



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. H01F 6/06 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년02월15일 10-0683132 2007년02월08일
--	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자	10-2005-0091515 2005년09월29일 2005년09월29일	(65) 공개번호 (43) 공개일자
----------------------------------	---	------------------------

(73) 특허권자 한국기초과학지원연구원
 대전광역시 유성구 어은동 52번지

(72) 발명자 박갑래
 대전 유성구 신성동 148-7번지 동호 303호

 김광표
 대전 서구 탄방동 산호아파트 106-1005

 김정수
 대전 서구 만년동 상록수아파트 105-1202

 정우호
 대전 유성구 전민동 세종아파트 111동 507호

 김기만
 대전 서구 삼천동 가람아파트 1-301

(74) 대리인 공인복

(56) 선행기술조사문헌 JP01264112 A US4157023 A US5681131 A	KR1020020050778 A US4243345 A
---	----------------------------------

* 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 이학왕

전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 관내연선도체의 권선장치 및 그 권선방법

(57) 요약

본 발명은 관내연선도체의 권선장치 및 그 권선방법에 관한 것으로, 스펴의 단면형상으로 고정된 관내연선도체를 직선변형한 후 사용자가 원하는 형상으로 성형하고 성형된 관내연선도체를 일정하게 권취 고정함으로써, 관내연선도체가 전체적으로 균일한 형상으로 성형되도록 하는 데 목적이 있다. 이를 위해 관내연선도체의 권선장치는, 스펴에 감긴 관내연선도체

가 공급되면서 연속적으로 벤딩 및 권취되어 일정한 형상의 초전도 자석코일을 제작하는 권선장치에 있어서, 상기 스펴로부터 관내연선도체를 인출하여 공급하는 공급롤러부(30);와 상기 관내연선도체를 직선형으로 변형하는 직선변형롤러부(40);와 상기 관내연선도체를 이송시키면서 일정한 형상으로 벤딩하는 벤딩롤러부(70); 와 상기 관내연선도체를 권취하여 고정하는 권취부(80)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

대표도

도 2

특허청구의 범위

청구항 1.

스플에 감긴 관내연선도체가 공급되면서 연속적으로 벤딩 및 권취되어 일정한 형상의 초전도 자석코일을 제작하는 권선장치에 있어서,

상기 스펴로부터 관내연선도체를 인출하여 공급하는 공급롤러부(30);

상기 관내연선도체를 직선형으로 변형하는 직선변형롤러부(40);

상기 관내연선도체를 이송시키면서 일정한 형상으로 벤딩하는 벤딩롤러부(70); 및

상기 관내연선도체를 권취하여 고정하는 권취부(80)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치.

청구항 2.

제 1항에 있어서,

상기 공급롤러부(30)의 전 및 상기 직선변형롤러부(40)와 벤딩롤러부(70) 사이에는 제1,2가이드롤러부가 설치되어 관내연선도체가 용이하게 이송되는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치.

청구항 3.

제 1항에 있어서,

상기 벤딩롤러부(70)는 상기 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하는 지지롤러(71)와, 일방향으로 이동하여 상기 관내연선도체를 벤딩하는 벤딩롤러(72)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치.

청구항 4.

제 1항에 있어서,

상기 직선변형롤러부(40)와 벤딩롤러부(70)에는 상기 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하면서 이송력을 제공하는 제 1,2이송롤러가 설치되는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치.

청구항 5.

제 3항 또는 제 4항에 있어서,

상기 벤딩롤러부(70)의 지지롤러(71)와 벤딩롤러(72) 및 상기 제1,2이송롤러는 스틸강을 침탄 열처리하여 표면경도가 60-62인 재질로 이루어져 상기 관내연선도체와의 지속적인 마찰에 의한 마모가 최소화되는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치.

청구항 6.

제 1항에 있어서,

상기 직선변형롤러부의 다음에는 블라스터(51)가 설치되어 관내연선도체의 오염물질을 제거하는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치.

청구항 7.

스풀에 감긴 관내연선도체가 공급되면서 연속적으로 벤딩 및 권취되어 일정한 형상의 초전도 자석코일을 제작하는 권선방법에 있어서,

상기 스펴로부터 관내연선도체를 인출하여 공급하는 공급단계;

상기 관내연선도체를 직선형으로 변형하는 직선변형단계;

상기 관내연선도체를 이송시키면서 일정한 형상으로 벤딩하는 벤딩단계; 및

상기 관내연선도체를 권취하여 고정하는 권취단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선방법.

청구항 8.

제 7항에 있어서,

상기 직선변형단계의 다음에 블라스팅을 하여 관내연선도체의 오염물질을 제거하는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선방법.

청구항 9.

제 7항에 있어서,

상기 벤딩롤러단계 전에 벤딩 후의 스프링백 데이터를 미리 분석하는 권선해석방법은,

관내연선도체를 3차원의 유한요소 쉘로 모델링하는 가상생산단계;

벤딩 전의 잔류응력이 최종 변형에 미치는 영향을 알아보기 위해 코일 속에 있는 잔류응력을 측정하는 잔류응력측정단계;

계산의 정확도를 검토하기 위하여 초전도체를 넣지 않은 프로토타입 코일을 제조하는 프로토타입의 코일제조단계; 및

프로토타입의 코일과 관내연선도체의 데이터 비교단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 관내연선도체를 일정한 형상으로 권선하는 권선장치 및 그 권선방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 스펴에 감긴 관내연선도체를 직선 변형시킨 후 일정한 형상으로 벤딩하여 권취하는 관내연선도체의 권선장치 및 그 권선방법에 관한 것이다.

