



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월28일
(11) 등록번호 10-1539343
(24) 등록일자 2015년07월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 9/04 (2006.01) G21C 9/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0033934
(22) 출원일자 2014년03월24일
심사청구일자 2014년03월24일
(56) 선행기술조사문헌
JP2007001814 A*
JP2007197242 A*
KR1020140024996 A*
JP2007076991 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국원자력연구원
대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)
(72) 발명자
정경채
충청북도 청주시 흥덕구 월평로 24, 현대.대우A.
806-1601
김연구
대전 유성구 봉명로 48, 804동 1201호 (원신흥동,
신안인스빌리베라)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 19 항

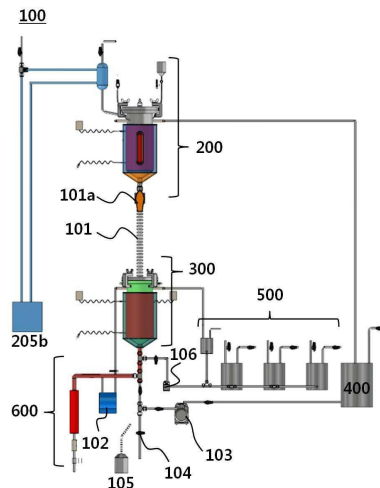
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템 및 이의 운전방법

(57) 요약

본 발명은 핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액으로 숙성시키는 숙성(Ageing) 단계, 상기 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척 용액으로 불순물을 제거하는 세척(Washing) 단계 및 상기 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 건조하는 건조(Drying) 단계를 순차적으로 수행하는 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템에 있어서, 상기 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템은 숙성조; 중간처리조; 숙성 용액 저장부; 세척 용액 저장부; 가스 공급부; 및 제어부;를 포함하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템을 제공한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

엄성호

대전 유성구 관평1로 12, 702동 1501호 (관평동, 대덕테크노밸리7단지아파트)

김용기

대전 유성구 상대남로 26, 909동 204호 (상대동, 트리폴시티아파트)

김영민

대전광역시 유성구 상대남로 26, 917동 202호

김봉구

대전광역시 유성구 관평1로 대덕테크노밸리 7단지 701동 2302호

여승환

강원 원주시 봉화로 67, 106동 2006호 (단계동, 봉화산이편한세상아파트)

조문성

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

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 중간 물질을 숙성 용액으로 숙성시키는 숙성(Ageing) 단계, 상기 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척 용액으로 불순물을 제거하는 세척(Washing) 단계 및 상기 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 건조하는 건조(Drying) 단계를 순차적으로 수행하는 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템에 있어서,

순환유동을 이용한 상기 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템은,

핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액을 이용하여 숙성하기 위한 숙성조;

상기 숙성조 하부에 구비되고 상기 숙성조와 이동관으로 연결되되, 숙성 또는 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 보관, 건조 및 수거할 수 있는 중간처리조;

상기 숙성조 및 중간처리조와 연결되어 상기 중간처리조를 통해 숙성조에 숙성 용액을 제공하거나 숙성조에서 발생하는 과량의 숙성 용액을 수거 또는 순환시키는 숙성 용액 저장부;

상기 중간처리조 상부와 하부에 연결되어 상기 중간처리조에 세척 용액을 제공하거나 중간처리조에서 발생하는 과량의 세척 용액을 수거 또는 순환시키는 세척 용액 저장부;

상기 중간처리조와 연결되고 반응 가스 예열 수단을 포함하는 가스 공급부; 및

상기 숙성조, 중간처리조, 용액 저장부 및 가스 공급부의 구동 및 온도를 제어하는 제어부;를 포함하되,

상기 숙성조는,

바닥면이 역원뿔 형태이며, 상부가 뚫려있는 원통형 본체;

상기 원통형 본체의 외측면을 감싸도록 형성되어, 상기 원통형 본체 내부를 가열시키고 일정한 온도로 유지시키는 가열부;

상기 원통형 본체의 상부를 막아주는 플렌지(flange);

상기 플렌지를 원통형 본체에 고정시키는 클램프(clamp);

상기 원통형 본체 내부와 연결되고, 기체-액체 경계면 상부에 위치하는 배기관;

상기 배기관 하부에 위치하는 오버플로우관; 및

상기 원통형 본체 내부와 관으로 연결되고, 원통형 본체 상부에 위치하는 투입구;를 포함하는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 원통형 본체에서 역원뿔 형태인 바닥면의 각도는 수평면에 대하여 40 내지 75 ° 인 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 배기관은 콘덴서(condenser)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 중간처리조는,

바닥면이 역원뿔 형태이며, 상부가 뚫려있는 원통형 본체;

상기 원통형 본체의 외측면을 감싸도록 형성되어, 상기 원통형 본체 내부를 가열시키고 일정한 온도로 유지시키는 가열부;

상기 원통형 본체 내부에 위치하며, 숙성 또는 세척 단계를 수행하고 난 후의 핵연료 제조 중간 물질을 보관하는 원통형 분리망;

상기 원통형 본체와 연결된 오버플로우관;

상기 원통형 본체의 상부를 막아주는 플렌지(flange); 및

상기 플렌지를 원통형 본체에 고정시키는 클램프(clamp);를 포함하는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 오버플로우관은 두 방향으로 분리되어 진공펌프와 연결된 진공관 및 세척 용액 저장부와 연결된 세척관을 포함하는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 원통형 분리망은 플렌지와 결합되어 고정될 수 있도록 상기 원통형 본체 상부에 걸쳐있는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 원통형 분리망은 직경이 400 내지 500 μm 인 구멍들이 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 이동관은 숙성 용액 또는 세척 용액의 숙성조로의 유입 및 유출을 제어하는 조절 밸브를 포함하는 것을 특

