



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년03월05일
(11) 등록번호 10-0886886
(24) 등록일자 2009년02월26일

(51) Int. Cl.

G21B 1/11 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0066996
(22) 출원일자 2007년07월04일
심사청구일자 2007년07월04일
(65) 공개번호 10-2009-0002771
(43) 공개일자 2009년01월09일
(56) 선행기술조사문헌
JP2000171578 A
JP2007033144 A
KR100805681 B1

(73) 특허권자

한국기초과학지원연구원

대전광역시 유성구 어은동 52번지

(72) 발명자

사정우

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 116-903호

김홍택

대전광역시 유성구 전민동 462-5번지 세종아파트
106동701호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

공인복

전체 청구항 수 : 총 9 항

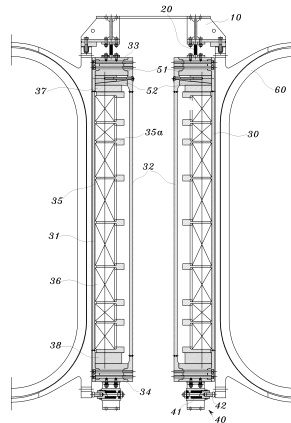
심사관 : 이용호

(54) 초전도 CS 코일의 전치하중 구조물 및 전치하중 인가방법

(57) 요약

본 발명은 초전도 CS 코일의 전치하중 구조물 및 그 전치하중 인가방법에 관한 것으로, 상온에서 평면상 8개의 초전도코일에 전치하중을 적용함으로써 운전 동안 초전도코일들 간의 계면에서 압축상태를 유지시킬 수 있게 하는 데 목적이 있다. 이를 위해 본 발명은 토로이달 코일 내측에 위치하는 전치하중구조물(30)에 있어서, 외측에 형성되는 외부셸(31)과, 내측에 형성되는 내부셸(32)과, 상측에 형성되는 상부블록(33)과, 하측에 형성되는 하부블록(34)을 포함하여 이루어지고, 상부블록의 상측에는 유동관(20)이 연결되면서 하부블록(34)의 하측에는 리센터링장치(40)가 연결되며, 상기 전치하중구조물 내부 상측에 설치되어 초전도코일(36)의 상하방향을 유동적으로 고정시키는 가변고정부(50)는, 전치하중구조물 내부 상측에 위치되는 상부췌기(51);와 상부췌기(51)의 하측에 위치되는 하부췌기(52);와 상부췌기(51)에 일단이 나사결합되고 전치하중구조물의 일측에 타단이 회전가능하게 설치되는 상부췌기이동구(53)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

최창호

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 102-1301

홍권희

대전광역시 서구 탄방동 한가람아파트 10동 905호

양형렬

대전광역시 유성구 노은동 열매마을아파트 906동
202호

박주식

대전광역시 서구 둔산동 1369 넥서스밸리 A동 904
호

이경수

대전광역시 유성구 지족동 977 반석마을 102-2002

특허청구의 범위

청구항 1

초전도 토카막장치의 토로이달 코일들의 내측 중앙에 설치되어 전류값의 변화에 따라 플라즈마를 유도하는 CS코일 구조물에 있어서,

상기 CS코일 구조물 일측은 토로이달 코일(60)의 내측 상부와 연결되고,

상기 토로이달 코일(60)의 내측 상부와 연결되는 부위에는 상기 CS 코일 구조물이 상기 토로이달 코일에 대해 횡방향의 변위를 흡수하는 유동판을 구비하며,

상기 CS코일구조물 타측에는 상기 토로이달 코일에 대해 종방향의 변위를 흡수하도록 CS코일 구조물의 종방향으로 슬라이딩되는 리센터링장치가 설치되고,

상기 CS코일구조물의 내부에 설치되는 가변고정부를 포함하는 것을 특징으로 하는 초전도코일을 상하 고정시키는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물.

청구항 2

초전도 토카막장치의 토로이달 코일들의 내측 중앙에 설치되어 전류값의 변화에 따라 플라즈마를 유도하는 CS코일 구조물에 있어서,

토로이달 코일(60)의 내측 상부에 일체 결합되는 지지러그(10);

상기 지지러그 하측에 연결되는 유동판(20);

상기 유동판 타단에 연결되어 상기 토로이달 코일 내측에 위치하는 전치하중구조물(30);

상기 전치하중구조물 하부에 연결되고 토로이달 코일의 하단부에서 전치하중구조물의 변형에 따라 슬라이딩되는 리센터링장치(40); 및

상기 전치하중구조물 내부 상측에 설치되어 초전도코일(36)의 상하방향을 유동적으로 고정시키는 가변고정부(50)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 초전도코일을 상하 고정시키는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 가변고정부는

상기 전치하중구조물 내부 상측에 위치되는 상부썰기(51);

상기 상부썰기(51)의 하측에 위치되는 하부썰기(52); 및

상기 상부썰기(51)에 일단이 나사결합되고 상기 전치하중구조물의 일측에 타단이 회전가능하게 설치되는 상부썰기이동구(53)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 초전도코일을 상하 고정시키는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 상부썰기(51) 내부에는 삽입부재(54)가 내설되고 상기 삽입부재(54) 내부에는 상부썰기이동구(53)의 일단이 회전가능하게 내설되는 것을 특징으로 하는 초전도코일을 상하 고정시키는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물.

청구항 5

청구항 3에 있어서,

상기 상부썰기(51)의 하부에는 가이드돌기(51a)가 하측으로 돌출 형성되고 상기 하부썰기(52)의 상부에는 가이

드홈(52a)이 요홈 형성되어 상기 가이드홈 위에서 상기 가이드돌기가 이동되는 것을 특징으로 하는 초전도코일을 상하 고정시키는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물.

청구항 6

청구항 2에 있어서,

상기 전치하중구조물의 내부 상하측에 상하부버퍼(37,38)가 각각 설치되어 하중에 대해 완충작용을 하는 것을 특징으로 하는 초전도코일을 상하 고정시키는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물.

청구항 7

초전도 토카막장치의 토로이달 코일들의 내측 중앙에 설치되어 전류값의 변화에 따라 플라즈마를 유도하는 CS코일 구조물의 전치하중방법에 있어서,

내외부셀(31,32)의 표면에 온도센서 및 변형률 센서(STRAIN GAGE)를 부착하는 단계(S100);

내외부셀의 표면에 히터를 부착한 후 가열하는 단계(S200);

내외부셀이 늘어남에 따라 상부철패기(51)와 상부블록(33) 사이에 갭이 발생되어 상부철패기의 상부철패기이동구(53)를 조임으로써 갭을 채우는 단계(S300);

가열되었던 내외부셀을 자연 냉각시키는 단계(S400); 및

내외부셀에 설치되었던 히터를 제거한 후 내외부셀의 온도와 변형률을 모니터링하는 단계(S500)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물의 전치하중방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 단계(S200)에서 내부셀 히터를 내부셀에 조립하는 순서는

상중하단의 내부셀 히터를 부분적으로 나누어 부조립한 다음, 하단(1층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 하단에 가열부(77)를 부착시키고,

그 다음 중앙(2층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 중앙에 가열부(77)를 부착시키며, 그 다음 상단(3층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 상단에 가열부(77)를 부착시키는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물의 전치하중방법.

