



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년03월09일
 (11) 등록번호 10-1601203
 (24) 등록일자 2016년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G21C 3/54 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0114195

(22) 출원일자 2014년08월29일

심사청구일자 2014년08월29일

(56) 선행기술조사문헌

JP2012102901 A*

KR1020140024996 A*

KR1020120086986 A

JP2006046998 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국원자력연구원

대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)

(72) 발명자

정경채

충청북도 청주시 흥덕구 분평동

조문성

대전 유성구 봉명로 48, 806동 1102호 (원신흥동, 신안인스빌리베라)

김연구

대전 유성구 봉명로 48, 804동 1201호 (원신흥동, 신안인스빌리베라)

(74) 대리인

이원희

전체 청구항 수 : 총 21 항

심사관 : 이용호

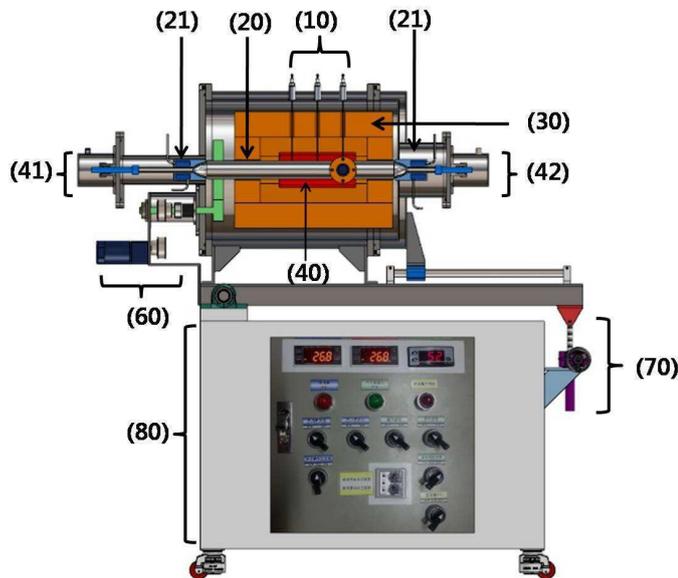
(54) 발명의 명칭 (초)고온가스로용 핵연료 제조를 위한 회전형 반응로를 포함하는 구형의 핵연료 소결입자 제조장치 및 이를 이용한 제조방법

(57) 요약

본 발명은 핵연료 제조 중간물질인 ADU겔을 열분해하여 제조된 구형의 산화물 입자를 환원 및 소결시키기 위한 장치로써, 상기 반응기 내로 반응가스를 공급하는 가스 인입부 및 반응기로부터 반응가스가 배출되는 가스 배출부; 상기 구형의 산화물입자가 내부로 장입되는 반응기;상기 반응기 외주면으로 구비되는 가열부; 상기 가스 인

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



입부 및 가스 배출부 말단에 구비되는 냉각부; 상기 반응기를 회전시키는 반응기 회전부;를 포함하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치를 제공한다.

또한 본 발명은 (초)고온가스로용 핵연료 제조 중간물질인 ADU겔을 열분해하여 제조된 구형의 산화물 입자를 환원 및 소결시키는 데 있어서, 종래의 소결로가 정적인 상태에서 반응시키는 것을 보완한 고온 회전형 반응기를 포함하는 것으로써, 상기와 같이 고온 회전형 반응기를 포함함에 따라, 반응기를 회전시키면서 고온의 반응을 수행할 수 있고, 특히 소결장치 내의 입자를 유동시킴에 따라 반응가스와의 접촉효율을 향상시킬 수 있다. 또한, 그라파이트 혹은 고온용 재질이 반응기로 적용되는 경우, 고온에서 입자를 반응시키는 UCO 입자의 제조시에도 적용될 수 있는 장점이 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	53153-14
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	원자력연구개발사업
연구과제명	피복입자 핵연료 기술개발
기 여 율	1/1
주관기관	한국원자력연구원
연구기간	2012.03.01 ~ 2017.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

핵연료 제조 중간물질인 ADU겔을 열분해하여 제조된 구형의 산화물 입자를 환원 및 소결시키기 위한 장치로써,
반응기 내로 반응가스를 공급하는 가스 인입부 및 반응기로부터 반응가스가 배출되는 가스 배출부;
상기 구형의 산화물입자가 내부로 장입되는 반응기;
상기 반응기 외주면으로 구비되는 가열부;
상기 가스 인입부 및 가스 배출부 말단에 구비되는 냉각부;
상기 반응기를 회전시키는 반응기 회전부;를 포함하고,
상기 냉각부는,
반응기 양 말단에 나사산 형식으로 연결되는 열전도성 금속 또는 합금; 및
상기 열전도성 금속 또는 합금과 연결되는 스테인리스(stainless)를 포함하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,
상기 가열부는 반응기의 외주면을 따라 구비되는 히터(heater) 및 상기 히터를 둘러싸는 단열재를 포함하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 3

제 2항에 있어서,
상기 단열재는 복수개의 홀(hole)을 포함하며, 상기 복수개의 홀에는 온도 측정기가 삽입되는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 4

제 3항에 있어서,
상기 온도측정기는 열전대 또는 적외선 온도계인 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 반응기는 이중관 구조이고, 반응기 내로는 배플(baffle)이 형성되어있는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 반응기 내면은 탄화규소(SiC)로 코팅된 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제

조장치.