정으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 숙성 용액 저장부는 숙성조 및 중간처리조와 각각 관으로 연결되되, 상기 중간처리조와 연결된 관 중간에는 순환펌프가 위치하는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 중간처리조와 숙성 용액 저장부를 연결하는 관은 중간처리조 아래쪽 방향으로 관이 연장되고, 드레인 밸브가 형성되어 있어 사용된 숙성 용액 또는 세척 용액을 배출할 수 있는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 숙성조와 숙성 용액 저장부를 연결하는 관은 오버플로우관이며, 상기 오버플로우관은 배기관보다 하부에 위치하여 숙성 단계 또는 세척 단계 수행 시, 과량의 숙성 용액을 숙성 용액 저장부로 수거하거나 순환시키는 것을 특징으로 하는 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 세척 용액 저장부는 제1 탱크, 제2 탱크 및 제3 탱크를 포함하는 것을 특징으로 하는 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 세척 용액 저장부는 중간처리조 상부와 하부에 각각 관으로 연결되고, 상기 중간처리조 하부에 연결된 관 중간에는 작은 순환펌프가 위치하는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 중간처리조 상부와 세척 용액 저장부를 연결하는 관 중간에 버퍼 탱크가 위치하는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템.

청구항 16

핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액으로 숙성시키는 숙성(Ageing) 단계, 상기 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척 용액으로 불순물을 제거하는 세척(Washing) 단계 및 상기 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 건조하는 건조(Drying) 단계를 순차적으로 수행하는 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템이되,

순환유동을 이용한 상기 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템은,

핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액을 이용하여 숙성하기 위한 숙성조;

상기 숙성조 하부에 구비되고 상기 숙성조와 이동관으로 연결되되, 숙성 또는 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 보관, 건조 및 수거할 수 있는 중간처리조;

상기 숙성조 및 중간처리조와 연결되어 상기 중간처리조를 통해 숙성조에 숙성 용액을 제공하거나 숙성조에서 발생하는 과량의 숙성 용액을 수거 또는 순환시키는 숙성 용액 저장부;

상기 중간처리조 상부와 하부에 연결되어 상기 중간처리조에 세척 용액을 제공하거나 중간처리조에서 발생하는 과량의 세척 용액을 수거 또는 순환시키는 세척 용액 저장부;

상기 중간처리조와 연결되고 반응 가스 예열 수단을 포함하는 가스 공급부; 및

상기 숙성조, 중간처리조, 용액 저장부 및 가스 공급부의 구동 및 온도를 제어하는 제어부;를 포함하되,

상기 숙성조는,

바닥면이 역원뿔 형태이며, 상부가 뚫려있는 원통형 본체;

상기 원통형 본체의 외측면을 감싸도록 형성되어, 상기 원통형 본체 내부를 가열시키고 일정한 온도로 유지시키는 가열부;

상기 원통형 본체의 상부를 막아주는 플렌지(flange);

상기 플렌지를 원통형 본체에 고정시키는 클램프(clamp);

상기 원통형 본체 내부와 연결되고, 기체-액체 경계면 상부에 위치하는 배기관;

상기 배기관 하부에 위치하는 오버플로우관; 및

상기 원통형 본체 내부와 관으로 연결되고, 원통형 본체 상부에 위치하는 투입구;를 포함하는 것을 특징으로 하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템의 운전방법에 있어서,

핵연료 제조 중간 물질과 숙성 용액을 상기 숙성조에 도입하여 핵연료 제조 중간 물질을 숙성시키는 단계(단계 1);

상기 단계 1에서 사용된 숙성 용액을 제거한 후, 상기 중간처리조에 세척 용액을 도입하여 상기 단계 1에서 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척하는 단계(단계 2); 및

상기 단계 2에서 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 상기 중간처리조에서 건조시키는 단계(단계 3);를 포함하는 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 단계 3을 수행하고 난 후, 상기 단계 3에서 건조된 핵연료 제조 중간 물질을 상기 중간처리조에서 분위기가스 하에 하소시키는 단계(단계 4);를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 단계 4는,

중간처리조 내부의 온도를 기설정된 온도로 예열하는 단계(단계 a); 및

상기 단계 a에서 예열된 중간처리조 내부에 반응 가스를 주입하여 상기 핵연료 제조 중간물질을 열처리시켜 미세 입자를 생성하는 단계(단계 b);를 포함하는 것을 특징으로 하는 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법.

청구항 19

제16항에 있어서,

상기 단계 1 및 상기 단계 2의 숙성 및 세척은 숙성 용액 및 세척 용액을 순환시켜 핵연료 제조 중간 물질을 이동시키는 방법으로 수행되는 것을 특징으로 하는 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법.

청구항 20

제16항의 운전방법으로 제조되는 핵연료 피복입자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템 및 이의 운전방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 첨단기술인 다목적 고온가스로는 대량의 열과 환원가스인 수소 가스를 필요로 하는 제철, 화학공업 등의 모든 분야에 이용될 수 있으며, 특히 경수로형 원자력발전소의 원자로(출구온도 300 ℃)보다 높은 850 내지 950 ℃의 출구온도가 가능하기 때문에 원자력 발전의 용도로도 효율적으로 사용될 수 있다. 이때, 원자력 발전을 위한 고온가스로는 현재 국내에서 사용되고 있는 경수로(물을 사용해서 원자로를 냉각)와는 달리 원자로에서 핵분열로 발생하는 고온의 열을 He 가스를 사용해서 냉각하는 가스냉각로 개념으로, 핵분열 물질로 우라늄 산화물이 많이 사용된다.

[0003] 한편, 가스냉각로의 경우, 핵연료를 구성하는 우라늄 산화물(또는, 산화물 외 다른 종류의 우라늄 화합물)도 경수로나 중수로에서 사용하는 핵연료 물질의 구조와는 근본적으로 다른 개념을 적용하여 제조한다.