청구항 9

청구항 7에 있어서,

상기 단계(S200)에서 외부셀 히터를 외부셀에 조립하는 순서는,

부분적으로 나누어 부조립한 상중하단의 외부셀 히터를 연결부재에 의해 수직 직렬로 연결한 다음, 외부셀 히터를 인양하여 외부셀 외측에 위치시키고 외부셀 외부면에 가열부(77)를 부착시키는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물의 전치하중방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

<1> 본 발명은 초전도 토카막장치의 토로이달 코일들의 내측 중심에 설치되어 전류값의 변화에 따라 플라즈마를 유도하는 CS코일 구조물에 있어서, 열적, 구조적, 전기적 변형에 따른 안정성을 확보하는 초전도코일을 상하 고정시키는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물에 관한 것이다.

배경기술

- <2> 핵융합 실험 장치인 토카막 장치는 플라즈마 상태의 중수소를 강한 자기장으로 가두기 위한 토로이달 코일, 플라즈마를 발생시키고 그 위치와 모양을 제어하기 위한 폴로이달 코일 및 전류의 값을 변화시켜 전자기유도법칙에 따라 플라즈마에 전류를 유도시키는 중앙 솔레노이드 코일로 구성된다. 이들 대형 코일의 중량과 강한 자기장에 의한 자기력을 지지하기 위한 코일 구조물은 각 코일의 특성에 맞게 제작된다. 토카막 장치는 코일 구조물의 정밀도에 따라 조립 오차가 결정되므로 정밀도를 향상시키기 위해서는 조립의 특성을 고려하여 구조물이 제작되어야 한다.
- <3> 종래의 토카막 장치는 상전도 도체를 이용하여 고전류에 의한 주열 손실로 인해 장시간 운전이 어려웠으나, 최근에는 전기적 저항이 없는 초전도 도체를 이용하여 연속적인 운전이 가능하도록 설계가 이루어지고 있다. 상전도 토카막 장치는 상온에서 운전되므로 코일 구조물의 열적 특성은 주요 고려사항이 아니었으며, 또한 상전도 코일은 초전도 코일과는 달리 자기력에 의한 응력으로 인해 운전 능력이 현격히 저하되지 않는 특성을 가지고 있었다.
- <4> 도 1은 초전도 토카막장치의 초전도코일 구조물을 도시한 것이다. 상술한 바와 같이 토카막 장치의 초전도 코일 구조물은 토로이달코일 구조물(60)을 포함하는데, 이는 초전도 선재를 사각형의 금속관으로 둘러싸는 방식인 관내 연선도체(CICC)로 만든 후 그 도체를 와인더 장비에 의해 D형으로 감아 만든 코일을 포함하며, 이러한 D형상의 코일이 16 개 조립되어 이루어진다. 이 관내연선도체로 초임계 액체헬륨을 약 5 기압의 압력으로 흘려보내 초전도 선재를 극저온으로 냉각하면 초전도 코일이 된다. 여기에 약 35 kA 직류전류를 흘리면 자기장의 세기는 최대 7.2 T가 되고 그 자기장에 의해 플라즈마는 토카막 속에 갇히게 된다. 토로이달 코일은 연속적으로 토로이달 자기장을 형성시킨다. 중앙 솔레노이드(CS) 코일과 폴로이달 코일은 폴로이달 자기장을 급격히 변화시켜 플라즈마를 생성하고, 플라즈마의 위치와 형상을 제어한다.
- <5> 토카막장치의 자석시스템은 상기의 토로이달 코일, 중앙 솔레노이드 코일 및 폴로이달 코일로 구성된다. 상기 중앙솔레노이드 코일과 구조물은 토카막 장치의 중심에 있고, 폴로이달 코일(도시 생략)과 PF코일 구조물(100)은 외곽을 둘러싸면서 상하 대칭으로 3쌍(5,6,7번 PF코일 구조물)이 있으며, 플라즈마가 가두어 지는 진공용기가 D형상의 토로이달 코일 구조물의 내부 공간에 도너스 형태로 구성되어 있다.
- <6> 초전도 토카막 장치의 초전도 코일은 운전온도가 약 4.5K의 극저온에서 운전되고 구조적 변형에 취약하며, 열적으로 불안정한 단점이 있어서 토카막 운전의 안정성을 제고하기 위해서는 운전 조건을 만족하는 환경 구축이 필요하다.
- <7> 초전도 코일은 중심으로부터 상·하 대칭구조로 8개의 CS 코일과 6개의 PF 코일로 구성되며 극저온 및 고자장에서 운전되기 때문에 이것을 구조적, 열적 및 전기적으로 보호할 수 있는 지지구조물을 필요로 한다. 또한 이러한 지지구조물은 열적인 안정성을 위하여 동일한 온도에서 운전되는 TF 구조물에 연결구조물을 통하여 설치된다.
- <8> CS 코일은 토카막 중심에 위치하며 다른 코일에 비해 전류인가율의 변화와 여러 개의 코일이 적층됨에 따라 유발되는 전자기력의 분포로 인하여 주 구조물의 설계는 어느 다른 자석 구조물보다 제한된 설계요구조건을 가지고 있다. 이러한 설계 요구조건 중에 하나는 다양한 운전 시나리오에 따라 코일들이 서로 다른 전자기력을 갖는다는 것이다.
- <9> 그러나 반경방향 전자기력은 코일 계면에서의 미끄럼을 유발시킬 수 있으며, 수직방향의 전자기력은 코일 계면의 분리를 일으킬 수 있다. 뿐만 아니라 플라즈마 붕괴나 코일 조립단계에서 초전도코일의 불완전한 정렬은 코일의 횡방향 거동까지도 발생시킬 수 있는 문제점이 있었다.
- <10> 한편 전치하중구조물 내부의 초전도코일을 상하방향에서 유동적으로 고정시키는 CS코일 구조물이 요구된다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- <11> 따라서 본 발명에서 이루고자하는 기술적 과제는, 극저온(4.5K)에서 운전되는 초전도 토카막 장치의 중앙 솔레노이드 코일의 열적, 구조적, 전기적 안정성을 확보하여 전자기력에 견딜 수 있는 충분한 강도와 수축변형을 흡수하는 초전도코일을 상하 고정시키는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물을 제공하는데 있다.
- <12> 상온에서 평면상 8개의 초전도코일에 전치하중을 적용함으로써 운전 동안 초전도코일들 간의 계면에서 압축상태를 유지시킬 수 있는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물 및 그 전치하중방법을 제공하는데 있다.

