



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년08월01일
(11) 등록번호 10-0849939
(24) 등록일자 2008년07월28일

(51) Int. Cl.

G21B 1/05 (2006.01) G21B 1/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0000495

(22) 출원일자 2007년01월03일

심사청구일자 2007년01월03일

(65) 공개번호 10-2008-0063908

(43) 공개일자 2008년07월08일

(56) 선행기술조사문헌

JP01102902 A

US5198181 A

US4007392 B

(73) 특허권자

한국기초과학지원연구원

대전광역시 유성구 어은동 52번지

(72) 발명자

양형렬

대전 유성구 노은동 521번지 열매마을아파트 906동 202호

김학근

대전 유성구 어은동 한빛아파트 125동 1305호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

공인복

전체 청구항 수 : 총 18 항

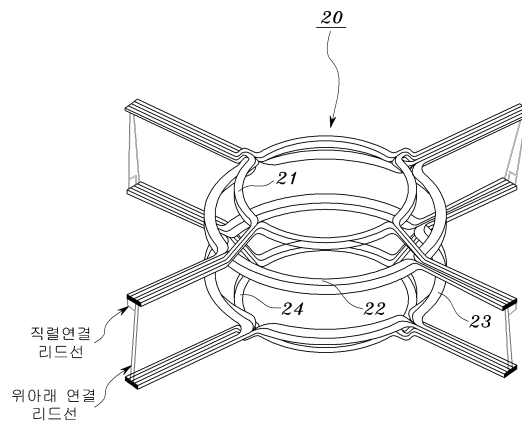
심사관 : 이용호

(54) 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일

(57) 요약

본 발명은 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일에 관한 것이다. 본 발명의 코일은 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 복수개의 플라즈마제어코일을 포함하며, 복수개의 플라즈마제어코일간을 상호 연결하여 플라즈마의 자장보상을 수행하는 것을 특징으로 한다. 따라서, 본 발명의 플라즈마 제어코일은 토카막내의 플라즈마를 제어하기 위한 위치제어와 자장보상을 동시에 수행할 수 있는 효과를 제공한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

김근홍

대전 서구 둔산동 1370 넥서스 벨리 A-904

박주식

대전 서구 둔산동 1370 넥서스벨리 A-904호

이경수

대전 유성구 지족동 977 반석마을 102-2002

특허청구의 범위

청구항 1

토카막의 플라즈마 제어코일에 있어서,

네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 복수개의 플라즈마제어코일을 포함하며,

상기 복수개의 플라즈마제어코일간을 상호 연결하여 플라즈마의 자장보상을 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 복수개의 플라즈마제어코일은

상기 토카막장치의 외부로 네 개의 포트를 통해 코일리드내부의 리드선에 의해 연결되는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 복수개의 플라즈마제어코일은

네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 1플라즈마제어코일;

상기 제 1플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 2플라즈마제어코일;

상기 제 2플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 3플라즈마제어코일; 및

상기 제 3플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 4플라즈마제어코일을 포함하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 제 1플라즈마제어코일은

플라즈마의 수직 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 5

제 3항에 있어서,

상기 제 4플라즈마제어코일은

플라즈마의 수직 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 6

제 3항에 있어서,

상기 제 2플라즈마제어코일은

플라즈마의 수평 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 7

제 3항에 있어서,

상기 제 3플라즈마제어코일은

플라즈마의 수평 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 8

제 3항에 있어서,

상기 제 1플라즈마제어코일과 제 2플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 상층 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 9

제 3항에 있어서,

상기 제 2플라즈마제어코일과 제 3플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 중앙 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 10

제 3항에 있어서,

상기 제 3플라즈마제어코일과 제 4플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 하층 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 11

토카막의 플라즈마 제어코일에 있어서,

네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 1플라즈마제어코일;

상기 제 1플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 2플라즈마제어코일;

상기 제 2플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 3플라즈마제어코일; 및

상기 제 3플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 4플라즈마제어코일을 포함하며,

상기 제 1내지 제 4플라즈마 제어코일간을 상호 연결하여 플라즈마의 자장보상을 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 제 1플라즈마제어코일은

