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치된 섬유를 갖는다. 바람직하게는, 와이어의 매트릭스는 그 총 중량을 기준으로 적어도 99.95 중량%의 알루미늄을 함유한다.

<9> 본 발명의 알루미늄 매트릭스 복합 재료는 바람직한 강도 대 중량 및 열팽창 특성, 높은 전기 전도도 그리고 낮은 모듈러스(modulus)를 나타내는 와이어로 형성된다. 이러한 와이어는 종래 기술에 공지된 송전 케이블에 대한 개선을 제공하는 전기적 및 물리적 특성을 제공하기 때문에 송전 케이블의 코어 재료로서의 사용에 적절하다.

<10> 본 발명의 재료는 낮은 열팽창 계수로 인해 가열될 때 적은 처짐(sag)을 제공하기 때문에 와이어 및 케이블에 유리하다. 부가적으로, 높은 모듈러스 재료로 보강된 강철 와이어 또는 복합 재료 와이어에 비해, 본 발명의

와이어는 케이블이 그 낮은 모듈러스로 인해 높은 기계적 부하(얼음 및 바람의 조합된 부하)에 노출될 때 지지 타워 상의 장력을 감소시킬 수 있다.

- <11> 일 실시예에서, 본 발명은 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 섬유를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 제품을 제공한다. 이 실시예에서, 섬유는 각각의 섬유의 총 금속 산화물 함량을 기준으로 약 35 중량% 내지 약 75 중량% 범위의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 약 50 중량% 미만 범위의 SiO_2 그리고 약 5 중량% 초과 범위의 B_2O_3 를 이론적 산화물 기준으로 함유한다. 이 실시예에서, 와이어는 $-75^{\circ}C$ 내지 $500^{\circ}C$ 의 온도에 걸친 비선형 열팽창 계수, 약 105 GPa(15 Msi) 이하의 모듈러스 그리고 적어도 약 350 MPa(50 ksi)의 평균 인장 강도를 갖는다.
- <12> 또 다른 실시예에서, 본 발명은 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치한 섬유를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공한다. 이 실시예에서, 섬유는 각각의 섬유의 총 금속 산화물 함량을 기준으로 약 35 중량% 내지 약 75 중량% 범위의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 약 50 중량% 미만 범위의 SiO_2 그리고 약 5 중량% 초과 범위의 B_2O_3 를 이론적 산화물 기준으로 함유한다. 이 실시예에서, 와이어는 $-75^{\circ}C$ 내지 $500^{\circ}C$ 의 온도에 걸친 비선형 열팽창 계수, 약 105 GPa(15 Msi) 이하의 모듈러스 그리고 적어도 약 350 MPa(50 ksi)의 평균 인장 강도를 갖는다.
- <13> 또 다른 실시예에서, 본 발명은 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치한 섬유를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 제조하는 방법을 제공한다. 이 방법은 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료를 제공하는 단계와, 각각의 섬유의 총 금속 산화물 함량을 기준으로 약 35 중량% 내지 약 75 중량% 범위의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 약 50 중량% 미만 범위의 SiO_2 그리고 약 5 중량% 초과 범위의 B_2O_3 를 이론적 산화물 기준으로 함유하는 복수개의 실질적으로 연속인 섬유를 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료 내로 침지시키는 단계와, 적어도 일부의 용융 매트릭스 재료가 복수개의 섬유 내로 침투하여 이를 습윤시켜 침투되어 습윤된 복수개의 섬유가 제공되게 하기 위해 적어도 일부의 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료의 진동을 일으키도록 초음파와 에너지를 부여하는 단계와, 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치한 복수개의 섬유를 가지며 $-75^{\circ}C$ 내지 $500^{\circ}C$ 의 온도에 걸친 비선형 열팽창 계수, 약 105 GPa 이하의 모듈러스 그리고 적어도 약 350 MPa의 평균 인장 강도를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공하도록 용융 매트릭스 재료가 응고되게 하는 조건 하에서 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료로부터 침투되어 습윤된 복수개의 섬유를 인출하는 단계를 포함한다.
- <14> 또 다른 실시예에서, 본 발명은 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치한 섬유를 갖는 적어도 1개의 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 구비한 케이블을 제공한다. 이 실시예에서, 섬유는 각각의 섬유의 총 금속 산화물 함량을 기준으로 약 35 중량% 내지 약 75 중량% 범위의 Al_2O_3 , 0 중량% 초과 내지 약 50 중량% 미만 범위의 SiO_2 그리고 약 5 중량% 초과 양의 B_2O_3 를 이론적 산화물 기준으로 함유한다. 나아가, 이 실시예에서, 와이어는 $-75^{\circ}C$ 내지 $500^{\circ}C$ 의 온도에 걸친 비선형 열팽창 계수, 약 105 GPa 이하의 모듈러스 그리고 적어도 약 350 MPa의 평균 인장 강도를 갖는다.
- <15> 또 다른 실시예에서, 본 발명은 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치한 세라믹 산화물 섬유를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공한다. 이 실시예에서, 세라믹 산화물 섬유는 약 173 GPa(25 Msi) 이하의 모듈러스를 갖고, 와이어는 약 105 GPa 이하의 모듈러스를 갖는다.
- <16> 추가 실시예에서, 본 발명은 알루미늄을 함유한 매트릭스 내에 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치한 세라믹 산화물 섬유를 갖는 적어도 1개의 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 구비한 케이블을 제공한다. 이 실시예에서, 섬유는 약 240 GPa(35 Msi) 이하의 모듈러스를 갖고, 와이어는 약 105 GPa 이하의 모듈러스와 적어도 약 350 MPa의 평균 인장 강도를 갖는다.
- <17> <정의>
- <18> 여기에 사용된 바와 같이, 다음의 용어는 아래와 같이 정의된다.
- <19> "실질적으로 연속인 섬유"는 평균 유효 섬유 직경에 비교될 때 비교적 무한한 길이를 갖는 섬유를 의미한다. 일반적으로, 이는 섬유가 적어도 약 1×10^5 , 바람직하게는 적어도 약 1×10^6 , 더욱 바람직하게는 적어도 1×10^7 의 종횡비(aspect ratio)(즉, 섬유의 평균 유효 직경에 대한 섬유의 길이의 비)를 갖는 것을 의미한다. 일반적으로, 이러한 섬유는 적어도 약 50 m 정도의 길이를 갖고, 수 km 이상 정도의 길이를 가질 수도 있다.

- <20> "평균 유효 직경"은 측정된 물체와 동일한 단면적을 갖는 원의 진정한 직경(true diameter)을 의미한다. 예컨대, 원형 섬유 또는 와이어는 면적이 $\pi d^2/4$ 로서 정확하게 계산될 수 있는 측정 가능한 직경을 갖는다. 비원형, 타원형, 계란형 또는 불규칙 형상의 섬유 또는 와이어는 그 단면적이 측정되어 동일한 단면적의 원을 형성하도록 계산되는 직경일 수 있지만 단일의 측정 가능한 직경을 갖지 않는다. 이러한 원의 직경은 유효 직경이라는 용어로 사용된다. 평균 유효 직경은 여러 개의 계산된 유효 직경의 수치 평균(numerical average)이다.
- <21> "길이 방향으로 위치된"은 섬유가 와이어의 길이와 동일한 방향으로 배향되는 것을 의미한다.
- <22> "열팽창 계수(CTE: coefficient of thermal expansion)"는 섬유 및/와이어의 길이 방향으로 측정되는 특정 온도 범위에 걸친 열팽창의 변화율을 의미한다. 즉, 열팽창 계수=(치수의 변화)/(온도의 변화). 순간 CTE 수치는 특정 온도에서 계산된 열팽창 대 온도 그래프의 기울기(즉, 열팽창 대 온도를 플롯한 곡선의 방정식의 미분)가 된다.
- <23> "-75°C 내지 500°C의 온도에 걸친 비선형 CTE"는 특정 온도 내에서의 백분을 열팽창 대 온도의 그래프에 대한 변곡부(inflexion)들 사이 부분의 2차 곡선 맞춤(curve fit)이 양 및 음의 기울기의 교대를 나타내는 것을 의미한다.
- <24> "평균 인장 강도"는 여러 개의 섬유, 와이어 또는 케이블 샘플의 측정된 인장 강도의 수치 평균을 의미한다.
- <25> "길이 방향 인장 강도"는 섬유, 와이어 또는 케이블이 그 주축 방향으로 시험될 때 파괴되는 응력을 의미한다. 이는 샘플에 인가된 최대 응력과도 동일하다. 응력(S)은 $S=L/A$ 로서 계산되는데, 여기에서 L은 인장 시험 중 측정된 최대 부하이고 A는 시험 전 샘플의 단면적이다.
- <26> "모듈러스"는 길이 방향 인장 모듈러스를 의미한다. 이는 샘플의 주축 방향으로 측정될 때 섬유, 와이어 또는 케이블의 인장 강성이다. 이는 소정 변형률 증분 또는 변형률 범위에 걸쳐 측정된 샘플에 대한 단위 변형률 당 평균 응력을 나타낸다. 와이어에 대해, 모듈러스는 0과 0.05% 변형률 사이에서 측정된다.
- <27> "케이블 모듈러스"는 케이블의 탄성 인장 모듈러스를 의미한다. 케이블 모듈러스는 부하-무부하 변형 곡선을 얻기 위해 인장 시험 장치를 사용하여 케이블을 부하/무부하 상태로 함으로써 얻어진다. 케이블은 그 구조적 인장이 흡수되어 탄성 변형될 정도로 충분히 부하 상태가 된다. 곡선의 무부하 영역으로부터의 데이터는 케이블 모듈러스를 계산하는 데 사용된다. 이는 "와이어 로프의 이론(Theory of Wire Rope)" [와이어 로프의 시험 (Testing of Wire Rope), 제6장, 조지 에이. 코스텔로(George A. Costello), 스프링거-페어락(Springer-Verlag)(1997)]에 추가로 기재되어 있다. 케이블 모듈러스는 다음의 방정식을 사용하여 측정된 부하-변위 데이터로부터 계산될 수 있다.
- <28> $E=\Delta F/Ae$
- <29> 여기에서
- <30> E는 계산된 케이블 모듈러스
- <31> ΔF 는 측정 영역에서의 측정된 부하의 변화
- <32> A는 시험 전 결정된 케이블 내의 와이어의 총 단면적
- <33> e는 측정 영역에서의 케이블의 측정된 신장률의 변화
- <34> 구체적으로,
- <35> $e=(l_1-l_0)/l_0$
- <36> 여기에서
- <37> l_0 는 측정 영역에서의 케이블의 최초 길이
- <38> l_1 는 측정 영역에서의 케이블의 최종 길이
- <39> "파괴시 평균 변형률"은 파괴시 인장 변형률을 의미하고 여러 개의 샘플에 대한 파괴시 측정된 변형률의 수치 평균이다. 파괴시 변형률은 단위 길이 당 샘플의 신장을 또는 연장률이다. 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- <40> $e=(l_f-l_0)/l_0$
- <41> e는 단위 길이 당 샘플의 신장율 또는 연장을
- <42> l_f 는 샘플의 최종 게이지 길이
- <43> l_0 는 샘플의 최초 게이지 길이
- <44> "과괴시 이론적 섬유 변형률"은 평균 섬유 인장 강도를 사용하여 계산된 섬유의 과괴시 변형률이고 다음 관계식에 의해 정의된다.
- <45> 응력=모듈러스×변형률
- <46> 이와 같이, 변형률=응력/모듈러스. 상표명 "넥스텔 312(NEXTEL 312)"로 구매 가능한 섬유에 대해, 측정된 평균 인장 응력은 1.68 GPa(244 ksi)이고 모듈러스는 151 GPa(22 Msi)로서 기록된다. 그러므로, 변형률은 1.1%이고 과괴시 이론적 섬유 변형률은 1.1%이다.