과제 해결수단

- <13> 상기의 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물은, 초전도 토카막장치의 토로이달 코일들의 내측 중앙에 설치되어 전류값의 변화에 따라 플라즈마를 유도하는 CS코일 구조물에 있어서, 상기 CS코일 구조물 일측은 토로이달 코일(60)의 내측 상부와 연결되고, 상기 토로이달 코일(60)의 내측 상부와 연결되는 부위에는 상기 CS 코일 구조물이 상기 토로이달 코일에 대해 횡방향의 변위를 흡수하는 유동판을 구비하며, 상기 CS코일구조물 타측에는 상기 토로이달 코일에 대해 종방향의 변위를 흡수하도록 CS코일 구조물의 종방향으로 슬라이딩되는 리센터링장치가 설치되고, 상기 CS코일구조물의 내부에 설치되는 가변고정부를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- <14> 초전도 토카막장치의 토로이달 코일들의 내측 중앙에 설치되어 전류값의 변화에 따라 플라즈마를 유도하는 CS코일 구조물에 있어서, 토로이달 코일(60)의 내측 상부에 일체 결합되는 지지러그(10);와 상기 지지러그 하측에 연결되는 유동판(20);과 상기 유동판 타단에 연결되어 상기 토로이달 코일 내측에 위치하는 전치하중구조물(30);과 상기 전치하중구조물 하부에 연결되고 토로이달 코일의 하단부에서 전치하중구조물의 변형에 따라 슬라이딩되는 리센터링장치(40); 및 상기 전치하중구조물 내부 상측에 설치되어 초전도코일(36)의 상하방향을 유동적으로 고정시키는 가변고정부(50)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- <15> 상기 가변고정부는, 상기 전치하중구조물 내부 상측에 위치되는 상부췌기;와 상기 상부췌기의 하측에 위치되는 하부췌기;와 상기 상부췌기에 일단이 나사결합되고 상기 전치하중구조물의 일측에 타단이 회전가능하게 설치되는 상부췌기이동구를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물을 제공한다.
- <16> 상기 상부췌기 내부에는 삽입부재가 내설되고 상기 삽입부재 내부에는 상부췌기이동구의 일단이 회전가능하게 내설되는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물을 제공한다.
- <17> 상기 상부췌기의 하부에는 가이드돌기가 하측으로 돌출 형성되고 상기 하부췌기의 상부에는 가이드홈이 요홈 형성되어 상기 가이드홈 위에서 상기 가이드돌기가 이동되는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물을 제공한다.
- <18> 상기 전치하중구조물의 내부 상하측에 상하부버퍼가 각각 설치되어 하중에 대해 완충작용을 하는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물을 제공한다.
- <19> 초전도 토카막장치의 C S 코일 구조물의 전치하중방법은, 초전도 토카막장치의 토로이달 코일들의 내측 중앙에 설치되어 전류값의 변화에 따라 플라즈마를 유도하는 CS코일 구조물의 전치하중방법에 있어서, 내외부셀(31,32)의 표면에 온도센서 및 변형률 센서(STRAIN GAGE)를 부착하는 단계(S100);와 내외부셀의 표면에 히터를 부착한 후 가열하는 단계(S200);와 내외부셀이 늘어남에 따라 상부췌기(51)와 상부블록(33) 사이에 갭이 발생되어 상부췌기의 상부췌기이동구(53)를 조임으로써 갭을 채우는 단계(S300);와 가열되었던 내외부셀을 자연 냉각시키는 단계(S400);와 내외부셀에 설치되었던 히터를 제거한 후 내외부셀의 온도와 변형률을 모니터링하는 단계(S500)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- <20> 상기 단계(S200)에서 내부셀 히터를 내부셀에 조립하는 순서는, 상중하단의 내부셀 히터를 부분적으로 나누어 부조립한 다음, 하단(1층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 하단에 가열부(77)를 부착시키고, 그 다음 중앙(2층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 중앙에 가열부(77)를 부착시키며, 그 다음 상단(3층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 상단에 가열부(77)를 부착시키는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 C S 코일 구조물의 전치하중방법을 제공한다.
- <21> 상기 단계(S200)에서 외부셀 히터를 외부셀에 조립하는 순서는, 부분적으로 나누어 부조립한 상중하단의 외부셀 히터를 연결부재에 의해 수직 직렬로 연결한 다음, 외부셀 히터를 인양하여 외부셀 외측에 위치시키고 외부셀 외부면에 가열부(77)를 부착시키는 것을 특징으로 하는 초전도 토카막장치의 C S 코일 구조물의 전치하중방법을 제공한다.

효과

- <22> 이상 설명한 바와 같이 본 발명의 초전도 토카막장치의 C S 코일 구조물은 극저온에서 운전되는 초전도 토카막장치의 중앙 솔레노이드 코일의 열적, 구조적, 전기적 안정성을 확보하여 전자기력에 견딜 수 있는 충분한 강도와 수축변형을 흡수할 수 있는 효과를 제공할 수 있다.