청구항 7

제 1항에 있어서, 반응기 회전부는 기어박스(gear box) 및 상기 기어박스를 회전시키는 모터(motor)를 포함하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 8

제 7항에 있어서, 상기 기어박스의 재질은 반응기의 재질과 동일한 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 9

제 1항에 있어서, 상기 회전부는 고온부분과 저온부분을 구분하여 회전하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 10

삭제

청구항 11

제 1항에 있어서, 제조장치는 반응기의 회전, 가열온도 및 가스공급을 제어하는 제어부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 12

제 11항에 있어서, 반응기는 상기 제어부 상에 위치하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 13

제 11항에 있어서, 상기 제어부 측면에는 상기 반응기의 수평 각도를 조절하는 수평 조절부가 구비되는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 14

제 1항에 있어서, 상기 제조장치는 복수개의 미세 홀(hole)이 형성된 필터(filter)를 반응기 내로 구비하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 15

제 14항에 있어서, 상기 필터의 미세 홀의 직경은 구형 산화물 입자의 직경보다 작은 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 16

제 14항에 있어서, 상기 필터는 반응기 내부에 탈착 및 부착이 가능한 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 17

제 1항에 있어서, 반응기는 양 말단부가 큰(cone) 형상인 원통 구조인 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 18

제 1항에 있어서, 상기 제조장치는 플랜지 형태인 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 19

제 1항에 있어서, 상기 반응기는 복수 개의 파트(part)가 나사부에 의해 체결된 구조인 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치.

청구항 20

제 1항의 구형의 산화물 소결입자 제조장치를 이용하여 구형의 산화물 소결입자를 제조하는 방법에 있어서, 반응가스를 예열하는 단계 (단계 1); 단계 1에서 예열된 반응가스를 반응기 내로 공급하는 단계 (단계 2); 및 상기 반응기를 회전시키며 구형의 산화물입자와 반응가스를 반응시키는 단계 (단계 3);를 포함하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조방법.

청구항 21

제 20항에 있어서, 상기 단계 1의 반응 가스는 수소, 아르곤 및 일산화탄소로 이루어지는 군으로부터 선택되는 1종인 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조방법.

청구항 22

제 20항에 있어서, 단계 3의 반응은 1500 내지 2000℃ 온도에서 수행되는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 (초)고온가스로용 핵연료 제조를 위한 회전형 반응로를 포함하는 구형의 핵연료 소결입자 제조장치 및 이를 이용한 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] (초)고온 가스로에 장전되는 핵연료는 일반 중수로나 경수로 형태의 핵연료와는 다른 TRISO 형태의 구형입자를

만든 후, 이를 그라파이트 분말과 혼합한 후 원자로 형태에 따라 각기둥(prismatic)의 형태나 펠블(pebble)의 형태로 가공하여 핵연료를 제조한다.

[0003] TRISO 형태의 입자 내부에는 UO_2 혹은 UCO 형태의 커널(Kernel) 입자를 구형으로 제조하며, 일반적으로는 졸-겔(sol-gel)공정을 기반으로 한 겔-침전법 (Gel-Supported Precipitation, GSP)이라고 불리는 액상공정으로 제조하고 있다.

[0004] 구형으로 제조된 UO_2 혹은 UCO 입자는 화학증착법 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 라고 하는 피복장치를 이용해서 입자의 표면을 4중으로 피복하여 TRISO 입자가 제조된다.

[0005] 현재 대부분의 (초)고온가스로 핵연료 제조공정은 중우라늄산암모늄(ADU) 혹은 C-ADU 겔 입자를 제조한 후 이를 하소로(calcination furnace)에서 UO_3 혹은 C- UO_3 로 하소시켜 변환시킨다.

[0006] 상기 UO_3 형태로 변형된 입자를 하소로에서 꺼내고, 이를 다시 소결로(sintering furnace)에 넣어 반응가스와 반응시켜 UO_2 혹은 UCO로 환원시킨다. 이 후 상기 환원시킨 UO_2 혹은 UCO 입자를 다시 고온으로 소결시켜 소결된 UO_2 혹은 UCO 입자를 얻을 수 있다.

[0007] 이렇게 얻어진 환원시킨 UO_2 혹은 UCO 입자를 코터(coater)에서 다양한 코팅 가스를 이용해서 피복하면, 최종적으로 TRISO 형태의 코팅된 입자를 얻을 수 있다.

[0008] 본 특허에서는 상기한 바와 같이 다단계의 열처리 과정을 거쳐 TRISO 입자를 얻는 과정 중에서 UO_2 혹은 UCO 입자의 환원 및 소결과정에 관해 연구하던 중,

[0009] 기존 소결로가 정적인 상태에서 반응시키는 것을 보완하여 고온에서도 소결장치 내에서 UO_2 (혹은 UCO)입자를 유동시켜 소결입자를 얻을 수 있는 구형의 핵연료 소결입자 제조장치 및 이를 이용한 제조방법을 개발하고, 본 발명을 완성하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1370435호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명의 목적은 (초)고온가스로용 핵연료 제조를 위한 회전형 반응로를 포함하는 구형의 핵연료 소결입자 제조장치 및 이를 이용한 제조방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은
 [0013] 핵연료 제조 중간물질인 ADU겔을 열분해하여 제조된 구형의 산화물 입자를 환원 및 소결시키기 위한 장치로써,
 [0014] 상기 반응기 내로 반응가스를 공급하는 가스 인입부 및 반응기로부터 반응가스가 배출되는 가스 배출부;

- [0015] 상기 구형의 산화물입자가 내부로 장입되는 반응기;
- [0016] 상기 반응기 외주면으로 구비되는 가열부;
- [0017] 상기 가스 인입부 및 가스 배출부 말단에 구비되는 냉각부;
- [0018] 상기 반응기를 회전시키는 반응기 회전부;를 포함하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치를 제공한다.

