



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. H01B 12/16 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년06월27일 10-0732064 2007년06월19일
---	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자	10-2005-0123701 2005년12월15일 2005년12월15일	(65) 공개번호 (43) 공개일자	10-2007-0063684 2007년06월20일
----------------------------------	---	------------------------	--------------------------------

(73) 특허권자                    한국기초과학지원연구원  
                                      대전광역시 유성구 어은동 52번지

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

                                      우인식  
                                      대전 중구 목동 금호한사랑아파트 104동 1307호

                                      임병수  
                                      대전 유성구 전민동 엑스포아파트 401-701

                                      박주식  
                                      대전 유성구 전민동 296-2 윤빌라 202호

                                      김명규  
                                      대전 유성구 전민동 엑스포아파트 405-203

(74) 대리인                        공인복

(56) 선행기술조사문헌 US20050135531 A1 US4267488 A	US4110595 A US4292568 A
--	----------------------------

심사관 : 최남호

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 진공열처리장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 진공열처리장치 및 그 방법에 관한 것으로, 초전도 코일이 극저온에서 초전도성질을 가지기 위하여 권선된 코일을 진공열처리장치의 내부에 설치한 후 660℃의 온도로 30일간의 반응처리를 온도 균일도를 유지하고, 관내연선도체의 관에 크랙이 발생되지 않도록 산소농도 0.08 ppm 이하의 내부 진공도를 유지하는 데 목적이 있다. 이를 위한 진공열처리 장치는, 핵융합로에 사용되는 관내연선도체의 열처리를 통한 초전도화 과정에서 진공도를 조절하여 관내연선도체의 크랙 발생을 방지하는 진공열처리장치에 있어서, 초전도 자석의 코일을 수용하는 진공챔버와, 상기 진공챔버의 상하부에 개폐

되는 상하부커버를 포함하여 구성된 열처리챔버;와 상기 열처리챔버 내부를 진공으로 만드는 진공펌프부;와 상기 열처리 챔버 내부에 설치되어 온도를 각각 독립적으로 제어하도록 하나 이상의 열선셋트가 포함된 온도제어부;와 진공챔버 내에 설치되는 초전도자석 코일내부에 초순수(99.9995%) 아르곤 가스를 연속적으로 흘려주어 아르곤에 포함된 산소 및 수분의 농도가 일정수준 이하로 유지 되도록 구성된 가스 퍼지부;와 열처리챔버에서 수집된 정보 중 열처리온도, 진공도, 가스의 농도, 잔여가스분석기, 수온을 모니터링하는 운전 제어 및 모니터링부가 포함되는 것을 특징으로 한다.

**대표도**

도 8

**특허청구의 범위**

**청구항 1.**

핵융합로에 사용되는 관내연선도체의 열처리를 통한 초전도화 과정에서 진공도를 조절하여 관내연선도체의 크랙발생을 방지하는 진공열처리장치에 있어서,

초전도 자석의 코일을 수용하는 진공챔버와, 상기 진공챔버의 상하부에 개폐되는 상하부커버를 포함하여 구성된 열처리 챔버;

상기 열처리챔버 내부를 진공으로 만드는 진공펌프부;

상기 열처리챔버 내부에 설치되어 온도를 각각 독립적으로 제어하도록 하나 이상의 열선셋트가 포함된 온도제어부;

진공챔버 내에 설치되는 초전도자석 코일내부에 초순수(99.9995%) 아르곤 가스를 연속적으로 흘려주어 아르곤에 포함된 산소 및 수분의 농도가 일정수준 이하로 유지 되도록 구성된 가스퍼지부; 및

열처리챔버에서 수집된 정보 중 열처리온도, 진공도, 가스의 농도, 잔여가스분석기, 수온을 모니터링하는 운전 제어 및 모니터링부가 포함되는 것을 특징으로 하는 진공열처리장치.

**청구항 2.**

제 1항에 있어서, 상기 운전 제어 및 모니터링부는 수집된 신호가 PLC에 통합되어 운전되고, 이러한 운전 정보는 통신을 통하여 PC에서 수집 후 인터넷으로 운전자에게 제공되는 것을 특징으로 하는 진공열처리장치.

**청구항 3.**

열처리장치의 진공챔버 내에 자석을 배치하고, 자석의 주위에 열전대를 설치하며 가스퍼지부의 배관과 자석의 헬륨피드스 루를 연결하는 초전도자석설치단계;

열처리챔버 내부의 진공이 일정수준의 진공도에 도달하게 되면 메인 밸브를 열어서 진공배기 하는 진공배기단계;

열처리챔버 내부의 진공도가  $5 \times 10^{-5}$  torr 이하로 유지되면, 열처리를 시작하되 온도 상승속도는 6℃/hr이며, 460℃에서 1차가열하고, 570℃에서 2차가열하고, 660℃에서 3차가열하는 열선가동단계; 및

가열상황을 모니터링하는 진행상황모니터링단계를 포함하는 진공열처리방법.