[0004] 즉, 고온가스로에 적용되는 핵연료 물질은 지름 0.3 ~ 0.8 mm 이하의 작은 구형입자로서, 우라늄 등의 산화물(UO₂), 혼합화합물(UCO)을 심으로 하여 그 바깥쪽을 특수한 탄소, 규소 막으로 3~4 층으로 감싸서 1,300 ℃의 고온에서도 핵분열 생성물의 누출을 근원적으로 방지할 수 있도록 한 것을 사용한다.

[0005] 이와 같이, 고온가스로 핵연료로서 사용되는 구형의 UO₂ 입자, 또는 UCO 입자는 화학기상증착(CVD) 등의 피복장치를 이용해서 입자의 표면을 4 층으로 피복하여 TRISO(TRi-ISotropic) 입자로 제조될 수 있으며, 이러한 TRISO 입자의 제조공정 및 입자의 형태는 도 1과 같다.

[0006] 이때, 종래의 고온가스로 핵연료 제조공정은, 일례로써 도 1에 도시된 바와 같이 UO₂ 미세구입자를 제조하고, 제조된 UO₂ 입자를 다양한 피복 가스(coating gas)를 이용해서 입자의 표면을 다층으로 피복함으로써 최종적으로

TRISO 형태의 피복입자를 제조한다. 나아가, 고온가스로에 장전되는 핵연료는 일반 중수로나 경수로 형태의 핵연료와는 전혀 다른 TRISO 형태의 구형입자이기 때문에, 제조된 TRISO 입자들은 그라파이트(graphite) 분말과 같은 다양한 혼합물질과 함께 혼합 후 다양한 단위공정들을 거쳐 고온가스로의 원자로 형태에 따라 각기둥(prismatic) 형태, 조약돌(pebble) 형태 등으로 가공하여 최종적인 가스로 핵연료로 제조된다.

[0007] 이때, 상기 UO_2 미세구입자는, 일례로써 습식공정인 GSP(gel supported precipitation) 방법을 활용해서 제조한다. 상기 제조방법은 먼저, UN 용액(질산에 우라늄이 녹아있는 용액)에 각종 첨가물을 혼합하여 혼합 용액을 만들고, 이를 바이브레이션 노즐 시스템(vibration nozzle system)으로 공급하여 구형의 ADU 겔 입자를 중간 물질로 제조한 후, 이를 숙성 및 세척 후, 고-액 분리 및 건조 과정을 거쳐 건조 상태의 ADU 겔 입자를 만든다. 건조된 ADU 겔 입자는 상술한 바와 같이, 후속 공정인 하소 공정을 거치면 ADU에서 UO_3 로 열분해되고, 열분해된 UO_3 입자는 고온의 소결로에서 환원 과정을 거쳐 UO_2 로 상변화를 거친 후, 고온에서 소결 과정을 거치면 이론밀도의 95 %이상을 갖는 구형의 UO_2 미세구입자가 제조된다.

[0008] 상술한 바와 같은 UO_2 미세구입자를 제조하기 위하여 중간물질로 제조되는 ADU 겔 입자는 AWD(ageing-washing-drying) 장치를 사용하는데, 기존에 사용되고 있는 AWD(ageing-washing-drying) 장치는 장방형으로 형성된 숙성조에 상기의 ADU 겔 입자를 넣은 후, 각각의 처리 단계마다 처리 용액들을 공급한 후 AWD 장치 자체를 회전시켜 공정을 진행하는 방법을 응용하고 있다.

[0009] 각각의 단위 공정을 수행한 후 ADU 겔 입자의 처리에 사용된 발생된 처리용액은 재활용되거나 폐용액 상태로 발생하는데 이 용액의 처리에서는 암모니아 가스의 발생과 수작업으로 진행해야 하는 등 처리에 불편한 과정을 거친다.

[0010] 뿐만 아니라, 건조 과정의 부압을 거는 과정에서 숙성조의 중심회전축인 바(bar)의 내부를 미세 홀(hole)로 가공하고, 이 홀(hole)을 이용해서 부압을 거는 방법을 취하기 때문에, 각종 회전자와 전선 및 온도 센서 등 복잡한 부품들이 함께 회전하여야 하는 등 숙성조 제작 및 운전 등에 어려움이 있다.

[0011] 이에, 본 발명자들은 종래의 방법이 갖는 불편을 해소하고, 비교적 운전이 쉬운 방법을 사용해서 ADU 겔 입자의 숙성, 세척 및 건조 과정을 수행하기 위한 시스템에 대하여 연구하던 중, 핵연료 제조 중간물질인 ADU 겔 입자를 순환유동을 통해 숙성-세척-건조(ageing-washing-drying, AWD)를 수행할 수 있는 숙성-세척-건조 시스템을 개발하고, 본 발명을 완성하였다.

(특허문헌 1) JP2005-184743 A

(특허문헌 2) JP2005-256244 A

(특허문헌 3) KR10-2013-0106218 A

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 목적은 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템 및 이의 운전방법을 통해 핵연료 제조 중간물질 제조과정을 간편하고 경제적으로 수행할 수 있는 시스템 및 이의 운전방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은