- [0019] 또한, 본 발명은,
- [0020] 상기 구형의 산화물 소결입자 제조장치를 이용하여 구형의 산화물 소결입자를 제조하는 방법에 있어서,
- [0021] 반응가스를 예열하는 단계 (단계 1);
- [0022] 단계 1에서 예열된 반응가스를 반응기 내로 공급하는 단계 (단계 2); 및
- [0023] 상기 반응기를 회전시키며 구형의 산화물입자와 반응가스를 반응시키는 단계 (단계 3)를 포함하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명은 (초)고온가스로용 핵연료 제조 중간물질인 ADU겔을 열분해하여 제조된 구형의 산화물 입자를 환원 및 소결시키는 데 있어서, 종래의 소결로가 정적인 상태에서 반응시키는 것을 보완한 고온 회전형 반응기를 포함하는 것으로써,
- [0025] 상기와 같이 고온 회전형 반응기를 포함함에 따라, 반응기를 회전시키면서 고온의 반응을 수행할 수 있고, 특히 소결장치 내의 입자를 유동시킴에 따라 반응가스와의 접촉효율을 향상시킬 수 있다.
- [0026] 또한, 그라파이트 혹은 고온용 재질이 반응기로 적용되는 경우, 고온에서 입자를 반응시키는 UCO 입자의 제조시에도 적용될 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1 내지 도 7은 본 발명에 따른 구형의 산화물 소결입자 제조장치를 도시한 도면이고;
- 도 8은 본 발명에 따른 구형의 산화물 소결입자 제조장치 내에 구비되는 단열재를 도시한 도면이고;
- 도 9는 본 발명에 따른 구형의 산화물 소결입자 제조장치의 반응기 내부를 도시한 도면이고;
- 도 10은 상기 반응기 내부의 단면을 도시한 도면이고;
- 도 11은 상기 반응기 내부에 삽입되는 필터를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 본 발명은
- [0029] 핵연료 제조 중간물질인 ADU겔을 열분해하여 제조된 구형의 산화물 입자를 환원 및 소결시키기 위한 장치로써,
- [0030] 상기 반응기 내로 반응가스를 공급하는 가스 인입부 및 반응기로부터 반응가스가 배출되는 가스 배출부;
- [0031] 상기 구형의 산화물입자가 내부로 장입되는 반응기;
- [0032] 상기 반응기 외주면으로 구비되는 가열부;
- [0033] 상기 가스 인입부 및 가스 배출부 말단에 구비되는 냉각부;
- [0034] 상기 반응기를 회전시키는 반응기 회전부;를 포함하는 구형의 산화물 소결입자 제조장치를 제공한다.

- [0035] 이하, 본 발명에 따른 구형의 산화물 소결입자 제조장치를 상세히 설명한다.
- [0036] 기존의 (초)고온가스로용 핵연료 제조과정에서는 TRISO 피복입자를 얻기 위해 액상방법으로 얻어진 구형의 ADU 혹은 C-ADU 겔 입자를 하소(calcination furnace)하여 UO_3 혹은 C- UO_3 입자로 변환시키고, 이를 소결로(sintering furnace)로 옮겨서 소결된 UO_2 혹은 UCO 커널(kernel)을 얻은 다음, 이를 또 다른 형태의 피복장치(Coater)에서 코팅 가스를 이용해서 고온으로 피복하는 과정을 거쳐 얻어진다.
- [0037] 이러한 과정에서 고온의 소결 UO_2 혹은 UCO 입자를 얻기 위해서는 특히 UCO입자와 같이 1900℃의 고온이 요구되는 소결장치 제작의 경우 기존의 재질을 이용해서 소결로 제작을 할 경우 어려움이 많다.
- [0038] 이때, 본 발명은 기존의 소결로 대신 고온 회전형 반응기를 사용하였으며, 도 1 내지 도 7에 개략적으로 도시하였다.
- [0039] 도 1에 도시한 바와 같이, 가열부는 상기 반응기의 외주면을 따라 구비되는 히터 및 상기 히터를 둘러싸는 단열재(30)를 포함한다.
- [0040] 상기 히터 재질은 반응기와 재질이 같은 그래파이트를 기본재질로 구성되어 있으며, 이는 반응기를 공기와 차단하도록 외부를 실링(sealing)하는 구조로 구성된다.
- [0041] 또한 상기 단열재(30)는 도 8에 더욱 상세하게 도시한 바와 같이, 복수 개의 홀(31)을 포함하며, 상기 복수개의 홀에는 반응기 내부의 온도를 감지하기 위한 온도 측정기(10)가 구비될 수 있다. 이때 상기 온도 측정기는 열전대 및 적외선 온도계(11)를 사용한다.
- [0042] 상기 구형의 산화물 소결입자 제조장치의 반응기(20)의 내부를 도 9에 더욱 상세히 도시하였고, 반응기 내부의 단면은 도 10에 도시하였다.
- [0043] 상기 반응기(20)는 이중관 구조로 구성되어있으며, 재질은 그래파이트(graphite) 재질로, 1900 ℃의 고온에도 유지할 수 있어 고온을 확보할 수 있는 장점이 있다.
- [0044] 한편 상기 반응기 내로는 배플(baffle)(50)이 형성되어 있으며, 상기 배플은 반응기 회전시 반응가스와 구형 산화물 입자의 접촉 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 상기 배플의 재질은 그래파이트 재질을 사용하는 것이 바람직하나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0045] 이때, 상기 반응기 내면은 탄화규소(SiC)로 코팅될 수 있으며, 이를 통해 그래파이트 재질의 반응기로부터 원치 않은 탄소가 불순물로 작용하여 산화물 입자를오염시키는 것을 방지할 수 있다.
- [0046] 또한 상기 반응기는 복수 개의 파트(part)가 나사부에 의해 체결된 구조인 것을 특징으로 한다.
- [0047] 상기 제조장치는 반응기 내로 반응가스를 공급하는 가스 인입부(41) 및 반응기로부터 반응가스가 배출되는 가스 배출부(42)가 구비된다.
- [0048] 또한, 도 10에 도시한 바와 같이 상기 반응기 내부에는 복수 개의 미세홀(91)이 형성된 필터(90)가 구비되며, 상기 필터를 통해 구형입자가 가스 인입부로 흘러내리는 것을 방지할 수 있다. 또한 가스 인입부로 인입되는 반응가스가 미세 홀을 통해 균등하게 혼입될 수 있다.
- [0049] 이때, 상기 미세 홀의 직경은 구형 산화물 입자가 통과할 수 없도록, 상기 산화물 입자보다 직경이 작아야 되며, 반응가스가 충분히 유입될 수 있는 직경이라면 상기 미세홀의 직경은 특별히 한정되는 것은 아니다.
- [0050] 한편, 상기 필터는 반응기 내부에 탈착 및 부착이 가능한 구조로 구성되어 있다.
- [0051] 상기 반응기를 회전시키는 반응기 회전부(60)는 기어박스(gear box) 및 상기 기어박스를 회전시키는 모터를 포함한다.

