

특허청구의 범위

청구항 1

동기식 기계(10)용 로터(14)와 극저온 냉각 유체(cryogenic cooling fluid)의 공급원(190) 사이의 냉각 유체 커플링(26)에 있어서,

상기 로터 내부에 존재하며 상기 로터의 축(20)과 동축인 회전 입구 냉각 투브(156) 및 회전 출구 냉각 투브(166)를 포함하며,

상기 입구 냉각 투브(156)는 극저온 냉각 유체의 공급원(190)으로부터 입구 냉각 유체를 수용하도록 결합된 입력 포트를 구비하며,

상기 출구 냉각 투브는 상기 로터로부터 공급원으로 냉각 유체를 회수하도록 결합된 출력 포트를 구비하며,

고정 운동 캡 시일(gap seal)(162)이 상기 입력 포트와 상기 출력 포트를 분리시키는

냉각 유체 커플링.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 입구 냉각 투브와 상기 출구 냉각 투브 사이에 진공 재킷(172)을 더 포함하는

냉각 유체 커플링.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 입구 냉각 투브내로 연장하는 배이어낫 투브(bayonet tube)(154)를 더 포함하며, 상기 배이어낫 투브는 상기 극저온 냉각 유체의 공급원(190)에 연결되는

냉각 유체 커플링.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 출구 냉각 투브에 결합된 상기 로터의 축으로부터 오프셋(offset)된 가요성 투브(170)와, 제 1 투브에 인접하며 상기 입구 냉각 투브에 연결된 제 2 가요성 투브(160)를 더 포함하며, 상기 제 2 가요성 투브는 상기 로터 축과 동축인

냉각 유체 커플링.

청구항 7

삭제

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 출구 냉각 투브를 둘러싸며 상기 출구 냉각 투브와 동축인 고정 투브(152)를 더 포함하는

냉각 유체 커플링.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

동기식 기계(10)용 로터(14)와 극저온 냉각 유체의 공급원(190) 사이의 냉각 유체 커플링(26)에 있어서,

상기 로터 내부에 존재하며 상기 로터의 축과 동축인 회전 입구 냉각튜브(156) 및 회전 출구 냉각튜브(166)와,

상기 입구 냉각튜브를 상기 출구 냉각튜브내에 지지하는 회전 운동 캡 시일을 포함하며,

상기 입구 냉각튜브는 상기 극저온 냉각 유체의 공급원으로부터 입구 냉각 유체를 수용하도록 결합되며,

상기 출구 냉각튜브는 상기 로터로부터 공급원으로 냉각 유체를 회수하도록 결합되는

냉각 유체 커플링.

청구항 13

동기식 기계(10)용 로터(14)와 극저온 냉각 유체의 공급원(190) 사이의 냉각 유체 커플링(26)에 있어서,

상기 로터 내부에 존재하며 상기 로터의 축과 동축인 회전 입구 냉각튜브(156) 및 회전 출구 냉각튜브(166)와,

상기 입구 냉각튜브를 상기 출구 냉각튜브내에 지지하는 회전 비접촉 운동 캡 시일과,

상기 출구 냉각튜브를 둘러싸며, 베어링(178)에 의해 지지되는 제 3 튜브와,

상기 출구 냉각튜브를 고정 튜브내에 지지하는 자기 유체 시일을 포함하며,

상기 입구 냉각튜브는 상기 극저온 냉각 유체의 공급원으로부터 입구 냉각 유체를 수용하도록 결합되며,

상기 출구 냉각튜브는 상기 로터로부터 공급원으로 냉각 유체를 회수하도록 결합되는

냉각 유체 커플링.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 입구 냉각튜브와 상기 출구 냉각튜브 사이에 진공 재킷을 더 포함하는

냉각 유체 커플링.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 입구 냉각튜브내로 연장하는 베이어넛 튜브를 더 포함하며, 상기 베이어넛 튜브는 상기 극저온 냉각 유체의 공급원에 연결되는

냉각 유체 커플링.