**청구항 4.**

제 3항에 있어서, 상기 1차 가열은 100 시간, 2차 가열은 200시간, 3차 가열은 240 시간 동안 가열하는 것을 특징으로 하는 진공열처리방법.

**청구항 5.**

제 3항에 있어서, 상기 초전도자석설치단계에서 열처리챔버 내에 설치되는 초전도자석 코일의 누설을 시험하고, 진공배기 단계에서 열처리챔버의 누설을 시험하는 것을 특징으로 하는 진공열처리방법.

**청구항 6.**

제 3항에 있어서, 상기 진공배기단계에서 크라이오펌프의 가동 전에 크라이오펌프에 완전 재생 과정을 거쳐 가동을 준비하는 것을 특징으로 하는 진공열처리방법.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**발명의 목적**

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

본 발명은 초전도 코일이 극저온에서 초전도성질을 가지기 위하여 권선된 코일을 진공열처리장치의 내부에 설치한 후 반응처리를 일정온도로 온도균일도를 유지하고, 관내연선도체의 관에 크랙이 발생되지 않도록 일정한 산소농도의 내부진공도를 유지할 수 있는 진공열처리장치 및 그 방법에 관한 것이다.

핵융합로에 사용되는 초전도 코일인 TF 및 PF 코일의 제작에는, 극저온에서 초전도성질을 가지기 위하여 660℃의 온도로 30일간 진공 열처리장치에서 반응이 요구되는 Nb<sub>3</sub>Sn 초전도선재와 Incoloy908 재질의 자켓(jacket)으로 구성된 CICC (Cable in Conductor Conduit;관내연선도체) 초전도도체를 기본재료로 사용한다.

연속 권선기를 이용하여 CICC를 코일 형태로 권선하여 그 코일을 진공 열처리장치 내부에 설치하고 660℃의 온도로 30일간의 반응처리가 요구된다. 이때 요구되는 온도 균일도는 공간적으로 ±3℃이내이며, 시간적으로는 ±3℃이내이다. 또한, 자켓 재질의 특성 등을 고려할 때 내부 진공도는 산소분압을 기준으로 660℃ 고온상태에서 0.08 ppm이하를 유지하여야 한다. 이러한 온도와 산소분압의 조건은 Nb<sub>3</sub>Sn이 열처리 후 초전도화 되기 위한 조건이다.

한편 일반적으로 잔류응력이 200MPa 이상이고, 온도가 550℃이상에서 그리고 산소농도가 0.1 ppm이상인 조건에 니켈 합금인 Incoloy 908이 노출될 경우 응력발생으로 인한 크랙이 발생하는 현상인 SAGBO(Stress Acceleration caused by Grain Boundary Oxidation) 현상이 발생한다. SAGBO 현상은 재료의 구조적인 안정성을 해친다. 상기의 3가지 조건이 동시에 충족되었을 때 SAGBO 현상이 발생한다.

그러나 KSTAR 초전도자석의 열처리시에는 잔류응력 및 온도조건은 구조적으로 피할 수 없는 상황이다. 잔류응력 250 MPa 이상은 Incoloy 908의 조판시에 주어지는 조건이고, 660℃ 이상의 온도조건은 Nb<sub>3</sub>Sn을 초전도화하기 위한 열처리 조건이다.

따라서 Incoloy 908에 SAGBO현상이 발생되려면 잔류응력, 온도조건 및 산소농도의 조건이 동시에 충족되어야 하므로 산소농도의 조건을 SAGBO 현상의 발생조건에 충족되지 않도록 산소농도 0.1 ppm 미만의 진공도를 유지하도록 정밀하고 섬세한 제어가 요구된다.

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

따라서 본 발명에서 이루고자하는 기술적 과제는, 초전도 코일이 극저온에서 초전도성질을 가지기 위하여 권선된 코일을 진공열처리장치의 내부에 설치한 후 660℃의 온도로 30일간의 반응처리시 온도균일도를 유지하고, 관내연선도체의 관에 크랙이 발생되지 않도록 산소농도 0.08 ppm 이하의 내부 진공도를 유지할 수 있는 진공열처리장치 및 그 방법을 제공하는 데 있다.

### 발명의 구성

상기의 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명의 진공열처리장치는, 핵융합로에 사용되는 관내연선도체의 열처리를 통한 초전도화 과정에서 진공도를 조절하여 관내연선도체의 크랙발생을 방지하는 진공열처리장치에 있어서, 초전도 자석의 코일을 수용하는 진공챔버와, 상기 진공챔버의 상하부에 개폐되는 상하부커버를 포함하여 구성된 열처리챔버;와 상기 열처리챔버 내부를 진공으로 만드는 진공펌프부;와 상기 열처리챔버 내부에 설치되어 온도를 각각 독립적으로 제어하도록 하나 이상의 열선셋트가 포함된 온도제어부;와 진공챔버 내에 설치되는 초전도자석 코일내부에 초순수(99.9995%) 아르곤 가스를 연속적으로 흘려주어 아르곤에 포함된 산소 및 수분의 농도가 일정수준 이하로 유지 되도록 구성된 가스 퍼지부;와 열처리챔버에서 수집된 정보 중 열처리온도, 진공도, 가스의 농도, 잔여가스분석기, 수온을 모니터링하는 운전 제어 및 모니터링부가 포함되는 것을 특징으로 한다.