- [0052] 이때, 반응기 내부의 기어박스의 재질은 반응기의 재질과 동일한 것을 사용하는 것이 바람직하다. 고온의 반응기와 인접한 기어박스의 경우 반응기와 마찬가지로 고온에서도 변형이 발생하지 않는 재질인 것이 바람직하다. 이에, 본 발명에서는 상기 기어박스의 재질을 반응기와 동일하게, 예를 들어 그라파이트 재질을 사용할 수 있다.
- [0053] 또한, 상기 회전부의 경우, 반응기와 인접하고 있는 고온부분과, 상대적으로 반응기와 이격되어 있는 저온부분으로 구분될 수 있으며, 상기 고온부분과 저온부분은 바람직하게는 단열재에 의하여 격리된 구조일 수 있다.
- [0054] 이때, 상기 회전부의 고온부분과 저온부분의 구분은 반응기 외부 부착된 외부 가열히터를 중심으로 구분할 수 있으며, 내부 반응기의 회전 속도가 온도 구분에 의해 변동되는 것은 아니다.
- [0055] 따라서 고온부와 저온부의 구분은 반응기 외부에 부착된 가열장치를 기준으로 구분하며, 일반적으로 고온부와 저온부 구분 경계부터 저온부 외부를 적절한 냉각재를 도입해서 점진적으로 냉각시킬 수 있다.
- [0056] 냉각부(21)는 상기 반응기의 가스 인입부 및 가스 배출부 말단에 구비된다.
- [0057] 상기 냉각부(21)는 가스 공급 및 배기 라인 외부에 적절한 냉각재를 사용해서 고온의 전도에 의한 냉각을 수행함으로써 장치의 안전성을 확보할 수 있다.
- [0058] 냉각방법은 반응기 재질인 그라파이트 혹은 고온재질의 반응기 전,후 부위를 길게 유지한 후 이 부위 외부에 구리, 은, 알루미늄 및 텅스텐과 같은 열전도율이 우수한 금속 또는 열전도성 합금을 사용해서 외부를 1차 냉각하고, 스테인리스(stainless)를 이용해서 2차 냉각하여 수행될 수 있다.
- [0059] 이때 그라파이트 혹은 고온재질과 연결되는 외부 냉각재질인 구리 등의 열전도성 금속은 나사산 형식으로 연결될 수 있고, 열전도성 금속과 스테인리스간의 연결은 특수 용접을 이용해서 연결함으로써 고온의 열전도로 인한 열충격을 점진적으로 완화시킬 수 있다. 또한 고온에서도 두 재질이 용접되어 냉각재가 누수 되지 않는 구조로 설계되어, 이로 인해 냉각효율을 극대화할 수 있다.
- [0060] 한편, 제조장치는 반응기의 회전, 가열온도 및 가스공급을 제어하는 제어부(70)를 더 포함할 수 있으며, 상기 반응장치는 제어부(70)상에 위치한다.
- [0061] 도 7에 도시하였듯이, 상기 제어부 측면에는 수평 조절부(80)가 구비되며, 상기 반응기의 수평 각도를 조절할 수 있다.
- [0062] 또한 도 2에 도시하였듯이, 양 말단부가 콘(cone) 형상인 원통 구조인 것을 특징으로 하며, 반응기 외부는 플랜지 형태로 구성되어 있어, 초기 반응물의 투입이나 최종생성물의 배출성을 용이하게 하고, 반응기 내부의 구성물 교체하거나 수리할 경우 용이하게 수행할 수 있다.
- [0063] 또한, 본 발명은
- [0064] 상기 구형의 산화물 소결입자 제조장치를 이용하여 구형의 산화물 소결입자를 제조하는 방법에 있어서,
- [0065] 반응가스를 예열하는 단계 (단계 1);
- [0066] 단계 1에서 예열된 반응가스를 반응기 내로 공급하는 단계 (단계 2); 및
- [0067] 상기 반응기를 회전시키며 구형의 산화물입자와 반응가스를 반응시키는 단계 (단계 3)를 포함하는 것을 특징으로 하는 구형의 산화물 소결입자 제조방법을 제공한다.
- [0068] 상기의 제조장치는 특히, 반응기 내에 수용된 핵연료 제조 중간 물질인 구형의 산화물 입자로, 최소한의 유동가스를 주입하여 고온에서 반응시키되, 상기 반응기를 회전시키며 상기 반응을 수행하기 위한 장치이다.
- [0069] 이때, 본 발명의 제조방법은 상기의 제조장치를 통해 구형의 산화물 소결입자를 제조하는 방법으로써, 본 발명의 제조방법 중 단계 1은 반응기 내로 공급할 반응가스를 예열하는 단계이다.
- [0070] 이는, 가스 인입부(41)를 통해 반응가스를 공급하기 전, 반응기가 고온에서 운전 시에 발생 되는 열 충격을 사전에 감소시키기 위한 것으로써, 상기 단계 1의 예열은 반응물의 투입 후 반응기가 회전하면서 환원 및 소결반

응이 진행되는 초기부터 공급이 되기 때문에, 회전형 반응기의 온도와 연동되어 온도가 조절된다.