<23> 전치하중구조물 내부 상측에 가변고정부를 설치함으로써, 상온에서 평면상 8개의 초전도코일에 전치하중을 적용함으로써 운전 동안 초전도코일들 간의 계면에서 압축상태를 유지시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- <24> 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 예시도면을 참고하여 상세히 설명하고자 한다.
- <25> 도 2는 본 발명에 따른 CS코일 구조물의 단면상태도이다.
- <26> 도 2에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물은 전류값의 변화에 따라 플라즈마를 유도하는 것으로, 전치하중 구조물은 상온에서 평면상 8개의 초전도코일에 전치하중을 적용함으로써 운전 동안 초전도코일들 간의 계면에서 압축상태를 유지시킬 수 있도록 이루어진다.
- <27> 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물은 기능에 따라 전치하중구조물, TF 연결 구조물, 코일 리드 지지 구조물과 같이 크게 세가지로 구분된다.
- <28> 전치하중구조물은 코일에 인접하여 직접적으로 작용하중을 견디어야 하고, TF 연결구조물은 상부/하부에서 TF코일 구조물과 볼트 체결되거나 센터링을 한다. 리드지지구조물은 코일리드를 지지하기 위한 것이다.
- <29> TF 연결구조물은 상부의 연결구조물인 지지러그(10), 유동판(20) 및 하부 연결구조물인 리센터링장치(40)로 이루어진다.
- <30> 지지러그(10)는 TF코일 구조물의 전기절연을 위하여 평면상 8개의 요소로 이루어지고, 조립 시 볼트 체결된다. 지지러그(10)는 TF코일 구조물의 상부와 볼트 체결되어 수직방향 전자기 하중을 지탱한다.
- <31> 유동판(20)은 코일과 구조물들의 자중뿐 아니라 냉각 및 운전 중 CS와 TF 코일 구조물의 변위차를 흡수하도록 반경방향으로 유연한 구조를 갖는다. 유동판(20)은 지지러그(10)와 전치하중구조물의 상부블록(33)에 볼트 체결된다.
- <32> 리센터링장치(40)는 냉각 및 운전 중에 수직방향 변형이 가능하도록 하기 위해 수직방향 고정점이 없어야 하며, 지진하중, 플라즈마 붕괴, 코일 리드의 전자기력, 각 코일의 정렬 상태에 따라 발생할 수 있는 횡방향 하중에도 시스템을 항상 원위치를 시킬 수 있도록 설계된다.
- <33> 본 발명에 따른 전치하중구조물은 내외부셸, 상하부블록, 상하부버퍼 및 상하부췌기를 포함하는 가변고정부 등으로 이루어진다.
- <34> 전치하중구조물(30)은 유동판(20) 타단에 연결되어 TF코일 구조물(60) 내측에 위치한다. 전치하중구조물(30)은 지지러그(10)와 유동판(20)에 의해서 TF코일 구조물과 연결 고정된다.
- <35> 전치하중구조물(30)은 외측에 외부셸(31)이 형성되고 내측에 내부셸(32)이 형성된다. 전치하중구조물(30)은 상측에 상부블록(33)이 형성되고 하측에 하부블록(34)이 형성된다. 상부블록의 상측에는 유동판(20)이 연결되고, 하부블록(34)의 하측에는 리센터링장치(40)가 연결된다.
- <36> 전치하중구조물의 내부에는 환형의 초전도코일(36)이 다수 위치하고, 초전도코일들의 사이에는 링플레이트(35)가 설치되어 초전도코일을 받친다. 링플레이트(35)는 절연체로 이루어져 초전도코일들 간의 전류가 흐르는 것을 방지한다. 상부블록(33)의 하측과 하부블록(34)의 상측에도 링플레이트(35)가 설치된다.
- <37> 가변고정부(50)는 전치하중구조물 내부 상측에 설치되어 초전도코일(36)의 상하방향을 유동적으로 고정시킨다. 가변고정부는 상부블록 하측과, 상부블록 하측의 링플레이트 사이에 평면상 다수 설치된다.
- <38> 가변고정부는 평면상 내외부셸이 상하방향으로 변형되었을 시 내외부셸의 변형에 따라 상하로 이동되어 초전도코일을 고정시킨다. 가변고정부는 초전도코일과 같이 완전한 원형이 아니라 부분원형 즉 부채꼴 형상으로 이루어진다. 평면상 초전도코일과 동일선 상에 위치한 링플레이트 위에 일정한 간격으로 배치된다.
- <39> 도 3은 본 발명에 따른 CS코일 구조물의 가변고정부의 확대단면상태도이고, 도 4a 및 도 4b는 본 발명에 따른 가변고정부의 상부췌기 및 하부췌기의 사시상태도이다.
- <40> 도 3 내지 도 4b에서 보는 바와 같이 가변고정부는 상부췌기, 하부췌기 및 상부췌기이동구를 포함하여 이루어진다.
- <41> 상부췌기(51)는 전치하중구조물 내부 상측에 위치된다. 상부췌기(51)는 측단면상 전치하중구조물의 내측에서 외

측으로 갈수록 두꺼워지는 켜기형상이다. 본 발명에서는 상부켜기(51)의 하부가 경사지게 형성되는 켜기형상으로 이루어진다.

- <42> 상부켜기(51)는 전치하중구조물의 상하방향으로 고정되고 내외측방향으로 이동된다. 상부켜기(51)는 후술되는 상부켜기이동구(53)에 의해 전치하중구조물의 일측에 고정된다. 상부켜기(51)의 길이는 내외부셀의 내측 사이 간격보다 짧게 이루어져 전치하중구조물의 내부에서 내외측방향으로 이동가능하다.
- <43> 하부켜기(52)는 상부켜기(51)의 하측에 위치된다. 하부켜기(52)는 측면면상 전치하중구조물의 외측에서 내측으로 갈수록 두꺼워지는 켜기형상이다. 본 발명에서는 하부켜기(52)의 상부가 경사지게 형성되는 켜기형상으로 이루어진다. 상하부켜기(52)는 상부켜기(51)의 하부와 하부켜기(52)의 상부가 맞닿도록 설치된다.
- <44> 하부켜기(52)는 전치하중구조물의 내외측방향으로 고정되고 상하방향으로 이동된다. 하부켜기(52)의 길이는 내외부셀의 내측 사이 간격과 동일하게 이루어져 전치하중구조물의 내부에서 내외측방향으로 고정되고 상하방향으로만 이동된다.
- <45> 상부켜기(51)는 상부켜기이동구(53)에 의해 전치하중구조물의 일측에 고정된다.
- <46> 상부켜기이동구(53)는 상부켜기(51)에 일단이 나사결합되고 전치하중구조물의 일측에 타단이 회전가능하게 설치된다.
- <47> 상부켜기(51) 내부에는 삽입부재(54)가 내설되고, 삽입부재(54) 내부에는 상부켜기이동구(53)의 일단이 회전가능하게 내설된다. 상부켜기(51) 내부에 별도의 삽입부재(54)의 설치하는 이유는 삽입부재(54)가 상부켜기(51) 내부에서 너트역할을 하고, 상부켜기이동구(53)의 회전에 따라 상부켜기이동구(53)가 상부켜기(51) 내부에서 헛도는 것을 방지하며, 너트역할을 하는 부분이 파손 및 마모되었을 때 용이하게 교체하도록 하기 위함이다.
- <48> 상부켜기(51)의 하부에는 가이드돌기(51a)가 하측으로 돌출 형성되고, 하부켜기(52)의 상부에는 가이드홈(52a)이 요홈 형성된다. 상부켜기(51)가 하부켜기(52) 상부에서 이동시 가이드돌기(51a)가 가이드홈(52a)을 따라 이동된다.
- <49> 전치하중구조물에 있어 상부켜기(51) 위에 가이드돌기(도시 생략)가 돌출 형성되고, 상부켜기(51) 상부에 가이드홈이 요홈 형성된다. 상부켜기(51)가 하부켜기(52) 상부에서 이동시 전치하중구조물의 가이드돌기가 상부켜기(51) 상부의 가이드홈에 안착되면서 이동된다.
- <50> 상부켜기이동구(53)가 회전됨에 따라 상부켜기(51)를 전치하중구조물의 내외측으로 이동시킨다. 상부켜기(51)가 이동됨에 따라 상부켜기(51)의 하부경사면이 하부켜기(52)의 상부경사면에 맞닿아 하부켜기(52)를 상하방향으로 이동시킨다.
- <51> 가변고정부와, 가변고정부 하측의 링플레이트 사이에는 상부버퍼(37)가 각각 설치되어 하중에 대해 완충역할을 한다. 하부블록과 하부블록 상측의 링플레이트 사이에도 하부버퍼(38)가 하중에 대한 완충역할을 위해 설치된다.
- <52> 상기와 같이 이루어진 본 발명에 따른 초전도 토카막장치의 CS코일 구조물의 전치하중방법을 살펴보면 다음과 같다.
- <53> 본 발명의 전치하중방법에 대한 설명에 앞서 전치하중에 대한 설명을 간단히 하면 다음과 같다. 본 발명의 수치는 일례일 뿐이며, 수치를 한정하지 않음은 물론이다.
- <54> 본 발명에서 전치하중(preload)은 초전도코일들 계면 7개소(링플레이트) 및 전치하중구조물과의 계면 2개소(상하부블록의 하부)에 대하여 운전 중 압축상태가 되도록 상온에서 압축력을 가하는 것을 말한다.
- <55> 본 발명의 하중조건에는 전치하중(상온에서 PRELOADING), 전자기하중(반경방향 전자기력, 수직방향 전자기력, 횡방향 전자기력, 열 수축차이에 의한 하중) 및 지진하중 등이 있다.
- <56> 첫 번째 단계는 내외부셀의 표면에 온도센서 및 변형률 센서(STRAIN GAGE)를 부착하는 단계(S100)이다.
- <57> 액티브더미타입(active-dummy type)으로 온도보상이 가능한 변형률센서(strain gage)와 온도센서(thermocouple)가 구비된다.
- <58> 내부셀의 중심면과 외부셀의 외면에 각 셀당 1개의 변형률센서와 온도센서가 부착된다. 내부셀의 코일측면에는 추가로 4개의 변형률센서가 부착되고, 외부셀의 경우 온도센서 옆에 추가로 4개의 변형률센서가 부착된다. 내외