- [0014] 핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액으로 숙성시키는 숙성(Ageing) 단계, 상기 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척 용액으로 불순물을 제거하는 세척(Washing) 단계 및 상기 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 건조하는 건조(Drying) 단계를 순차적으로 수행하는 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 제조과정에서 수행하는 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템에 있어서,
- [0015] 상기 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템은,
- [0016] 핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액을 이용하여 숙성하기 위한 숙성조;
- [0017] 상기 숙성조 하부에 구비되고 상기 숙성조와 이동관으로 연결되되, 숙성 또는 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 보관, 건조 및 수거할 수 있는 중간처리조;
- [0018] 상기 숙성조 및 중간처리조와 연결되어 상기 중간처리조를 통해 숙성조에 숙성 용액을 제공하거나 숙성조에서 발생하는 과량의 숙성 용액을 수거 또는 순환시키는 숙성 용액 저장부;
- [0019] 상기 중간처리조 상부와 하부에 연결되어 상기 중간처리조에 세척 용액을 제공하거나 중간처리조에서 발생하는 과량의 세척 용액을 수거 또는 순환시키는 세척 용액 저장부;
- [0020] 상기 중간처리조와 연결되고 반응 가스 예열 수단을 포함하는 가스 공급부; 및
- [0021] 상기 숙성조, 중간처리조, 용액 저장부 및 가스 공급부의 구동 및 온도를 제어하는 제어부;를 포함하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템을 제공한다.
- [0022] 또한, 본 발명은
- [0023] 핵연료 제조 중간 물질과 숙성 용액을 숙성조에 도입하여 핵연료 제조 중간 물질을 숙성시키는 단계(단계 1);
- [0024] 상기 단계 1에서 사용된 숙성 용액을 제거한 후, 중간처리조에 세척 용액을 도입하여 상기 단계 1에서 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척하는 단계(단계 2); 및
- [0025] 상기 단계 2에서 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 중간처리조에서 건조시키는 단계(단계 3);를 포함하는 상기에 따른 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 운전방법을 제공한다.
- [0026] 나아가, 본 발명은
- [0027] 상기의 제조방법으로 제조되는 핵연료 피복입자를 제공한다.

발명의 효과

- [0028] 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템은 일반적으로 사용되는 입자 제조 장치의 복잡한 구성 및 어려운 운전 방법 등의 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 순환유동을 이용하여 손쉽게 숙성 및 세척 공정을 수행할 수 있으며, 건조 공정 수행 후에 다음 단계인 하소 처리 공정까지 수행할 수 있는 장점이 있다. 이와 같이, 본 발명에 따른 시스템을 사용함으로써 방사성 물질 사용시 안전성을 확보할 수 있으며, 운전 작업의 편의성 및 생성물의 품질을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 통상적인 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자의 제조공정을 나타낸 순서도이고;
- 도 2는 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템을 개략적으로 도시한 도면이고;

도 3 및 도 4는 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 있어서, 숙성조를 개략적으로 도시한 도면이고;

도 5 내지 7은 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 있어서, 중간처리조를 개략적으로 도시한 도면이고;

도 8은 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 있어서, 숙성 용액 저장부 및 세척 용액 저장부를 개략적으로 도시한 도면이고;

도 9는 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 있어서, 가스 공급부를 개략적으로 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 본 발명은
- [0031] 순환유동을 이용한 핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액으로 숙성시키는 숙성(Ageing) 단계, 상기 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척 용액으로 불순물을 제거하는 세척(Washing) 단계 및 상기 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 건조하는 건조(Drying) 단계를 순차적으로 수행하는 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템에 있어서,
- [0032] 상기 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템은,
- [0033] 핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액을 이용하여 숙성하기 위한 숙성조;
- [0034] 상기 숙성조 하부에 구비되고 상기 숙성조와 이동관으로 연결되되, 숙성 또는 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 보관, 건조 및 수거할 수 있는 중간처리조;
- [0035] 상기 숙성조 및 중간처리조와 연결되어 상기 중간처리조를 통해 숙성조에 숙성 용액을 제공하거나 숙성조에서 발생하는 과량의 숙성 용액을 수거 또는 순환시키는 숙성 용액 저장부;
- [0036] 상기 중간처리조 상부와 하부에 연결되어 상기 중간처리조에 세척 용액을 제공하거나 중간처리조에서 발생하는 과량의 세척 용액을 수거하는 세척 용액 저장부;
- [0037] 상기 중간처리조와 연결되고 반응 가스 예열 수단을 포함하는 가스 공급부; 및
- [0038] 상기 숙성조, 중간처리조, 용액 저장부 및 가스 공급부의 구동 및 온도를 제어하는 제어부;를 포함하는 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템을 제공한다.
- [0039] 이때, 본 발명의 상기 "핵연료"는 우라늄산화물인 UO_2 뿐만 아니라, UCO 와 같은 우라늄화합물을 포함한다.
- [0040] 한편, 도 2 내지 도 9의 도면을 통해 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템을 도시하였으며,
- [0041] 이하, 도면을 참조하여 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 대하여 상세히 설명한다.
- [0042] 도 2는 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템을 개략적으로 나타낸 도면으로, 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 핵연료 피복입자의 숙성-세척-건조 시스템(100)은 핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액을 이용하여 숙성하기 위한 숙성조(200); 상기 숙성조 하부에 구비되고 상기 숙성조와 이동관(101)으로 연결되되, 숙성 또는 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 보관, 건조 및 수거할 수 있는 중간처리조(300); 상기 숙성조 및 중간처리조와 연결되어 상기 중간처리조를 통해 숙성조에 숙성 용액을 제공하거나 숙성조에서 발생하는 과량의 숙성 용액을 수거 또는 순환시키는 숙성 용액 저장부(400); 상기 중간처리조 상부와 하부에 연결되어 상기 중간처리조에 세척 용액을 제공하거나 중간처리조에서 발생하는 과량의 세척 용액을 수거 또는 순환시키는 세척 용액 저장부(500); 상기 중간

처리조와 연결되고 반응 가스 예열 수단을 포함하는 가스 공급부(600); 및 상기 숙성조, 중간처리조, 용액 저장부 및 가스 공급부의 구동 및 온도를 제어하는 제어부(미도시);를 포함한다.