플라즈마의 수직 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 13

제 11항에 있어서,

상기 제 4플라즈마제어코일은

플라즈마의 수직 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 14

제 11항에 있어서,

상기 제 2플라즈마제어코일은

플라즈마의 수평 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 15

제 11항에 있어서,

상기 제 3플라즈마제어코일은

플라즈마의 수평 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 16

제 11항에 있어서,

상기 제 1플라즈마제어코일과 제 2플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 상층 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 17

제 11항에 있어서,

상기 제 2플라즈마제어코일과 제 3플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 중앙 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

청구항 18

제 11항에 있어서,

상기 제 3플라즈마제어코일과 제 4플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 하층 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 하는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <12> 본 발명은 토카막의 플라즈마 제어코일에 관한 것이다.
- <13> 일반적으로, 핵융합 실험 장치인 토카막 장치는 플라즈마 상태의 수소를 강한 자기장으로 가두기 위한 토로이달 코일과, 플라즈마를 발생시키고 그 위치와 모양을 제어하기 위한 포로이달 코일들로 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.
- <14> 종래의 토카막 장치는 상전도 도체를 이용하여 고전류에 의한 주울열 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 아니며, 또한 상전도 코일은 초전도 코일과는 달리 자기력에 의한 응력으로 인해 운전 능력이 현격히 저하되지 않는 특성을 가지고 있다.
- <15> 도 1은 이러한 토카막장치의 코일구조물을 도시한 것이다.
- <16> 토카막장치(101)는 CS(Central Solenoid)코일, TF(Toroidal Field) 및 PF(Poloidal Field) 코일을 사용하여 플라즈마의 생성, 구속, 제어를 담당한다.
- <17> 도 1의 토카막장치(101)는 16개의 TF(Toroidal Field)코일로 구성된 TF 구조물(107)과, 8개의 CS(Central Solenoid)코일로 구성된 CS 구조물(109)과, 6개의 PF(Poroidal Field)코일로 구성된 PF 구조물(103) 및 각 구조물을 연결하는 연결구조물(105)로 형성된다.