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

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <23> 본 발명은 일반적으로 동기식 회전 기계내의 초전도 코일에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 극저온 유체(cryogenic fluid)의 공급원과 기계의 로터 사이의 극저온 가스 커플링에 관한 것이다.
- <24> 계자 코일 권선을 구비하는 동기식 전기 기계는, 이에 한정되는 것은 아니지만, 회전 발전기, 회전 모터 및 리니어 모터를 포함한다. 일반적으로, 이들 기계는 전자기적으로 결합된 스테이터 및 로터를 포함한다. 로터는 다른 로터 코어 및 이 로터 코어상에 장착된 코일 권선을 포함할 수 있다. 로터 코어는 철심 로터 등의 자기적으로 투자 가능한 솔리드 재료(magnetically-permeable solid material)를 포함할 수 있다.
- <25> 종래의 구리 권선은 동기식 전기 기계의 로터에 보통 사용된다. 그러나, (통상적인 측정에 의해서는 낮을지라도) 구리 권선의 전기 저항은 로터의 실질적인 가열의 원인이 되기에 충분하고, 기계의 전력 효율을 저하시키기 위해 충분하다. 최근에, 초전도(SC) 코일 권선이 로터용으로 개발되었다. SC 권선은 사실상 전혀 저항이 없으며, 로터 코일 권선에 매우 유리하다.
- <26> 철심 로터는 약 2테슬라(Tesla)의 공극 자장 강도에서 포화된다. 공지된 초전도 로터는 3테슬라 이상의 공극 자장을 이루도록 로터에 철을 갖지 않는 공기-코어 설계를 이용하며, 이러한 높은 공극 자장은 전기 기계의 출력 밀도를 증가시키며, 그에 따라 기계의 중량 및 크기를 상당히 감소시킨다. 그러나 공기-코어 초전도 로터는 다양한 초전도 와이어를 필요로 하며, 이 다양한 SC 와이어는 필요한 코일의 개수, 코일 지지체의 복잡성 및 SC 코일 권선과 로터의 비용을 추가시킨다.
- <27> 고온 SC 코일 계자 권선은 축성을 갖는 초전도 재료로 형성되며, 초전도성을 달성하고 유지하기 위해 임계 온도(예를 들면, 27° K) 또는 그 이하의 온도로 냉각되어야 한다. 초전도 권선은 $Bi_xSr_xCa_xCu_xO_x$ 계 도체 등의 고온 초전도 재료로 형성될 수 있다.
- <28> 초전도 코일은 액체 헬륨에 의해 냉각된다. 로터의 코일 권선을 통과한 후에, 고온의 헬륨은 권선으로부터 실온의 가스 헬륨으로서 회수된다. 극저온 냉각용으로 액체 헬륨을 사용하면, 회수된 실온의 가스 헬륨의 연속적인 재액화가 필요하다. 그러한 재액화는 상당한 신뢰성 문제를 가지며, 상당한 보조 전력을 필요로 한다.
- <29> 종래의 코일 냉각 기술은 극저온 냉동기로부터 솔리드 전도 경로를 통해 예폭시 함침 SC 코일을 냉각하는 것을 포함한다. 대안적으로, 로터내의 냉각 튜브는 액체 및/또는 가스 극저온제의 유동내에 침지된 다공성의 SC 코일 권선에 액체 및/또는 가스 극저온제를 운반할 수 있다. 침지 냉각은 전체 계자 권선 및 로터 구조체가 극저온으로 될 필요가 있으며, 결과적으로 철은 극저온에서의 철의 축성을 때문에 로터 자기 회로에 전혀 사용될 수 없다.
- <30> 로터 및 SC 코일에 고정 극저온 냉동 유닛을 연결하기 위해서는 냉각 유체 커플링이 필요하다. 이 커플링은 고정 공급원과 로터의 회전 단부 샤프트 사이에서 입구 및 출구 냉각 유체를 이송하여야 한다. 로터 및 다른 회전 구성을 연결된 극저온 냉각 시스템용 이송 커플링에는 보통 접촉 시일이 사용된다. 접촉 시일은 마찰 손실이 증가되어 극저온 냉동기의 용량을 저하시키고, 시일 마모에 의해 커플링의 수명 및 신뢰도를 제한한다. 또한, 냉각 유체를 로터에 이송하는데는 상대 운동 캡 시일도 사용된다. 그러나, 상대 운동 캡 시일은 높은 열 전달 손실을 갖는다. 상대 운동 캡을 위한 연장된 단열 길이부는 극저온 가스로의 열 전달 손실을 줄이고, 극저온 냉동기 용량을 향상시킨다. 그러나, 이러한 긴 단열 길이부는 과도하게 진동하고 발전기의 로터와 마찰 접촉하게 되는 긴 오버행(overhang) 튜브를 만들게 된다. 따라서, 로터와 보다 양호한 극저온 가스 커플링에 대한 필요성이 오랫동안 있어 왔다.

<31> 냉동 전력을 보존하기 위해서는 HTS 코일용 극저온 가스 냉각 시스템에 대한 열 전달 손실이 최소화되는 것이 바람직하다. 고정 극저온 가스 공급원과 동기식 기계의 로터 사이의 커플링은 극저온 가스 누출의 잠재적 원인이 된다. 커플링에서의 가스 누출을 최소화하기 위해, 입구 가스 스트림과 회수 가스 스트림 사이의 누출이 최소화되고, 극저온 가스와 주위의 대기 온도 구성 요소 사이에 적절한 단열이 제공되는 것이 바람직하다. 또한, 이송 커플링의 작동 수명 및 높은 신뢰도는 동기식 전기 기계의 기대 수명 및 신뢰도와 동일해야한다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<32> 냉각 가스 커플링은 극저온 가스(또는 냉각 유체)의 공급원을 동기식 전기 기계내 로터의 샤프트에 연결하기 위해 개발되었다. 냉각된 극저온 가스(또는 다른 유체)는 고정 극저온 냉동기로부터 고정 베이어닛(bayonet)을 통과하여 HTS 코일 권선을 구비하는 로터와 함께 회전하는 튜브로 이송된다. 냉각 가스 이송은 로터의 컬렉터 단부에 부착된 극저온 가스 이송 조인트에 의해 발생한다. 베이어닛 커플링 둘레에 간극 시일과 함께 형성된 상대 운동 캡은 입구 냉각 가스를 보다 낮은 압력의 회수 가스로 누출하는 것을 제한하며, 회전형 회수 튜브의 길이에 걸친 상대 운동 캡은 회수 극저온 가스에 단열을 제공한다.

<33> 제 1 실시예에 있어서, 본 발명은 초전도 권선을 갖는 동기식 기계의 로터와 극저온 냉각 유체의 공급원에 냉각 유체를 공급하기 위한 냉각 유체 커플링이다. 이 유체 커플링은, 로터 내부에 존재하며 로터의 축과 동축인 회전형 입구 냉각 튜브 및 회전형 출구 냉각 튜브를 포함한다. 입구 냉각 튜브는 극저온 냉각 유체의 공급원으로부터 입구 냉각 유체를 수용하도록 결합된 입력 포트를 구비한다. 출구 냉각 튜브는 로터로부터 공급원으로 냉각 유체를 회수하도록 결합된 출력 포트를 구비한다. 회전 운동 캡 시일은 커플링의 입력 및 출력 포트를 분리한다.

<34> 다른 실시예에 있어서, 본 발명은 동기식 기계용 로터와 극저온 냉각 유체의 공급원 사이의 냉각 유체 커플링이다. 이 커플링은 (i) 로터 내부에 존재하며 로터의 축과 동축인 회전 입구 냉각 튜브 및 회전 출구 냉각 튜브를 포함하며; (ii) 입구 냉각 튜브는 극저온 냉각 유체의 공급원으로부터 입구 냉각 유체를 수용하도록 결합되며; (iii) 출구 냉각 튜브는 로터로부터 공급원으로 냉각 유체를 회수하도록 결합되며; (iv) 회전 운동 캡 시일은 입구 냉각 튜브를 출구 냉각 튜브내에 지지한다.

<35> 또다른 실시예에 있어서, 본 발명은 동기식 기계용 로터와 극저온 냉각 유체의 공급원 사이의 냉각 유체 커플링이다. 이 커플링은 (i) 로터 내부에 존재하며 로터의 축과 동축인 회전 입구 냉각 튜브 및 회전 출구 냉각 튜브를 포함하며; (ii) 입구 냉각 튜브가 극저온 냉각 유체의 공급원으로부터 입구 냉각 유체를 수용하도록 결합되며; (iii) 출구 냉각 튜브가 로터로부터 공급원으로 냉각 유체를 회수하도록 결합되며; (iv) 입구 냉각 튜브를 출구 냉각 튜브내에 지지하는 회전 비접촉 운동 캡 시일과; (v) 출구 냉각 튜브를 둘러싸며, 베어링에 의해 지지되는 제 3 튜브와; (vi) 출구 냉각 튜브를 고정 튜브내에 지지하는 자기 유체 시일을 포함한다.