본 발명의 운전 제어 및 모니터링부는 수집된 신호가 PLC에 통합되어 운전되고, 이러한 운전 정보는 통신을 통하여 PC에서 수집 후 인터넷으로 운전자에게 제공되는 것을 특징으로 하는 진공열처리장치를 제공한다.

한편 본 발명의 진공열처리방법은, 열처리장치의 진공챔버 내에 자석을 배치하고, 자석의 주위에 열전대를 설치하며 가스 퍼지부의 배관과 자석의 헬륨피드쓰루를 연결하는 초전도자석설치단계;와 열처리챔버 내부의 진공이 일정수준의 진공도에 도달하게 되면 메인 밸브를 열어서 진공배기 하는 진공배기단계;와 열처리챔버 내부의 진공도가  $5 \times 10^{-5}$  torr 이하로 유지되면, 열처리를 시작하되 온도 상승속도는 6℃/hr이며, 460℃에서 1차가열하고, 570℃에서 2차가열하고, 660℃에서 3차가열하는 열선가동단계;와 가열상황을 모니터링하는 진행상황모니터링단계를 포함한다.

1차 가열은 100시간, 2차 가열은 200시간, 3차 가열은 240시간 동안 가열하는 것을 특징으로 하는 진공열처리방법을 제공한다.

초전도자석설치단계에서 열처리챔버 내에 설치되는 초전도자석 코일의 누설을 시험하고, 진공배기단계에서 열처리챔버의 누설을 시험하는 것을 특징으로 하는 진공열처리방법을 제공한다.

진공배기단계에서 크라이오펌프의 가동 전에 크라이오펌프에 완전 재생(full regeneration)과정을 거쳐 가동을 준비하는 것을 특징으로 하는 진공열처리방법을 제공한다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 예시도면을 참고하여 상세히 설명하고자 한다.

도 8에서 보는 바와 같이, 본 발명에 따른 진공열처리장치는 핵융합로에 사용되는 관내연선도체의 열처리를 통한 초전도화 과정에서 진공도를 조절하여 관내연선도체의 크랙발생을 방지하는 장치로써, 열처리챔버, 진공펌프부, 온도제어부, 가스퍼지부 그리고 운전제어 및 모니터링부로 이루어진다. 도 8은 진공열처리장치의 구성을 나타낸다.

도 1에서 보는 바와 같이 열처리챔버(10)는 초전도 자석의 코일을 수용하는 진공챔버(11)와, 진공챔버의 상하부에 개폐되는 상하부커버(12,13)를 포함하여 구성된다. 진공챔버, 상하부커버는 냉각수가 내재된다.

진공펌프부(20)는 열처리챔버 내부를 진공상태로 만든다. 진공펌프부는 러핑펌프(Roughing pump)부와 크라이오펌프(Cryopump)부로 이루어진다.

러핑펌프부는 피스톤펌프(21) 2대와 루트펌프(22) 1대로 이루어져 대기압에서  $1 \times 10^{-3}$  torr까지의 진공도(저진공)를 유지할 경우 사용된다. 피스톤펌프는 챔버를 진공배기 할 때 가장 먼저 가동하는 펌프로써 대량의 가스를 배기할 때 효과적이다. 루트펌프는 챔버의 진공도가 20 torr이하가 됐을 때 진공배기시간을 단축시키기 위해 가동하며 최대  $1 \times 10^{-3}$  torr까지 진공 배기할 수 있다.

크라이오펌프부는 4대의 크라이오펌프(23)로 이루어져  $1 \times 10^{-3}$  torr 이하의 진공도(고진공)를 유지할 경우 사용된다. 도 1은 진공열처리장치의 열처리챔버와 진공을 위한 펌프시스템을 보여주고 있다.

온도제어부(30)는 열처리챔버 내부에 설치되어 온도를 각각 독립적으로 제어하도록 하나 이상의 열선세트가 포함된다. 온도제어부는 열처리챔버 내부에 설치되어 있는 3 세트의 열선의 온도를 각각 독립적으로 제어할 수 있도록 구성된다.

열선에 공급되는 전원은 먼저 3상 380볼트의 전원이 PID온도조절기에 의해서 제어되는 SCR에서 조절된 후 변압기를 거쳐 열선에 적합한 전압으로 변환된다. 그런 다음 열선에 공급되어 충분한 열량을 낼 수 있도록 구성된다.

PID온도조절기는 각각 3 세트의 열선을 제어하고 있으며, 열전대를 통해서 열선의 온도를 입력받아서 PID제어를 통해서 SCR로 출력한다.