- <18> 토카막 장치의 TF 구조물(107)은 초전도 선체를 사각형의 금속관으로 둘러싸는 방식인 관내 연선도체(CICC)로 만든 후 그 도체를 와인더 장비로 D 형으로 감아 만든 토로이달코일을 포함하며, 이러한 D형상의 코일이 16 개 조립되어 이루어진다.
- <19> 이 관내연선도체로 초임계 액체헬륨을 약 5 기압의 압력으로 흘려보내 초전도 선체를 극저온으로 냉각하면 초전도 코일이 된다. 여기에 약 35 kA 직류전류를 흘리면 자기장의 세기는 최대 7.2T가 되고 그 자기장에 의해 플라즈마는 토카막 속에 갇히게 된다.
- <20> 토카막장치(101)는 연속적으로 토로이달 자기장을 형성시키는 TF 코일을 포함하는 TF 구조물(107)과 포로이달 자기장을 급격히 변화시켜 플라즈마를 생성하고 위치와 형상을 제어하는 CS코일을 갖는 CS 구조물(109), 및 포로이달 코일을 포함하는 PF구조물(103)로 자석시스템을 구성한다.
- <21> CS 코일을 포함하는 CS 구조물(105)은 토카막 장치의 중심에 있고, PF 코일을 갖는 PF 구조물(20)은 외곽을 둘러싸면서 상하 대칭으로 3 쌍이 있으며, 플라즈마가 가두어 지는 진공용기가 D형상의 TF 구조물(107)의 내부 공간에 도너스 형태로 구성되어 있다.
- <22> TF 구조물(107)로 내설되는 TF 코일은 약 35kA의 직류전류로 운전하게 되며, 상기 CS 코일과 PF 코일은 최대 8kA/sec 전류 변화를 가지는 펄스운전을 하며 약 ± 20kA 까지 전류가 증방전 되며, 상호 자장변화에 의한 기전력을 진공용기 내부에 발생시켜 플라즈마를 생성하고 플라즈마 전류와 TF 자장과 함께 플라즈마를 구속시키는 역할을 수행한다.
- <23> 이러한 토카막장치의 가장 큰 물리적 관심은 플라즈마의 불안정성이다. 이러한 토카막장치는 구속되는 플라즈마의 불안정성을 제어하기 위한 플라즈마 제어코일을 함께 설치한다. 플라즈마 제어코일은 플라즈마의 수직, 반경 방향으로의 이동 등을 제어할 목적으로 설치되는 플라즈마 위치제어코일과 토카막을 이루고 있는 각종 전자석의 불규칙성으로 인하여 발생하는 에러자기장을 보상하기 위한 자장보상코일로 구성된다.
- <24> 위치제어코일은 진공용기 내부에 진공용기 둘레방향으로 원형코일을 설치하여 플라즈마 위치제어를 수행하며, 자장보상코일은 진공용기 내부 또는 외부에 말안장 형태의 코일(saddle coil)을 토카막 장치의 상중하에 설치하여 에러 자장을 보상하도록 한다.
- <25> 하지만 이러한 종래의 플라즈마 제어코일은 진공용기 내부에 설치될 위치 제어코일의 경우 토카막장치가 제작 완료되기 전에 진공용기 내부에 제작 및 설치되어야하며, 자장보상코일은 위치제어코일과 별도로 제작 및 설치되어야하므로 제작 및 설치가 용이하지 않았으며, 토카막장치가 완료된 이후에는 플라즈마 제어코일의 설치 자체가 매우 어려운 문제점을 지니고 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <26> 따라서, 본 발명의 목적은 전술한 문제점을 해결할 수 있도록 16개의 세그먼트로 이루어진 제어코일을 제안하여 포트를 통한 설치가 용이하며 각 세그먼트는 진공용기 내부에 연결부위가 없으므로 구조적으로 튼튼하며 외부에 전기적 결선을 통하여 플라즈마의 위치제어는 물론 자장보상을 동시에 수행할 수 있는 토카막의 분할형 플라즈마 제어코일을 제공함에 있다.