- [0071] 만약 800 ℃ 이상의 고온 반응일 경우 회전형 반응기와의 온도 연동성을 만족시키기 어려우므로 이를 감안하여 가스 가열시스템을 제작한다.
- [0072] 한편, 상기 단계 1의 반응 가스로는 수소(H₂), 아르곤(Ar) 및 일산화탄소(CO) 등의 환원성 가스가 단독 혹은 혼합형태로 사용될 수 있으며, 바람직하게는 수소, 아르곤, 일산화탄소가 반응가스로 사용될 수 있으나 상기 반응 가스가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0073] 아울러, 상기 반응가스로는 불활성 가스가 혼합된 혼합가스가 사용될 수 있으며, 이들의 혼합비는 특별히 제한되지 않는다.
- [0074] 본 발명의 제조방법에 있어서, 상기 단계 2는 단계 1에서 예열된 반응가스를 가스 인입부(41)를 통해 반응기 내로 공급하는 단계이다.
- [0075] 이때 상기 반응가스의 유량은 초기 반응물의 투입량에 따라 변동이 가능하며, 투입된 반응물의 표면을 전부 접촉할 수 있는 유량을 공급하는 것이 바람직하다.
- [0076] 예를 들어, 유동층 반응기(Fludized bed)와 같은 형태로 반응기가 구비되는 경우, 본 발명의 경우에 사용되는 고밀도의 반응물을 유동시키기 위한 반응가스의 유량이 급격히 증가하여 소비되는 반응가스로 인한 경제적 손실이 발생하는 문제가 있었던 점을 해결할 수 있는 것으로서,
- [0077] 상기 범위와 같이 적정 수준의 반응가스가 반응기로 공급됨에 따라, 과도한 반응가스가 소모되는 것을 방지하면서도 구형의 산화물 소결입자를 효율적으로 제조할 수 있다.
- [0078] 본 발명의 제조방법에 있어서, 상기 단계 3은 상기 반응기를 회전시키며 구형의 산화물입자와 반응가스를 반응시키는 단계이다.
- [0079] 상기 단계 3의 반응은 단계 2에서 공급된 반응가스와 반응기 내에 장입된 구형의 산화물 입자를 고온에서 소결하여 수행되는 것으로써, 상기 단계 3의 반응은 예를 들어 1500 내지 2000 ℃ 온도에서 수행될 수 있다.
- [0080] 이때 상기 냉각부(21)를 통하여 고온의 전도에 의한 냉각을 수행할 수 있다. 이는 상기 반응기 재질인 그라파이트 재질의 반응기 전,후 부위를 길게 유지한 후 외부에 구리, 은, 알루미늄 및 텅스텐과 같은 열전도율이 우수한 금속 또는 합금을 사용해서 외부를 1차 냉각하고, 스테인리스(stainless)를 이용해서 2차 냉각하여 수행될 수 있다.
- [0081] 상기 단계 3에 있어서, 반응기의 회전속도는 반응물의 종류에 따라 최적 운전조건을 구해야 하며, 최적 범위의 속도로 반응기를 회전시킴으로써, 입자와 반응가스 사이의 접촉하는 시간을 증가시키고, 이에 따라 단계 3의 반응을 위한 접촉효율을 향상시킬 수 있다.
- [0082] 만약, 상기 반응기의 회전속도가 일정 속도 이상의 고속일 경우에는 입자에 충격이 가해질 수 있는 문제가 있으며, 일정 속도 미만의 속도로 반응기가 회전하는 경우, 반응기의 회전에 따른 반응효율 향상을 기대할 수 없는 문제가 있다.
- [0083] 상기한 바와 같은 본 발명의 제조방법을 통해서, UO₃ 혹은 C-UO₃ 형태의 입자를 소결된 구형의 UO₂ 혹은 UCO 입자로 제조할 수 있으며, 제조된 구형의 UO₂ 혹은 UCO 입자는 후속 피복공정을 통해 입자의 표면을 4중으로 피복하여 최종적으로 TRISO 입자로 제조될 수 있다.