진공열처리로 내부의 온도 분포를 알기 위해 열전대(Thermo-couple)가 다량 설치된다. 이러한 열전대는 열처리로 내부의 고온의 온도를 측정할 수 있는 온도센서의 역할을 수행한다.

또한 내부의 온도를 원하는 온도로 유지하기 위해서는 열전대로 부터 신호를 받아 설정한 온도보다 온도가 낮으면 히터에 전류를 더 많이 인가해 온도를 올리고, 반대로 온도가 높으면 히터에 전류를 적게 인가하는 피드백 제어를 수행해야한다. 이러한 역할을 수행하는 제어기를 PID 온도조절기라고 한다. PID는 Proportional Integral & Differential 의 약자이며, 피드백 제어에 있어서는 가장 많이 사용하는 제어방식 중 하나이다.

SCR은 Silicon Controlled Rectifier의 약자이며, 앞서 PID 제어를 통해 히터의 전류를 늘렸다 줄였다함으로써 온도를 제어할 때, 전류를 늘였다 줄였다 하는 역할을 한다.

일례로 온도가 설정 값보다 낮다면(열전대로 판단) PID 온도제어기는 온도를 높여야 한다고 판단하여 SCR에 신호를 보내 전류가 더 많이 인가될 수 있도록 명령한다.

열선 및 챔버 내에 설치된 자석의 온도를 측정하기 위해서 열전대를 사용하고 있으며, 열처리장치의 가동온도 범위에서 가장 우수한 특성을 나타내는 K-type의 열전대를 사용하고 있다. 열선의 온도 측정 및 온도제어를 위해서 총 30개의 열전대가 사용 중이며, 내부에 설치되는 자석의 온도측정을 위해서 총 12개의 열전대를 사용하고 있다.

가스퍼지부(40)는 진공챔버 내에 설치되는 초전도자석 코일내부에 초순수(99.9995%) 아르곤 가스를 연속적으로 흘려주어 아르곤에 포함된 산소 및 수분의 농도가 일정수준 이하로 유지되도록 구성된다.

열처리챔버 내부에 설치되어 있는 초전도자석의 코일내부에 아르곤 가스를 연속적으로 흘려주는 것은 헬륨피드쓰루(Helium feed through)와 연결된 스웨이저락(swage lock)으로 흘려준다. 헬륨피드쓰루는 코일내부에 연결된 관이고, 스웨이저락은 외부로부터 아르곤 가스를 공급받는 배관과 헬륨피드쓰루를 연결시키는 연결수단이다.

KSTAR의 Nb<sub>3</sub>Sn 초전도자석의 CICC의 관재료는 Incoloy 908로써, 이 금속은 극저온에서 초전도체인 Nb<sub>3</sub>Sn가 가장 비슷한 열수축율과 강한 기계적인 강도를 나타내는 반면에 초전도자석 열처리시에 주의를 기울이지 않으면, 열처리후 SAGBO(Stress Acceleration caused by Grain Boundary Oxidation)현상에 의해서 구조적으로 결함을 나타내는 치명적인 단점을 보여주고 있다.

일반적으로 이러한 SAGBO 현상은 잔류응력이 200MPa 이상이고, 온도가 550℃이상에서 그리고 산소농도가 0.1 ppm이상인 조건에 Incoloy 908이 노출되어 있을 때 발생한다고 알려져 있는데, KSTAR 초전도자석의 열처리시에는 앞서의 두 조건 즉, 잔류응력 및 온도조건은 구조적으로 피할 수 없는 상황이므로 최후의 조건인 산소농도 조건을 만족시키도록 반드시 시스템을 구성하여야만 한다.

가스퍼지부는 챔버내에 설치되어 있는 초전도자석의 CICC내로 초순수(99.9995%) 아르곤 가스를 연속적으로 흘려주어 출구에서의 아르곤 가스에 포함된 산소 및 수분의 농도가 0.08 및 0.4ppm 이하로 유지되도록 구성된다.

도 2는 실제로 Incoloy 908에 SAGBO가 발생된 모습을 보여주고 있는데, 이 경우 660°C에서 진공도가  $5 \times 10^{-2}$  torr로 유지하여 50시간 동안 열처리한다. 도 3은 가스퍼지부의 flow diagram을 보여준다. 도 3에서 보여지는 것처럼 진공열처리 장치에서는 O<sub>2</sub>를 0.08 ppm 이하로, H<sub>2</sub>O를 0.4 ppm 이하를 목표치로 운전하고 있다.

운전제어 및 모니터링부(50)는 열처리챔버에서 수집된 정보 중 열처리온도, 진공도, 가스의 농도, 잔여가스분석기, 수온을 모니터링한다.