발명의 구성 및 작용

<36> 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명한다.

<37> 도 1은 스테이터(12) 및 로터(14)를 구비한 예시적인 동기식 발전기(10)를 도시한다. 로터는 스테이터의 원통형 진공 공동(16) 내측에 끼워맞춰지는 계자 권선 코일(field winding coil)(34)을 포함한다. 로터는 스테이터의 원통형 진공 공동 내측에 끼워맞춰진다. 로터가 스테이터내에서 회전할 때, 로터 및 로터 코일에 의해 발생된 자기장(18)(점선으로 도시됨)은 스테이터를 통해 이동하며, 스테이터 코일(19)의 권선에 전류를 생성한다. 이러한 전류는 발전기에 의해 전력으로서 출력된다.

<38> 로터(14)는 대체로 종방향으로 연장하는 축(20) 및 대체로 솔리드 로터 코어(22)를 구비한다. 솔리드 코어(22)는 높은 자기 투자율을 가지며, 철 등의 강자성 재료로 보통 제조된다. 낮은 전력 밀도의 초전도 기계에 있어서, 로터의 철심은 기자력(MMF; magnetomotive force)을 저감시키는데 사용되며, 따라서 코일 권선의 양을 최소화한다. 예를 들면, 로터의 철은 약 2테슬라의 공극 자장 강도에서 자기적으로 포화될 수 있다.

<39> 로터(14)는, 대체로 종방향으로 연장하고 레이스트랙형인 고온 초전도(HTS) 코일 권선(34)을 지지한다. 대안적으로, HTS 코일 권선은 안장(saddle)형 코일이거나 특별한 HTS 로터 설계에 적합한 다른 코일 권선 형상일 수 있다. 본 명세서에 개시된 냉각 커플링은 솔리드 코어 로터상에 장착된 레이스트랙 코일 이외의 다른 코일 권선 및 로터 구조에도 적합할 수 있다.

<40> 로터는 코어(22)를 받치며 베어링(25)에 의해 지지되는 한쌍의 단부 샤프트(24, 30)를 포함한다. 컬렉터

(collector) 단부 샤프트(24)는 회전 SC 코일 권선에 외부 전기적으로 접속하는 컬렉터 링(35)을 구비한다. 컬렉터 단부 샤프트는 로터내의 SC 코일 권선을 냉각하는데 사용되는 극저온 냉각 유체의 공급원에 결합된 극저온 제 이송 커플링(26)을 포함한다. 이 극저온제 이송 커플링(26)은 냉각제 냉각 유체의 공급원에 결합된 고정 세그먼트와, HTS 코일에 냉각 유체를 제공하는 회전 세그먼트를 포함한다. 구동 단부 샤프트(30)는 구동 커플링(32)을 거쳐 동력 터빈에 의해 구동될 수 있다.

<41> 도 2는 예시적인 HTS 레이스트랙 SC 계자 권선(34)을 도시한다. 로터의 SC 계자 권선(34)은 고온 초전도 코일(36)을 포함한다. 각 HTS 코일은 고형 에폭시 합침식 권선 합성물 테이프로 적층된 BSCCO($Bi_xSr_xCa_xCu_xO_x$) 도체 와이어 등의 고온 초전도 도체를 포함한다. 예를 들면, 일련의 BSCCO 2223 와이어는 고형 에폭시 합침 코일내로 적층되고 서로 접착되어 권선된다.

<42> 전형적으로, SC 코일은 에폭시 합침된 SC 테이프가 권선된 층이다. SC 테이프는 정밀한 치수 공차를 달성하도록 정밀 코일 형태로 감싸진다. 이 SC 테이프는 레이스트랙 SC 코일(36)을 형성하도록 나선형으로 감겨진다.

<43> 레이스트랙 코일의 치수는 로터 코어의 치수에 의해 좌우된다. 일반적으로, 각 레이스트랙 SC 코일은 로터 코어의 자극을 둘러싸며, 로터 축에 평행하다. 코일 권선은 레이스트랙 둘레에 연속적으로 이어져 있다. SC 코일은 무저항 전류 경로를 로터의 둘레에 그리고 코어의 자극 사이에 형성한다. 코일은 코일을 컬렉터(35)에 전기적으로 접속하는 전기 접점(37)을 구비한다.

<44> 코일 권선(34)에는 극저온 냉각 유체용 유체 통로(38)가 제공된다. 이 통로는 SC 코일(36)의 외측 에지 둘레로 연장할 수 있다. 통로는 극저온 냉각 유체를 코일에 제공하며, 열을 코일로부터 제거한다. 헬륨 등의 냉각 유체는 코일의 전기 저항이 없는 초전도 상태를 조성하는데 요구되는 저온(예를 들면, 27° K)을 SC 코일 권선에 유지한다. 냉각 통로는 로터 코어의 일단부에서 입력 포트(39) 및 출력 포트(41)를 구비한다. 이들 포트는 단부 샤프트(24)의 대향 단부에서 극저온제 이송 커플링(26)까지 및 SC 코일상의 냉각 통로(38)까지 연결된다.

<45> 도 3은 고온 초전도 코일용 로터 코어(22) 및 코일 지지 시스템의 분해도를 도시한다. 지지 시스템은 코일 하우징에 연결된 인장 로드(42)를 포함한다. 하우징은 코일 권선(34)의 측면부(40)를 로터내에 지지 및 유지한다. 하나의 인장 로드 및 채널 하우징이 도 3에 도시되지만, 일반적으로 코일 지지 시스템은 로드의 양단부에 코일 지지 하우징을 각각 구비하는 일련의 인장 로드를 포함할 것이다. 인장 로드 및 채널 하우징은 로터 작동 동안 코일 권선이 손상되는 것을 방지하고, 원심력 및 다른 힘에 대해 코일 권선을 지지하며, 코일 권선을 위한 보호용 실드(shield)를 제공한다.