현재까지 개발된 초전도자석은 지구자장의 26만배에 달하는 13테슬라의 자장을 얻을 수 있으며, 이러한 자장은 핵융합 반응에서 요구되는 플라즈마를 만들고 가두기 위해 필요한 것이다. 따라서 초전도자석의 핵심 기술은 '관내연선도체'(CICC:Cable-in Conduit-Conductor)라고 알려진 각각의 전선을 감아 코일을 형성하여 초전도자석을 제조함에 있다. 관내연선도체(CICC)는 35kA급의 대전류 운전을 위해서 360 또는 486가닥의 선재를 사각형의 금속관으로 둘러싸인 방식의 도체를 사용하여 자석을 제작하는 것으로, 초전도자석의 운전시 발생하는 열을 4.5K로 냉각하기 위해 약 5기압의 초임계 헬륨을 관내연선도체로 강제 순환시킨다.

도 1a 및 도 1b는 국내에서 제작되는 초전도자석을 일례로 나타낸 도면이다. 도 1a에 도시된 바와 같이 초전도자석(100:SC Magnet)은 고온의 플라즈마를 진공용기 벽에 닿지 않고 가두어두기 위한 것으로, 그 주요장치인 토카막장치(101)를 보유하고 있다. 상기 토카막장치(101)는 TF(Toroidal Field) 및 PF(Poloidal Field) 코일을 사용하여 플라즈마의 생성, 구속, 제어를 담당한다. 도 1b는 도 1a의 토카막장치(101)를 나타내며, TF(Toroidal Field)코일로 구성된 TF 구조물(107)과, CS(Central Solenoid)코일로 구성된 CS 구조물(109)과, PF(Poloidal Field)코일로 구성된 PF 구조물(103) 및 각 구조물을 연결하는 연결구조물(105)로 이루어진다.

상기 TF 구조물(107)로 내설되는 코일은 약 35kA의 직류전류로 운전되며, 상기 CS 구조물(109)의 코일과 PF 구조물(103)의 코일은 펄스운전을 하여 상호 자장변화에 의한 기전력을 진공용기 내부에 발생시켜 플라즈마를 생성하고 플라즈마 전류 및 TF 자장과 함께 플라즈마를 구속시키는 역할을 수행한다.

한편 과거 KSTAR CS 모델 코일 개발에서는, 국내에서 초전도 선재 및 도체 개발이 병행하여 동시에 수행되었기 때문에, 이태리의 EM-LMI 사의 ITER HP-1 선재와 도체가 사용되었다. 이태리의 EM-LMI 사의 CICC의 경우 112 가닥의 초전도 선재와 32 가닥의 구리 선재로 구성되어 있다.

케이블링(Cabling)순서는 3×3×4×4이었다. 자케팅(Jacketing) 재료는 Stainless Steel 316 LN으로, Stainless Steel 316 LN Tube를 Butt Orbital GTAW(GAS Tungsten Inert Gas Arc Welding)법으로 용접하여 400m 길이로 만든 다음, 144 가닥의 초전도 선재를 풀링(Pulling) 방식으로 삽입하고, 사각단면형태로 롤링(Rolling)하여 만든 것이다.

상기와 같이 제작된 관내연선도체는 스펴에 감긴 상태로 보관 및 운반되었다가 사용시 스펴에서 관내연선도체를 인출하여 일정한 형상의 초전도 자석코일로 성형하는 데, 관내연선도체가 스펴의 단면형상으로 보관되어 스펴의 단면형상을 유지하려는 잔류응력이 발생하여 다른 형상으로 성형하려면 보관상태의 잔류응력에 따른 성형 후의 스프링백 때문에 사용자가 원하는 형상으로 성형하기에 어려운 문제점이 있었다.

또한 사용자가 원하는 형상으로 성형한다고 하더라도 그 형상이 불규칙적이고 각 층의 형상과 전체의 형상이 일체로 정확하게 성형하기 어려운 문제점이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제는, 스펴의 단면형상으로 고정된 관내연선도체를 직선변형한 후 사용자가 원하는 형상으로 성형하고 성형된 관내연선도체를 일정하게 권취 고정함으로써, 관내연선도체가 전체적으로 균일한 형상으로 성형되도록 하는 관내연선도체의 권선장치 및 그 권선방법을 제공하는데 있다.

발명의 구성

상기의 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 관내연선도체의 권선장치는, 스펴에 감긴 관내연선도체가 공급되면서 연속적으로 벤딩 및 권취되어 일정한 형상의 초전도 자석코일을 제작하는 권선장치에 있어서, 상기 스펴로부터 관내연선도체를 인출하여 공급하는 공급롤러부(30);와 상기 관내연선도체를 직선형으로 변형하는 직선변형롤러부(40);와 상기 관내연선도체를 이송시키면서 일정한 형상으로 벤딩하는 벤딩롤러부(70); 와 상기 관내연선도체를 권취하여 고정하는 권취부(80)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

공급롤러부(30)의 전 및 상기 직선변형롤러부(40)와 벤딩롤러부(70) 사이에는 제1,2가이드롤러부가 설치되어 관내연선도체가 용이하게 이송되는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치를 제공한다.