운전제어 및 모니터링부는 수집된 신호가 PLC에 통합되어 운전되고, 이러한 운전 정보는 통신을 통하여 PC에서 수집 후 인터넷으로 운전자에게 제공된다. 진공열처리장치는 열처리챔버, 진공펌프부, 온도제어부, 가스퍼지부가 상호 유기적으로 연결되어 있어야만 실수없이 열처리 반응을 완성시킬 수 있다. 이러한 조건을 충족시키기 위해서 열처리장치는 PLC (Programmable Logic Controller)를 기본 시스템으로 채용하여 이의 제어에 활용하고 있다. 여기서 PCL은 다양한 종류의 센서 신호를 받아 관련된 Actuator를 구동시킬 수 있는 제어기이다.

기본적으로는 사람의 판단에 우선한 제어를 가장 우선에 두었고, 실수에 의한 오조작을 방지하기 위해 중요한 제어사항에 대해서는 Interlock을 설정한다. 여기서 인터락은 열처리로 내부의 열전대 신호, 진공도 신호, 그리고 가스퍼지부의 신호를 받아 PLC 프로그램 루틴에 적용되어 있는 한계치 값을 벗어나게 되면 Alarm을 띄우거나, 혹은 Actuator를 구동하여 시스템을 보호하는 일련의 절차이다.

한편 열처리장치의 운전기록과 현재 상태를 손쉽게 파악하기 위하여 GUI(graphic user interface)를 기본 바탕으로 한 그래픽 monitoring system을 가동하고 있다. 여기서 GUI는 진공열처리로의 진행상태를 모니터링하기 위한 화면(PC 혹은 Local panel)을 의미한다. 일반적으로 PLC와 PC가 통신을 통해 PC는 PLC에서 처리되어지고 있는 신호를 받아들여 PC 상에서 GUI를 구성한다.

먼저 열처리장치에서 수집된 각종신호는 PLC에 통합되어 운전되고, 이러한 운전 정보는 통신을 통하여 PC에서 수집 후 인터넷으로 운전자에게 정보를 제공한다.

도 4는 열처리장치에서 수집된 각종 정보를 컴퓨터 화면에 나타내도록 작성한 Monitoring 주화면의 모양이다. 도 4에서 알 수 있듯이 열처리온도, 진공도, 가스의 농도, 잔여가스분석기(RGA ; Residual Gas Analyser), 수온 등등을 일목요연하게 보여주고 있다.

상기와 같이 이루어진 본 발명에 따른 진공열처리장치를 이용한 방법을 살펴보면 다음과 같다.

열처리장치의 운전은 크게 다음의 초전도자석설치단계, 진공배기단계, 열선가동단계, 진행상황모니터링단계의 4단계에 걸쳐 작업을 수행하고 있다.

초전도자석설치단계는 열처리장치의 진공챔버 내에 자석을 배치하고, 자석의 주위에 열전대를 설치하며 가스퍼지부의 배관과 자석의 헬륨피드쓰루를 연결하는 단계이다.

초전도자석은 대략 2~4톤의 자석 자체의 중량과 열처리시 자석의 열변형을 최소화하기 위한 열처리 지그의 중량 1~2톤을 합한 총 3~6톤의 중량을 갖게 되므로 열처리장치 내부에 설치시 상당한 주의가 요망된다. 일단 열처리장치 내에 초전도자석이 놓여지면, 온도 monitoring을 위한 12개의 열전대를 자석의 주위에 설치하는 작업과, SAGBO의 방지를 위한 가스퍼지를 위하여 가스퍼지부의 배관과 자석의 헬륨피드쓰루를 연결하는 작업을 수행한다. 헬륨피드쓰루와 가스 Purge부의 배관연결은 스웨이저락(swage lock)으로서 간단히 연결하며, 초전도자석 코일에 헬륨을 주입한 후 수차례의 누설시험을 통해서 가스의 유출이 없음이 확인한다.

다음으로 진공배기단계는 열처리챔버 내부의 진공이 일정수준의 진공도에 도달하게 되면 메인 밸브를 열어서 진공배기 하는 단계이다.

열처리장치의 진공배기는 먼저 2대의 Piston pump를 가동하여 수 torr 까지 배기한 후 root pump를 가동하여  $5 \times 10^{-3}$  torr 까지 배기 한다. 4대의 Cryopump는 가동전에 항상 완전 재생(full regeneration)과정을 거쳐 가동준비 상태가 되며, 챔버내 진공이  $5 \times 10^{-3}$  torr에 도달하게 되면 메인 밸브를 열어서 진공배기 하도록 구성된다.

완전 재생(Full regeneration) 과정을 보면, 우선 진공열처리로는 4개의 크라이오펌프(Cryopump)에 의해 고진공이 유지된다. 이러한 크라이오펌프(Cryopump)는 흡착(absorption) 및 응축(condensation)이라는 절차로 고진공을 유지하는데, 장시간 동작으로 인해 크라이오펌프(Cryopump)에 흡착 및 응축을 위한 공간이 남아 있지 않게 되면 크라이오펌프 완전 재생(Cryopump Full regeneration) 과정을 거쳐 흡착되거나 응축된 기체를 외부로 방출한다. 즉, 동작하고 있는 4개의 크라이오펌프(Cryopump) 중에서 1개는 먼저 진공열처리와 분리시킨 후, 온도를 높여 흡착되거나 응축된 기체를 공기중으로 방출한 후, 다시 진공열처리와 연결한다. 그리고 다시 나머지 3개도 한 개씩 동일한 과정을 거쳐 4개 모두에 대해 완전 재생(Full regeneration) 과정을 수행한다. 열처리챔버 내에 헬륨을 주입하여 누설여부를 감지한다.