- [0043] 즉, 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템(100)은 핵연료 제조 중간물질인 ADU 겔로부터 가스로에 적용할 수 있는 핵연료 피복입자를 제조하기 위하여 핵연료 피복입자의 제조 공정 중, 핵연료 피복입자 중간물질의 숙성-세척-건조 공정을 위한 것으로서,
- [0044] 도 2에 도시한 바와 같이, 상기 숙성조(200)에서 입자의 유동을 통해 핵연료 제조 중간 물질을 숙성 용액으로 숙성시킨 후, 중간처리조(300)에서 세척 용액으로 세척 공정을 거친 핵연료 제조 중간 물질을 건조하기 위한 것이다. 또한, 상기 중간처리조에서 건조 공정 후에 하소 공정을 수행할 수 있다.
- [0045] 구체적으로, 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템(100)에 있어서, 상기 숙성조(200)에서는 핵연료 제조 중간 물질의 숙성 공정을 수행할 수 있다.
- [0046] 이때, 도 3 및 도 4에 도시한 바와 같이, 상기 숙성조(200)는,
- [0047] 바닥면이 역원뿔 형태이며, 상부가 뚫려있는 원통형 본체(201);
- [0048] 상기 원통형 본체의 외측면을 감싸도록 형성되어, 상기 원통형 본체 내부를 가열시키고 일정한 온도로 유지시키는 가열부(202);
- [0049] 상기 원통형 본체의 상부를 막아주는 플랜지(flange, 203);
- [0050] 상기 플랜지를 원통형 본체에 고정시키는 클램프(clamp, 204);
- [0051] 상기 원통형 본체 내부와 연결되고, 기체-액체 경계면 상부에 위치하는 배기관(205);
- [0052] 상기 배기관 하부에 위치하는 오버플로우관(206); 및
- [0053] 상기 원통형 본체 내부와 관으로 연결되고, 원통형 본체 상부에 위치하는 투입구(207);를 포함한다.
- [0054] 상기 숙성조(200)에서 순환유동을 수행하기 위해서는 상기 원통형 본체(201)에서 역원뿔 형태인 바닥면의 각도가 수평면에 대하여 40 내지 75 ° 인 것이 바람직하다. 만약, 상기 원통형 본체에서 역원뿔 형태인 바닥면의 각도가 수평면에 대하여 40 ° 미만일 경우에는 숙성 또는 세척 공정을 수행할 때 입자의 유동이 일어나기 어려운 문제가 있으며, 75 를 초과하는 경우에는 유동되는 입자의 하부에서 인입되는 숙성 용액 또는 세척 용액의 상향 흐름에 따른 유속의 저항으로 인해 상부에 위치한 입자가 하부로 중력에 의해 내려오지 못하기 때문에 입자 전체 유동에 문제가 있다.
- [0055] 또한, 상기 원통형 본체(201) 외측면에는 내부를 관측할 수 있도록 사이트 글래스(sight glass)가 형성될 수 있다. 이를 통해 내부에서 입자의 유동이 제대로 수행되는지 확인할 수 있다.
- [0056] 나아가, 상기 원통형 본체(201)의 외측면을 감싸도록 형성되는 가열부(202)는 상기 원통형 본체 내부를 가열시키고 일정한 온도로 유지시킬 수 있다. 일례로써, 전기로를 사용할 수 있으나 이에 제한되지 않는다.
- [0057] 또한, 상기 배기관(205)은 원통형 본체 내부와 연결되고, 기체-액체 경계면 상부, 즉 숙성 용액으로 숙성 공정을 수행하는 경우 형성되는 기체-액체 경계면 상부에 위치하며, 상기 배기관은 콘덴서(condenser, 205a)를 더 포함할 수 있다.

- [0058] 상기 배기관(205)은 콘덴서(205a)를 포함함으로써, 상기 원통형 본체(201) 내부에서 숙성 용액을 사용하여 입자의 유동을 수행함에 있어서, 온도 상승이 발생하는 경우 숙성 용액 상부에 형성될 수 있는 숙성 용액의 분해 가스를 냉각시켜 다시금 흘러내려 재사용할 수 있다.
- [0059] 이때, 상기 배기관(205)은 15 ° 이상의 각도로 형성되는 것이 바람직하며, 이에 따라, 상기 배기관의 콘덴서(205a)에서 냉각된 숙성 용액을 원통형 본체(201) 내부로 흘러내릴 수 있다.
- [0060] 또한, 상기 배기관(205)의 콘덴서(205a)는 냉각부(205b)와 연결되어 있어 손쉽게 냉각이 가능하다.
- [0061] 또한, 상기 오버플로우관(206)은 원통형 본체 내부와 연결되고, 기체-액체 경계면, 즉 숙성 용액으로 숙성 공정을 수행하는 경우 형성되는 기체-액체 경계면에 위치하며, 상기 오버플로우관은 상기 배기관(205)보다 하부에 위치하는 것이 바람직하다. 상기 배기관보다 하부에 위치함으로써 숙성 단계를 수행할 때 발생하는 과량의 숙성 용액은 오버플로우관으로 이동하여 숙성 용액 저장부(400)에 저장될 수 있다.
- [0062] 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템(100)에 있어서, 상기 중간처리조(300)는 상기 숙성조(200) 하부에 구비되고 상기 숙성조와 이동관(101)으로 연결되어 있으며, 상기 숙성조에서 숙성 용액으로 입자의 유동을 통해 숙성 공정이 수행되거나, 상기 중간처리조에서 세척 용액으로 세척 공정이 수행되고 난 후의 핵연료 제조 중간 물질을 보관, 건조 및 수거할 수 있다.
- [0063] 또한, 상기 중간처리조(300)에서는 숙성-세척-건조(AWD) 단계 후, 1 차 하소 단계를 더 수행할 수 있다.
- [0064] 이때, 도 5 내지 7에 도시한 바와 같이, 상기 중간처리조(300)는,
- [0065] 바닥면이 역원뿔 형태이며, 상부가 뚫려있는 원통형 본체(301);
- [0066] 상기 원통형 본체의 외측면을 감싸도록 형성되어, 상기 원통형 본체 내부를 가열시키고 일정한 온도로 유지시키는 가열부(302);
- [0067] 상기 원통형 본체 내부에 위치하며, 숙성 또는 세척 단계를 수행하고 난 후의 핵연료 제조 중간 물질을 보관하는 원통형 분리망(303);
- [0068] 상기 원통형 본체와 연결되는 오버플로우관(304);
- [0069] 상기 원통형 본체의 상부를 막아주는 플랜지(flange, 305); 및
- [0070] 상기 플랜지를 원통형 본체에 고정시키는 클램프(clamp, 306);를 포함한다.
- [0071] 상기 원통형 본체(301)의 외측면을 감싸도록 형성되는 가열부(302)는 상기 원통형 본체 내부를 가열시키고 일정한 온도로 유지시킬 수 있다. 일례로써, 전기로를 사용할 수 있으나 이에 제한되지 않는다.
- [0072] 나아가, 상기 원통형 본체(301) 내부에는 원통형 분리망(303)이 위치하며, 상기 원통형 분리망은 플랜지(305)와 결합되어 고정될 수 있도록 상기 원통형 본체 상부에 걸쳐있을 수 있다.
- [0073] 또한, 상기 원통형 분리망(303)은 직경이 400 내지 500 μm 인 구멍들이 형성될 수 있다. 상기 원통형 분리망에 적절한 직경을 가지는 구멍을 형성시키면 최종적으로 생성되는 핵연료 중간물질의 크기가 일정 크기 이상의 입자만을 분리할 수 있는 장점이 있다. 구체적으로, 초기에 만들어진 핵연료 제조 중간 물질인 ADU 겔 입자의 초기입자 크기가 1600 내지 2000 μm 라면, 상기 핵연료 제조 중간 물질이 숙성 또는 세척 공정을 거치면서 그 크기가 축소되어 1000 내지 1200 μm 로 변화된다. 이후, 건조 공정을 거치면서 800 내지 1000 μm 의 직경을 가지고, 1