발명의 구성 및 작용

- <27> 이와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 토카막의 플라즈마 제어코일에 있어서, 토카막의 플라즈마 제어코일에 있어서, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 복수개의 플라즈마제어코일을 포함하며, 복수개의 플라즈마제어코일들을 상호 연결하여 플라즈마의 자장보상을 수행하는 것을 특징으로 한다.
- <28> 또한, 복수개의 플라즈마제어코일은 상기 토카막장치의 외부로 네 개의 포트를 통해 코일리드내부의 리드선에 의해 연결되는 것을 특징으로 한다.
- <29> 또한, 복수개의 플라즈마제어코일은 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 1플라즈마제어코일과, 제 1플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 2플라즈마제어코일과, 제 2플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 3플라즈마제어코일, 및 제 3플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 4플라즈마제어코일을 포함하는 것을

특징으로 한다.

- <30> 또한, 제 1플라즈마제어코일은 플라즈마의 수직 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 한다.
- <31> 또한, 제 4플라즈마제어코일은 플라즈마의 수직 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 한다.
- <32> 또한, 제 2플라즈마제어코일은 플라즈마의 수평 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 한다.
- <33> 또한, 제 3플라즈마제어코일은 플라즈마의 수평 위치제어를 수행하는 것을 특징으로 한다.
- <34> 또한, 제 1플라즈마제어코일과 제 2플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 상층 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 한다.
- <35> 또한, 제 2플라즈마제어코일과 제 3플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 중앙 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 한다.
- <36> 또한, 제 3플라즈마제어코일과 제 4플라즈마제어코일을 연결하여 각 세그먼트별 4개의 하층 자장보상코일을 형성하는 것을 특징으로 한다.
- <37> 본 발명에 따른 토카막의 플라즈마 제어코일에 있어서, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 1플라즈마제어코일과, 제 1플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 2플라즈마제어코일과, 제 2플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 3플라즈마제어코일, 및 제 3플라즈마제어코일의 하부에 설치하며, 네 개의 세그먼트를 직렬연결하여 플라즈마의 위치제어를 수행하는 제 4플라즈마제어코일을 포함하며, 제 1내지 제 4플라즈마 제어코일간을 상호 연결하여 플라즈마의 자장보상을 수행하는 것을 특징으로 한다.
- <38> 이하, 첨부한 도 2 내지 도 5를 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 기술하기로 한다.
- <39> 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 플라즈마 제어코일을 보여주는 도면이다.
- <40> 도 2를 참고하면, 플라즈마 제어코일(20)은 최상부코일(21)과 상부코일(22)과 하부코일(23), 및 최하부코일(24)로 이루어진다.
- <41> 각 코일(21, 22, 23, 24)은 4개씩의 세그먼트(도 5b참조)로 연결되어, 플라즈마 제어코일(20)은 총 16개의 세그먼트로 형성한다. 이는 이하 도 4 및 도 5를 참조하여 하기에서 상세히 도시하여 설명한다.
- <42> 도 2에서 도시한 네 개의 코일(21, 22, 23, 24)의 리드선을 직렬로 연결하여 플라즈마의 위치제어로 사용하거나 위아래로 연결하여 플라즈마의 자장보상으로 사용한다.
- <43> 즉, 도 2에 직렬연결 리드선을 참고하면, 최상부코일(21)은 4개의 세그먼트를 직렬로 연결하여 수직의 위치제어코일로 사용한다. 마찬가지로 상부코일(22)과 하부코일(23) 및 최하부코일(24)도 4개의 세그먼트를 직렬로 연결하면 위치제어코일로 사용이 가능하다. 여기서 최상부코일(21)과 최하부코일(24)은 직렬로 연결하여 수직의 위치제어코일로 사용하고, 상부코일(22)과 하부코일(23)은 직렬로 연결하여 수평의 위치제어코일로 사용한다.
- <44> 또한, 도 2의 위아래연결 리드선을 참고하면, 최상부코일(21)과 상부코일(22)을 위아래연결 리드선으로 연결하면 상층 자장보상코일로 사용되며, 각 세그먼트별로 4개의 상층 자장보상코일이 된다. 또한, 최하부코일(24)과 하부코일(23)을 위아래연결 리드선으로 연결하면 하층 자장보상코일로 사용되며, 각 세그먼트별로 4개의 하층 자장보상코일이 된다. 한편, 상부코일(22)과 하부코일(23)을 위아래연결 리드선으로 연결하면 중앙 자장보상코일로 사용되며, 각 세그먼트별로 4개의 중앙 자장보상코일이 된다.
- <45> 이렇게 하여 위치제어코일은 4개가 되고, 자장보상코일은 최상 자장보상코일 4개와 최하 자장보상코일 4개, 및 중앙 자장보상코일 4개로 총 12개가 된다. 따라서, 위치제어코일 4개와 자장보상코일 12개로 총 16개의 분할형 플라즈마 제어코일이 완성된다.
- <46> 최상부코일(21)과 상부코일(22)과 하부코일(23), 및 최하부코일(24)은 4개의 포트를 가지며, 이 포트를 통해 토카막장치가 건설 완료된 이후에도 설치가 가능하여 플라즈마 제어코일의 제작 및 설치가 용이하다. 또한, 이러한 플라즈마 제어코일은 토카막장치 내부에서는 연결부위가 전혀 없고 외부에서 전기적 결선을 통하여 형성되므로 구조적으로도 튼튼하다. 이러한 설치구조는 이하의 도 3에서 상세히 설명한다.