벤딩롤러부(70)는 상기 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하는 지지롤러(71)와, 일방향으로 이동하여 상기 관내연선도체를 벤딩하는 벤딩롤러(72)를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치를 제공한다.

직선변형롤러부(40)와 벤딩롤러부(70)에는 상기 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하면서 이송력을 제공하는 제1,2이송롤러가 설치되는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치를 제공한다.

벤딩롤러부(70)의 지지롤러(71)와 벤딩롤러(72) 및 상기 제1,2이송롤러는 스틸강을 침탄 열처리하여 표면경도가 60-62인 재질로 이루어져 상기 관내연선도체와의 지속적인 마찰에 의한 마모가 최소화되는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치를 제공한다.

직선변형롤러부의 다음에는 블라스터(51)가 설치되어 관내연선도체의 오염물질을 제거하는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선장치를 제공한다.

한편 관내연선도체의 권선방법은, 스펴에 감긴 관내연선도체가 공급되면서 연속적으로 벤딩 및 권취되어 일정한 형상의 초전도 자석코일을 제작하는 권선방법에 있어서, 상기 스펴로부터 관내연선도체를 인출하여 공급하는 공급단계;와 상기 관내연선도체를 직선형으로 변형하는 직선변형단계;와 상기 관내연선도체를 이송시키면서 일정한 형상으로 벤딩하는 벤딩단계;와 상기 관내연선도체를 권취하여 고정하는 권취단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

직선변형단계의 다음에 블라스팅을 하여 관내연선도체의 오염물질을 제거하는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선방법을 제공한다.

벤딩롤러단계 전에 벤딩 후의 스프링백 데이터를 미리 분석하는 권선해석방법은, 관내연선도체를 3차원의 유한요소 쉘로 모델링하는 가상생산단계;와 벤딩 전의 잔류응력이 최종 변형에 미치는 영향을 알아보기 위해 코일 속에 있는 잔류응력을 측정하는 잔류응력측정단계;와 계산의 정확도를 검토하기 위하여 초전도체를 넣지 않은 프로토타입 코일을 제조하는 프로토타입의 코일제조단계;와 프로토타입의 코일과 관내연선도체의 데이터 비교단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 관내연선도체의 권선방법을 제공한다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 예시도면을 참고하여 상세히 설명하고자 한다. 도 2는 본 발명에 따른 관내연선도체의 권선장치의 개략적인 구성상태도이다.

도 2에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 관내연선도체의 권선장치는 스펴에 감긴 관내연선도체(90)가 공급되면서 연속적으로 벤딩 및 권취되어 일정한 형상의 초전도 자석코일을 제작하는 권선장치이다.

본 발명에 따른 관내연선도체의 권선장치는 TF, PF 코일 등 KSTAR 초전도 자석코일을 성형하기 위해서 3-롤 벤딩에 의한 연속 권선방식을 채택하고, 10개의 servo-motor시스템으로 동작되는 각 축(A축, B축, C축, Y3축, Y2축, X2축, Y1축, X1축, Z1축 그리고 Z2축)으로 구성되어 각 축은 절대값으로 좌표 0.005mm 혹은 각도 0.005도 까지 위치제어가 가능하며, 5축까지 프로그래밍에 의한 동시 제어운전이 가능하도록 이루어진다.

10개의 축은 도 2에서 보는 바와 같이 2차원 평면상으로 움직이는 축이다. A축, B축, C축, Z1축 및 Z2축은 평면상 회전방향을 나타내고, X1축과 X2축은 도 2상 좌우방향을 나타내며, Y1축, Y2축 및 Y3축은 도 2상 상하방향을 나타낸다.

스플로부터 관내연선도체(90)를 인출하여 공급하는 공급롤러부(30)가 구비되고, 공급롤러부(30) 다음에는 직선변형롤러부(40)가 설치되어 공급된 관내연선도체(90)를 직선형으로 변형한다.

또한 직선변형롤러부(40) 다음에는 벤딩롤러부(70)가 설치되어 직선형으로 변형된 관내연선도체(90)를 이송시키면서 일정한 형상으로 벤딩하며, 벤딩롤러부(70) 다음에는 권취부(80)가 설치되어 벤딩된 관내연선도체(90)를 권취하여 고정한다.

관내연선도체가 감긴 스펀은 스펀테이블(11) 상의 중심에 설치되어 관내연선도체가 인출됨에 따라 관내연선도체의 인출방향(C축)으로 회전한다.

C축은 Y3축이동부(234) 위에 설치되어 벤딩롤러부(70)가 Y1축 방향으로 주행할 때 스펀도 함께 Y1축 방향으로 주행한다. 이때 스펀테이블(11)에 서보모터(도시 생략)가 연결된다.

스푼테이블(11)의 다음에는 제1가이드롤러부(20)가 설치되어 스펀에서 풀려나온 관내연선도체가 용이하게 안내되면서 공급롤러부(30)로 이송된다. 제1가이드롤러부(20)는 한 쌍 이상의 가이드롤러(24)로 구성되어 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지 안내한다.

제1가이드롤러부(20)의 다음에 설치되는 공급롤러부(30)는 한 쌍 이상의 공급롤러(31)로 구성되고, 공급롤러(31)는 구동모터에 연결되어 강제로 관내연선도체를 공급한다.