차 열처리 공정인 하소 처리 공정을 수행하게 되면 더욱 수축하게 된다. 이때, 초기에 만들어진 핵연료 제조 중간 물질의 크기가 매우 작을 경우, 이후의 공정을 통해 더욱 수축되어 동일한 크기의 입자들을 요구하는 핵연료 중간물질의 사양(specification)에 문제를 발생시킬 수 있다.

[0074] 나아가, 상기 중간처리조(300) 하부에는 제조불량으로 발생하는 미세입자가 상기 원통형 분리망(303)을 통과되며, 이러한 핵연료 제조 중간 물질을 수거하기 위한 용기(105)를 더 포함할 수 있다. 상기 원통형 분리망에 형성된 구멍을 통하여 원하지 않는 직경을 가지는 핵연료 제조 중간 물질은 수거할 수 있다.

[0075] 또한, 상기 오버플로우관(304)은 두 방향으로 분리되어 진공펌프(102)와 연결된 진공관(304a) 및 세척 용액 저장부(500)와 연결된 세척관(304b)을 포함한다. 이와 같이, 상기 진공관은 진공펌프와 연결되어 있어, 상기 중간처리조(300)에서 건조 공정을 수행하는 경우 진공 상태를 만들어 줄 수 있으며, 상기 세척관은 세척 용액 저장부와 연결되어 있어, 상기 중간처리조에 세척 용액을 공급할 수 있다.

[0076] 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 있어서, 상기 숙성조(200) 및 중간처리조(300)는 이동관(101)으로 연결되어 있으며, 상기 이동관은 숙성 용액의 숙성조로의 유입 및 유출을 제어하는 조절 밸브(101a)를 포함할 수 있다. 상기 조절 밸브를 열어 숙성조와 중간처리조를 연결하여 숙성 용액으로 입자의 유동을 수행하거나, 상기 조절 밸브를 닫아서 중간처리조를 숙성조와 분리시켜 세척, 건조 공정을 수행할 수 있고, 조절 밸브를 열어서 하소 공정을 수행할 수 있다. 또한, 상기 이동관은 유연성을 가질 수 있으며, 이를 위해 유연성을 가지는 기재를 사용하여 제조될 수 있다.

[0077] 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 있어서, 상기 숙성 용액 저장부(400)는 상기 숙성조(200) 및 중간처리조(300)와 연결되어 상기 숙성조에서 발생하는 과량의 숙성 용액을 수거 또는 순환시키거나, 중간처리조를 통해 숙성조 하부로 숙성 용액을 재공급하는 역할을 한다.

[0078] 상기 숙성 용액 저장부(400)는 숙성조(200) 및 중간처리조(300)와 각각 관으로 연결되며, 상기 중간처리조와 연결된 관 중간에는 순환펌프(103)가 위치한다. 상기 순환펌프는 숙성조에서 순환유동을 수행하기 위하여 작동할 수 있으며, 숙성 용액 저장부에 저장된 숙성 용액을 공급할 수 있다.

[0079] 또한, 상기 중간처리조(300)와 숙성 용액 저장부(400)를 연결하는 관은 중간처리조 아래쪽 방향으로 관이 연장되고, 드레인 밸브(104)가 형성되어 있어 사용된 숙성 용액 또는 세척 용액을 배출할 수 있다.

[0080] 나아가, 상기 숙성조(200)와 숙성 용액 저장부(400)를 연결하는 관은 오버플로우관(206)이며, 상기 오버플로우관은 배기관(205)보다 하부에 위치하여 숙성 단계 단계 수행 시, 과량의 숙성 용액을 숙성 용액 저장부로 이동시키거나, 순환시킬 수 있다.