- <47> 이렇게 하여 토카막장치에 설치된 상태를 도 3에 도시한다.
- <48> 도 3은 본 발명에 따른 플라즈마 제어코일의 설치상태도이다.
- <49> 도 3을 참고하면, 토카막장치의 내부로 플라즈마 제어코일(20)이 설치되어있으며, 토카막장치의 외부에 이러한 네 개의 포트를 통하여 설치된 상태를 보여준다.
- <50> 각 포트에는 코일리드가 보이며 그 코일리드의 단면도를 부분확대도로 도시한다.
- <51> 도 3의 확대된 부분을 보면, 최상부코일(21)과 상부코일(22)의 코일리드의 단면을 보여준다. 코일리드의 내부에는 8개로 분할된 공간에 8개의 리드선이 구비된다. 이러한 직렬연결 리드선과 위아래연결 리드선을 연결하여 위치제어와 자장보상코일로 사용한다.
- <52> 도 4는 본 발명에 따른 플라즈마 제어코일의 분리사시도이다.
- <53> 도 4를 참고하면, 플라즈마제어코일은 가장 최상부에 최상부코일(21)과 그아래로 순차적으로 상부코일(22)과 하부코일(23), 및 최하부코일(24)로 이루어진다. 최상부코일(21)은 도 5a 및 도 5b에 도시된 바와 같다.
- <54> 도 5a 및 도 5b에 도시된 바와 같이, 최상부코일(21)은 네 개의 세그먼트로 구성된다. 즉, 최상부코일(21)는 제 1 내지 제 4세그먼트(21A, 21B, 21C, 21D)가 결합하여 형성한다. 이러한 제 1내지 제 4세그먼트(21A, 21B, 21C, 21D)는 양쪽에 각각 코일리드를 갖으며 각 코일리드를 인접하게 하여 직렬연결 리드선을 연결하여 최상부코일(21)을 형성한다.

<55>

발명의 효과

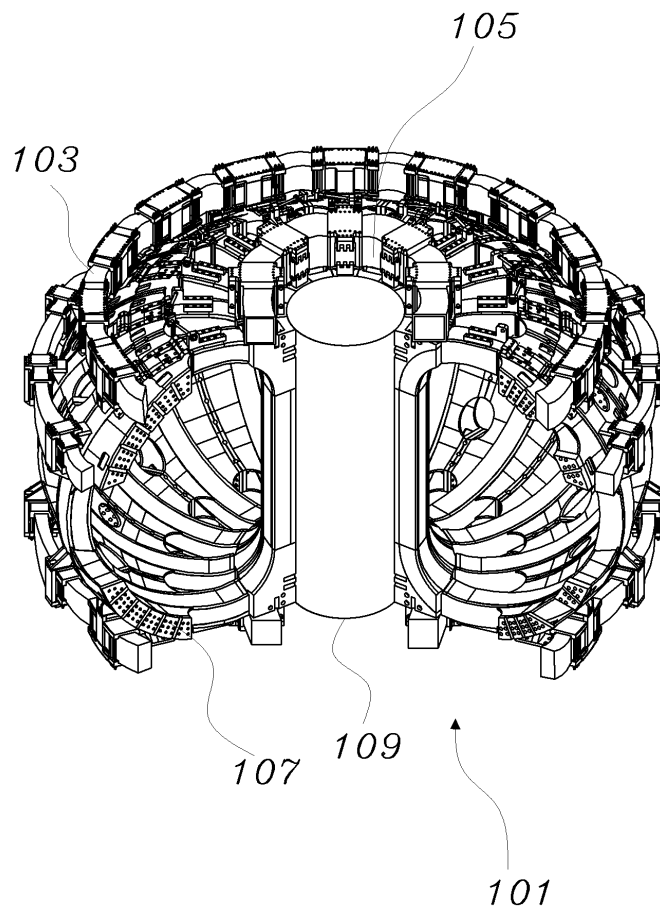
<56> 따라서, 본 발명의 플라즈마 제어코일은 토카막내의 플라즈마를 제어하기 위한 위치제어와 자장보상을 동시에 수행할 수 있다. 또한, 토카막 내부로는 연결부위가 필요 없이 외부의 포트를 통해 연결하므로 안정적인 구조를 갖으며 토카막내의 설치 및 제작이 용이한 효과를 제공한다.