실시예

- <57> 본 발명은 일반적으로 보강부로서 적절한 것으로 여겨지지 않는 섬유로부터 저장도 재료가 제조되어 이러한 재료가 가공 송전 등의 적용 분야를 위한 현재 개발 중인 고성능 재료와 직접 경쟁할 수 있다는 발견에 기초하고 있다. 본 발명은 알루미늄(예컨대, 고순도 알루미늄 또는 그 합금)을 함유한 매트릭스 내에 구비된 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치된 섬유를 갖는 제품, 바람직하게는 와이어, 테이프 등의 긴 금속 복합 재료 제품을 제공한다.
- <58> 본 발명은 섬유 보강 알루미늄 매트릭스 복합 재료를 포함하는 와이어, 케이블 등의 복합 재료 제품을 제공한다. 본 발명에 따른 복합 재료 와이어는 알루미늄과 선택적으로 1개 이상의 금속(바람직하게는 고순도 원소 알루미늄 또는 순수 알루미늄 및 구리 등의 다른 원소의 합금)을 함유한 매트릭스 내에 캡슐화된 복수개의 실질적으로 연속이고 길이 방향으로 위치된 보강 섬유(바람직하게는 세라믹 산화물, 가장 바람직하게는 Al_2O_3 계 보강 섬유)를 포함한다. 바람직하게는, 섬유 개수를 기준으로 적어도 약 85%가 본 발명에 따른 와이어 내에서 실질적으로 연속이다. 본 발명에 따른 적어도 1개의 와이어가 케이블, 바람직하게는 송전 케이블 내로 결합될 수 있다.
- <59> 섬유
- <60> 실질적으로 연속인 보강 섬유는 바람직하게는 적어도 약 5 μm 의 평균 유효 섬유 직경을 갖는다. 바람직하게는 평균 유효 섬유 직경은 50 μm 이하이고, 더욱 바람직하게는 약 25 μm 이하이다.
- <61> 양호한 섬유는 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ (25 $^{\circ}C$ 내지 1000 $^{\circ}C$) 이하의 열팽창 계수를 갖는 섬유이다. 일반적으로, 다정질 $\alpha-Al_2O_3$ 섬유는 $8 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ 이하의 열팽창 계수를 갖는다. SiO_2 , B_2O_3 , Cr_2O_3 , 또는 이들의 혼합물 등의 다른 산화물을 함체함으로써, 열팽창 계수는 감소될 수 있다. 이는 약 1.4 GPa까지 섬유의 인장 강도를 감소시킬 수도 있기 때문에, 예컨대 유용한 케이블이 이러한 섬유를 사용하여 제조될 수 있는 것으로 기대되지 못했다.
- <62> 더욱 바람직하게는 섬유는 약 $7.9 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ (25 $^{\circ}C$ 내지 500 $^{\circ}C$) 이하 그리고 가장 바람직하게는 약 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ (25 $^{\circ}C$ 내지 500 $^{\circ}C$) 이하의 평균 열팽창 계수를 갖는다. 바람직하게는 섬유는 적어도 약 $3 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ (25 $^{\circ}C$ 내지 500 $^{\circ}C$), 가장 바람직하게는 적어도 약 $2 \times 10^{-6}/^{\circ}C$ (25 $^{\circ}C$ 내지 500 $^{\circ}C$)의 열팽창 계수를 갖는다.
- <63> 바람직하게는 섬유는 적어도 약 1.4 GPa, 더욱 바람직하게는 적어도 약 1.7 GPa, 훨씬 더 바람직하게는 적어도 약 2.1 GPa 그리고 가장 바람직하게는 적어도 약 2.8 GPa의 평균 인장 강도를 갖는다.
- <64> 바람직하게는 섬유는 약 240 GPa(35 Msi) 이하 그리고 더욱 바람직하게는 약 173 GPa (25 Msi)이하의 모듈러스를 갖는다. 바람직하게는, 섬유는 약 69 GPa(10 Msi) 이하의 모듈러스를 갖는다.

<65> 다양한 섬유의 탄성 모듈러스 및 강도는 다음과 같다.

섬유	모듈러스 [Msi(GPa)]	% 신장율	인장 강도 [ksi(MPa)]
"넥스텔 312"	22(152)	1.2	250(1720)
"넥스텔 440"	27(186)	1.1	300(2070)
"넥스텔 610"	54(372)	0.8	400(2750)
"알텍스(ALTEX)"	30(207)	0.9	300(2070)
"넥스텔 720"	38(262)	0.8	300(2070)
"알맥스(ALMAX)"	48(331)	0.5	260(1790)

<67> 바람직하게는 본 발명에 따른 섬유는 약 2.5% 이하, 더욱 바람직하게는 1.2% 이하 그리고 가장 바람직하게는 1.0% 이하의 파괴시 평균 변형률을 갖는다.

<68> 본 발명에 따른 알루미늄 매트릭스 복합 재료를 제조하는 데 유용할 수 있는 실질적으로 연속인 세라믹 산화물 섬유의 예는 세라믹 산화물(예컨대, 알루미늄노보로실리케이트) 섬유를 포함한다. 일반적으로, 세라믹 산화물 섬유는 결정질 세라믹 및/또는 결정질 세라믹 및 유리의 혼합물(즉, 섬유는 결정질 세라믹 및 유리 상 모두를 함유할 수 있음)이다.

<69> 세라믹 섬유는 단일 필라멘트로서 상업적으로 구매 가능하거나, 예컨대 양(yarn) 및 토우(tow)로 함께 집합된다. 토우는 섬유 업계에 공지되어 있고 로프 형태로 수집된 복수개의 (개별) 섬유(일반적으로는 적어도 100개의 섬유 그리고 더욱 일반적으로 적어도 400개의 섬유)를 말한다. 양 또는 토우는 바람직하게는 토우 당 적어도 780개의 개별 섬유 그리고 더욱 바람직하게는 토우 당 적어도 2600개의 개별 섬유를 포함한다. 세라믹 섬유는 300 m 및 그 이상을 포함하는 다양한 길이로 구매 가능하다. 섬유는 원형 또는 타원형 단면 형상을 가질 수 있다.

<70> 적절한 알루미늄노보로실리케이트 섬유를 포함하는 양호한 섬유는 미국 특허 제3,795,524호[소우맨(sowman)]에 기재되어 있다. 바람직하게는, 알루미늄노보로실리케이트 섬유는 그 총 중량을 기준으로 약 35 중량% 내지 약 75 중량%(더욱 바람직하게는, 약 55 중량% 내지 약 75 중량%)의 Al₂O₃, 0 중량% 초과(더욱 바람직하게는, 적어도 약 15 중량%) 내지 약 50 중량% 미만(더욱 바람직하게는 약 45 중량% 미만 그리고 가장 바람직하게는 약 44 중량% 미만)의 SiO₂ 그리고 약 5 중량% 초과(더욱 바람직하게는 약 25 중량% 미만, 훨씬 더 바람직하게는 약 1 중량% 내지 약 5 중량% 그리고 가장 바람직하게는 약 10 중량% 내지 약 20 중량%)의 B₂O₃를 이론적 산화물 기준으로 함유한다. 양호한 알루미늄노보로실리케이트 섬유는 3M 컴퍼니로부터 상표명 "넥스텔 312"로 상업적으로 구매 가능하다.

<71> 다른 적절한 섬유는 3M 컴퍼니로부터 상표명 "넥스텔 550" 및 "넥스텔 720"으로 상업적으로 구매 가능한 알루미늄노보로실리케이트 섬유를 포함한다.

<72> 상업적으로 구매 가능한 섬유는 일반적으로 윤활성을 제공하도록 그리고 취급 중 섬유 스트랜드를 보호하도록 그 제조 중 섬유에 첨가되는 유기 사이징 재료(organic sizing material)를 포함한다. 이 사이징은 섬유의 파열을 감소시키고, 정전기를 감소시키며, 예컨대 직물로의 전환 중 먼지의 양을 감소시키는 경향이 있는 것으로 여겨진다. 이 사이징은 예컨대 용해시키거나 연소시킴으로써 제거될 수 있다. 바람직하게는, 이 사이징은 본 발명에 따른 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 형성하기 전 제거된다. 이 방식으로, 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 형성하기 전, 세라믹 산화물 섬유는 그 상에 어떠한 코팅도 없다.

<73> 섬유 상에 코팅을 갖는 것도 본 발명의 범주 내에 있다. 코팅은 예컨대 섬유의 습윤성을 향상시키는 데 그리고 섬유와 용융 금속 매트릭스 재료 사이의 반응을 감소시키거나 방지하는 데 사용될 수 있다. 이러한 코팅과 이러한 코팅을 제공하는 기술은 섬유 및 금속 매트릭스 복합 재료 업계에 공지되어 있다.

<74> 와이어

<75> 본 발명에 따른 와이어는 바람직하게는 와이어의 총 부피를 기준으로 적어도 약 15 부피%의 섬유, 더욱 바람직하게는 적어도 약 25 부피%의 섬유 그리고 가장 바람직하게는 적어도 약 28 부피%의 섬유를 포함한다. 이들은 와이어의 총 부피를 기준으로 약 65 부피% 이하의 섬유, 더욱 바람직하게는 약 55 부피% 이하의 섬유 그리고 가

장 바람직하게는 약 50 부피% 이하의 섬유를 포함한다. 어떤 양호한 케이블은 이들 부피의 섬유들도 포함한다.