<46> HTS 코일 권선과 구조적 지지 구성요소는 극저온 상태에 있다. 반면, 로터 코어는 주변 "고온" 상태에 있다. 코일 지지체는 로터 코어로부터 HTS 코일로 열이 도달하도록 하는 열 전도의 잠재적인 공급원이다. 로터는 작동 중 고온이 된다. 코일은 초-냉각 상태로 유지되어야 하므로, 코일로 열이 전도되는 것이 방지되어야 한다. 로드는 로터내의 도관(46)을 관통하지만, 로터와 접촉하지는 않는다. 이러한 비접촉은 로터로부터 인장 로드 및 코일로의 열전도를 방지한다.

<47> 코일로 전달되는 열을 감소시키기 위해, 로터 코어 등의 열 공급원으로부터 지지체를 통한 열전도를 줄이도록 코일 지지체는 최소화된다. 일반적으로, 초전도 권선용의 두 가지 범주의 지지체, 즉 ① "웜(warm)" 지지체 및 ② "콜드(cold)" 지지체가 있다. 웜 지지체에 있어서, 지지 구조체는 냉각된 SC 권선으로부터 단열된다. 웜 코일 지지체에 따르면, 초전도(SC) 코일의 대부분의 기계적 부하는 콜드 부재와 웜 부재 사이에 놓인 구조 부재에 의해 지지된다.

<48> 콜드 지지 시스템에 있어서, 지지 시스템은 SC 코일의 콜드 극저온에 또는 그 부근에 있다. 콜드 지지체에 있어서, SC 코일의 대부분의 기계적 부하는 극저온에 또는 그 부근에 있는 구조 부재에 의해 지지된다. 본 명세서에 개시된 예시적인 코일 지지 시스템은 콜드 지지체로서, 인장 로드와, SC 코일 권선에 인장 로드를 결합하는 관련 하우징은 극저온에서 또는 그 부근에서 유지된다. 지지 부재가 차갑기 때문에, 이들 부재는 예를 들어 로터 코어를 관통하는 비접촉 도관에 의해 로터의 다른 "고온" 구성요소로부터 단열된다. 단열 튜브(52)는 로터 코어내의 도관 벽으로부터 인장 로드(42)를 분리한다. 이들 튜브는 각 도관(42)의 단부에 삽입된다. 인장 로드는 튜브의 중앙을 통해 연장한다. 단열 튜브(52)는 도관내에 인장 로드의 중심을 설정하고 고온 로터 코어로부터의 열이 콜드 인장 로드로 전달되는 것을 방지한다.

<49> 각각의 지지 부재는 인장 로드(42)[이는 바아(bar)일 수 있고, 바아의 양 단부에 있어서 볼트일 수 있음], 채널 하우징(44) 및 하우징을 인장 로드의 단부에 연결하는 맞춤 핀(dowel pin)으로 구성된다. 각각의 채널 하우징(44)은 인장 로드에 연결되는 레그와, 코일 권선(34)을 수용하는 채널을 구비하는 U자형의 브래킷이다. U자형

채널 하우징은 코일을 위한 지지 시스템의 정밀하고 편리한 조립을 허용한다. 일련의 채널 하우징은 코일 권선의 측면을 따라 전체 단부에 걸쳐 배치될 수 있다. 채널 하우징은 실질적으로 각각의 코일의 전체 측면부(40)에 걸쳐 코일에 작용하는 힘, 예를 들어 원심력을 전체적으로 분산시킨다.

<50> 맞춤 핀(80)은 채널 하우징과 인장 로드에 있는 구멍을 통해 연장한다. 맞춤 핀은 경량화를 위해 중공형일 수 있다. 하우징(44)을 고정하고 하우징의 측면이 하중하에서 분리되는 것을 방지하기 위해 맞춤 핀의 단부에는 로크-너트(84)가 나사산 형성되거나 부착될 수 있다. 맞춤 핀은 고강도 인코넬 또는 티타늄 합금으로 제조될 수 있다. 인장 로드는 코일 하우징과 코일 폭을 맞추기 위해 그것의 단부에 2개의 편평한 단부(86)가 기계가공되어 있는 보다 큰 직경의 단부(82)를 갖도록 제조된다. 로드, 코일 및 하우징이 서로 조립될 때, 인장 로드의 편평한 단부(86)는 HTS 코일의 내측 표면에 접하게 된다. 이러한 코일 지지 조립체는 맞춤 핀을 수용하는 인장 로드의 구멍으로의 응력 집중을 줄인다.

<51> 로터 코어(22)는 전형적으로 철 등의 자성 재료로 제조되는 반면, 로터 단부 샤프트는 전형적으로 스테인리스 강 등의 비자성 재료로 제조된다. 전형적으로 로터 코어 및 단부 샤프트는 볼트 결합 또는 용접에 의해 함께 조립 및 고정되는 별개의 구성요소이다.

<52> 일반적으로 철제 로터 코어(22)는 스테이터(12)의 로터 공동(16)내에서 회전하기에 적합한 원통형상을 갖는다. 코일 권선(34)을 수용하기 위해, 로터 코어는 편평하거나 또는 삼각형 영역이거나 또는 슬롯형 등인 오목 표면(48)을 갖는다. 이를 표면(48)은 원통형 코어의 곡면(50)에 형성되어 로터 코어를 횡단하여 종방향으로 연장한다. 코일 권선(34)은 오목 표면(48)에 인접하여 로터상에 장착된다. 일반적으로 코일은 오목 영역의 외측 표면을 따라 종방향으로 그리고 로터 코어의 단부 주위에서 연장한다. 로터 코어의 오목 표면(48)은 코일 권선을 수용한다. 오목 영역의 형상은 코일 권선과 일치한다. 예를 들어, 코일 권선이 암장형이거나 또는 다른 형상을 갖는다면, 로터 코어의 오목 영역은 권선의 형상을 수용하도록 구성된다.

<53> 코일 권선(34)의 단부(54)는 로터 코어의 대향 단부(56)에 인접한다. 분할 클램프(58)는 코일 권선의 각 단부를 로터내에 유지한다. 각 코일 단부(54)에서 분할 클램프는 한 쌍의 대향 플레이트(60)를 포함하며, 그 사이에 코일 권선(34)이 샌드위치된다. 클램프 플레이트의 표면은 코일 권선과 권선으로의 연결부(112, 114)를 수용하는 채널을 포함한다.