공급롤러부(30) 다음에 설치되는 직선변형롤러부(40)는 스펀에서 공급롤러부(30)에 의해 풀려나온 관내연선도체를 직선화한다.

직선변형롤러부(40)에는 공급된 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하면서 이송력을 제공하는 제1이송롤러(43)가 설치된다. 제1이송롤러(43)는 구동모터(도시 생략)에 연결되어 강제로 관내연선도체를 이송한다.

여기서는 한 쌍의 제1이송롤러(43)가 설치되지만 그 수에는 제한이 없으며, 직선변형롤러부(40)에는 이송롤러(43) 외에도 가이드롤러(44)가 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하면서 관내연선도체의 이동경로를 안내한다.

Z1축은 제1이송롤러(43)의 회전방향을 나타내며 관내연선도체를 진행시키는 방향을 나타내고, Y3축은 Y3축이동부(234)의 이동방향을 나타낸다. Y3축이동부에는 스펀, 제1가이드롤러부(20), 공급롤러부(30) 그리고 직선변형롤러부(40)가 함께 설치된다. 이때 제1이송롤러(43)와 Y3축이동부(234)에 서보모터(도시 생략)가 각각 연결된다. 본 발명에서 Y3축이동부의 예와 같이 모터를 통해 부재를 직선운동시키는 방법은 통상적인 방법이므로 자세한 설명은 생략한다.

직선변형롤러부(40) 다음에는 블라스터(51)가 설치되어 관내연선도체 외측에 잔존하는 오염물질을 제거한다.

직선변형롤러부(40) 다음에는 제2가이드롤러부(60)가 설치되어 블라스터(51)를 통과한 관내연선도체의 진직도를 유지하면서 관내연선도체가 용이하게 벤딩롤러부(70)까지 이송한다. 제2가이드롤러부(60)는 한 쌍 이상의 가이드롤러(64)로 구성되어 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지 안내한다.

Y2축과 X2축은 제2가이드롤러부(60)의 이동방향을 나타낸다. 이때 제2가이드롤러부(60)에 서보모터(도시 생략) 2개가 층을 달리하여 각각 연결되어 상하좌우방향으로 이동된다.

제2가이드롤러부(60) 다음에 설치되는 벤딩롤러부(70)는 직선형으로 변형된 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하는 한 쌍의 지지롤러(71)와, 일방향으로 이동하여 상기 관내연선도체를 벤딩하는 벤딩롤러(72)를 포함하여 구성된다.

또한 벤딩롤러부(70)에는 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하면서 이송력을 제공하는 제2이송롤러(73)가 설치된다. 제2이송롤러(73)는 구동모터에 연결되어 강제로 관내연선도체를 이송한다. 벤딩롤러부(70)는 관내연선도체를 성형하는 롤러부로, 자석의 곡률변화에 따라서 CNC제어로 이동이 가능하다.

여기서는 한 쌍의 제2이송롤러(73)가 설치되지만 그 수에는 제한이 없으며, 벤딩롤러부(70)에는 이송롤러(73) 외에도 가이드롤러(74)가 관내연선도체의 폭방향 양측을 지지하면서 관내연선도체의 이동경로를 안내한다.

Z2축은 제2이송롤러(73)의 회전방향으로 관내연선도체의 진행방향을 나타내고, Y1축과 X1축은 벤딩롤러부(70)의 이동방향을 나타내며, A축은 벤딩롤러(72)의 이동방향을 나타낸다. 이때 제2이송롤러(73)와 벤딩롤러(72)에 서보모터(도시 생략)가 각각 연결된다. 벤딩롤러부(70)에 서보모터(도시 생략) 2개가 층을 달리하여 각각 연결되어 상하좌우방향으로 이동된다. Y3축, Y2축 및 Y1축은 도 2상 상하방향으로 이동방향이 동일하여 이동시 함께 이동됨이 바람직하다.

벤딩롤러부(70)의 다음에 설치되는 권취부(80)는 벤딩롤러부(70)에 의해 성형된 관내연선도체를 감으면서 형상이 유지되도록 고정하는 권취턴테이블(81)을 구성한다. 권취턴테이블(81)은 TF, PF 등 자석코일의 종류에 따라서 다르게 형성되는데, 도 2에서는 D형 TF 코일을 그 일례로 나타내었다. B축은 권취턴테이블(81)의 권취를 위한 회전방향을 나타낸다. 이때 권취턴테이블(81)에 서보모터(도시 생략)가 연결된다.

상기 설명된 롤러들은 초전도 관내연선도체(CICC)의 자케팅 재질인 SUS304, SUS316L, 그리고 Incoloy908 재질과의 계속적인 마찰에도 그 표면마모가 최소화 되도록 기본적으로 스틸강을 RF열처리하여 표면경도(HRC) 45이상의 재질로 이루어지며, 특히 제1,2이송롤러 및 벤딩롤러부(70)의 지지롤러(71)와 벤딩롤러(72)는 SCM415강을 침탄 열처리하여 표면경도(HRC)가 60-62의 재질로 이루어진다.

상기와 같이 이루어진 본 발명에 따른 관내연선도체의 권선방법을 살펴보면 다음과 같다.