[0081] 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 있어서, 상기 세척 용액 저장부(500)는 상기 중간처리조(300)와 연결되어 상기 중간처리조에서 발생하는 과량의 세척 용액을 수거 또는 순환시키거나, 중간처리조에 세척 용액을 제공한다.

[0082] 이때, 도 8에 도시한 바와 같이, 상기 세척 용액 저장부(500)는,

[0083] 제1 탱크(501);

- [0084] 제2 탱크(502);
- [0085] 제3 탱크(503); 및
- [0086] 버퍼 탱크(504);를 포함할 수 있다.

- [0087] 상기 세척 용액 저장부(500)는 복수 개로 형성될 수 있으며, 이에 따라 다양한 종류의 세척 용액을 저장할 수 있다. 예를 들어, 상기 세척 용액 저장부는 제1 탱크(501), 제2 탱크(502), 제3 탱크(503)을 포함할 수 있으며, 각각의 탱크에 증류수, 순수 이소프로필알콜, 아조트로픽 이소프로필알콜 등의 세척 용액을 보관할 수 있다.

- [0088] 나아가, 상기 세척 용액 저장부(500)는 중간처리조(300) 상부와 하부에 각각 관으로 연결되고, 상기 중간처리조와 연결된 관 중간에는 작은 순환펌프(106)가 위치한다. 상기 작은 순환펌프는 중간처리조에서 세척 단계를 수행하기 위하여 작동할 수 있으며, 세척 용액 저장부에 저장된 세척 용액을 공급할 수 있다.

- [0089] 또한, 상기 중간처리조(300) 상부와 세척 용액 저장부(500)를 연결하는 관 중간에 버퍼 탱크(504)가 위치할 수 있다.

- [0090] 본 발명에 따른 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템에 있어서, 상기 가스 공급부(600)는 중간처리조(300)와 연결되고 반응 가스 예열 수단(601)을 포함하며, 외부로부터 제공되는 가스를 기설정된 온도로 예열하여 예열된 가스를 중간처리조에 제공할 수 있다.
- [0091] 이때, 도 9에 나타낸 바와 같이, 상기 가스 공급부(600)의 예열 수단(601)은 유도 코일을 사용할 수 있다.

- [0092] 또한, 본 발명은
- [0093] 핵연료 제조 중간 물질과 숙성 용액을 숙성조에 도입하여 핵연료 제조 중간 물질을 숙성시키는 단계(단계 1);
- [0094] 상기 단계 1에서 사용된 숙성 용액을 제거한 후, 중간처리조에 세척 용액을 도입하여 상기 단계 1에서 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척하는 단계(단계 2); 및
- [0095] 상기 단계 2에서 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 중간처리조에서 건조시키는 단계(단계 3);를 포함하는 상기에 따른 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법을 제공한다.

- [0096] 이하, 본 발명에 따른 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법에 대하여 상세히 설명한다.

- [0097] 먼저, 본 발명에 따른 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법에 있어서, 단계 1은 핵연료 제조 중간 물질과 숙성 용액을 숙성조(200)에 도입하여 핵연료 제조 중간 물질을 숙성시키는 단계이다.
- [0098] 구체적으로, 상기 단계 1은 핵연료 제조 중간 물질인 ADU 겔 입자를 숙성 용액과 함께 숙성조에 도입하여 숙성조 내에서 핵연료 제조 중간 물질을 숙성시키는 단계로써, 상기 숙성 용액은 투입구(207)로 핵연료 제조 중간 물질과 함께 투입이 되거나, 숙성조(200) 및 중간처리조(300)와 연결된 용액 저장부(400)를 통해 공급될 수 있다.

- [0099] 이때, 상기 단계 1의 숙성시키는 단계를 수행하기 위해서는 상기 숙성조(200)에서 순환유동이 수행될 수 있어야 한다. 상기 순환유동이란 용기 속의 분립체(粉粒體)가 유체(액체 또는 기체)의 일정한 유속에 따라 형성하여 이동하는 층에서 반응하는 것으로 유동층에서는 용기 내의 입자가 거의 균일하게 혼합되고, 입자와 유체의 접촉이 좋고, 온도조절이 손쉬워, 간단한 장치로 다량의 분립체를 연속적으로 처리하여 그 일부를 빼내거나 공급할 수

가 있다.