다음으로 열선가동단계는 도 5에서 보는 바와 같이 열처리챔버 내부의 진공도가  $5 \times 10^{-5}$  torr 이하로 유지되면, 열처리를 시작하되 온도 상승속도는  $6^\circ\text{C/hr}$ 이며,  $460^\circ\text{C}$ 에서 1차 가열하고,  $570^\circ\text{C}$ 에서 2차 가열하고,  $660^\circ\text{C}$ 에서 3차 가열하는 단계이다.

열처리장치내의 진공도가  $5 \times 10^{-5}$  torr 이하로 유지되면, 비로소 열처리를 시작할 수 있다. 열선의 온도를 제어하기 위한 PID온도조절기에는 도 8에서 보여지는 시나리오를 입력하여 운전하게 되는데, 전체적으로 온도 상승속도는  $6^\circ\text{C/hr}$ 이며,  $460^\circ\text{C}$ 에서 100 시간,  $570^\circ\text{C}$ 에서 200 시간,  $660^\circ\text{C}$ 에서 240 시간을 유지하게 된다. 도 5는 초전도자석의 열처리 시나리오를 보여주고 있다.

다음으로 진행상황모니터링단계는 가열상황을 모니터링한다. 열처리장치는 700시간에 가까운 시간동안 계속해서 운전된다. 운전의 실패는 자석의 치명적인 결함으로 작용함으로써, 운전상황에 대한 각별한 주의가 요망된다. 쉽게 현재의 진행상황을 monitor하기 위하여 도 6에서 보이는 것처럼, 현재의 열처리진행시점을 나타내는 열처리 진행시간 모니터링화면을 작성하여 운영 중이다. 또한 전체적인 열처리장치의 운전상황을 모니터링하기 위한 열처리장치의 모니터링화면도 도 7에서 보이는 것처럼 작성하여 운영 중이다.

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 진공열처리장치 및 그 방법은 권선된 초전도 코일을 진공열처리장치의 내부에 설치한 후  $660^\circ\text{C}$ 의 온도로 30일간의 반응처리시 온도균일도를 유지함으로써 초전도 코일이 극저온에서 초전도화 되도록 하고, 내부 진공도를 산소농도 0.08 ppm 이하로 유지함으로써 관내연선도체의 관에 크랙이 발생되지 않도록 할 수 있는 효과를 제공할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 진공열처리장치의 열처리챔버와 진공을 위한 펌프시스템 구성도.

도 2는 본 발명에 따른 Incoloy 908에 SAGBO가 발생된 모습을 보여주는

도 3은 본 발명에 따른 가스퍼지부의 플로우 다이어그램.

도 4는 본 발명에 따른 열처리장치에서 수집된 각종 정보를 컴퓨터 화면에 나타내도록 작성한 Monitoring 주화면.

도 5는 본 발명에 따른 초전도자석의 열처리 시나리오.

도 6은 본 발명에 따른 열처리 진행시간 모니터링하는 화면.

도 7은 본 발명에 따른 전체적인 열처리장치의 모니터링화면.

도 8은 본 발명에 따른 진공열처리장치의 구성도.

\* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 \*

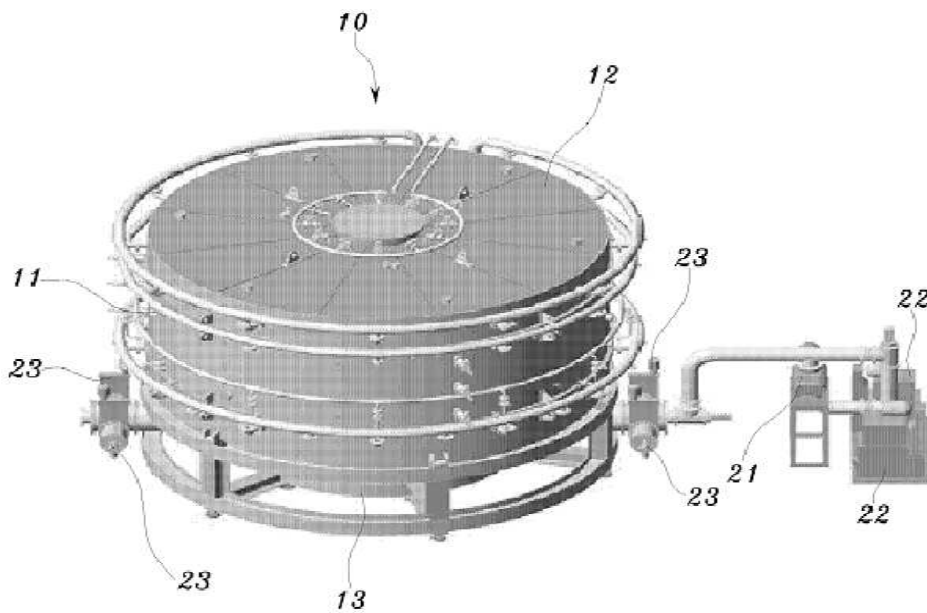
10. 열처리챔버 20. 진공펌프부

30. 온도제어부 40. 가스퍼지부

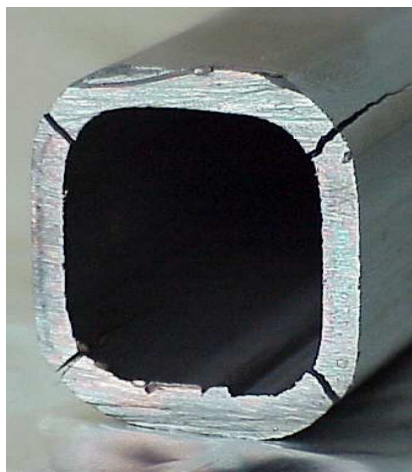
50. 운전제어 및 모니터링부

도면

도면1



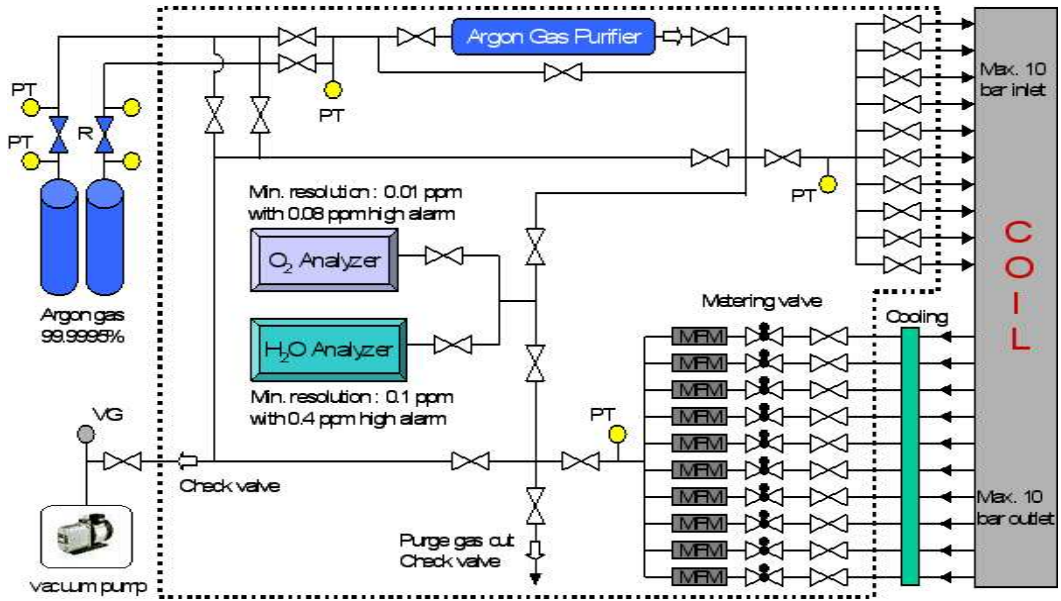
도면2



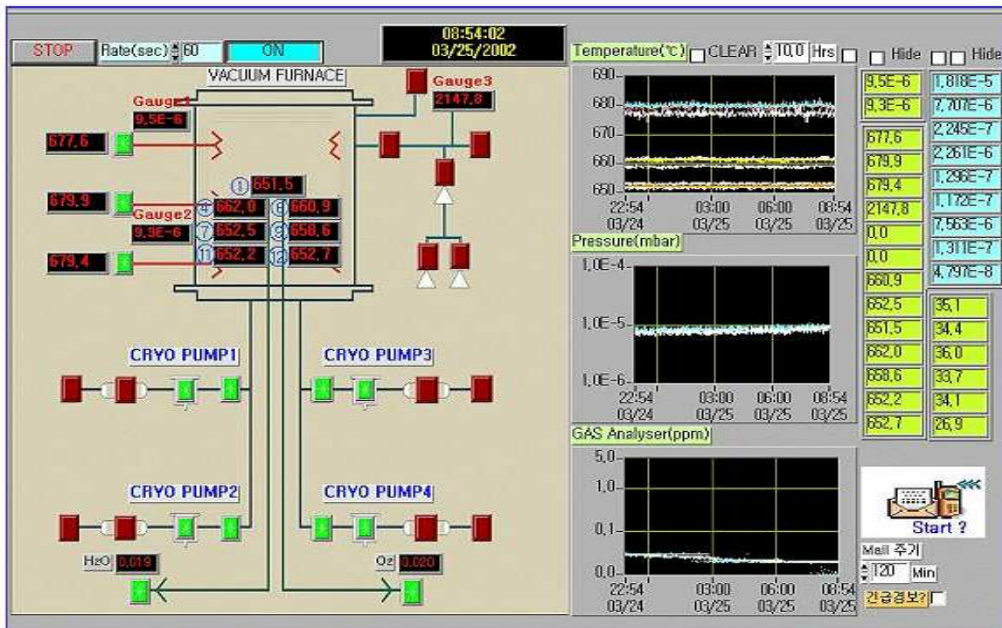
- Incoloy 908
- Temp. : 660 °C, 50 hrs
- Pressure :  $5 \times 10^{-2}$  Torr
- Grit Blasting : No
- PF CICC