관내연선도체의 권선방법은 스펴에 감긴 관내연선도체가 공급되면서 연속적으로 벤딩 및 권취되어 일정한 형상의 초전도 자석코일을 제작하는 방법이다.

관내연선도체의 권선방법은, 우선 처음단계는 관내연선도체의 공급단계로, 스펴로부터 관내연선도체를 인출하여 공급하는 단계이다.

스�펴을 받치고 있는 스펴턴테이블(11)이 C축으로 회전하면서 스펴에 감긴 관내연선도체가 풀린다. 풀리는 관내연선도체는 제1가이드롤러부(20)의 안내를 받으면서 공급롤러부(30)의 공급롤러(31)에 의해 강제로 인출되어 다음 단계로 공급된다.

다음 단계는 관내연선도체의 직선변형단계로, 공급된 관내연선도체를 직선형으로 변형하는 단계이다.

공급롤러부(30)에 의해 공급된 관내연선도체는 직선변형롤러부(40)의 제1이송롤러(43)에 의해 강제 이송되면서 가이드롤러에 의해 직선형으로 변형되고, 직선변형롤러부(40)는 직선형으로 변형하기 위해 CNC제어를 통해 Y2축으로 이동한다. 제1이송롤러(43)는 Z1축으로 회전하여 관내연선도체를 강제 이송한다.

이때 관내연선도체는 (-)직선화, 초전도자석 권선곡률의 반대방향의 곡률을 갖도록 직선화 공정이 이루어진다. 그 이유는 본 발명의 권선장치의 3-롤 벤딩시스템인 벤딩롤러부(70)는 항상 (+)방향으로만 곡률형성이 가능하도록 설치되어있기 때문이다. 벤딩을 진행하기 전 최종 진직도를 0.5mm/m정도 까지 맞춘다.

직선변형단계의 다음에 관내연선도체가 블라스터(51)를 통과하게 함으로써 블라스팅을 하여 관내연선도체의 오염물질을 제거하고, 관내연선도체 표면에 다량의 모래 등을 통한 미세한 압입작용을 통해서 관내연선도체의 조관시 발생하는 잔류응력을 완화시키며, 관내연선도체 표면에 밀착되게 절연 테이핑 및 그라운드 랩핑을 실시하는 데 도움을 준다.

블라스팅을 한 관내연선도체는 제2가이드롤러부(60)의 가이드롤러에 의해 안내되어 벤딩롤러부(70)로 이송된다. 이때 제2가이드롤러부(60)는 직선상태를 유지하면서 안내되도록 CNC제어에 의해 X2축과 Y2축으로 이동된다.

다음 단계는 관내연선도체의 벤딩단계로, 제2가이드롤러부(60)에 의해 안내된 관내연선도체를 이송시키면서 일정한 형상으로 벤딩하는 단계이다.

벤딩롤러부(70)에 공급되는 관내연선도체는 가이드롤러로 공급되어 안내된 다음 제2이송롤러(73)에 의해 Z2축으로 강제 이송된다.

이송된 관내연선도체는 한 쌍의 지지롤러(71)에 의해 지지되면서 벤딩롤러(72)에 의해 일정한 형상(도 3의 경우 D형 TF 코일)으로 벤딩된다.

이때 벤딩롤러(72)는 A축으로 이동되면서 관내연선도체를 벤딩하며, 벤딩롤러부(70)는 벤딩롤러(72)와 함께 관내연선도체가 일정한 형상으로 벤딩되도록 Y1축과 X1축으로 이동된다. 여기서 벤딩롤러부(70)가 Y1축 방향으로 주행할 때 스프링도 Y3축에 따라 Y1축 방향으로 주행한다.

D형의 TF 코일과 같은 일정한 형상의 자석코일 권선시에는 벤딩롤러부(70)가 자석코일 형상의 궤적을 따라서 움직이면서 동시에 곡률을 형성해야 한다. 이를 위하여 본 발명의 권선장치는 벤딩롤러부(70)가 X축, Y축의 방향으로 프로그램 주행이 가능하도록 설계되어 있어 어떠한 모양의 자석권선도 가능하다.

다음 단계는 관내연선도체의 권취단계로, 벤딩된 관내연선도체를 일정한 형상으로 권취하여 고정하는 단계이다. 이때 권취테이블(81)은 CNC제어에 의해 B축으로 회전되면서 관내연선도체를 권취한다.

한편 3-롤 벤딩롤러(한 쌍의 지지롤러(71)와 벤딩롤러)에 의해 정확한 치수의 일정한 형상으로 자석코일을 제작(벤딩)하려면, 성형시 관내연선도체의 벤딩 후 스프링백량을 정확하게 예측하고 곡률변화에 따라서 이를 연속적으로 보정하면서 성형을 해야 한다.

따라서 권선을 하기 전에 스프링백을 고려하여 벤딩롤러(72)의 이송량과 곡률과의 관계에 대한 데이터를 획득할 필요가 있으며, 여기서는 해석에 의한 방법을 언급하고자 한다.

벤딩롤러단계 전에 벤딩 후의 스프링백 데이터를 미리 분석하는 권선해석방법은, 가상생산단계(S10), 잔류응력측정단계(S20), 프로토타입의 코일제조단계(S30) 및 프로토타입의 코일과 스프링백의 데이터비교단계(S40)로 이루어진다.