- <76> 본 발명에 따른 와이어는 적어도 약 50 m, 적어도 약 100 m, 적어도 약 200 m, 적어도 약 300 m, 적어도 약 400 m, 적어도 약 500 m, 적어도 약 600 m, 적어도 약 700 m, 적어도 약 800 m 그리고 적어도 약 900 m의 우선 순서로 길이를 갖는다. 와이어 밀도는 일반적으로 약 2.5 g/cm³ 내지 약 2.8 g/cm³이다.
- <77> 본 발명의 와이어의 평균 유효 직경은 바람직하게는 적어도 약 0.25 mm, 더욱 바람직하게는 적어도 약 1 mm 그리고 더욱 바람직하게는 적어도 약 1.5 mm이다.
- <78> 본 발명에 따른 와이어는 바람직하게는 놀라운 비선형 열팽창 계수(CTE)를 나타낸다. 더욱 바람직하게는, 본 발명에 따른 와이어는 예 1에서 추가로 설명되는 도1의 그래프의 선 1 또는 2에 의해 나타낸 열팽창 계수 거동을 갖는다.
- <79> 본 발명에 따른 와이어는 바람직하게는 적어도 약 350 MPa(50 ksi)의 평균 인장 강도를 갖는다. 더욱 바람직하게는, 본 발명에 따른 와이어는 적어도 약 1400 MPa(200 ksi) 이하 그리고 가장 바람직하게는 약 700 MPa(100 ksi) 이하의 평균 인장 강도를 갖는다.
- <80> 바람직하게는, 본 발명에 따른 와이어는 모든 섬유 분율에 대해 파괴시 이론적 섬유 변형률의 적어도 90% 그리고 더욱 바람직하게는 35 부피% 이하의 섬유인 섬유 분율에 대해 파괴시 이론적 섬유 변형률의 적어도 약 95%의 길이 방향 인장 강도를 갖는다. 파괴시 이론적 섬유 변형률은 <정의> 섹션에서 발견되는 방정식에 따라 계산될 수 있다. 이들 수치를 결정하는 데 사용된 섬유 강도는 1.68 GPa(244 ksi)인 것으로 측정되었다.
- <81> 바람직하게는, 본 발명에 따른 와이어는 약 105 GPa(15 Msi) 이하 그리고 더욱 바람직하게는 약 84 GPa(12 Msi) 이하의 모듈러스를 갖는다. 바람직하게는, 본 발명에 따른 와이어는 적어도 약 40 GPa(6 Msi) 그리고 더욱 바람직하게는 적어도 약 49 GPa(7 Msi)의 모듈러스를 갖는다. 모듈러스의 하한 수치는 일반적으로 낮은 부피 분율의 섬유를 갖는 와이어에 대해 발생된다. 모듈러스가 69 GPa(10 Msi) 미만일 수 있는 것은 놀라운데, 이는 알루미늄의 모듈러스이고 일반적으로 복합 재료 와이어 내의 각각의 성분의 모듈러스 미만이다.
- <82> 바람직하게는, 본 발명에 따른 와이어는 약 2.5% 이하, 더욱 바람직하게는 약 1.2% 이하 그리고 가장 바람직하게는 약 1.0% 이하의 파괴시 평균 변형률을 갖는다.
- <83> 금속 매트릭스 재료는 알루미늄 및 그 합금(예컨대, 알루미늄 및 구리의 합금)을 함유한다. 바람직하게는, 알루미늄 매트릭스는 적어도 98 중량%의 알루미늄, 더욱 바람직하게는 99 중량%의 알루미늄, 훨씬 더 바람직하게는 99.9 중량% 초과와 알루미늄 그리고 가장 바람직하게는 99.95 중량% 초과와 알루미늄을 함유한다. 알루미늄 및 구리의 양호한 알루미늄 합금은 적어도 약 98 중량%의 Al과 약 2 중량%까지의 Cu를 함유한다. 알루미늄 및 알루미늄 합금은 상업적으로 구매 가능하다. 예컨대, 알루미늄은 펜실베이니아주 피츠버그의 알코아(Alcoa)로부터 상표명 "수퍼 퓨어 알루미늄(SUPER PURE ALUMINUM); 99.99% Al"으로 구매 가능하다. 알루미늄 합금[예컨대, Al-2 중량% Cu(0.03 중량% 불순물)]은 뉴욕주 뉴욕의 벨몬트 메탈즈(Belmont Metals)로부터 얻어질 수 있다.
- <84> 특정 섬유, 매트릭스 재료 그리고 본 발명에 따른 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 제조하는 공정 단계는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어에 원하는 특성을 제공하도록 선택된다. 예컨대, 섬유 및 알루미늄 매트릭스 재료는 원하는 와이어를 제조할 정도로 서로 그리고 와이어 제조 공정과 충분히 호환 가능하도록 선택된다.
- <85> 알루미늄 및 알루미늄 합금 매트릭스 와이어를 제조하는 일부의 양호한 기술에 대한 부가 세부 사항이 예컨대 동시 계속 중인 미국 특허 출원 제08/492,960호와 1996년 5월 21자로 공개된 PCT 출원 공개 제WO 97/00976호에 개시되어 있다.
- <86> 본 발명에 따른 연속 금속 매트릭스 복합 재료 와이어는 예컨대 금속 매트릭스 침투 공정(metal matrix infiltration process)에 의해 제조될 수 있다. 양호한 실시예에서, 이 방법은 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료를 제공하는 단계와, 적어도 일부의 용융 매트릭스 재료가 복수개의 섬유 내로 침투하여 이를 습윤시켜 침투되어 습윤된 복수개의 섬유가 제공되게 하기 위해 적어도 일부의 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료의 진동을 일으키도록 초음파와 에너지를 부여하는 단계와, 복수개의 섬유를 갖는 알루미늄 매트릭스 복합 재료 와이어를 제공하도록 용융 매트릭스 재료가 응고되게 하는 조건 하에서 억제된 부피의 용융 매트릭스 재료로부터 침투되어 습윤된 복수개의 섬유를 인출하는 단계를 포함한다.
- <87> 매트릭스 침투의 보조 역할로서의 초음파와 에너지의 사용은 섬유 토우의 불완전 매트릭스 침투의 문제를 극복하는 데 도움이 된다. 예컨대, 본원과 동일자로 출원된 미국 특허 출원 제09/616,589호뿐만 아니라 미국 특허 출

원 제08/492,960호와 1996년 5월 21자로 공개된 PCT 출원 공개 제W0 97/00976호에 개시된 공정은 이 문제를 해결하는 방법이다.

- <88> 섬유와 매트릭스 사이의 반응 가능성 때문에, 이러한 반응의 발생을 최소화시킬 정도로 충분히 신속한 속도로 와이어를 가공하는 것이 양호하다. 특히 양호한 실시예에 대해, 섬유의 침지 길이(submerged length) 즉 섬유가 용융 알루미늄과 접촉되는 길이는 23 cm(9 인치)이고 와이어를 가공하는 속도는 적어도 약 76 cm/분(30 인치/분)이다. 38 cm/분(15 인치/분)의 속도는 섬유와 매트릭스 사이의 반응을 일으키지만 76 cm/분(30 인치/분)의 와이어 속도는 어떤 반응도 일으키지 않는 것으로 밝혀졌다.
- <89> 케이블
- <90> 본 발명에 따른 알루미늄 매트릭스 복합 재료는 다양한 적용 분야에 사용될 수 있다. 이들은 가공 송전 케이블에 특히 유용하다.
- <91> 본 발명에 따른 케이블은 균질(즉, 단지 1개의 종류의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어를 포함)이거나 비균질(즉, 복수개의 금속 와이어 등의 제2 와이어를 포함)일 수 있다. 비균질 케이블의 예로서, 코어는 본 발명에 따른 복수개의 와이어를 포함할 수 있고, 외피는 복수개의 제2 와이어(예컨대, 알루미늄 와이어)를 포함할 수 있다.
- <92> 본 발명에 따른 케이블은 스트랜드형 또는 비스트랜드형일 수 있다. 스트랜드형 케이블은 일반적으로 중심 와이어와 이 주위에 나선형으로 꼬인 와이어의 제1 층을 포함한다. 케이블 스트랜딩(cable stranding)은 와이어의 개별 스트랜드가 최종 케이블을 제조하도록 나선형 배열로 결합되는 공정이다[예컨대, 파워즈(Powers)의 미국 특허 제5,171,942호 및 젠트리(Gentry)의 미국 특허 제5,554,826호]. 최종의 나선형으로 꼬인 케이블 또는 와이어 로프는 동등한 단면적의 중실 로드(solid rod)로부터 이용 가능한 훨씬 큰 가요성을 제공한다. 나선형 배열은 스트랜드형 케이블에 취급, 설치 및 사용 중 굽힘(bending)이 적용될 때 그 전체적으로 둥근 단면 형상을 유지하기 때문에 유익하다. 나선형으로 권취된 케이블은 7개 정도의 개별 스트랜드로부터 50개 이상의 스트랜드를 포함하는 더욱 일반적인 구조까지 포함할 수 있다.
- <93> 본 발명에 따른 1개의 예시 송전 케이블이 도7에 도시되어 있는데, 여기에서 본 발명에 따른 송전 케이블(130)은 30개의 개별 알루미늄 또는 알루미늄 합금 와이어(138)의 재킷(136)에 의해 둘러싸인 19개의 개별 복합 재료 금속 매트릭스 와이어(134)의 코어(132)일 수 있다. 마찬가지로, 도8에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 다수의 대체 가공 송전 케이블(140) 중 1개는 21개의 개별 알루미늄 또는 알루미늄 합금 와이어(148)의 재킷(146)에 의해 둘러싸인 37개의 개별 복합 재료 금속 매트릭스 와이어(144)의 코어(142)일 수 있다.
- <94> 도9는 스트랜드형 케이블(80)의 또 다른 실시예를 도시하고 있다. 이 실시예에서, 스트랜드형 케이블은 중심 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(81A)와 이 주위에 나선형으로 권취된 와이어의 제1 층(82A)을 포함한다. 이 실시예는 제1 층(82A) 주위에 나선형으로 꼬인 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(81)의 제2 층(82B) 추가로 포함한다. 임의의 적절한 개수의 금속 매트릭스 복합 재료 와이어(81)가 임의의 층 내에 포함될 수 있다. 나아가, 2개 초과층이 원하는 바에 따라 스트랜드형 케이블(80) 내에 포함될 수 있다.
- <95> 본 발명에 따른 케이블은 노출된 케이블로서 사용될 수 있거나, 큰 직경의 케이블의 코어로서 사용될 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 케이블은 유지 수단이 그 주위에 있는 복수개의 와이어의 스트랜드형 케이블일 수 있다. 유지 수단은 예컨대 접착제나 결합제가 있거나 없는 테이프 오버랩(tape overwrap)일 수 있다.
- <96> 본 발명의 스트랜드형 케이블은 다수의 적용 분야에서 유용하다. 이러한 스트랜드형 케이블은 저중량, 고강도, 양호한 전기 전도도, 낮은 열팽창 계수, 높은 사용 온도 및 내식성의 조합으로 인해 가공 송전 케이블에 특히 바람직한 것으로 여겨진다.
- <97> 이러한 송전 케이블의 1개의 양호한 실시예의 단부도가 도10에 도시되어 있다. 이러한 송전 케이블은 여기에 기재된 스트랜드형 코어 중 임의의 것일 수 있는 코어(91)를 포함한다. 송전 케이블(90)은 스트랜드형 코어(91) 주위의 적어도 1개의 전도체층(93)도 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 송전 케이블은 2개의 전도체층(93A, 93B)을 포함한다. 1개 초과층이 원하는 바에 따라 사용될 수 있다. 바람직하게는, 각각의 전도체층(93)은 당업계에 공지된 바와 같이 복수개의 전도체 와이어를 포함한다. 전도체 와이어를 위한 적절한 재료는 알루미늄 또는 알루미늄 합금을 포함한다. 전도체 와이어는 당업계에 공지된 바와 같이 적절한 케이블 스트랜딩 장치에 의해 스트랜드형 코어(91) 주위에 케이블링될 수 있다.
- <98> 스트랜드형 케이블이 최종 제품 그 자체로서 사용되거나, 상이한 후속 제품 내의 중간 제품 또는 구성 요소로서

사용되는 다른 적용 분야에서, 스트랜드형 케이블에는 복수개의 금속 복합 재료 와이어 주위에 전력 전도체층이 없는 것이 양호하다.