<54> 분할 클램프(58)는 알루미늄 또는 인코넬 합금 등의 비자성 재료로 구성된다. 동일하거나 또는 유사한 비자성 재료가 인장 로드, 채널 하우징 및 코일 지지 시스템의 다른 부분을 구성하는데 사용될 수 있다. 강자성 재료는 큐리 천이 온도(Curie transition temperature) 이하에서 취성이 되어 하중 지지 구조체로서 사용될 수 없기 때문에, 코일 지지 시스템은 극저온에서 연성을 보존하기 위해 비자성인 것이 바람직하다.

<55> 분할 클램프(58)는 각 단부 샤프트의 칼라(62)에 의해 둘러싸이지만 접촉하지는 않는다. 도 3에는 하나의 칼라만 도시되지만, 칼라(62)는 로터 코어(22)의 양 단부에 부착된다. 칼라는 로터 샤프트를 형성하는 재료와 동일하거나 유사한 스테인리스 강 등의 비자성 재료의 두꺼운 디스크이다.

<56> 칼라는 로터 축에 직교하고 분할 클램프(58)를 수용 및 제거하기에 충분히 넓은 슬롯(64)을 구비한다. 슬롯 칼라의 고온 측벽(66)은 콜드 분할 클램프로부터 이격되어, 서로 접촉하지 않는다.

<57> 도 4 및 도 5는 로터의 단면도로서, 도 5는 로터 코어 주위의 코일 권선의 평면도를 도시하며, 도 4는 도 5에 직교하는 도면을 도시한다. 도 6 내지 도 8은 컬렉터 단부 샤프트(24)의 확대 단면도이다. 특히, 이들 도면은 로터의 컬렉터 단부 샤프트(24)를 통해 연장하는 도관 튜브(76)를 도시한다. 이 도관(76)은 SC 권선에 접속되는 냉각 튜브용 통로와 전기적 접점용 통로를 제공한다. 도관(76)은 단부 샤프트(24)를 통해 칼라(62)로부터 냉각 커플링(26)의 샤프트의 대향 단부까지 연장한다. 도 6 및 도 7은 로터 코어(22)와 단부 샤프트(24) 부근의 도관(76)을 도시한다. 도 8은 코일 권선(34)에 연결되는 냉각 입구 및 출구 포트(39, 41)의 확대도이다.

<58> 코일 권선(34)으로부터의 전기적 접속부(37)는 컬렉터 링(35)을 통해 단부 샤프트(24)의 길이부를 연장하는 전선에 접속된다. 전선은 샤프트내의 도관(76)을 통해 연장하며, 얇은 벽 튜브(174) 내측에 지지된다.

<59> 코일로부터의 냉각 입구 포트 및 냉각 출구 포트(39, 41)는 단부 샤프트의 길이부를 연장하는 입구 및 출구 냉각 튜브(156, 166)에 연결된다. 입구 튜브(156)는 로터 축과 동축인 입구 포트(39)까지 연장한다. 냉각 가스 출구 포트(41)는 로터 축으로부터 오프셋되고, 가스 이송 하우징을 통해 환형 출구 튜브(166)에 결합한다. 출구 튜브(166)는 입구 튜브와 동축이며, 입구 튜브의 외측에 있다.

<60> 도 9는 회전 샤프트 구성요소(150)와 이 샤프트 구성요소를 둘러싸는 고정 구성요소(152)를 구비하는 예시적인

이송 커플링(26)을 도시한다. 이송 커플링은 로터 단부 샤프트(24)를 로터내 SC 코일 권선을 냉각하는데 사용되는 극저온 냉각 유체의 고정 공급원에 연결한다.