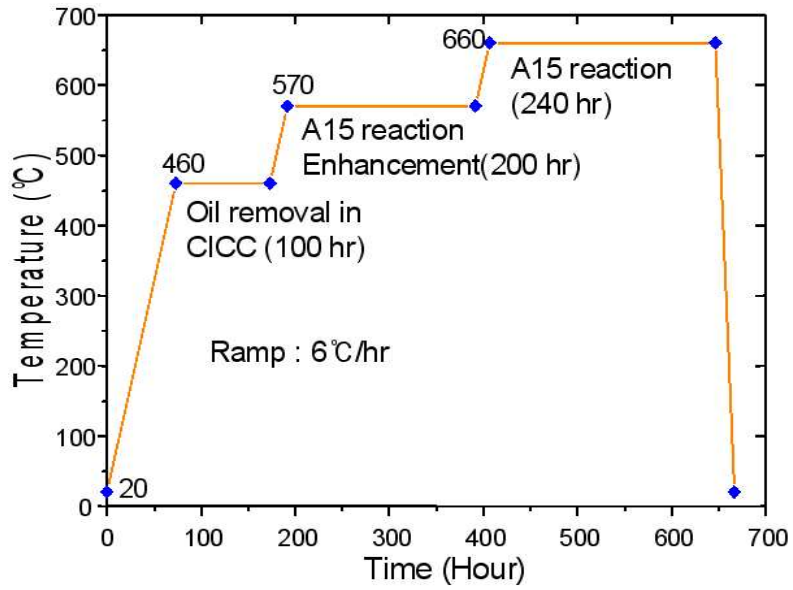
도면3



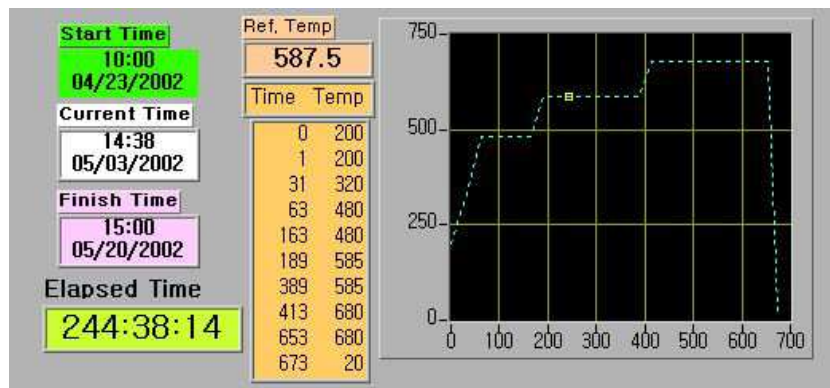
도면4



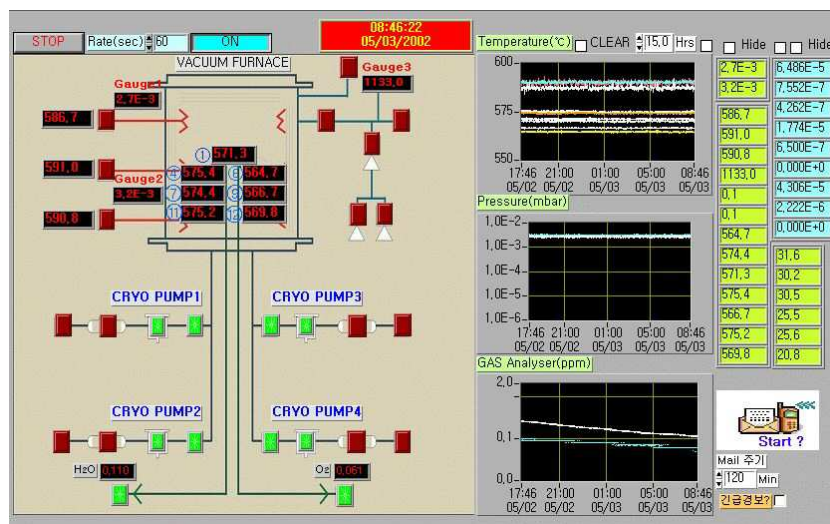
도면5



도면6



도면7



도면8