- <99> 바람직하게는, 본 발명에 따른 복수개의 비스트랜드형 와이어를 포함하는 케이블은 약 105 GPa(15 Msi) 이하 그리고 더욱 바람직하게는 약 84 GPa(12 Msi) 이하의 케이블 모듈러스를 갖는다. 바람직하게는 본 발명에 따른 복수개의 비스트랜드형 와이어를 포함하는 케이블은 적어도 약 42 GPa(6 Msi) 그리고 더욱 바람직하게는 적어도 약 49 GPa(7 Msi)의 케이블 모듈러스를 갖는다. 일반적으로, 스트랜드형 케이블의 모듈러스는 와이어의 나선형으로 꼬인 층의 스트랜드 구성으로 인해 비스트랜드형 케이블의 모듈러스에 비해 감소된다. 이는 케이블을 직선 평행 와이어의 배열보다 강성이 작아지게 한다. 이와 같이, 바람직하게는, 본 발명에 따른 복수개의 스트랜드형 와이어를 포함하는 케이블은 동일한 개수, 동일한 단면적 그리고 동일한 종류의 비스트랜드형 와이어를 포함하는 케이블의 모듈러스의 적어도 약 75%, 더욱 바람직하게는 적어도 약 85% 그리고 가장 바람직하게는 적어도 약 95%의 케이블 모듈러스를 갖는다.
- <100> 본 발명에 따른 와이어로부터 제조된 케이블에 대한 부가 정보는 본원과 동일자로 출원된 미국 특허 출원 제 09/616,784호에 개시되어 있다.
- <101> <예>
- <102> 본 발명은 다음의 예에 의해 추가로 설명되지만, 다른 조건 및 세부 사항뿐만 아니라 이들 예에서 인용된 그 특정 재료 및 양은 본 발명을 부당하게 제한하도록 해석되지 말아야 한다. 본 발명의 다양한 변형에 및 변경에는 당업자에게 명백해질 것이다. 모든 부분 및 백분율은 다른 지시가 없다면 중량을 기준으로 한다.
- <103> <시험 방법>
- <104> 섬유 강도
- <105> 섬유 강도는 [매사추세츠주의 인스트론(Instron)으로부터 인스트론 4201 시험기로서 상업적으로 구매 가능한] 인장 시험기와, ASTM D3379-75(높은 모듈러스 단일 필라멘트 재료를 위한 인장 강도 및 영률을 위한 표준 시험 방법)를 사용하여 측정되었다. 시험 게이지 길이는 25.4 mm(1 인치)이었고, 변형률 속도는 0.02 mm/mm이었다.
- <106> 섬유 토우의 인장 강도를 결정하기 위해, 10개의 단일 섬유 필라멘트가 섬유의 토우로부터 무작위로 선택되었고 각각의 필라멘트는 그 파괴 부하를 결정하도록 시험되었다. 각각의 개별적으로 무작위로 선택된 섬유는 1.31 내지 1.96 GPa(191 내지 285 ksi) 범위의 강도를 갖는다. 평균 개별 필라멘트 인장 강도는 1.68 GPa(244 ksi)이었다. 섬유 직경은 ×1000 배율로 [돌란-제너 메저-라이트 비디오 마이크로미터 시스템(Dolan-Jenner Measure-Rite Video Micrometer system), 모델 M25-0002, 매사추세츠주 로렌스의 돌란-제너 인더스트리즈, 인크.(Dolan-Jenner Industries, Inc.)로부터 상업적으로 구매 가능한] 광학 현미경으로의 연결 장치(attachment)를 광학적으로 사용하여 측정되었다. 이 장치는 검교정된 스테이지 마이크로미터(calibrated stage micrometer)로 반사된 광의 관찰을 사용하였다.
- <107> 각각의 개별 필라멘트의 파괴 응력은 단위 면적 당 부하로서 계산되었다.
- <108> 와이어 인장 강도
- <109> 복합 재료 와이어의 인장 특성은 실질적으로 (매사추세츠주 캔턴의 인스트론 코프.로부터 상표명 "인스트론", 모델 번호 8000-074로 얻어지는) 데이터 획득 시스템(data acquisition system)에 의해 구동되는 (인스트론 코프.로부터 상표명 "인스트론", 모델 번호 8000-072로 얻어지는) 기계적 정렬 고정물(mechanical alignment fixture)이 갖추어진 [인스트론 코프.로부터 상표명 "인스트론", 모델 번호 8562 시험기로 상업적으로 구매 가능한] 인장 시험기를 사용하여 ASTM E345-03에 기재된 바와 같이 결정되었다.
- <110> 시험은 시험 장치에 의한 확실한 파지를 가능하게 하도록 와이어의 단부 상에 1018 연강 튜브 탭(mild steel tube tab)이 갖추어진 5 cm(2 인치) 게이지 길이 샘플을 사용하여 수행되었다. 와이어 샘플의 실제 길이는 웨지 파지부의 설치를 수용하도록 샘플 게이지 길이 보다 20 cm(8 인치)만큼 길다. 2.06 mm(0.081 인치) 이하의 직경을 갖는 복합 재료 와이어를 위해, 튜브는 길이가 15 cm(6 인치)이고, OD(즉, 외경)가 6.35 mm(0.25 인치)이며, ID(즉, 내경)가 2.9 내지 3.2 mm(0.115 내지 0.125 인치)이다. ID 및 OD는 가능하면 동심이어야 한다. 강철 튜브 및 와이어 샘플은 알코올로 세척되었고 파지기 튜브의 적절한 위치 설정이 5.0 cm의 원하는 게이지 길이를 이루게 하도록 10 cm(4 인치)의 거리가 와이어 샘플의 각각의 단부로부터 표시되었다. 각각의 파지기 튜브의 보어(bore)에는 [미네소타주 브루클렌 센터의 테크니컬 레진 패키징, 인크.(Technical Resin Packaging, Inc.)로부터 얻어지는] 플라스틱 노즐이 갖추어진 [테크니컬 레진 패키징, 인크.로부터 상표명 "셈코(SEMCO)", 모

텔 250으로 얻어지는] 밀봉제 주입기(sealant gun)를 사용하여 [3M으로부터 상표명 "스카치-웰드(SCOTCH-WELD) 2214 하이-플렉스(HI-FLEX), 고연성 접착제, 부품 번호 62-3403-2930-9로 구매 가능한]에폭시 접착제가 충전되었다. 파잉의 에폭시 수지는 튜브와 와이어 상의 마크까지 튜브 내로 삽입된 와이어로부터 제거되었다. 와이어가 파지기 튜브 내로 삽입되면, 튜브에 수지가 충분한 것을 보증하도록 소정 위치에 와이어를 유지하면서 추가의 에폭시 수지가 튜브 내로 주입된다. (수지는 와이어가 소정 위치에 유지되는 동안 에폭시가 게이지 길이의 기부에서 와이어 주위에 압착될 때까지 튜브 내로 재충전되었다). 양쪽 파지기 튜브가 와이어 상에 적절하게 위치될 때, 샘플은 에폭시 경화 사이클 중 파지기 튜브 및 와이어의 적절한 정렬이 유지되도록 탭 정렬 고정물 내로 위치된다. 이 조립체는 다음에 에폭시를 경화시키도록 90분 동안 150°C로 유지되는 경화 오븐 내에 위치되었다.

<111> 시험 프레임은 원하는 정렬을 이루도록 그 상에 기계적 정렬 장치를 사용하여 인스트론 시험기 내에 주의하여 정렬되었다. 시험 중, 파지기 튜브의 외경의 5 cm (2 인치)만이 대략 14 내지 17 MPa(2 내지 2.5 ksi)의 기계 클램핑 압력을 사용하여 톱니형 V자형-노치 유압 죠오(serrated V-notch hydraulic jaw)에 의해 파지되었다.

<112> 0.01 cm/cm(0.01 인치/인치)의 변형률 속도가 위치 제어 모드에서 사용되었다. 변형률은 (인스트론 코프.로부터 상표명 "인스트론", 모델 번호 2620-824로 얻어지는) 동적 변형률 게이지 신장계(dynamic strain gauge extensometer)를 사용하여 감시되었다. 신장계 나이프 모서리들 사이의 거리는 1.27 cm(0.5 인치)이었고 게이지는 게이지 길이의 중심에 위치되어 고무 밴드로 고정되었다. 와이어 직경은 와이어를 따른 3개의 위치에서의 마이크로미터 측정을 사용하거나 단면적을 측정하여 동일한 단면적을 제공하는 유효 직경을 계산하는 것으로부터 결정되었다. 인장 시험으로부터의 출력은 샘플에 대한 파괴시 부하, 인장 강도, 인장 모듈러스 그리고 파괴시 변형률 데이터를 제공한다. 5개의 샘플이 시험되었는데, 이로부터 평균, 표준 편차 그리고 변동 계수(coefficient of variation)가 각각의 특성에 대해 기록되었다.

<113> 열팽창 계수(CTE)

<114> CTE는 1995년에 발행된 다음의 ASTM E-228을 따라 측정되었다. 작업은 5.1 cm(2 인치)의 와이어 길이를 사용하여 [상표명 "유니썸(UNITHERM) 1091"로 얻어지는] 팽창계(dilatometer) 상에서 수행되었다. 시험 전 장비의 검교정이 [워싱턴 디씨의 니스트(NIST)로부터 상표명 "퓨즈드 실리카(fused silica)"로 얻어지는] (NIST) 공인된 용융 실리카 검교정 기준 샘플을 사용하여 수행되었다. 샘플은 실험실 공기 대기 내에서 5°C의 가열 증가율로 -75°C 내지 500°C의 온도 범위에 걸쳐 시험되었다. 시험으로부터의 출력은 가열 중 10°C마다 수집된 한 세트의 치수 팽창 대 온도의 데이터이다. CTE는 온도에 따른 팽창 변화율이므로, 이 데이터는 CTE에 대한 수치를 얻는 처리에 요구된다. 팽창 대 온도 데이터는 [워싱턴주 레드먼드의 마이크로소프트(Microsoft)로부터 상표명 "엑셀(EXCEL)"로 얻어지는] 표준 그래픽 소프트웨어 패키지로 플롯되었다. 2차 멱함수(power function)가 이 곡선을 위한 방정식을 얻도록 소프트웨어에서 이용 가능한 표준 맞춤 함수를 사용하는 데이터에 적절하다. 이 방정식의 미분은 계산되면 선형 함수를 나타낸다. 이 방정식은 온도에 따른 팽창 변화율을 나타낸다. 이 방정식은 CTE 대 온도의 그래픽 도시를 제공하도록 관심 온도 범위 예컨대 -75 내지 500°C에 걸쳐 플롯되었다. 이 방정식은 임의의 온도에서 순간 CTE를 얻은 데에도 사용된다. 비선형 거동의 경우에, 팽창 대 온도 곡선은 상기 2차 멱함수 맞춤이 만족스럽게 수행될 수 있는 변곡점(inflexion point)들 사이의 영역으로 세분되었다.

<115> CTE는 관심 범위에서 섬유 부피 분율의 함수로서 상당히 변하지 않는 것으로 예측되고 가정되지만 일반적으로 섬유 부피 분율에 좌우된다. CTE는 다음의 방정식에 따라 변하는 것으로 가정되었다.

<116>
$$\alpha_{c1} = [E_f \alpha_f V_f + E_m \alpha_m (1 - V_f)] / (E_f V_f + E_m (1 - V_f))$$

<117> 여기에서, V_f =섬유 부피 분율

<118> E_f =섬유 인장 모듈러스

<119> E_m =매트릭스 인장 모듈러스(소정 위치)