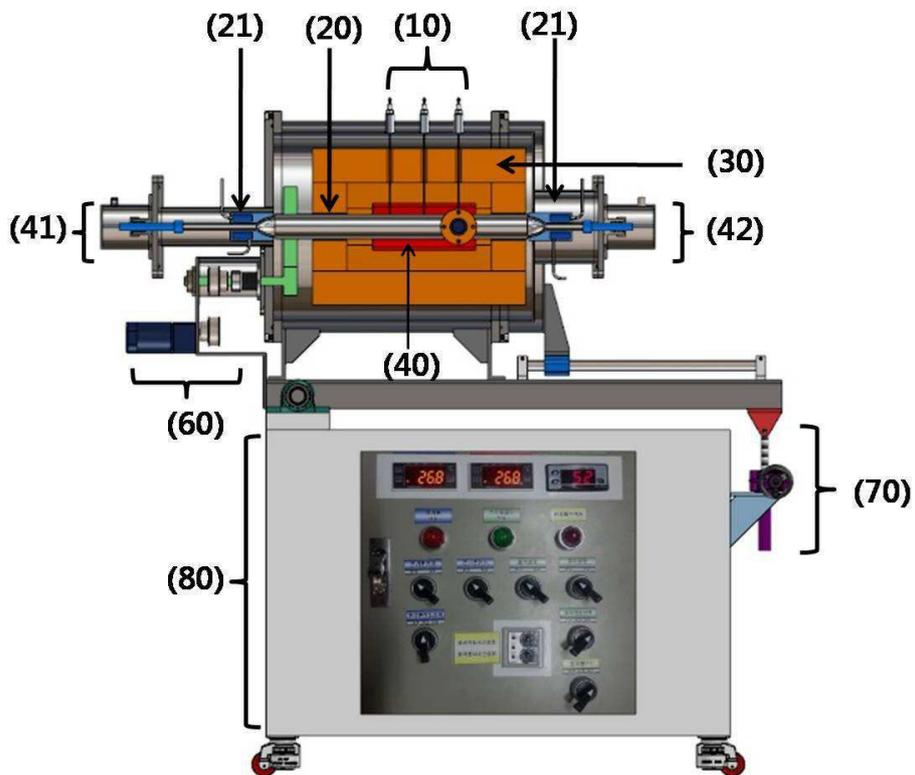
부호의 설명

[0084]

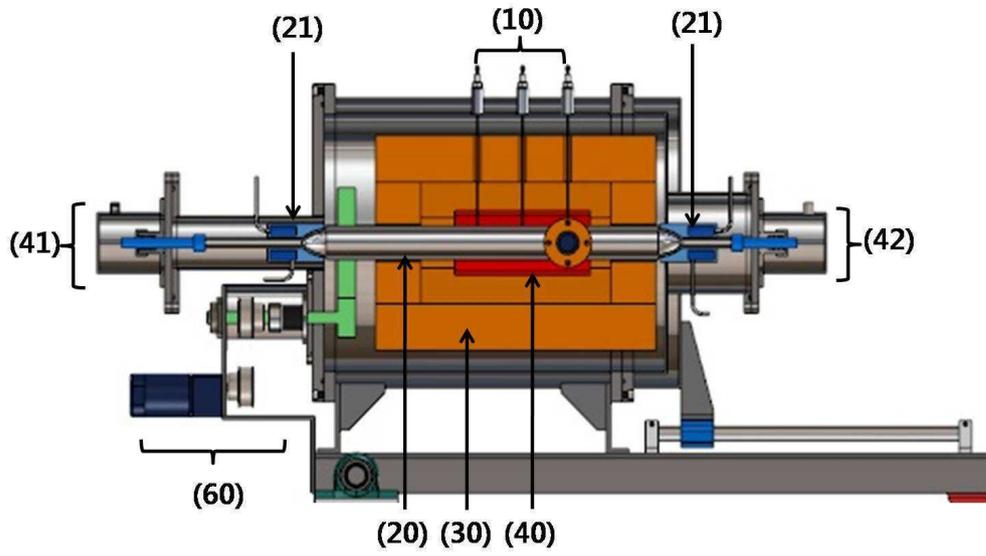
- 10 : 온도계
- 11 : 적외선 온도계
- 20 : 반응기
- 21 : 냉각부
- 30 : 단열재
- 31 : 홀
- 40 : 히터
- 41 : 가스 인입부
- 42 : 가스 배출부
- 50 : 배플
- 60 : 회전부
- 70 : 수평 조절부
- 80 : 제어부
- 90 : 필터
- 91 : 미세홀
- 92 : 나사부