- <61> 콜드 극저온 가스는 고정 극저온 냉동기(190)(개략적으로 도시됨)로부터 고정 배이어닛(154)을 통해 로터 샤프트(24)와 함께 회전하는 입구 투브(156)까지 이송된다. 우측을 향하는 화살표(157)는 커플링을 통과하여 로터의 축(20)을 따라 HTS 코일을 향하여 흐르는 입구 냉각 가스를 도시한다. 배이어닛은 로터의 축(20)과 동축이다. 배이어닛의 단부(158)는 입구 투브(156)에 비접촉 시일을 제공한다. 배이어닛의 대향 단부는 극저온 냉동기에 연결된 가요성 투브(160)에 연결되며, 입구 냉각 헬륨 가스의 공급원을 제공한다. 배이어닛 둘레에 간극 시일을 구비하는 회전 상대 운동 캡 시일(162)은 저압 회수 가스로의 입구 냉각 가스의 누출을 제한한다.
- <62> 고온 냉각 가스[좌측 화살표(164)로 도시됨]는 냉각 입구 투브(156)와 냉각 출구 투브(166) 사이에 형성된 환형 부내에서 유동하며, 이 환형부는 입구 투브와 동축이다. 고온 냉각 가스는 HTS 코일 권선을 통과하며, 그러한 권선으로부터 열을 제거한다.
- <63> 고온 냉각 가스는 회전하는 출구 투브(166)를 빠져나가, 캡 시일(162)과 캡 시일을 둘러싸는 고정 원통형 케이싱(168) 사이를 지나간다. 케이싱의 단부 디스크(169)는 로터로부터 극저온 냉동기(190)로 고온 냉각제 가스를 이송하기 위한 회수 가요성 투브(170)에 연결되는 로터 축으로부터 오프셋된 출구 포트를 구비한다. 고온 냉각 가스는 극저온 냉동기에 연결된 가요성 투브(170)로 들어간다. 이 가요성 투브는 로터의 축(20)으로부터 오프셋되어 있다.
- <64> 모든 극저온 가스 이송 투브(156, 166)는 진공 재킷(172)을 구비하여 가스로의 열 전달을 최소화한다. 회수 가스 스트림(164)은 [얇은 벽 투브(174)와 회전 진공 재킷형 투브(166) 사이의] 작은 상대 운동 캡을 갖는 얇은 벽 투브(174)의 길이부에 의해 대기 온도로부터 단열되어 대류 열전달을 최소화한다. 추가적인 단열은 얇은 벽 투브(174)와 원통형 하우징(186) 사이의 캡에 적용된 진공에 의해 제공된다.
- <65> 샤프트(174)의 단부의 자기 유체 시일(176)은 가압 가스 시스템에 적극적인 비접촉식 밀봉을 제공한다. 공기 유동(177)은 외부 공급원으로부터 제공되어, 자기 시일의 자기 유체로부터 베어링(178)의 오일을 분리하는 버퍼(buffer)의 역할을 하므로, 베어링 오일이 자기 유체와 접촉할 수 없다.
- <66> 극저온 가스 이송 커플링(26)은, 상대 운동 캡에서 시일의 마찰을 방지하기 위해 오버행 투브의 진동과 돌출을 제한하는 정밀한 베어링(178)에 의해 로터 샤프트상에서 지지된다. 오일 분사 노즐(180)은 베어링을 위한 윤활 유를 제공한다. 오일 드레인은 오래되고 과도한 잉여 오일의 제거를 허용한다. 래버린스(labyrinth) 시일(184)은 베어링으로부터 오일의 누출을 방지한다.
- <67> 원통형 하우징(186)은 냉각 이송 커플링(26)의 배이어닛 단부와 가요성 투브(160, 170)를 둘러싼다. 이 하우징은 극저온 냉동기(190)에 연결된 가요성의 원통형 벨로우즈(bellows)(188)에 부착된다. 대기 온도와 가요성 투브와 가스 이송 커플링 사이에 단열을 제공하기 위해 하우징(186)의 내부는 진공이 유지된다.
- <68> 자기 유체 시일(176)은 원통형 하우징(196)에 내장되며, 커플링(26)의 비회전 구성요소와 함께 O-링(198)으로 밀봉되어 회수 가스의 누출을 방지한다.
- <69> 회전 투브(156, 166)는 진공 재킷(172)에 의해 서로 단열된다. 냉각 가스 유입 투브(156)는 [진공 재킷을 구비하는 유입 가스 투브(156)의 이중 벽뿐만 아니라] 고정 운동 캡 시일(162)에 의해 가스 유출로부터 분리되어 유지된다. 유사하게, 이중벽 외측 회전 투브[냉각 출구 투브(166)]는 진공 재킷(172)을 구비하며 추가로 얇은 벽 고정 투브(174)내에 수납된다. 이들 입구 및 출구 투브(156, 166)는 커플링으로부터 HTS 코일 권선의 입구 및 출구 포트(39, 41)까지 연장한다.
- <70> 회전 및 고정 구성요소 사이에 가스 유동 밀봉을 제공하기 위해, 비접촉 간극 시일과 자기 유체 시일이, 정밀한 베어링과 좁은 상대 운동 캡을 갖는 얇은 오버행 투브와 연계하여 사용된다. 가스 이송 커플링(26)의 이러한 특성은 마찰열을 방지한다. 그러한 마찰열은 접촉 밀봉 시스템에서 마찰 및 진동에 의해 발생한다. 비접촉 밀봉 시스템의 다른 이점은 커플링 수명이 길고, 가스 밀봉 신뢰도가 높으며, 가스 커플링내의 열 손실이 낮다는 것이다.
- <71> 작동에 있어서, 이송 커플링(26)의 배이어닛(154)은 가요성 투브(160)를 거쳐 극저온 냉각 유체의 공급원에 결합된다. 유사하게, 출구 투브(166) 및 가스 시일을 위한 케이싱(168)은 가요성 출구 투브(170)에 결합된다. 극저온 시일 하우징(186)은 이송 커플링(26)의 원통형 하우징에 연결된다. 하우징(186)과, 회전 투브의 진공 재킷(172)의 내부는 진공이 된다.

- <72> 보통, 냉각 가스는 헬륨, 네온 등의 불활성 기체 또는 수소이다. HTS 초전도체에 적합한 온도는 일반적으로 30 ° K 이하이며, 27° K 부근이 바람직하다. 냉각제 유체는 27° K 부근에서 극저온 냉동기를 빠져나간다. 극저온 유체[화살표(157)]는 가요성 입구 투브(160)로부터 배이어넛 투브(154) 및 입구 투브(156)를 통해 로터와 HTS 코일 권선(34)까지 유동한다.
- <73> 냉각된 극저온 유체는 로터내의 도관을 통하여 HTS 코일(36)의 냉각 통로(38)내로 유입된다. 냉각 가스는 HTS 코일로부터 열을 제거하고, 코일의 초전도성을 탈성하기에 충분한 저온으로 코일을 유지한다. 냉각 도관은 냉각 유체 커플링(26)에 연결되는 로터 코어의 단부에 입력 및 출력 포트(39, 41)를 구비한다.
- <74> 냉각력을 유지하고 SC 코일에 필요한 낮은 작동 온도를 유지하도록 극저온 가스로의 열 전달 손실이 최소화된다. 열 손실은 냉각 유체 누출을 최소화하고 극저온 냉각 유체로의 열 전달을 최소화함으로써 최소화된다.
- <75> 상대 운동 캡 시일(162)은 베이어넛 투브 둘레에 간극 시일을 구비하며, 상기 간극 시일은 입구 극저온 가스[화살표(157)]의 누출을 유출 회수 가스[화살표(164)]의 보다 낮은 압력으로 제한한다. 냉각 유체 누출은 냉각 시스템내로 원하지 않는 열 전달 작용을 한다. 따라서, 극저온 냉각 시스템(26)의 단열 및 총 냉각 효율을 증가시키기 위해 냉각 유체 누출이 감소된다.
- <76> 냉각 유체 누출과 더불어, 열적 비효율의 제 2의 원인은 로터내 주변 구성요소로부터의 열전도이다. 극저온 가스로의 열 전달을 최소화하기 위해 극저온 냉각 가스와 주위 대기 온도 구성요소 사이의 충분한 단열이 제공된다. 예를 들어, 극저온 가스 이송 투브(156, 166)는 높은 단열을 보장하기 위해 진공 재킷(172)화된다.
- <77> 또한, 회수 스트림[화살표(164)]은 얇은 벽 투브(174)와 [고정 투브(174)와 회전 진공 재킷형 투브(166) 사이에] 작은 상대 운동을 갖는 진공 재킷형 투브(166)에 의해 대기 온도로부터 단열되어 대류 열 전달을 최소화한다. 이러한 단열 길이부, 예를 들어 투브들 사이의 진공 재킷 캡 또는 상대 운동 캡은 극저온 유체로의 열 전달을 줄이고, (열 손실을 줄임으로써) 극저온 냉동기의 용량을 개선한다. 긴 단열 길이는 과도하게 진동하고 마찰 접촉을 일으킬 수 있는 긴 오버행 투브를 형성하는 결과를 가져올 수 있다.
- <78> 투브 진동과 관련된 문제를 줄이기 위해 극저온 가스 이송 커플링(26) 지지 시스템이 설계된다. 커플링(26)은 오버행 투브의 진동과 돌출을 제한하는 정밀한 베어링(178)에 의해 로터 샤프트상에 지지된다.
- <79> 본 발명이 현재 가장 실제적이고 바람직한 실시예로 고려되는 것과 관련하여 설명된 반면에, 본 발명은 개시된 실시예에만 제한되지 않으며, 오히려 첨부된 특허청구범위의 사상내의 모든 실시예를 커버하고자 한다는 것은 이해될 것이다.