<120> α_{c1} =길이 방향으로의 복합 재료 CTE

<121> α_f =섬유 CTE

<122> α_m =매트릭스 CTE

- <123> 직경
- <124> 와이어의 직경은 와이어를 따른 4개 지점에서 마이크로미터 눈금을 취함으로써 측정되었다. 일반적으로, 와이어는 완전한 원이 아니기 때문에, 길고 짧은 외관부(long and short aspect)가 있다. 눈금은 이들 길고 짧은 외관부가 측정되는 것을 보증하도록 와이어를 회전시킴으로써 취해졌다. 직경은 길고 짧은 외관부의 평균으로서 기록되었다.
- <125> 섬유 부피 분율
- <126> 섬유 부피 분율은 표준 금속 조직 기술(standard metallographic technique)에 의해 측정되었다. 와이어 단면은 연마되었고, 섬유 부피 분율은 (웹사이트 <http://rsb.info.nih.gov/nih-image>로부터 얻어지는) 국립 보건원의 연구 분원(Research Services Branch of the National Institutes of Health)에 의해 개발된 공개 이미지 처리 프로그램인 NIH 이미지(NIH IMAGE)(버전 1.61)로 불리는 컴퓨터 프로그램의 보조 역할로 밀도 프로파일링 함수(density profiling function)를 사용함으로써 측정되었다. 이 소프트웨어는 와이어의 대표 영역의 평균 계조세기(average gray scale intensity)를 측정한다.
- <127> 와이어의 일편이 (일리노이주 레이크 블러프의 뷰에홀러 인크.로부터 상표명 "에폭시큐어(EPOXYCURE)"로 얻어지는) 장착 수지(mounting resin) 내에 장착되었다. 장착된 와이어는 연마된 단면의 와이어를 얻도록 [오하이오주 웨스트 레이크의 스트루어레즈(Struers)로부터 상표명 "다이아몬드 스프레이(DIAMOND SPRAY)"로 얻어지는] 1 μm 다이아몬드 슬러리(slurry)를 사용한 최종 연마 단계로써 (스트루어레즈로부터 얻어지는) 종래의 연삭기/연마기 및 종래의 다이아몬드 슬러리를 사용하여 연마되었다. 연마된 와이어 단면의 주사 전자 현미경(SEM: scanning electron microscope) 사진(photomicrograph)을 150×로 찍었다. SEM 사진을 찍을 때, 화상의 임계레벨(threshold level)은 0 세기에서 모든 섬유를 갖도록 조정되어, 이진 화상(binary image)을 형성하였다. SEM 사진은 NIH IMAGE 소프트웨어로 분석되었고, 섬유 부피 분율은 최대 세기에 의해 이진 화상의 평균 세기를 분할함으로써 얻어졌다. 섬유 부피 분율을 결정하는 이 방법의 정확도는 +/- 2%인 것으로 여겨졌다.
- <128> 다양한 복합 재료 금속 매트릭스 조립의 특정 예는 이하에 기재되어 있다.
- <129> 예 1
- <130> 이 예의 와이어는 PCT 출원 공개 제WO 97/00976호에 게시된 사항 및 방법 공정을 따르기로 한다. 12 mm(0.5 인치) 폭의 밴드 내에 배열된 (3M 컴퍼니로부터 상표명 "넥스텔 312"로 구매 가능한) 20개의 토우의 1800 데니어 알루미늄노보로실리케이트 섬유가 [펜실베이니아주 비버 폴즈의 베수비우스 맥다니엘(Vesuvius McDaniel)로부터 상업적으로 구매 가능한] 24.1 cm×31.3 cm×31.8 cm의 치수를 갖는 알루미늄 도가니 내에 담긴 (뉴욕주 뉴욕의 벨몬트 메탈즈로부터 얻어지는) 99.97% 순도 알루미늄의 용융 욕(molten bath) 내로 이송되었다. 용융 알루미늄의 온도는 대략 720℃이었다. 각각의 섬유 토우는 토우 당 60 g의 장력이 부여되어 용융 표면을 통해 용융 알루미늄 내로 진입되는 크릴(creele) 상에 장착된 스펴(spools)로부터 분리되도록 견인되었다. 용융체 내로 진입시, 섬유 토우는 폭이 1.2 cm인 밴드 내에 배열되었다. 섬유 밴드의 금속 침투는 섬유 밴드 위로 1.25 mm 미만만큼 위치된 초음파 혼(ultrasonic horn)에 의해 용융체 및 섬유 토우의 적어도 일부로의 초음파 진동의 인가에 의해 용이하게 되었다. 혼은 길이가 12.7 cm이고 직경이 2.5 cm인 실린더로 형성된 95% 니오븀 및 5% 몰리브덴의 합금으로 구성되었다. 실린더는 그 길이를 변화시킴으로써 20.0 내지 20.4 kHz의 원하는 진동 주파수로 조정되었다. 작동기의 진폭은 대략 0.002 cm이었다. 혼은 [코네티컷주 덴버리의 소닉스 & 머티리얼즈(Sonics & Materials)로부터 얻어지는] 초음파 변환기로 연결된 티타늄 도파관(wave guide)에 연결되었다. 섬유에는 매트릭스 재료가 침투된 다음에 섬유는 저순도 알루미늄 산화물로 제조된 배출 다이를 통해 견인된다. 다이는 1.98 mm의 내경을 갖는다. 이 공정에 의해 제조된 와이어는 약 0.20 cm의 직경을 갖는다.
- <131> 도1의 곡선(즉, 선 1 및 2)은 -75℃(음수) 내지 500℃의 온도 범위에 걸쳐 이 공정에 의해 제조된 2개의 와이어 샘플에 대한 열팽창 대 온도 데이터의 플롯이다. 이 데이터는 그 플롯이 도2의 곡선 2a에 도시된 도1의 곡선 2에 대해 수행된 바와 같이 CTE가 각각의 별개 영역에 대해 계산될 수 있는 3개의 영역으로 세분될 수 있다. R²은 곡선 맞춤의 근사의 통계적 척도이다. R²=1일 때, 곡선에 대한 방정식은 실험적으로 결정된 곡선에 정확하게 순응된다. 곡선이 다음의 방정식에 의해 정의되는 -75℃ 내지 20℃의 영역에 대해,
- <132>
$$y=(5.3918 \times 10^{-6})x^2+(1.0314 \times 10^{-3})x-2.2245 \times 10^{-2}$$
- <133>
$$R^2=9.9930 \times 10^{-1}$$

- <134> CTE는 2.2로부터 12.5까지 선형으로 증가된다. 곡선이 다음의 방정식에 의해 정의되는 20℃ 내지 225℃의 영역에 대해,
- <135> $y=(1.6630 \times 10^{-6})x^2+(9.2031 \times 10^{-4})x-1.3358 \times 10^{-2}$
- <136> $R^2=9.9649 \times 10^{-1}$
- <137> CTE는 8.4로부터 2.5까지 선형으로 감소된다. 곡선이 다음의 방정식에 의해 정의되는 225℃ 내지 500℃의 영역에 대해,
- <138> $y=(1.2136 \times 10^{-7})x^2+(6.0436 \times 10^{-4})x-1.2290 \times 10^{-2}$
- <139> $R^2=9.9994 \times 10^{-1}$
- <140> CTE는 3.3으로부터 4.7까지 선형으로 증가된다.
- <141> 도3은 "넥스텔 312" 섬유 보강 와이어의 비선형 CTE 거동을 명백하게 도시하는 CTE를 정의한 3개의 방정식의 미분의 플롯이다. 이와 같이, -75℃(음수) 내지 500℃의 전체 온도 범위에 걸쳐, CTE는 명백하게 비선형이다. 도3의 20 내지 25℃와 200 내지 225℃에서의 불연속부는 이 데이터를 3개의 세트로 분리하여 별도로 각각의 영역을 취급하는 인위적 구조이다.
- <142> 5개의 샘플의 인장 시험은 0.441 내지 0.524 GPa(64 내지 76 ksi)의 인장 강도의 범위를 제공하였고, 0.486 GPa(71 ksi)의 평균을 가졌다. 파괴시 변형률은 0.82% 내지 0.99%의 범위이었고, 0.88%의 평균을 가졌으며, 평균 인장 모듈러스는 74 GPa(10.7 Msi)이었다. 섬유 파괴 분율은 45.5%이었다. 와이어 직경은 1.99 mm(0.0785 인치)이었다. 이 와이어에 대한 파괴시 이론적 섬유 변형률의 분율은 80%인 것으로 계산되었다.
- <143> 예 2
- <144> 와이어는 실질적으로 (3M 컴퍼니로부터 상표명 "넥스텔 312"로 구매 가능한) 10개의 토우의 1800 테니아 알루미늄노보로실리케이트 섬유가 사용된 것을 제외하면 예 1에 기재된 바와 같이 제조되었다. 5개의 샘플의 인장 시험은 0.317 내지 0.441 GPa(46 내지 64 ksi)의 인장 강도의 범위를 제공하였고, 0.372 GPa(54 ksi)의 평균을 가졌다. 파괴시 변형률은 0.90% 내지 1.24%의 범위이었고, 1.07%의 평균을 가졌으며, 평균 인장 모듈러스는 92 GPa(8.0 Msi)이었다. 섬유 파괴 분율은 28%이었다. 와이어 직경은 1.80 mm(0.071 인치)이었다. 이 와이어에 대한 파괴시 이론적 섬유 변형률의 분율은 97%인 것으로 계산되었다.
- <145> 예 3
- <146> 와이어는 실질적으로 (3M 컴퍼니로부터 상표명 "넥스텔 312"로 구매 가능한) 22개의 토우의 1800 테니아 알루미늄노보로실리케이트 섬유가 사용된 것을 제외하면 예 1에 기재된 바와 같이 제조되었다. 5개의 샘플의 인장 시험은 0.482 내지 0.622 GPa(70 내지 93 ksi)의 인장 강도의 범위를 제공하였고, 0.565 GPa(82 ksi)의 평균을 가졌다. 파괴시 변형률은 0.80% 내지 0.99%의 범위이었고, 0.86%의 평균을 가졌으며, 평균 인장 모듈러스는 55 GPa(13.3 Msi)이었다. 섬유 파괴 분율은 49%이었다. 와이어 직경은 2.02 mm(0.0794 인치)이었다. 이 와이어에 대한 파괴시 이론적 섬유 변형률의 분율은 78%인 것으로 계산되었다.
- <147> 예 4
- <148> 와이어는 실질적으로 (3M 컴퍼니로부터 상표명 "넥스텔 312"로 구매 가능한) 1800 테니아 알루미늄노보로실리케이트 섬유의 섬유 토우의 개수가 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20 및 22개의 토우의 범위에 걸쳐 변한 것을 제외하면 예 1에 기재된 바와 같이 제조되었다. 각각의 와이어 샘플의 5개의 샘플의 인장 시험이 수행되었고 데이터 지점은 인장 강도, 파괴시 변형률 및 인장 모듈러스에 대해 도4, 도5 및 도6에 섬유 파괴 분율에 대해 플롯되어 있다. 도4는 섬유 파괴 분율이 증가됨에 따라 응력이 증가되는 것을 도시하고 있다. 도5는 섬유 파괴 분율이 증가됨에 따라 변형률이 감소되는 것을 도시하고 있다. 도6은 섬유 파괴 분율이 증가됨에 따라 모듈러스가 증가되는 것을 도시하고 있다.
- <149> 예 5
- <150> 2개의 케이블 코어가 예 1에 기재된 "넥스텔 312" 섬유 보강 와이어의 특성에 기초하여 설계되었다. 제1 설계는 6개의 외부 와이어가 중심 와이어 주위에 밀접하게 집합된 상태의 비스트랜드형(즉, 길이 방향으로 정렬된

와이어) 6/1 구성을 갖고, 제2 설계는 18의 "꼬임 인자(lay factor)"로써 6개의 외부 와이어가 중심 와이어 주위에 나선형으로 꼬인 상태의 스트랜드형 6/1 구성을 갖는다. 스트랜드형 케이블의 "꼬임 인자"는 단일 스트랜드가 그 스트랜드를 포함하는 층의 공칭 외경에 의해 분할된 1회의 나선형 회전을 완료한 스트랜드형 케이블의 길이를 분할함으로써 결정되었다. 스트랜드형 케이블 코어의 모듈러스는 예 1의 비스트랜드형 케이블 코어의 모듈러스의 95%까지 나선형 꼬임에 의해 감소되었다.

<151> 여러 개의 케이블 특성이 다음 방정식을 이용하여 예 1에 기재된 "넥스텔 312" 섬유 보강 와이어의 특성에 기초하여 2개의 구성에 대해 계산되었다.

<152> 코어 직경은 다음의 방정식에 의해 정의된다.

<153> $D_c = 3 \times D_w$

<154> 여기에서

<155> D_w 는 코어를 구성하는 개별 와이어의 직경으로써 예 5에 사용된 "넥스텔 312" 와이어에 대해 2.0 mm이다.

<156> 코어의 총 면적은 다음의 방정식에 의해 정의된다.

<157> $A_c = N_w \times (\pi / 4 \times D_w^2)$

<158> 여기에서

<159> N_w 는 코어 내에 사용된 와이어의 개수로써 예 5에 기재된 6/1 코어 구성에 대해 7이다.

<160> 코어 중량은 다음의 방정식에 의해 정의된다.

<161> $W_c = A \times 12 \times (d_w \times F_c^e)$

<162> 여기에서

<163> d_w 는 코어를 제조하는 데 사용된 와이어의 밀도으로써 예 5에 사용된 "넥스텔 312" 와이어에 대해 2.7 g/cc(0.098 파운드/인치³)이고,

<164> F_c^e 는 코어에 대한 정격 인자(electrical rating factor)로써 예 5의 비스트랜드형 코어에 대해 0이며,

<165> F_c^e 는 코어에 대한 정격 인자으로써 예 5의 스트랜드형 코어에 대해 0.4%이다.

<166> 코어 파괴 강도는 다음의 방정식에 의해 정의된다.