도면

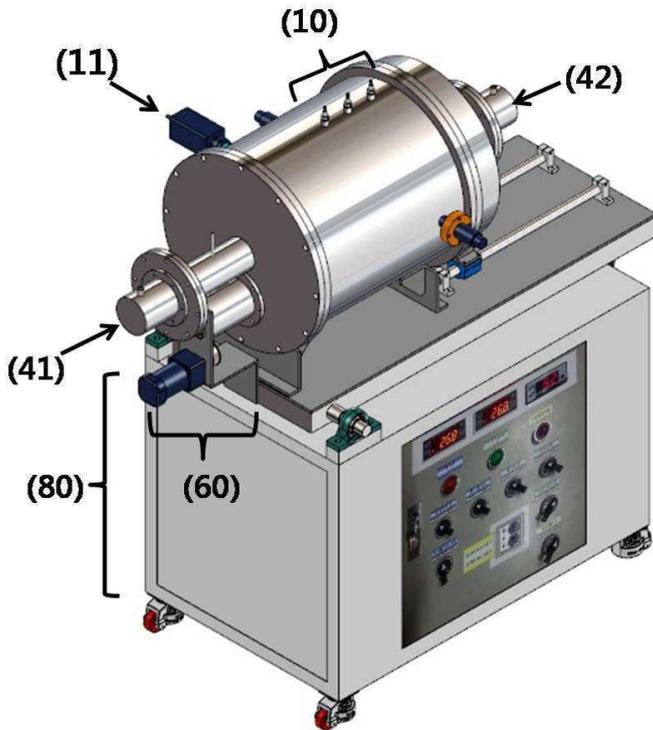
도면1



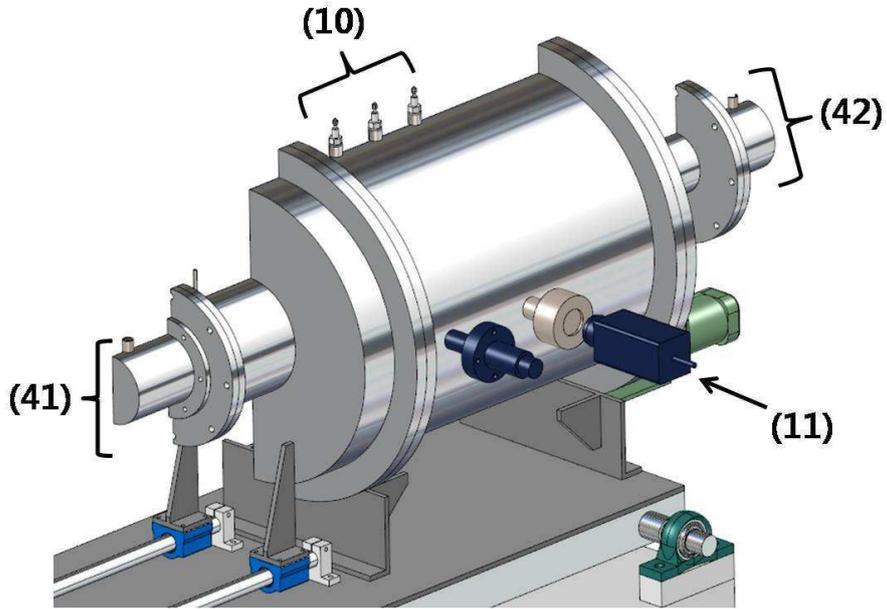
도면2



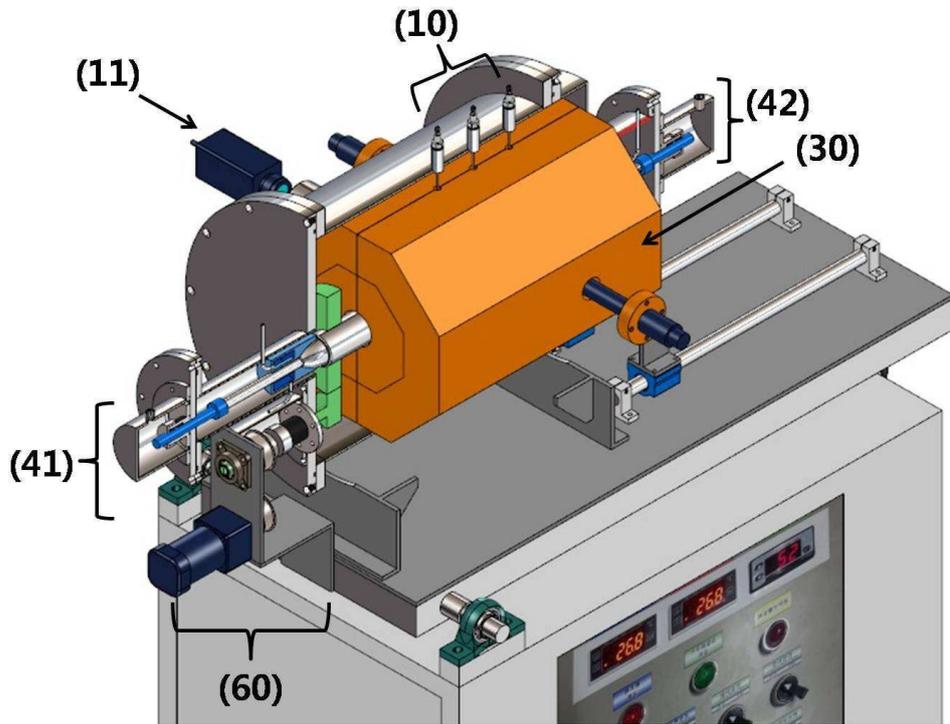
도면3



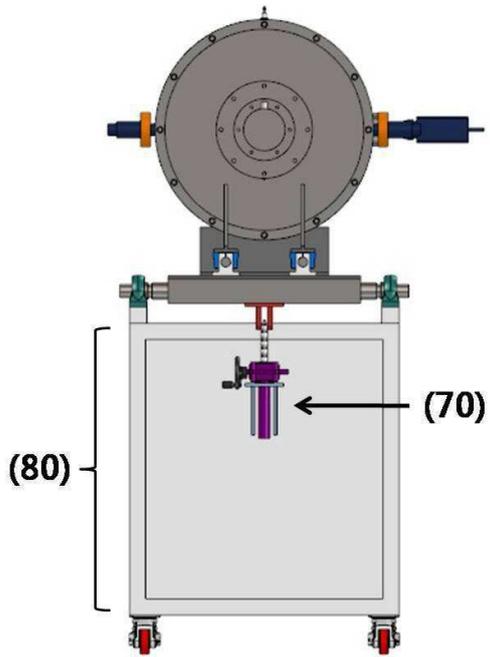
도면4