부셀에 변형률 센서 12개와 온도센서 8개가 각각 부착된다. 센서의 부착개수를 한정하지 않음은 물론이다.

- <59> 센서는 히터의 간섭을 피하기 위해 하단히터와 중앙히터의 사이에 위치시킨다. 내외부셀 히터는 수직상 상중하 단으로 나뉘어 내외부셀의 내외측면에 조립설치된다. 변형률센서는 내외부셀의 폭을 중심으로 중앙에 위치하고, 온도센서는 변형률센서의 바로 옆에 부착시킴이 바람직하다.
- <60> 온도센서와 변형률센서에 연결되어 데이터를 제공받기 위한 파워제어시스템 (Power control system)과 DAQ(DATA ACQUISITION SYSTEM)가 구비된다.
- <61> 파워제어시스템의 용량은 230kW 이고, 16개 내외부셀의 온도를 개별적으로 제어하며, 온도 데이터를 실시간으로 디스플레이할 수 있다.
- <62> DAQ의 Hardware National Instrument system이고, SCSX 1520 module : 3개(변형률 센서 24 채널사용), SCSX xxxx module : 1개(온도센서 32 채널 사용가능)을 구비하며, Lab view programming하는 장비이다.
- <63> 다음 단계는 내외부셀의 표면에 히터를 부착한 후 가열하는 단계(S200)이다. 내외부셀이 가열되면 내외부셀의 길이가 늘어난다.
- <64> 도 5는 본 발명에 따른 CS코일 구조물의 전치하중구조물의 전치하중을 위한 준비상태도이다.
- <65> 도 5에서 보는 바와 같이 히터는 내외부셀을 일정한 온도로 가열시키는 장치로, 내외부셀의 설치위치에 따라 내부셀 히터와 외부셀 히터로 나뉜다. 내외부셀 히터는 수직방향으로 3개의 부조립 히터로 구성되는 것으로 내외부셀을 수직상 3등분하여 상중하단에 각각 설치시킨다. 여기서 부조립 히터는 부분적으로 모듈화되어 설치시 중심로드(71) 상하단의 홈과 돌기로 조립가능하다.
- <66> 도 6은 본 발명에 따른 전치하중구조물의 전치하중을 위한 내부셀 히터인 도 5의 A의 확대상태도이다.
- <67> 내부셀 히터는 도 6에서 보는 바와 같이 중심로드(71)가 수직으로 구비되고, 중심로드(71)의 중간에 이동브라켓(72)이 중심로드를 감싸며 이동된다. 중심로드의 하단에는 돌기(78)가 돌출 형성되고 중심로드의 상단에는 홈(79)이 요홈 형성되어 중심로드 간의 수직상 연결이 가능하다.
- <68> 이동브라켓(72)의 양측에는 확장로드(73)가 회전가능하게 연결되고, 확장로드(73)의 타단에는 연결구(74)가 회전가능하게 연결된다. 연결구(74)에는 확장로드 2개가 상하로 경사지게 연결되고 상하의 확장로드는 서로 다른 이동브라켓에 각각 연결된다.
- <69> 중심로드의 외측에 나사산이 일방향으로 형성된다. 이동브라켓의 외측에 나사산이 형성되되, 확장로드와 연결구에 의해 연결되는 상하측의 이동브라켓 중 하나는 일방향으로 나사산이 형성되고 다른 하나는 반대방향으로 나사산이 형성된다. 중심로드를 회전시킴에 따라 상하측의 이동브라켓이 상하반대방향으로 이동하여 확장로드를 접었다가 펼 수 있다.
- <70> 복수의 연결구(74)는 수직상 지지로드(75)에 연결되고 지지로드(75)에는 수평으로 연결대(76)가 다수 연결된다. 다수의 연결대(76)의 타단에는 가열부(77)가 연결된다. 연결대(76)의 외부에는 탄성구가 설치되어 내부셀 히터를 내부셀 내부에 용이하게 밀착 설치되도록 한다.
- <71> 내부셀 히터의 각 부조립부분은 이동브라켓의 상하이동으로 확장로드가 펴지고 접힘에 따라 방사형으로 확장할 수 있다. 내부셀 히터는 확장 시 내부에 진입하지 않고 외부에서 중심로드를 회전시켜 이동브라켓을 수직상으로 이동시킴과 동시에 확장로드를 펴에 따라 확장시킬 수 있다.
- <72> 내부셀 히터를 내부셀에 조립하는 순서는 다음과 같다.
- <73> 상중하단의 내부셀 히터를 부분적으로 나누어 부조립한다. 그 다음 하단(1층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 하단에 가열부(77)가 접촉 설치되도록 한다. 가열부를 내부면에 볼트결합하여 부착한다. 이때 중심로드 하단의 돌기(78)는 전치하중구조물을 받치는 받침대에 끼움 결합된다.
- <74> 그 다음 중앙(2층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 중앙에 가열부(77)가 접촉 설치되도록 한다. 이때 중심로드 하단의 돌기(78)는 하단 내부셀 히터의 홈(79)에 끼움 결합된다.
- <75> 그 다음 상단(3층) 내부셀 히터를 인양하여 내부셀 내측에 삽입 안착시키고 확장로드(73)를 펴서 내부셀 내부면의 상단에 가열부(77)가 접촉 설치되도록 한다. 이때 중심로드 하단의 돌기(78)는 중앙 내부셀 히터의 홈(79)에

끼움 결합된다.