<167> $S_c = (S_w \times F_c^m) \times A_c$

<168> 여기에서

<169> S_w 는 코어를 제조하는 데 사용된 와이어의 인장 강도으로써 예 5에 사용된 와이어에 대해 0.490 GPa이고,

<170> F_c^m 는 코어 기계 정격 인자으로써 예 5의 코어 구조에 대해 96%이다.

<171> 코어 모듈러스는 다음의 방정식에 의해 정의된다.

<172> $M_c = M_w \times F_c^s$

<173> 여기에서

<174> M_w 는 코어에 사용된 와이어의 모듈러스으로써 예 5에 사용된 와이어에 대해 73.8 GPa이고,

<175> F_c^s 는 코어 스트랜딩 인자으로써 예 5의 비스트랜드형 코어에 대해 100%이며,

- <176> F_c^s 는 코어 스트랜딩 인자로서 예 5의 스트랜드형 코어에 대해 95.6%이다.
- <177> 코어 저항은 다음의 방정식에 의해 정의된다.
- <178> $R_c = [1/(C_w \times 1.228)/A] \times 5.28 \times (1 + F_c^e)$
- <179> 여기에서
- <180> C_w 는 31.7% IACS(International Annealed Copper Standard)이다.
- <181> 케이블 직경은 다음의 방정식에 의해 정의된다.
- <182> $D = 3 \times D_w + 4 \times D_a$
- <183> 여기에서
- <184> D_w 는 코어에 사용된 와이어의 직경으로써 예 6의 코어에 사용된 "넥스텔 312" 와이어에 대해 2.0 mm이고,
- <185> D_a 는 케이블에 사용된 전도체 와이어의 직경으로써 예 6의 케이블에 사용된 A1 전도체 와이어에 대해 0.1013이다.
- <186> 케이블의 총 면적은 다음의 방정식에 의해 정의된다.
- <187> $A = N_w \times \pi / 4 \times D_w^2 + N_a \times \pi / 4 \times D_a^2$
- <188> 여기에서
- <189> N_w 는 코어 내의 와이어의 개수로서 예 6의 케이블의 6/1 코어 구성에 대해 7이고,
- <190> N_a 는 전도체 와이어의 개수로서 예 6의 케이블의 26/7 케이블 구성에 대해 26이다.
- <191> 케이블의 중량은 다음의 방정식에 의해 정의된다.
- <192> $W = f \times A \times 12 \times (d_w \times F_c^e) + (1-f) \times A \times 12 \times (d_a \times F_a^e)$
- <193> 여기에서
- <194> f 는 코어의 면적 비율으로써 예 6의 26/7 케이블 구성에 대해 0.14이고,
- <195> d_w 는 코어에 사용된 와이어의 밀도로서 예 6의 케이블의 코어에 사용된 "넥스텔 312" 와이어에 대해 2.7 g/cc(0.098 파운드/인치³)이며,
- <196> F_c^e 는 코어의 정격 인자로서 예 6의 케이블의 코어에 대해 0.4%이고,
- <197> d_a 는 전도체 와이어의 밀도로서 예 6의 케이블에 사용된 A1 와이어에 대해 2.7 g/cc(0.097 파운드/인치³)이며,
- <198> F_a^e 는 A1에 대한 정격 인자로서 2.5%이다.
- <199> 케이블의 파괴 강도는 다음의 방정식에 의해 정의된다.
- <200> $S = (S_w \times F_c^m) \times f \times A + (S_a \times F_a^m) \times (1-f) \times A$
- <201> S_w 는 코어에 사용된 와이어의 인장 강도로서 예 6의 케이블의 코어에 사용된 "넥스텔 312" 와이어에 대해 0.490 GPa이고,
- <202> S_a 는 전도체 와이어의 인장 강도로서 예 6의 케이블에 사용된 A1 전도체 와이어에 대해 0.179 GPa이며,

- <203> F_c^m 는 코어에 대한 기계 정격 인자로서 예 6의 케이블에 대해 93%이고,
- <204> F_a^m 는 알루미늄 와이어에 대한 기계 정격 인자로서 예 6의 케이블에 사용된 A1 와이어에 대해 93%이다.
- <205> 케이블의 모듈러스는 다음의 방정식에 의해 정의된다.
- <206> $M=f \times M_c+(1-f) \times M_a$
- <207> 여기에서
- <208> $M_c=M_w \times F_c^S$ 로써 스트랜드형 코어의 모듈러스이고,
- <209> M_w 는 코어에 사용된 와이어의 모듈러스로써 예 6의 코어에 사용된 "넥스텔 312" 와이어에 대해 10,700,000이며,
- <210> M_a 는 A1 와이어의 모듈러스로써 예 6의 케이블에 사용된 A1 와이어에 대해 7,960,000이고,
- <211> F_c^S 는 코어 스트랜딩 인자로서 예 6의 케이블의 코어에 대해 99.6%이다.
- <212> 케이블의 CTE는 다음의 방정식에 의해 정의된다.
- <213> $E=f \times (M_c/M) \times E_w+(1-f) \times (M_a/M) \times E_a$
- <214> 여기에서
- <215> E_w 는 코어에 사용된 와이어의 CTE로써 예 6의 코어에 사용된 "넥스텔 312" 와이어에 대해 $4.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이고,
- <216> E_a 는 전도체 와이어의 CTE로써 예 6의 케이블에 사용된 A1 전도체에 대해 $23.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이다.
- <217> 케이블의 전기 저항은 다음의 방정식에 의해 정의된다.
- <218> $R=1/(1/R_c+1/R_a)$
- <219> 여기에서
- <220> $R_c=1/(C_w \times 1.228)/(f \times A) \times 5.28 \times (1+F_c^e)$ 로써 스트랜드형 코어의 저항이고,
- <221> $R_a=1/(C_a \times 1.228)/((1-f) \times A) \times 5.28 \times (1+F_a^e)$ 로써 스트랜드형 알루미늄 와이어의 저항이며,
- <222> C_w 는 코어에 사용된 와이어의 전도도로써 예 6의 코어에 사용된 "넥스텔 312" 와이어에 대해 31.7% IACS이고,
- <223> C_a 는 전도체의 전도도로써 예 6의 케이블의 A1 와이어의 전도도에 대해 61.2% IACS이다.
- <224> 2개의 케이블 설계에 대해 계산된 특성은 표1에 기록되어 있다.

표 1

<225> 케이블 설계에 대해 계산된 케이블 특성

	비스트랜드형 케이블 설계		나선형으로 꼬인 케이블 설계	
개별 와이어 직경	0.0788 인치	2.00 mm	0.0788 인치	2.00 mm
케이블 직경	0.24 인치	6.00 mm	0.24 인치	6.00 mm
케이블의 X-단면적	0.0341 인치 ²	22.00 mm ²	0.0341 인치 ²	22.00 mm ²
케이블 중량	0.040 파운드/리니어 피트	0.060 kg/m	0.040 파운드/리니어 피트	0.060 kg/m

케이블 파괴 강도	2,324 파운드	10.3 kN	2,324 파운드	10.3 kN
케이블 모듈러스	10.7 Msi	73.8 GPa	10.2 Msi	70.5 GPa
저항(dc@20℃)	3.996 Ω/마일	2.483 Ω/km	3.980 Ω/마일	2.4731 Ω/km

<226> 예 6

<227> 송전 케이블은 그 꼬임 인자가 50.8이고 전도체로서 2개의 외부의 나선형으로 꼬인 층의 둥근 1350 알루미늄 와이어를 갖는 점을 제외하면 예 5의 송전 케이블과 유사한 스트랜드형 코어 케이블 설계를 사용하여 설계되었다. 케이블 모델은 중심 코어 내로 나선형으로 꼬인 7개의 "넥스텔 312" 섬유 보강 와이어, 코어에 걸쳐 꼬인 10개의 와이어의 나선형으로 꼬인 중간층의 알루미늄 전도체 그리고 중간층의 전도체에 걸쳐 꼬인 16개의 와이어의 나선형으로 꼬인 외부층의 알루미늄 전도체로써 26/7 구성이었다. 외부 전도체 와이어에 사용된 알루미늄의 특성은 전기용 와이어인 알루미늄 1350-H19의 ASTM B 230 규격에 특정되어 있다. 알루미늄 와이어는 179 GPa(26 ksi)의 인장 강도를 가졌고 스트랜드형 알루미늄 와이어에 대한 최종 모듈러스는 54.9 GPa(7.96 Msi)이었다. 전도체 모델의 계산된 특성은 표2에 기록되어 있다.

표 2

<228> 26/7 "넥스텔 312" 코어 전도체 설계에 대해 계산된 특성

"312" 코어-개별 와이어 직경	0.0788 인치	2.00 mm
개별 A1 전도체 직경	0.1013 인치	2.57 mm
코어 직경	0.24 인치	6.00 mm
완전한 케이블 직경	0.642 인치	16.30 mm
A1 전도체 면적	0.209 인치 ²	135.14 mm ²
총 케이블 면적	0.2436 인치 ²	157.16 mm ²
총 케이블 중량	0.291 파운드/리니어 피트	0.434 kg/m
코어 파괴 강도	2,326 파운드	10.3 kN
A1 전도체 파괴 강도	5,065 파운드	22.5 kN
총 케이블 파괴 강도	7,391 파운드	32.9 kN
A1 전도체 모듈러스	8.3 Msi	57.5 GPa
전이 온도(150℃) 이하에서의 CTE	19.74×10 ⁻⁶ /℃	19.74×10 ⁻⁶ /℃
전이 온도(150℃) 이상에서의 CTE	4.70×10 ⁻⁶ /℃	4.70×10 ⁻⁶ /℃
저항(dc@20℃)	0.3166 Ω/마일	0.1967 Ω/km
코어 꼬임비	50.8	50.8
중간 A1 전도체층 꼬임비	13.0	13.0
외부 A1 전도체층 꼬임비	11.0	11.0

<229> "넥스텔 312" 섬유 보강 코어로서 전도체의 기능성을 검증하기 위해, 전도체의 처짐-장력 성능은 가공 송전 선로에 사용되는 전기 전도체의 처짐-장력 성능을 예측하는 컴퓨터 프로그램에 의해 "넥스텔 312" 코어 모델과 동일한 기하 형상 및 치수를 갖는 종래의 알루미늄 전도체 강철 보강(ACSR: Aluminum Conductor Steel Reinforced) 전도체 모델에 기초하여 전도체 모델의 처짐-장력 성능에 비교되었다. 이 소프트웨어 패키지는 펜실베이니아주 피츠버그의 알코아 컨덕터 액세서리 및 알코아 컨덕터 컴퍼니로부터의 상표명 SAG 10 소프트웨어로 상업적으로 구매 가능하다. 이 소프트웨어는 "넥스텔 312" 섬유 보강 케이블 모델에 대해 표2에 기록된 것과 같은 종래의 것이 아닌 케이블 모델에 사용되는 실험 재료의 특성과 일관된 소프트웨어 + 입력 데이터가 공급되는 전도체 데이터베이스의 일부인 종래의 ACSR 구성에 대한 전도체 특성 및 응력-변형률 데이터를

사용한다. 이 소프트웨어는 다양한 기계 부하 조건 및 전도체 작동 온도에 대한 계산을 수행하는 데 사용되었다. "넥스텔 312" 섬유 보강 케이블 모델과 ACSR 케이블 모델에 대한 특성은 표3에 기록되어 있다.