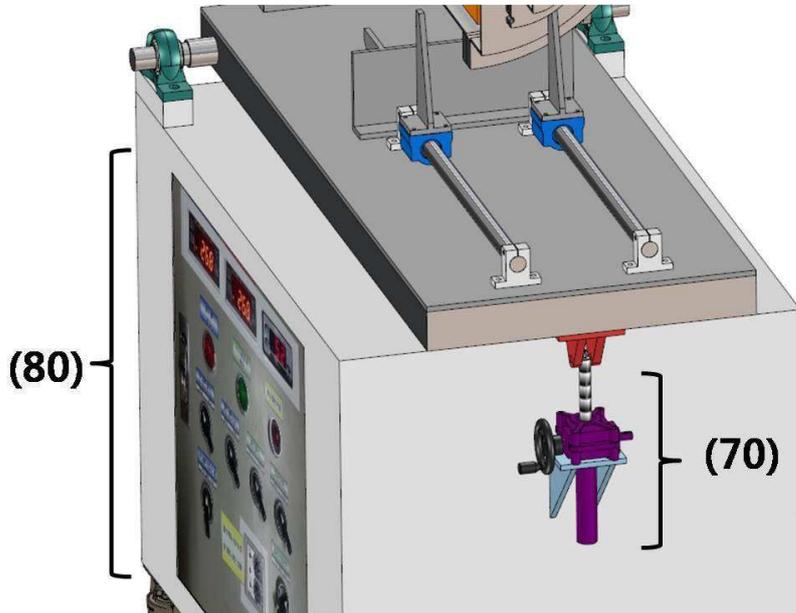
도면5



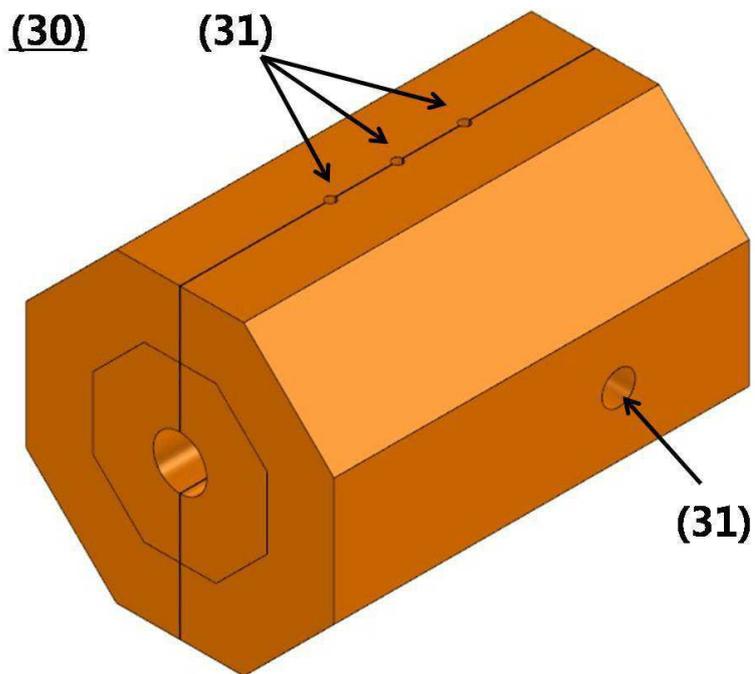
도면6



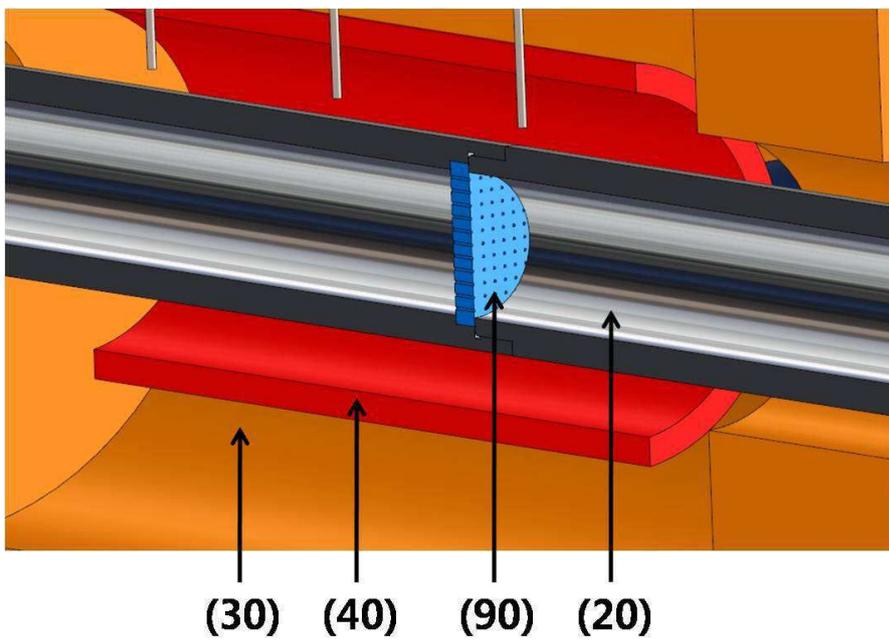
도면7



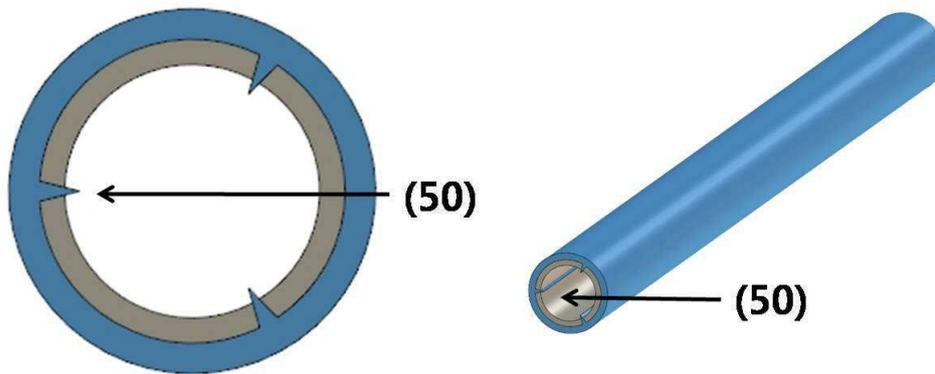
도면8



도면9



도면10



도면11