관내연선도체에서 정확한 치수의 형상을 얻기 위해서는 시행착오적 조작이 불가피하다. 이러한 어려움을 극복하기 위하여 가상생산(virtual manufacturing)기법을 활용하였다.

가상생산단계(S10)는 컴퓨터를 활용하여 최종 제품의 응력해석이나 변형도 해석뿐만 아니라, 제작공정 자체를 시뮬레이션 하는 방법을 일컫는다. 통상의 가상생산은 비선형 유한요소해석을 활용하여 제조성, 최종 제품의 형상, 잔류응력, 및 제품수명을 고려한 최적화를 수행할 수 있다.

본 발명에서는 상용 비선형 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 활용하여 관내연선도체의 3-롤 벤딩공정을 시뮬레이션함으로써 관내연선도체를 최소한의 노력으로 정확히 제조하기 위한 데이터를 얻고자 한다.

우선, 성형 후 스프링 백이 일어난 후의 코일 반경을 벤딩롤러의 함수로 표시함으로써 실제 생산시 성형 제어에 필요한 데이터를 얻고자 하였으며, 추가적으로, 첫 번째 회전(turn)과 곡률이 가장 큰 경우에 있어서 관내연선도체의 단면적 변화를 조사함으로써 초전도체 다발(strand)이 충분한 공간을 확보할 수 있는지도 알아보았다. 만일 단면적이 너무 감소하면 초전도체 다발이 관내연선도체 내에서 성형 도중에 손상을 입을 가능성이 높다. 설계 사양에는 단면적의 감소가 1.5% 이내를 유지하도록 규정되어있다.

관내연선도체에서 SAGBO(Stress Accelerated Grain Boundary Oxidation)가 발생할지의 여부를 알기 위해서 코일에 분포된 von Mises 응력을 관측하였다. SAGBO는 작동 온도가 550C~800C일 때, 인장응력이 200 MPa를 초과할 때, 그리고 산소압력이 10-5 torr (at 1 atm, 0.14 ppm)이 넘을 때 등, 이 세가지 조건이 동시에 만족될 때 발생한다.

가장 작은 곡률반경을 갖는 CS코일을 모델링하였다. 도 3은 3-롤 벤딩공정의 개요를 나타낸다. 구동 롤러가 관내연선도체를 밀면 성형 방향으로 관내연선도체 소재가 진행된다. 벤딩롤러(72)를 이용하여 관내연선도체가 일정한 곡률반경을 가지도록 성형한다. 토크막 장치에는 곡률반경이 431mm인 CS 코일로부터 3,850mm인 PF 코일까지 다양한 크기의 코일이 장착된다. 벤딩롤러(72)의 하향이동거리 대 스프링백 이후의 관내연선도체의 최종반경을 관측하였다. 성형 후 관내연선도체의 반경을 벤딩 롤 이동거리의 함수로 표시하였다. 공정의 경계조건과 표면조건에 대한 개략도를 도 4에 표시하였다.

가상생산을 수행하기 위한 엔진으로써 상용 비선형 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS, Compaq-Digital workstation 433AU 그리고 SGI Origin 2000을 사용하였다. 계산시간을 줄이기 위하여 코일의 길이 방향으로 1/2만 모델링하였다. 셸(Shell) 요소를 사용하여 벤딩에 의한 전단변형율을 포함할 수 있게 했다. 따라서 S4R요소로 관내연선도체를 3차원적으로 모델링하였다. 3차원 모델링된 형상을 도 5에 나타내었다. 코일 벽의 두께 방향으로 5개의 적분점을 할당하였다. 롤러들은 RIGID SURFACE 옵션을 이용하여 강체 표면으로 정의하였다. 마찰은 오직 관내연선도체와 구동롤러 사이에만 존재하는 것으로 가정하였다. 스프링 백 후에 관내연선도체의 세 지점에서 응력을 관측하였다. 여기서 관측된 수치들은 2차원 CAD

프로그램인 Intelli-CAD에 입력하여 가상생산된 관내연선도체의 반경을 자동적으로 계산하고 이를 벤딩 롤러 대 관내연선도체 반경의 관계로 맞추었다. 최소반경을 갖는 관내연선도체의 스프링 백 후 단면과 잔류응력도 조사하였다. 계산에는 Incoloy 908과 SUS 304의 두 가지 재료가 사용되었다. 이들의 기계적 성질을 표 1에 나타내었다.

표 1. SUS 304(measured)과 Incoloy 908의 기계적 성질

Symbol	SUS 304	Incoloy 908
Elastic Modulus	195 GPa	180 GPa
Poissons Ratio	0.3	0.3
Yield Stress	321 MPa	848 MPa
Effective Stress-Strain	$\sigma=1525.5(0.03978+\epsilon^p)^{0.483}$	$\sigma=1848.3(0.00334+\epsilon^p)^{0.137}$

다음 단계는 잔류응력측정단계(S20)로, 벤딩 전의 잔류응력이 최종 변형거동에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 코일 속에 있는 잔류응력을 측정하는 단계이다.

초전도체 다발을 자케팅하는 과정과 성형(벤딩) 전 운반된 코일을 직선변형하는 과정에서 발생하는 잔류응력이 최종 변형 거동에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 코일 속에 있는 잔류응력을 측정하였다.