표 3

<230> 케이블 설계에 대해 계산된 특성

	"넥스텔 312" 코어 설계		ACSR 코어 설계	
	0.210 인치 ²	135.189 mm ²	0.210 인치 ²	135.189 mm ²
AI 전도체 면적	0.210 인치 ²	135.189 mm ²	0.210 인치 ²	135.189 mm ²
총 케이블 면적	0.2436 인치 ²	157.161 mm ²	0.2436 인치 ²	157.161 mm ²
케이블 직경	0.642 인치	16.3 mm	0.642 인치 ²	16.3 mm ²
케이블 중량	0.291 파운드/피트	0.433 kg/m	0.367 파운드/피트	0.546 kg/m
RTS	7391 파운드	32.9 kN	11,300 파운드	50.3 kN

<231> 이 소프트웨어는 그 내에 포함된 데이터베이스의 일부인 실험적으로 얻어진 응력-변형률 및 열적 신장률 데이터를 사용하였다. 보강 코어와 ACSR 등의 알루미늄 전도체로 구성된 바이메탈 전도체에 대해, 각각의 재료에 대한 별도의 응력-변형률 및 열팽창 데이터가 있다.

<232> 컴퓨터 계산은 225 m(738 피트)의 주요 스팬 길이(ruling span length)와 8.8 kN(1,980 파운드)의 초기 설치 장력을 이용하여 2개의 케이블 모델의 비교 가능한 설치에 대해 수행되었다. 300°C까지의 온도에서의 전도체의 계산된 처짐은 도11에 도표로 제시되어 있다. "넥스텔 312" 코어(도11의 곡선 1)는 전체 온도 범위에 걸쳐 ACSR 코어 모델보다 적은 처짐을 나타내었다. 이들 결과는 "넥스텔 312" 코어 설계가 종래의 ACSR 케이블 구성에 대한 향상으로서 사용될 수 있다는 것을 나타낸다. 유사한 설계 ACSR 코어 전도체보다 적은 처짐을 가지므로, "넥스텔 312" 코어는 고온에서 작동될 수 있다. 또한, ACSR 전도체의 처짐을 초과하지 않고 유사한 설계의 ACSR 전도체보다 높은 온도에서 많은 전류를 전송한다. 처짐의 감소는 신규 선로에 사용될 때 타워 높이 및 비용의 감소도 가능하게 한다.

<233> 국립 전기 안전 규격의 과부하 조건(National Electric Safety Code Heavy Loading condition)(0.5 인치 얼음, 4 파운드 바람, K=.3)을 사용하여 얼음 및 바람 과부하 조건 하에서 2개의 케이블 모델의 처짐 및 장력 거동에 대한 계산도 이루어졌다. 재차, 주요 스팬 길이는 225 m(738 피트)이었고 양쪽 케이블 설계는 8.8 kN(1,980 파운드)의 동일한 초기 장력으로 설치된다. 표4에 기록되어 있는 이들 계산의 결과는 "넥스텔 312" 코어 설계 상의 장력이 최대 부하 조건 하의 ACSR 코어 모델에 의해 나타나는 것보다 12% 낮은 것을 보여준다. "넥스텔 312" 코어 설계에 의해 제공되는 타워 상의 기계 부하의 감소는 표준 ACSR 전도체 설계에 대해 타워 비용의 감소와 안전 여유의 증가로 해석될 수 있다. "넥스텔 312" 코어 설계 케이블이 강철 케이블 정도로 강하지는 않지만, 과부하 하에서의 그 최대 장력은 그 파괴 강도 하에서 그리고 권고된 제한 내에서 양호하다. 강철보다 훨씬 낮은 강도의 재료로 보강된 케이블이 현저하게 증가된 성능을 나타낼 수 있다는 것은 놀라운 일이다.

표 4

<234> 최대 부하 조건 하에서의 처짐 및 장력 계산

케이블 설계	처짐		장력		% 변화
	피트	미터	파운드(lbs)	킬로뉴턴(kN)	
ACSR 설계	20.0	6.1	5,144	22.9	-
"넥스텔 312" 설계	21.7	6.6	4,538	20.2	-12%

<235> 여기에 인용된 특허, 특허 문서 그리고 공개 공보의 완전한 개시 사항은 각각이 개별적으로 합체된 것처럼 전체적으로 참조로 합체되어 있다. 본 발명에 대한 다양한 변형예 및 수정예는 본 발명의 범주 및 사상을 벗어나지 않고 당업자에게 명백해질 것이다. 본 발명은 여기에 기재된 예시 실시예 및 예에 의해 부당하게 제한되도록 해석되지 말아야 하고 이러한 예 및 실시예는 다음과 같이 여기에 기재된 청구의 범위에 의해서만 제한되도록

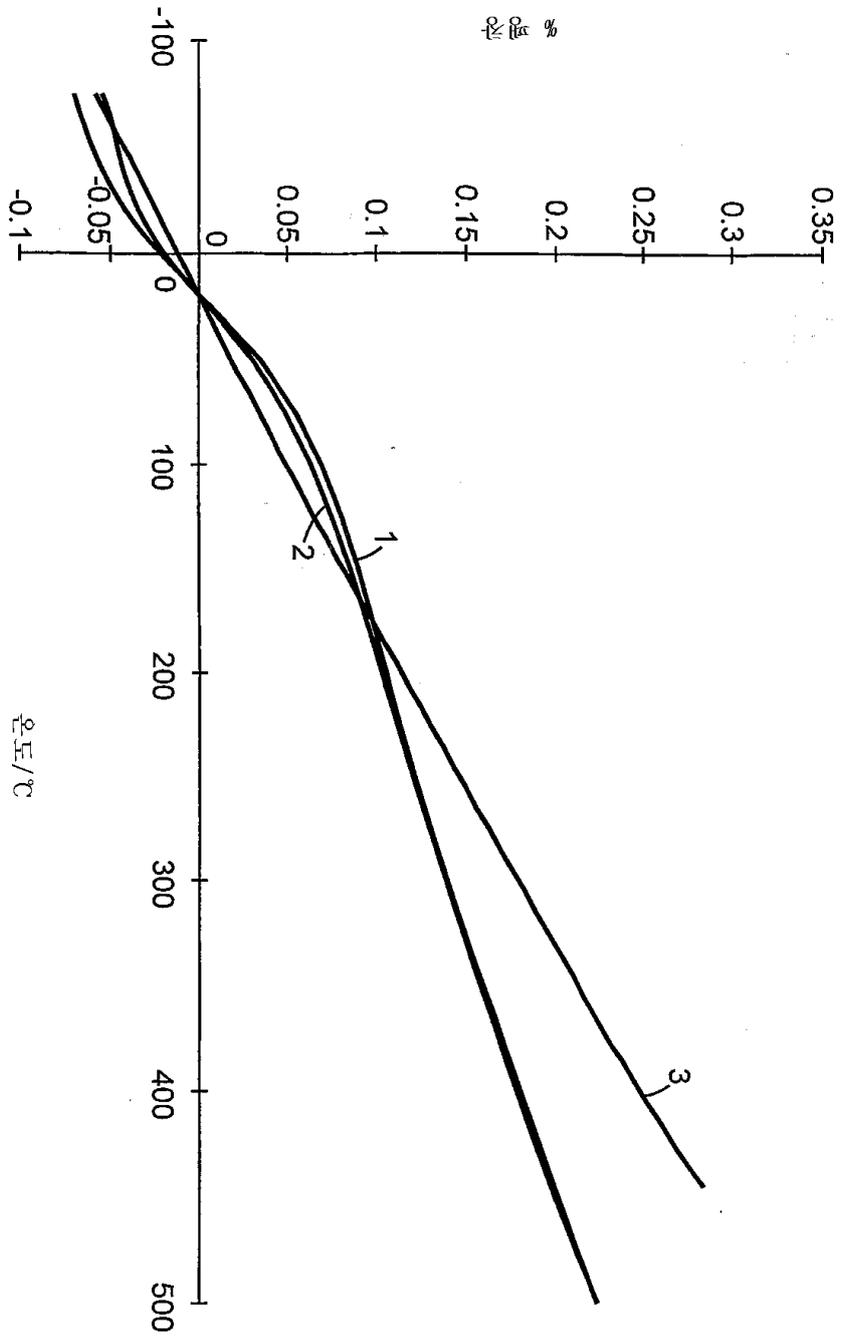
해석되는 본 발명의 범주로서만 예를 통해 제시되어 있는 것이 이해되어야 한다.

도면의 간단한 설명

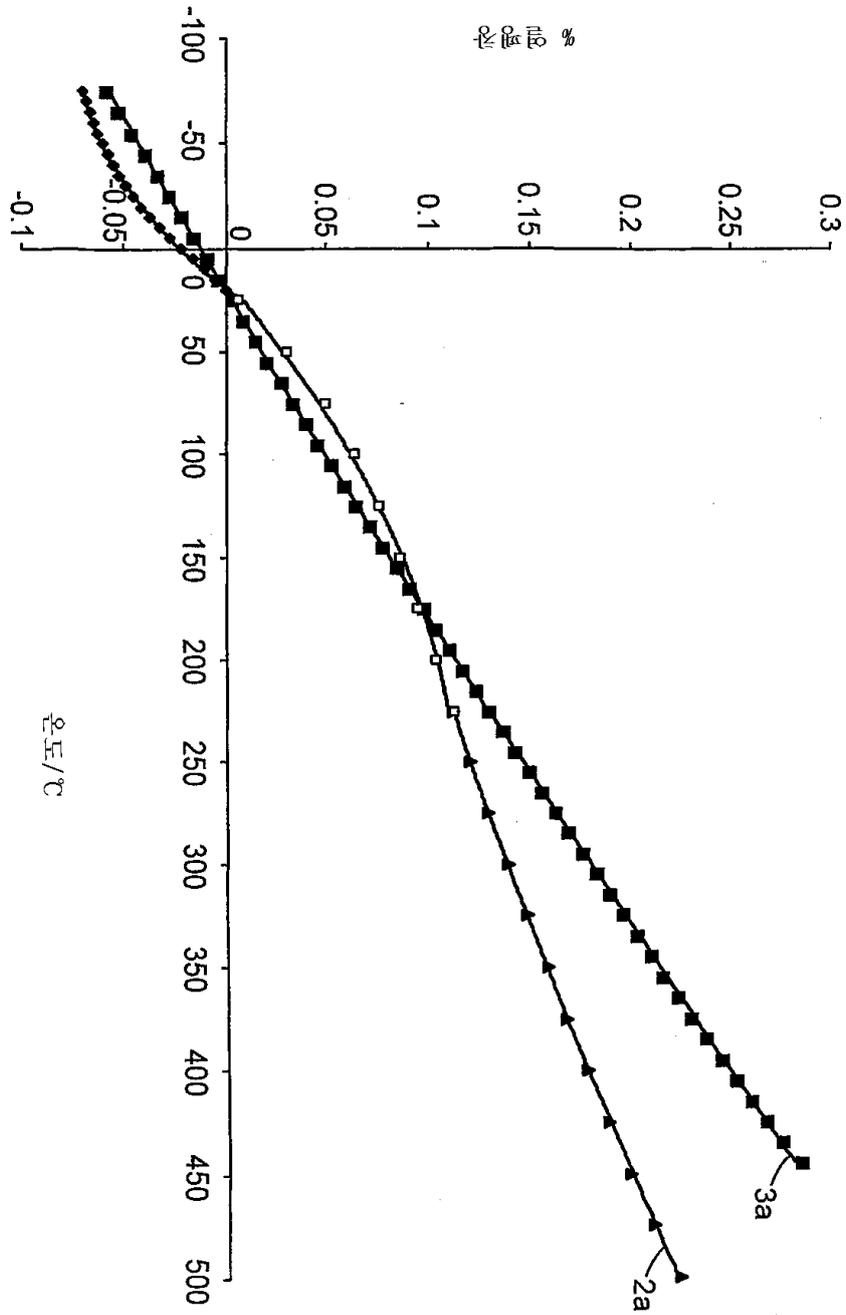
- <47> 도1은 상표명 "넥스텔 610"으로 미네소타주 세인트 폴의 3M 컴퍼니에 의해 시판되는 섬유를 포함한 와이어(선 3)에 비해 상표명 "넥스텔 312"로 미네소타주 세인트 폴의 3M 컴퍼니에 의해 시판되는 섬유를 포함한 본 발명의 와이어(선 1 및 2)의 2개의 샘플에 대한 온도의 함수로서 백분율 팽창을 나타내는 그래프이다.
- <48> 도2는 상표명 "넥스텔 610"으로 시판되는 섬유로부터 제조된 와이어(도1의 선 3)에 대한 그리고 도1의 상표명 "넥스텔 312"로 시판되는 섬유로부터 제조된 와이어(도1의 선 2)에 대한 온도 곡선의 함수로서 백분율 팽창에 대한 곡선 맞춤이다.
- <49> 도3은 도2의 곡선 맞춤으로부터 미분된 순간 CTE의 플롯이다.
- <50> 도4는 상표명 "넥스텔 312"로 시판되는 섬유와 순수 알루미늄으로부터 제조된 와이어에 대한 인장 강도 대 섬유 부피 분율의 그래프이다.
- <51> 도5는 상표명 "넥스텔 312"로 시판되는 섬유와 순수 알루미늄으로부터 제조된 와이어에 대한 파괴시 인장 변형을 대 섬유 부피 분율의 그래프이다. 파괴시 이론적 섬유 변형률의 분율은 제2 변형률 축으로서 도시되어 있다.
- <52> 도6은 상표명 "넥스텔 312"로 시판되는 섬유와 순수 알루미늄으로부터 제조된 와이어에 대한 인장 모듈러스 대 섬유 부피 분율의 그래프이다.
- <53> 도7 및 도8은 복합 재료 금속 매트릭스 코어를 갖는 가공 송전 케이블의 2개의 실시예의 개략 단면도이다.
- <54> 도9는 유지 수단이 복수개의 스트랜드(strand) 주위에 있는 본 발명에 따른 스트랜드형 케이블의 일 실시예의 단부도이다.
- <55> 도10은 본 발명에 따른 송전 케이블의 일 실시예의 단부도이다.
- <56> 도11은 본 발명에 따른 케이블의 처짐 대 전도체 온도의 플롯이다.