도면의 간단한 설명

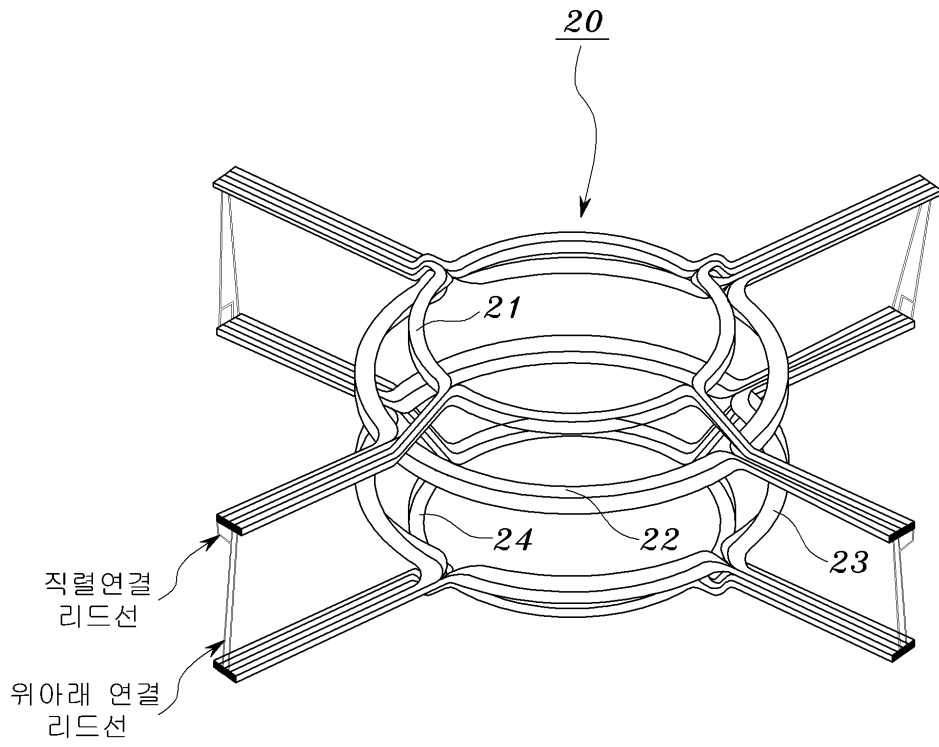
- <1> 도 1은 일반적인 토카막장치의 코일의 조립상태를 보여주는 도면,
- <2> 도 2는 본 발명에 따른 플라즈마 제어코일의 전체구성도,
- <3> 도 3은 본 발명에 따른 플라즈마 제어코일의 설치상태도,
- <4> 도 4는 본 발명에 따른 플라즈마 제어코일의 분리사시도,
- <5> 도 5a는 본 발명에 따른 최상부코일의 조립상태도,
- <6> 도 5b는 본 발명에 따른 최상부코일의 분리사시도.
- <7> * 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명
- <8> 20 : 플라즈마 제어코일
- <9> 21 : 최상부코일 22 : 상부코일
- <10> 23 : 하부코일 24 : 최하부코일
- <11> 21A, 21B, 21C, 21D : 제 1 내지 제 4세그먼트