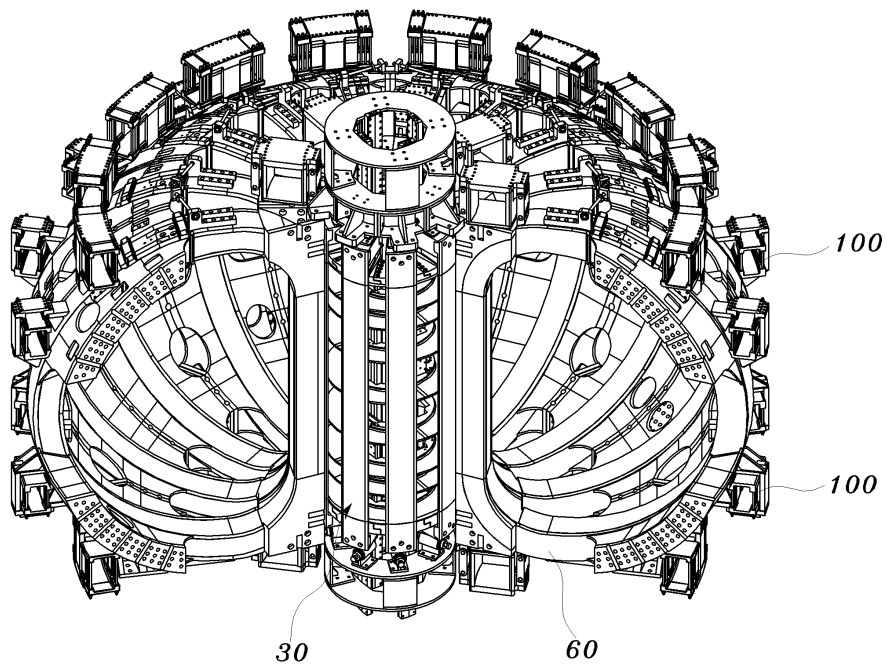
- <76> 도 7은 본 발명에 따른 전치하중구조물의 전치하중을 위한 외부셀 히터인 도 5의 B의 확대상태도이다.
- <77> 외부셀 히터는 도 7에서 보는 바와 같이 지지로드(75)에 수평으로 연결대(76)가 다수 연결된다. 다수의 연결대(76)의 타단에는 가열부(77)가 연결된다. 연결대(76)의 외부에는 탄성구가 설치되어 외부셀 히터를 외부셀 외부에 용이하게 밀착 설치되도록 한다.
- <78> 외부셀 히터는 내부셀 히터와 달리 수직방향으로 3개의 부조립 히터가 직렬로 연결된다. 여기서 연결은 별도의 연결부재를 사용한다.
- <79> 외부셀 히터를 외부셀에 조립하는 순서는 다음과 같다.
- <80> 상중하단의 외부셀 히터를 부분적으로 나누어 부조립한 후 별도의 연결부재에 의해 수직 직렬로 연결한다. 그 다음 외부셀 히터를 인양하여 외부셀 외측에 위치시키고 외부셀 외부면에 가열부(77)가 접촉 설치되도록 한다. 가열부를 외부면에 볼트결합하여 부착한다. 평면상 8개 외부셀에 외부셀 히터를 설치한다.
- <81> 상기와 같이 내외부셀에 히터를 부착한 후 가열시키는 데, 가열은 총 5회 걸쳐 단계적으로 가열했다가 냉각시킴을 반복한다.
- <82> 일실시예를 보면,
- <83> 1차 가열은 약 섭씨 50도로 가열 후 냉각하였으며, 상부췌기의 조정은 하지 않았다. (즉, 전치하중은 적용치 없음) 2차 가열은 약 60도 가열 후 냉각하였고, 3차 가열은 약 90도 가열 후 냉각하였다. 4차 가열은 약 120도 가열 후 냉각하였고, 5차 가열은 약 140도 가열 후 냉각하였다. (최대 가열온도는 약 150도) 도 8a는 본 발명에 따른 CS코일 구조물의 전치하중구조물의 전치하중과정에서 내외부셀을 가열한 결과 온도-시간그래프이다.
- <84> 각 내외부셀들은 약간의 온도차를 보였으며, 수동 온도 제어이므로 16채널의 온도를 정밀하게 제어하기 어렵고 정밀한 제어도 필요하지 않았다.
- <85> 최종 가열 시 상부췌기는 내경방향으로 약 60 mm 이동시켰으며, 이로써 상하방향으로 6 mm 갭이 채워졌다.
- <86> 이에 따른 변형률의 측정 결과를 보면, 도 8b에서 보는 바와 같이 내부셀의 평균 변형률은 432 micro-strain이다. 평균 응력은 86.4 MPa이며, 전치하중은 277 tons이다.