발명의 효과

- <80> 본 발명에 따른 냉각 유체 커플링은 입구 가스 스트림과 회수 가스 스트림 사이의 누출을 최소화하고, 극저온 가스와 주위의 대기 온도 구성 요소 사이에 충분한 단열을 제공하며, 또한 긴 작동 수명 및 높은 신뢰도를 제공한다.

도면의 간단한 설명

- <1> 도 1은 초전도 로터 및 스테이터를 구비한 동기식 전기 기계의 개략적인 측면도,
- <2> 도 2는 냉각 가스 통로를 구비하는 레이스트랙 SC 코일의 개략적인 도면,
- <3> 도 3은 레이스트랙 SC 코일 권선을 구비하는 로터의 개략적인 부분 절결도,
- <4> 도 4 및 도 5는 레이스트랙 SC 코일 권선과 단부 샤프트를 구비하는 로터의 단면도,
- <5> 도 6 내지 도 8은 로터의 컬렉터 단부 샤프트의 단면도,
- <6> 도 9는 극저온 가스 이송 커플링 조립체의 개략적인 단면도.

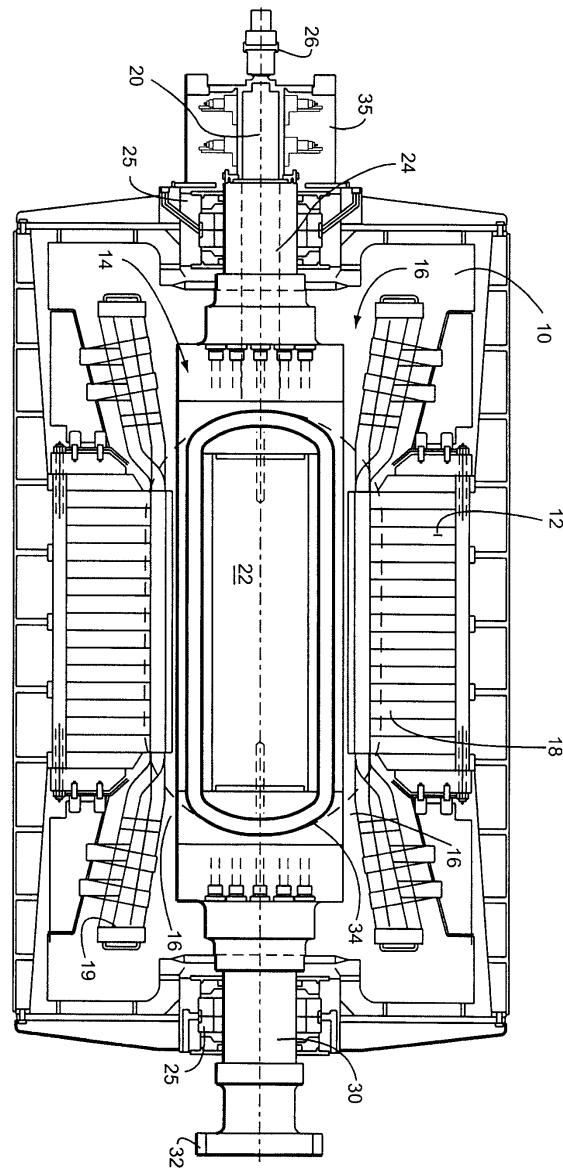
도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

- <8> 10 : 동기식 기계 12 : 스테이터

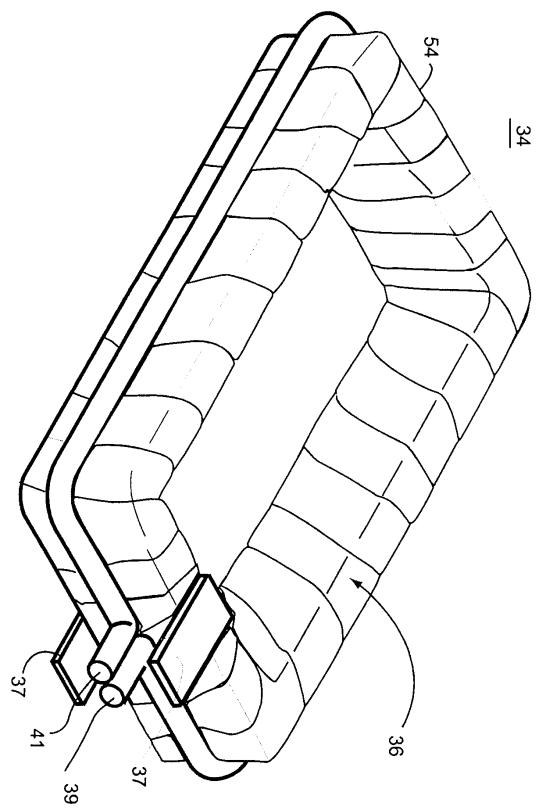
| | | |
|------|-------------------|---------------------|
| <9> | 14 : 로터 | 16 : 로터 공동 |
| <10> | 18 : 자기장 | 20 : 로터 축 |
| <11> | 22 : 로터 코어 | 24 : 컬렉터 단부 샤프트 |
| <12> | 26 : 극저온제 이송 커플링 | 30 : 구동 단부 샤프트 |
| <13> | 34 : 코일 권선 | 36 : 고온 초전도(HTS) 코일 |
| <14> | 38 : 냉각 통로 | 40 : 권선의 측면부 |
| <15> | 42 : 인장 로드 | 46 : 도관 |
| <16> | 48 : 로터 코어의 오목 표면 | 50 : 로터 코어의 외부 표면 |
| <17> | 52 : 단열 튜브 | 150 : 회전 커플링 구성요소 |
| <18> | 152 : 고정 구성요소 | 154 : 배이어닛 |
| <19> | 156 : 입구 튜브 | 162 : 운동 캡 튜브 |
| <20> | 166 : 출구 튜브 | 172 : 진공 재킷 |
| <21> | 174 : 얇은 벽 튜브 | 176 : 자기 시일 |
| <22> | 178 : 커플링용 베어링 | 190 : 고정 극저온 냉동기 |