도면

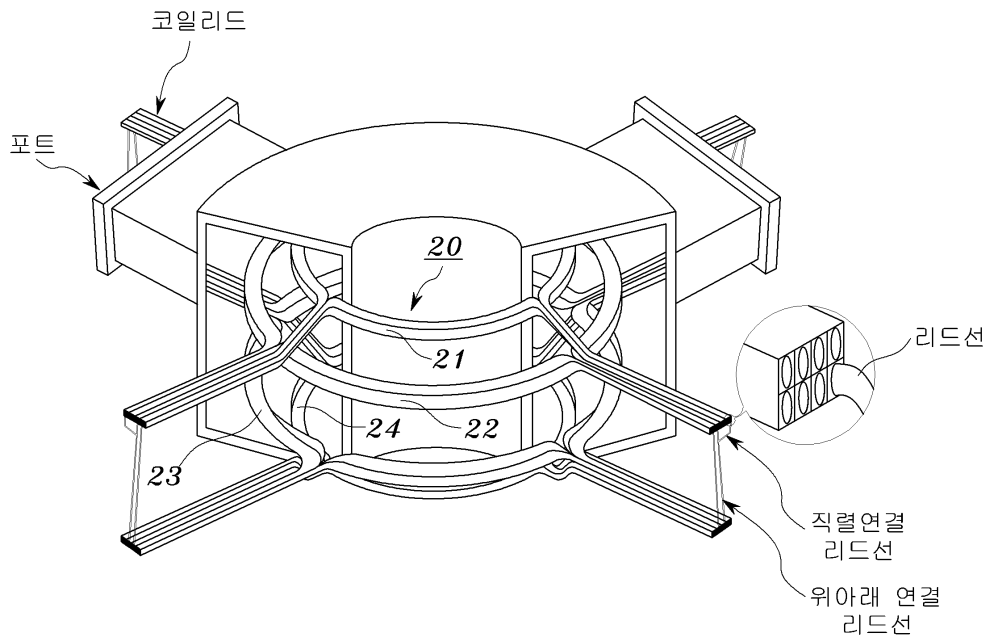
도면1



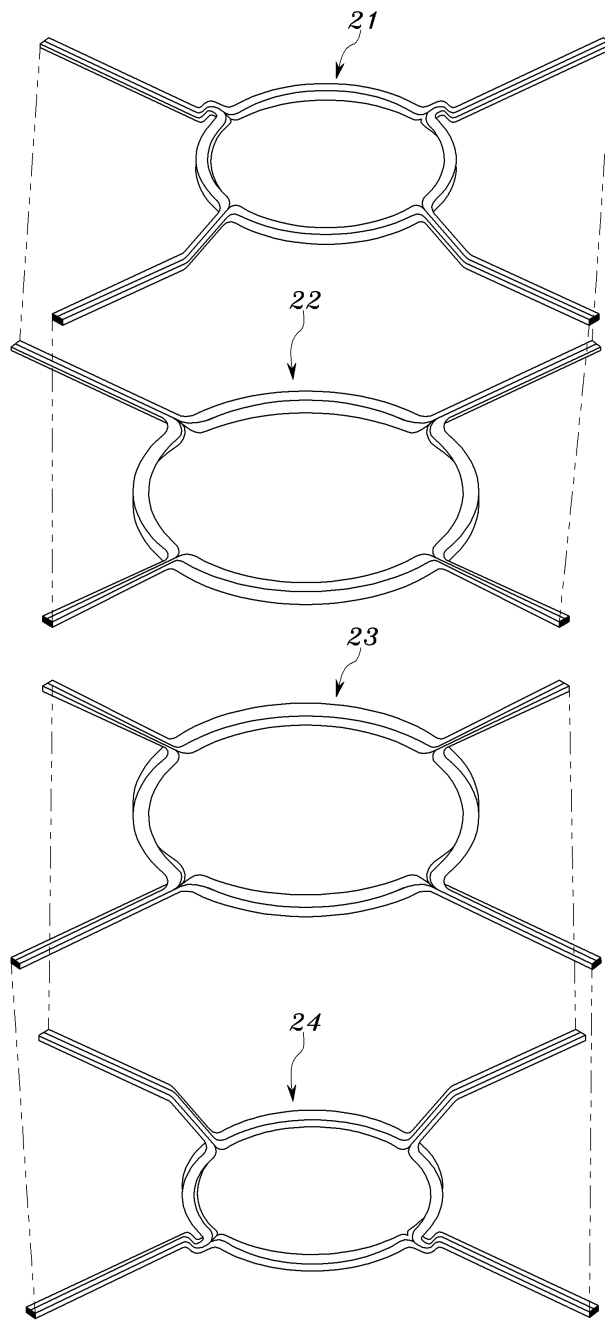
도면2



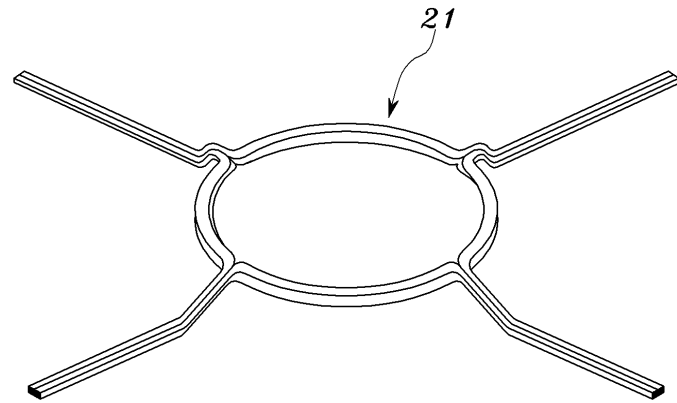
도면3



도면4



도면5a



도면5b