$$F = A \cdot \sigma = A \cdot \varepsilon \cdot E$$

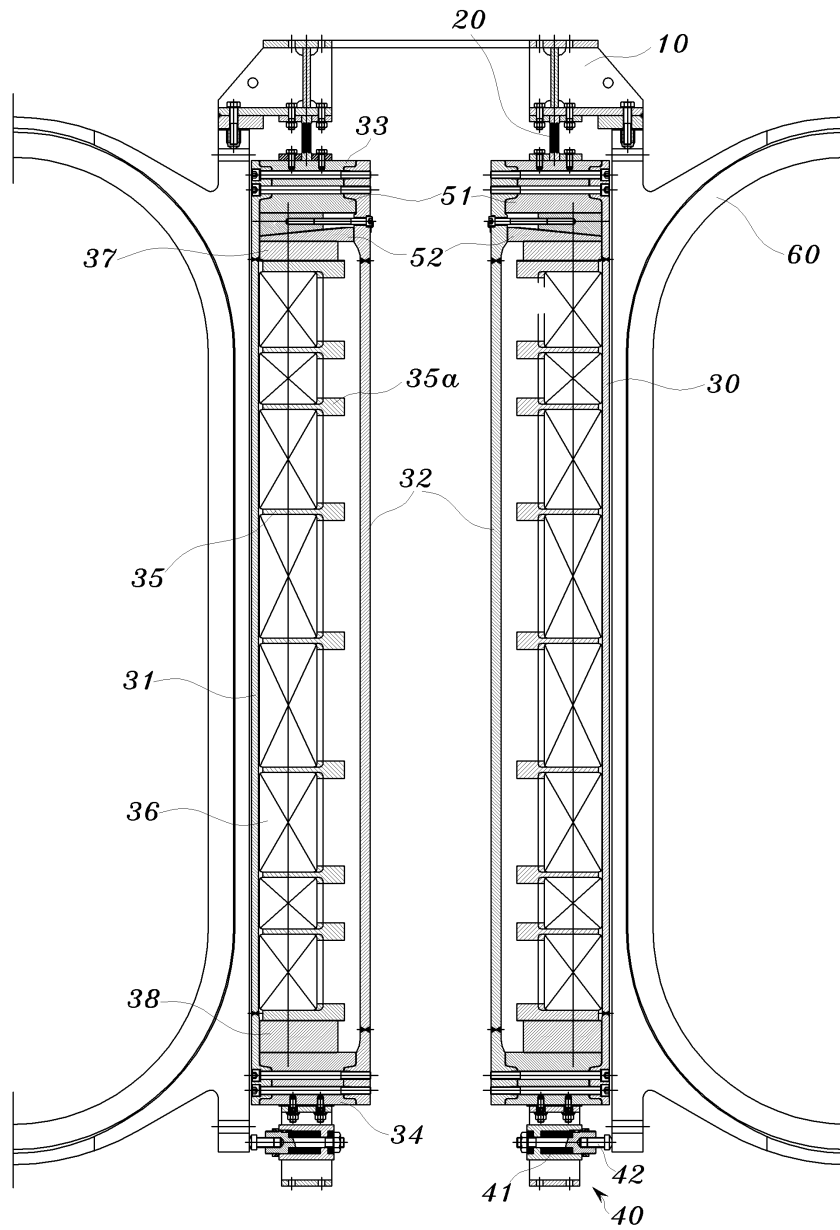
- <87>
- <88> 여기서 F는 힘, A는 셀의 단면적, σ 는 응력, ε 는 변형률임. $A=3.63E3 \text{ mm}^2$
- <89> 도 8c에서 보는 바와 같이 외부셀의 평균 변형률은 393 micro-strain이다. 평균 응력은 78.6 MPa이고, 전치하중은 529 tons이다.
- <90> 따라서 내외부셀의 총 전치하중은 약 806 tons이다.
- <91> 도 8b는 본 발명에 따른 CS코일 구조물의 전치하중구조물의 전치하중과정에서 내부셀을 가열한 결과 변형률-시간그래프이다. 도 8c는 본 발명에 따른 CS코일 구조물의 전치하중구조물의 전치하중과정에서 외부셀을 가열한 결과 변형률-시간그래프이다.
- <92> 도 9는 본 발명에 따른 전치하중구조물의 전치하중과정에서 내외부셀을 가열하는 중 변형상태도이다.
- <93> 가열 중 변형률이 음의 방향(압축상태)으로 진행되는 이유는 다음과 같다. 먼저, 내외부셀의 양 끝단의 경계조건이 자유단이라고 가정할 경우, 히터부착면 A와 반대면 B와 온도구배로 인하여 내외부셀은 도 9에서 보는 바와 같이 변형된다.
- <94> 그러나 셀의 상하부는 상하부블록에 볼트 체결되어 있기 때문에 이러한 굽힘은 일부 억제된다. 따라서 열팽창이 큰 히터 부착면은 압축상태를 보이고 반대면은 인장상태를 보인다.
- <95> 또한 외부셀의 경우 작업대로부터의 별도의 잭스크류(도시 생략)가 히터를 추가 고정시키고 있기 때문에 내부셀보다 셀의 변형 억제가 크며, 도 9에서와 같이 외부셀의 변형률이 상대적으로 음의 방향으로 많이 진행함을 알 수 있다.