코일에 내재된 잔류응력을 측정하기 위하여 응력완화를 이용한 구멍뚫기(hole-drilling) 스트레인 게이지 방법을 사용하였다. 사용된 스트레인 게이지는 Tokyo Kenkyujo FRS-3-11이었다. 초전도체 다발이 없는 빈 관내연선도체를 적당한 크기로 잘랐다. 이 때 가장자리와 끝단 효과를 최소화하기 위하여 구멍으로부터 양단의 각각 길이가 구멍직경의 10배 이상이 되어야 함을 고려하였다. 스트레인 게이지는 심(seam) 용접된 부분과 그 반대편 그리고 양쪽 벽 부분의 네 지점에 부착하였다.

다음 단계는 프로토타입의 코일제조단계(S30)로, 성형 후의 코일 반경의 계산결과와 비교하여 계산의 정확도를 검토하기 위하여 초전도체를 넣지 않은 프로토타입 코일을 제조하는 단계이다.

계산의 정확도를 검토하며 본격적인 생산에 필요한 데이터를 얻기 위하여 프로토타입 CS 코일을 제조하였다. 이를 위하여 CNC제어가 가능한 3롤-벤딩롤러부(70)를 사용하였다. 초전도체 다발을 넣지 않은 스테인리스강 관내연선도체를 소재로 사용하였다. 특수하게 설계된 장치를 이용하여 성형 후 반경을 측정하였다.

다음 단계는 프로토타입의 코일과 관내연선도체의 데이터 비교단계(S40)로, 프로토타입으로 제조된 코일과 관내연선도체의 스프링백 데이터를 비교하여 결론을 내리는 단계이다.

본 발명의 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 상기의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

이상, 본 발명의 원리를 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 그와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용으로 한정되는 것이 아니다. 오히려, 첨부된 청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

발명의 효과

이상 설명한 바와 같이 본 발명의 관내연선도체의 권선장치 및 그 권선방법은 스펴의 단면형상으로 고정된 관내연선도체를 인출하여 직선변형한 후 사용자가 원하는 형상으로 성형하고 성형된 관내연선도체를 일정하게 권취 고정함으로써, 관내연선도체가 전체적으로 균일한 형상으로 성형되도록 할 수 있다.

또한 관내연선도체를 벤딩하기 전에 벤딩 전의 잔류응력을 미리 해석함으로써, 관내연선도체를 벤딩한 후에 발생하는 스프링백을 고려하여 스프링백 데이터를 벤딩 중에 반영하여 최종적인 초전도 자석코일을 설계 사양대로 보다 정확히 제작할 수 있는 효과를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1a 및 도 1b는 토카막장치의 각 구조물을 나타내는 구성상태도.

도 2는 본 발명에 따른 관내연선도체의 권선장치의 개략적인 구성상태도.

도 3은 본 발명에 따른 관내연선도체의 권선방법 중 응력해석에 있어서 3-롤 벤딩단계의 개요도.

도 4는 본 발명에 따른 관내연선도체의 권선방법 중 응력해석에 있어서 벤딩단계의 경계조건과 표면조건에 대한 개략도.

도 5는 본 발명에 따른 관내연선도체의 권선방법 중 응력해석에 있어서 관내연선도체의 3차원적 모델링상태도.

* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 *

11 : 스펙터테이블 20,60 : 제1,2가이드롤러부

24,44,64,74 : 가이드롤러 30 : 공급롤러부

31 : 공급롤러 40 : 직선변형롤러부

43,73 : 제1,2이송롤러 51 : 블라스터

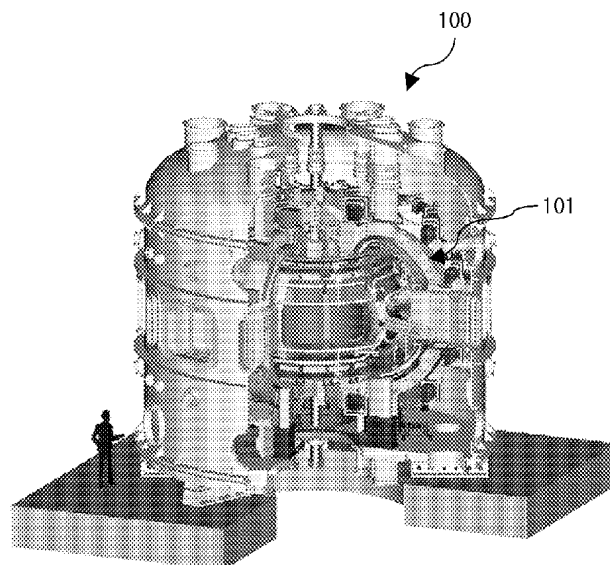
70 : 벤딩롤러부 71 : 지지롤러

72 : 벤딩롤러 80 : 권취부

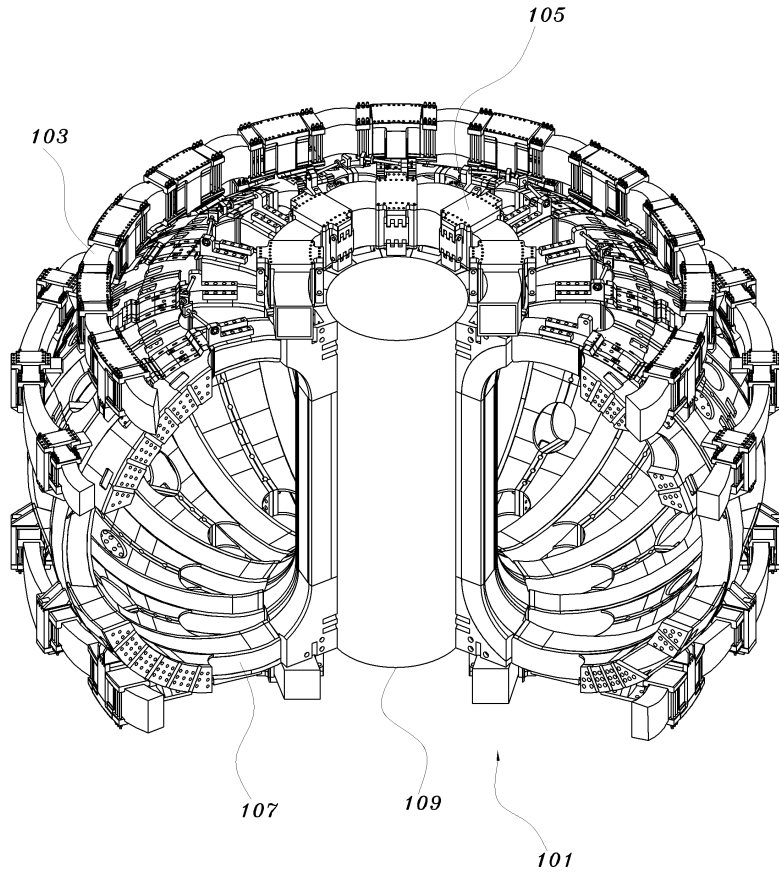
81 : 권취테이블 90 : 관내연선도체

도면

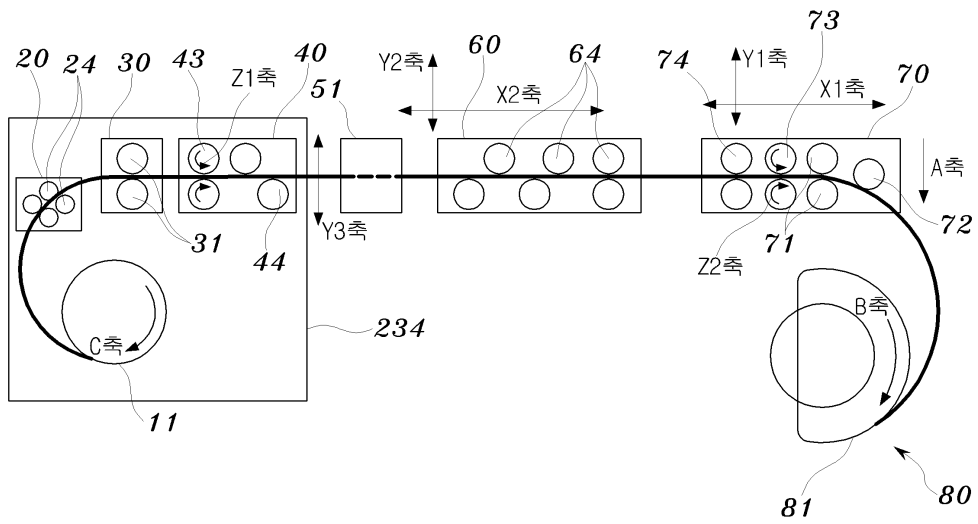
도면1a



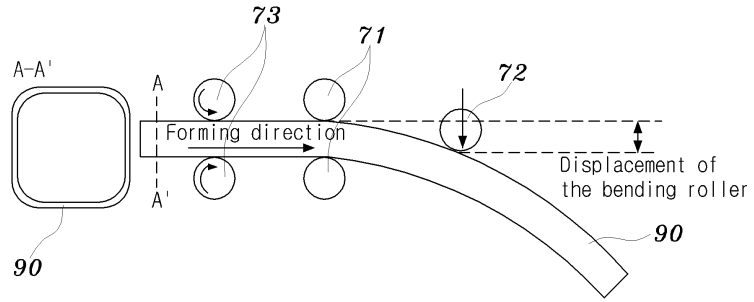
도면1b



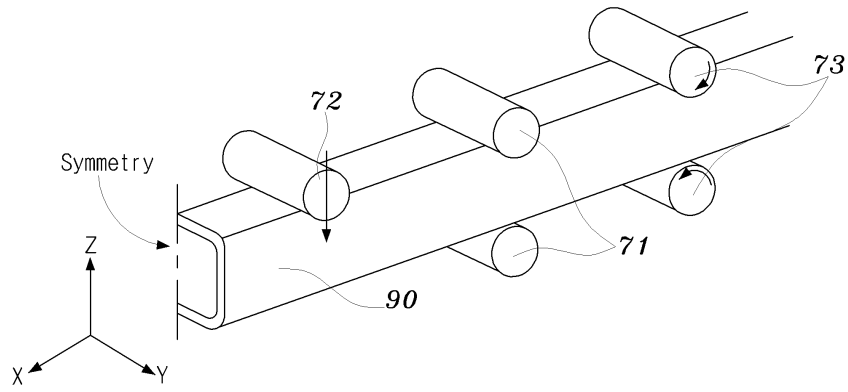
도면2



도면3



도면4



도면5