도면

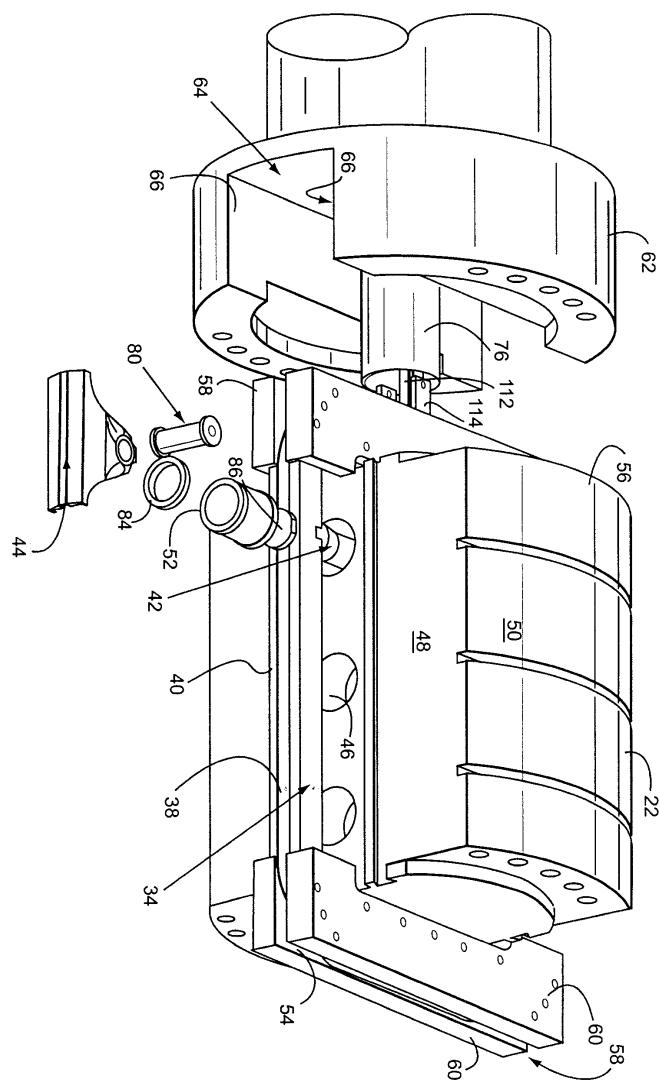
도면1



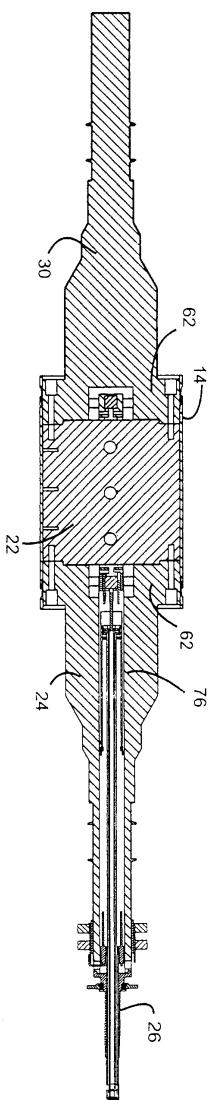
도면2



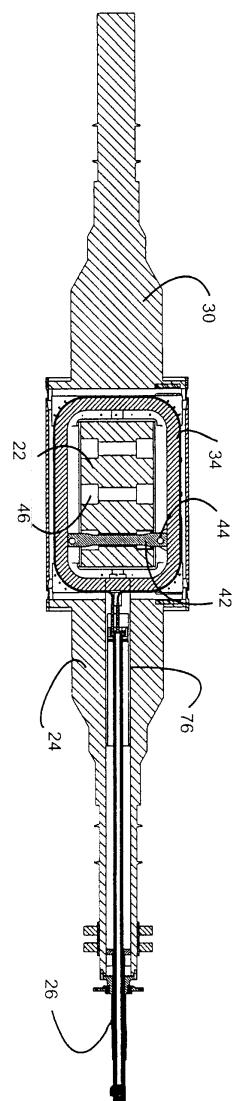
도면3



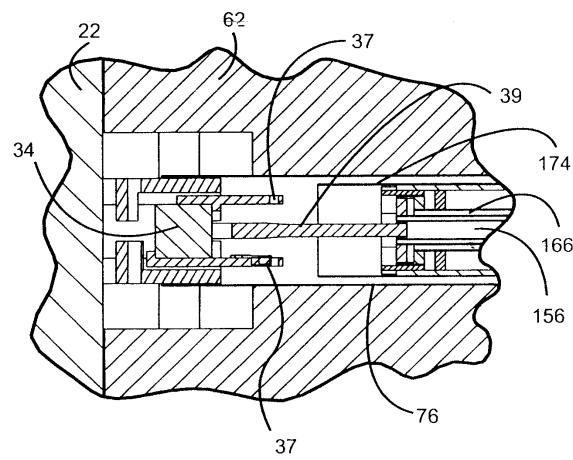
도면4



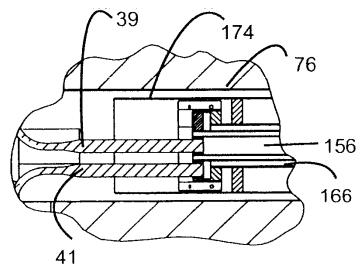
도면5



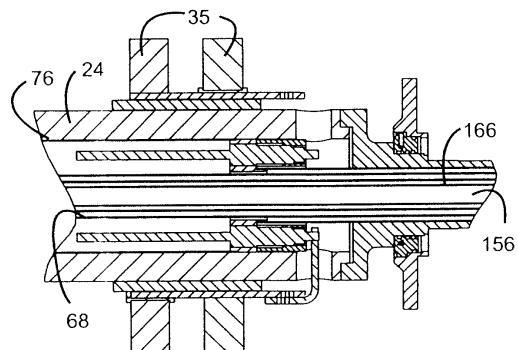
도면6



도면7



도면8



도면9