도면

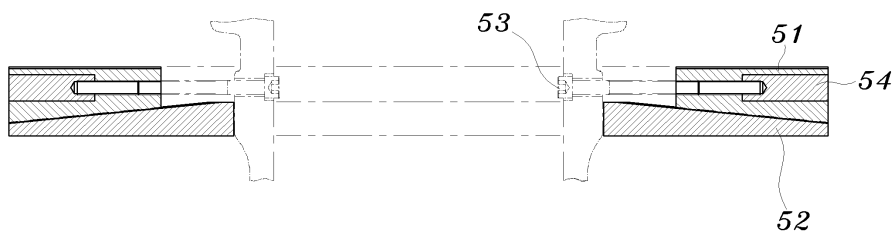
도면1



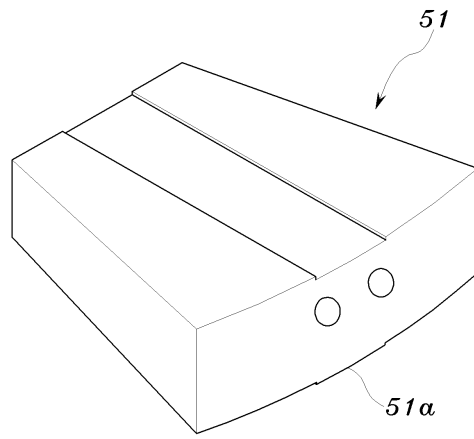
도면2



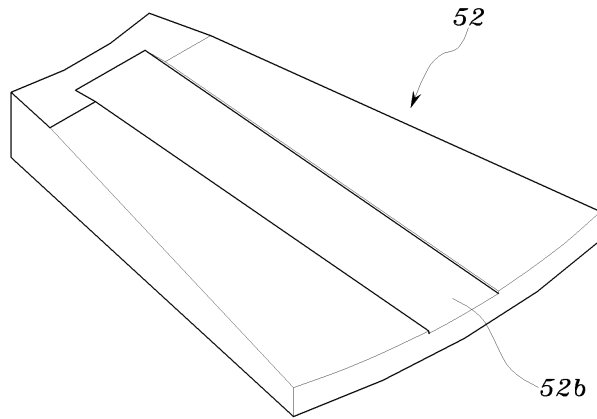
도면3



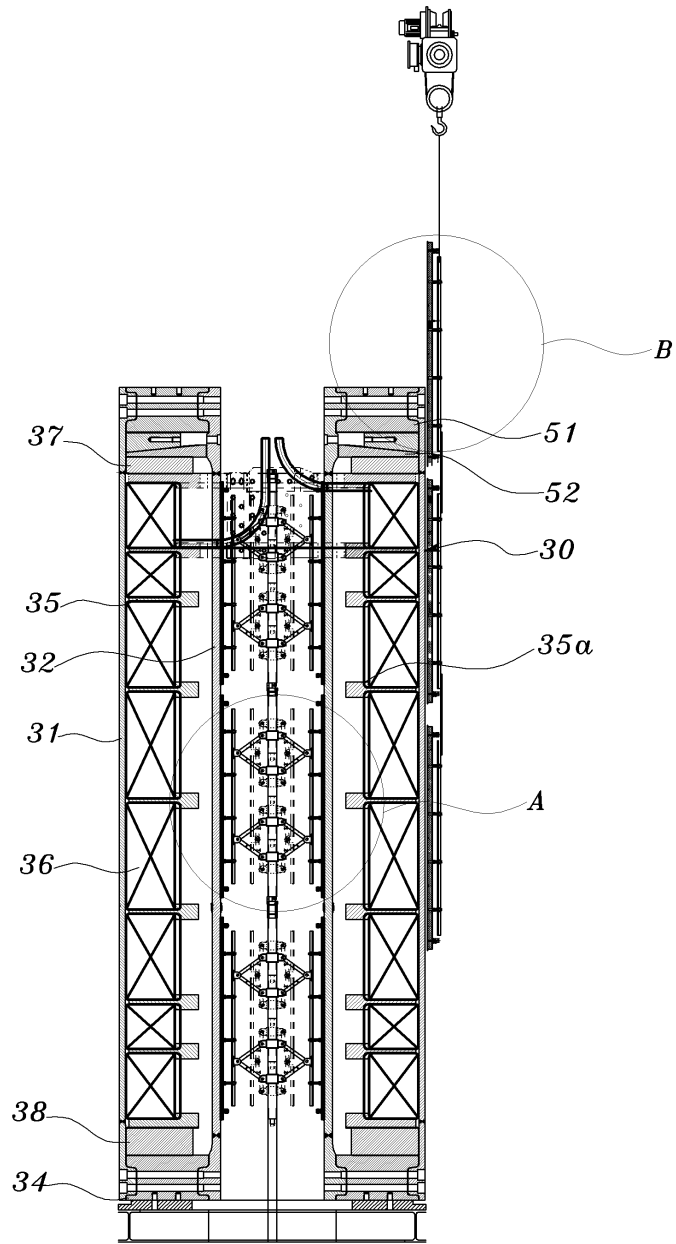
도면4a



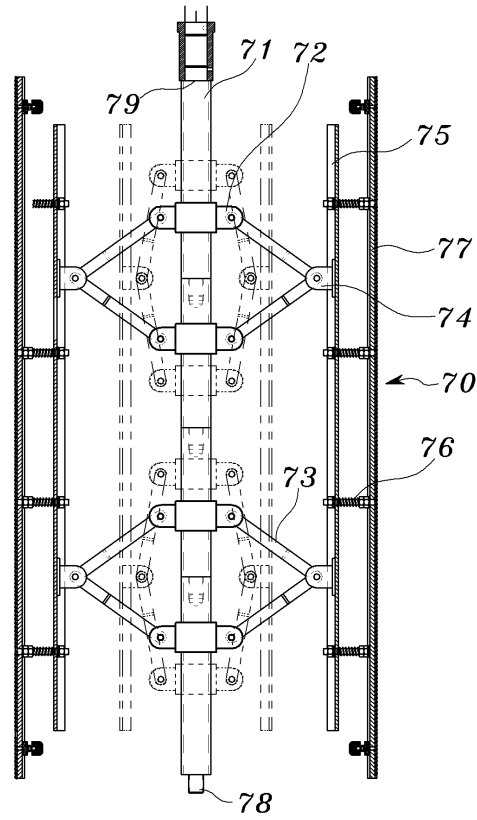
도면4b



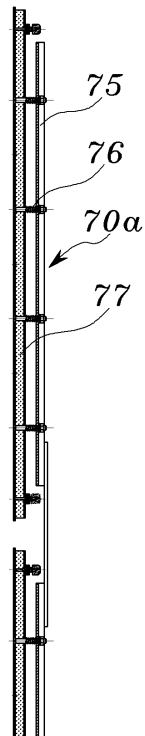
도면5



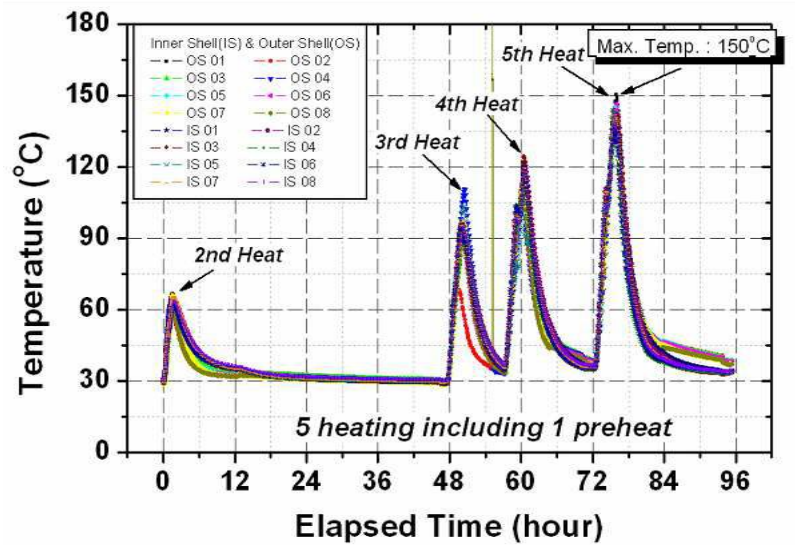
도면6



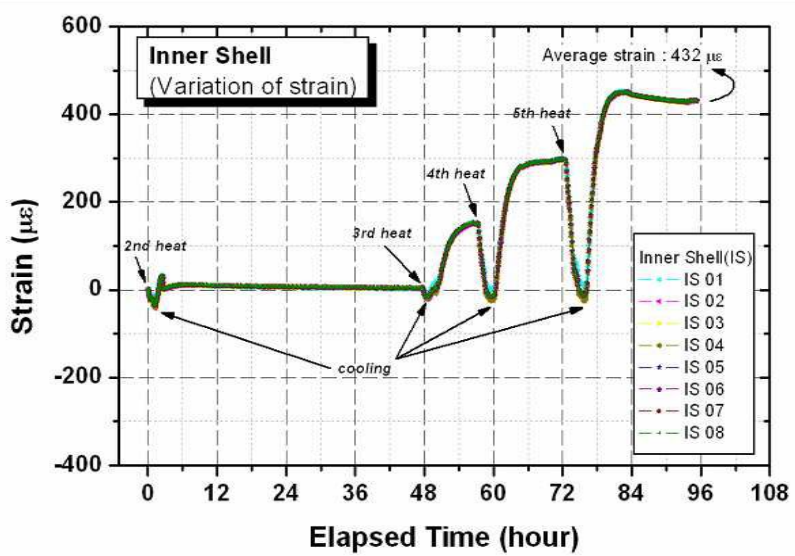
도면7



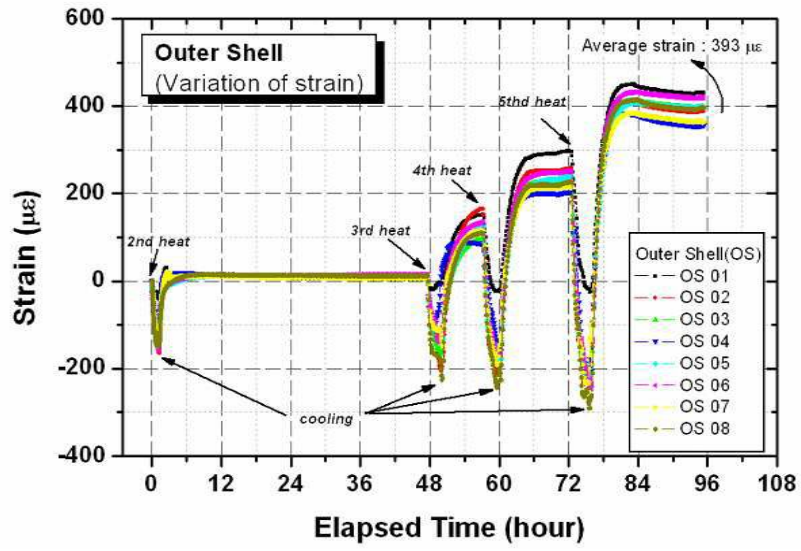
도면8a



도면8b



도면8c



도면9