도면

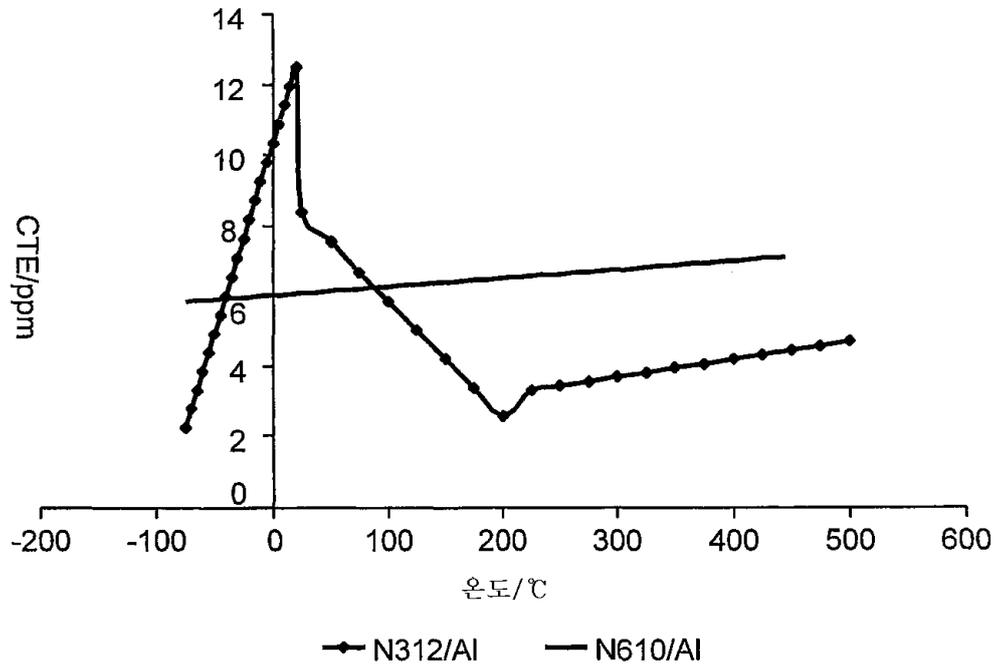
도면1



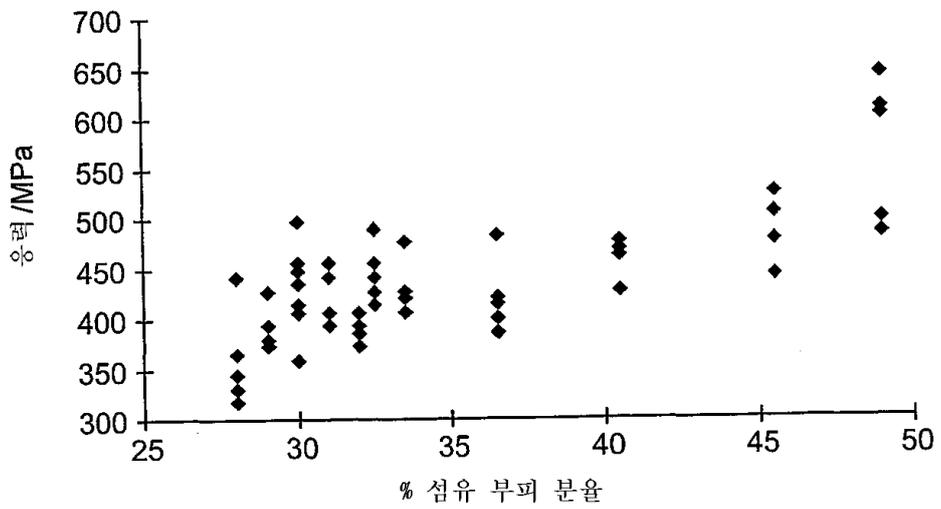
도면2



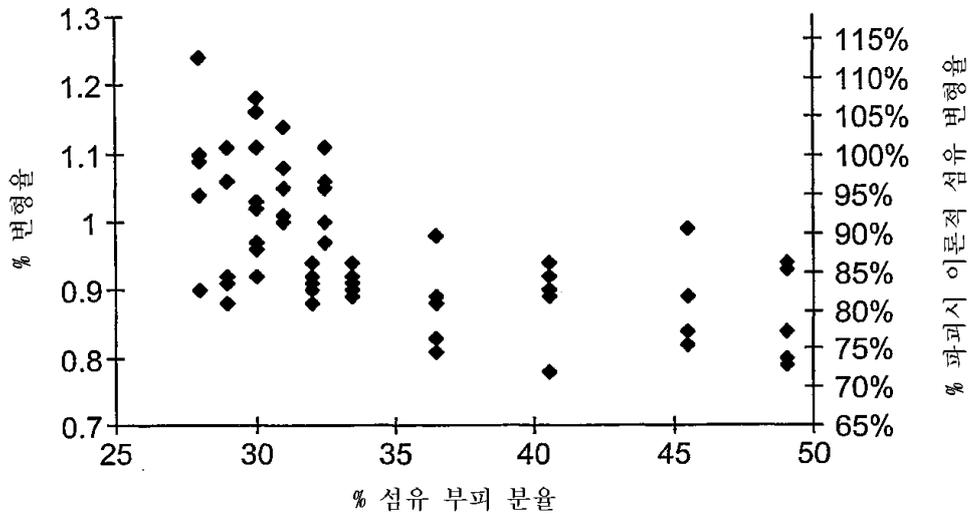
도면3



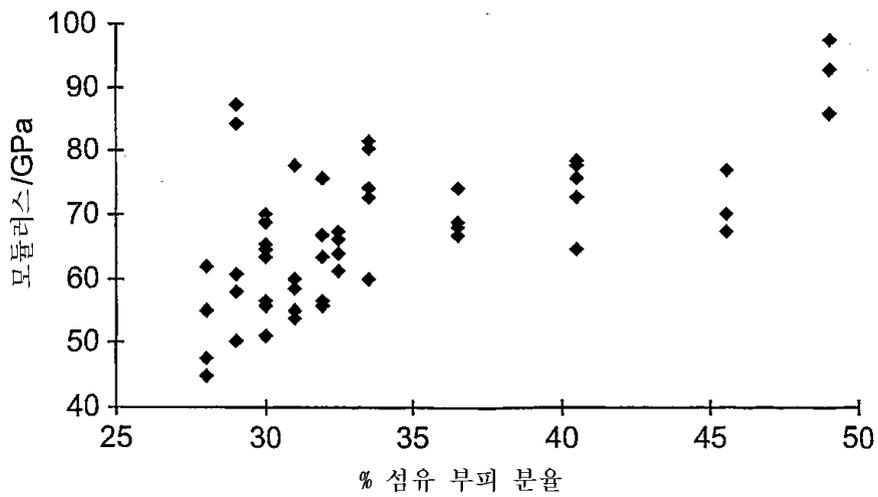
도면4



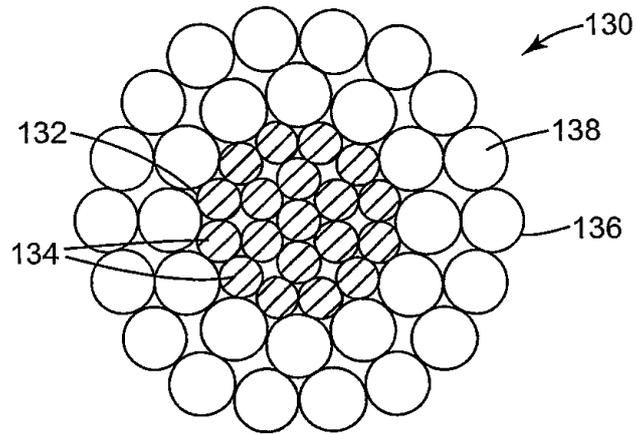
도면5



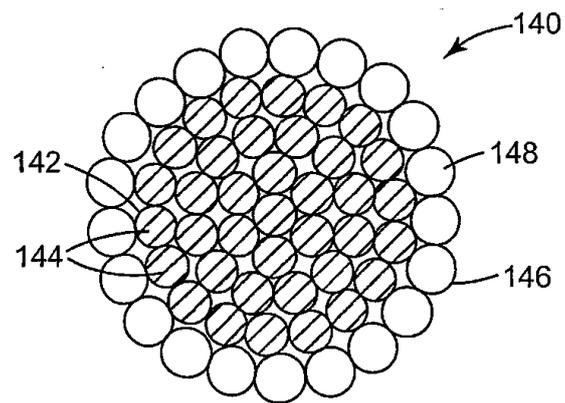
도면6



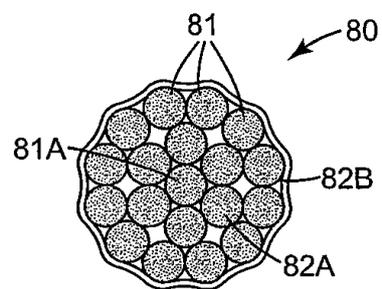
도면7



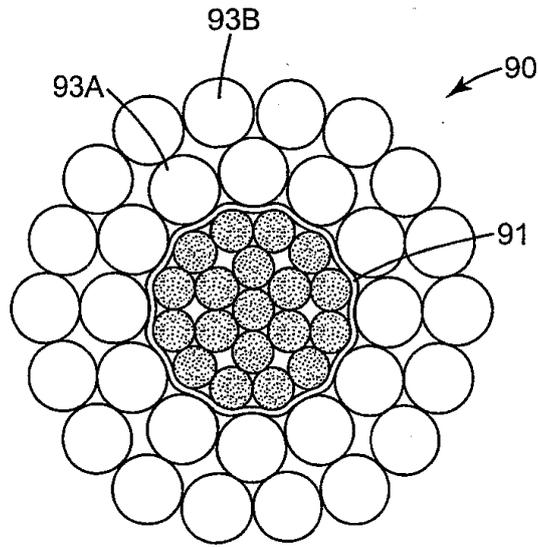
도면8



도면9



도면10



도면11