- [0100] 상기 순환유동은 숙성조(200)에서 수행되며, 투입구(207) 또는 용액 저장부(400)에서 공급된 숙성 용액으로 순환펌프(103)를 통해 순환유동을 수행하게 된다.
- [0101] 이때, 상기 순환유동이 수행되기 위해서는 상기 숙성조(200)의 원통형 본체(201)에서 역원뿔 형태인 바닥면의 각도가 수평면에 대하여 40 내지 75 ° 인 것이 바람직하다. 만약, 상기 원통형 본체에서 역원뿔 형태인 바닥면의 각도가 수평면에 대하여 40 ° 미만일 경우에는 숙성 또는 세척 공정을 수행할 때 순환유동이 일어나기 어려운 문제가 있으며, 75 ° 를 초과하는 경우에는 유동되는 입자의 하부에서 인입되는 숙성 용액 또는 세척 용액의 상향 흐름에 따른 유속의 저항으로 인해 상부에 위치한 입자가 하부로 중력에 의해 내려오지 못하기 때문에 입자 전체의 유동에 문제가 있다.
- [0102] 또한, 상기 단계 1에서 숙성 공정의 운전 온도가 상온보다 높을 경우, 숙성시키는 단계를 수행함으로써 증발되는 숙성 용액은 배기관(205)으로 이동하여 콘덴서(205a)로 인해 냉각되어 다시 숙성조(200)의 원통형 본체(201)로 흐르게 된다.
- [0103] 나아가, 상기 단계 1에서 숙성시키는 단계를 수행함으로써 발생하는 과량의 숙성 용액은 배기관(205)보다 하부에 위치한 오버플로우관(206)을 통해 숙성 용액 저장부(400)로 이동하게 된다.
- [0104] 다음으로, 본 발명에 따른 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법에 있어서, 단계 2는 상기 단계 1에서 사용된 숙성 용액을 제거한 후, 중간처리조에 세척 용액을 도입하여 상기 단계 1에서 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척하는 단계이다.
- [0105] 구체적으로, 상기 단계 1에서 핵연료 제조 중간 물질의 숙성이 끝난 후, 숙성된 핵연료 제조 중간 물질은 숙성조(200) 하부에 위치한 중간처리조(300) 내부의 원통형 분리망(303)에 위치하게 되고, 중간처리조 하부의 관에 형성되어 있는 드레인 밸브(104)를 열어 숙성 용액을 배출한다.
- [0106] 그 후, 조절 밸브(101a)를 연 상태에서 세척 용액 저장부(500)의 밸브를 연 후, 상기 세척 용액 저장부와 중간처리조가 연결된 관에 위치하는 작은 순환펌프(106)를 가동하여 원하는 세척 용액을 중간처리조로 공급함으로써 세척 단계를 수행할 수 있다. 이때, 세척 용액이 중간처리조 상부에 위치하고 있는 오버플로우관(304)을 통해 버퍼 탱크(504)로 순환될 수 있으며, 이와 같이 오버플로우된 용액이 작은 순환펌프를 통해 계속 순환됨으로써 순환유동을 이용하여 세척할 수 있다.
- [0107] 상기 단계 2에서 세척 용액의 도입은 세척 용액 저장부(500)를 통해 수행될 수 있으며, 상기 세척 용액 저장부는 제1 탱크(501), 제2 탱크(502) 및 제3 탱크(503)를 포함할 수 있다.
- [0108] 이때, 상기 세척 용액 저장부(500)는 복수 개로 형성될 수 있으며, 이에 따라 다양한 종류의 세척 용액을 저장할 수 있다. 예를 들어, 상기 세척 용액 저장부는 제1 탱크(501), 제2 탱크(502) 및 제3 탱크(503)에 증류수, 아조트로픽 이소프로필알콜 및 순수 이소프로필알콜의 세척 용액을 각각 보관할 수 있다.
- [0109] 또한, 상기 단계 2에서 세척 용액의 도입은 일례로써, 증류수를 포함하는 제1 탱크(501)의 밸브를 열고, 나머지 탱크의 밸브는 잠근 후 작동시켜 증류수로 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척하고, 제1 탱크의 밸브를 잠근 후 제2 탱크(502)의 밸브를 열어 아조트로픽 이소프로필알콜로 숙성된 핵연료 제조 중간 물질을 세척하며, 제2 탱크의 밸브를 잠근 후 제3 탱크(503)의 밸브를 열어 순수 이소프로필알콜로 세척을 수행할 수 있다.

- [0110] 이와 같이, 다양한 세척 용액을 사용할 수 있으며, 각각의 세척 용액을 사용하여 세척 단계를 수행할 때, 오버플로우관(304)을 통해 오버플로우되는 세척 용액이 버퍼 탱크(504)에 모여 작은 순환펌프(106)를 통해 순환시키면서 세척을 할 수 있다. 한 종류의 세척 용액을 사용한 세척이 끝난 후, 세척 용액을 드레인 시키거나, 보관되어 있는 탱크로 이동시킨 후, 다음 세척 공정을 상기와 동일한 방법으로 수행할 수 있다.
- [0111] 이때, 상기 단계 1과 마찬가지로 세척시키는 단계를 수행하기 위해서 순환유동이 수행되며, 상기 순환유동이 수행되기 위해서는 상기 중간처리조(300)의 원통형 본체(301)에서 역원뿔 형태인 바닥면의 각도가 수평면에 대하여 40 내지 75 ° 인 것이 바람직하다.
- [0112] 다음으로, 본 발명에 따른 숙성-세척-건조(Ageing-Washing-Drying, AWD) 시스템의 운전방법에 있어서, 단계 3은 상기 단계 2에서 세척된 핵연료 제조 중간 물질을 중간처리조에서 건조시키는 단계이다.
- [0113] 구체적으로, 상기 단계 2에서 세척이 완료된 핵연료 제조 중간 물질은 중간처리조(300) 내부의 원통형 분리망(303)에 위치하게 되고, 중간처리조 하부의 관에 형성되어 있는 드레인 밸브(104)를 열어 세척 용액을 배출한다.
- [0114] 그 후, 상기 중간처리조(300) 상부 이동관(101)에 위치한 조절 밸브(101a)를 닫아 중간처리조를 고립시킨 후, 중간처리조 오버플로우관(304)에 형성되어 있는 진공관(304a) 및 상기 진공관과 연결되어 있는 진공펌프(102)를 통해 중간처리조 내부를 진공상태로 만들어 줄 수 있으며, 필요에 따라 예열된 가스를 공급하여 원하는 분위기에서 건조시킬 수 있다.
- [0115] 이때, 상기 단계 2에서 건조된 핵연료 제조 중간 물질은 원통형 분리망(303)에 위치하며, 중간처리조(300) 내부의 원통형 본체(301)와 원통형 분리망을 분리하며 손쉽게 결과물을 얻을 수 있다.
- [0116] 또한, 상기 단계 3을 수행하고 난 후, 상기 단계 3에서 건조된 핵연료 제조 중간 물질을 중간처리조에서 분위기 가스 하에 하소시키는 단계(단계 4);를 더 포함할 수 있다.
- [0117] 구체적으로, 상기 단계 4는,
- [0118] 중간처리조 내부의 온도를 기설정된 온도로 예열하는 단계(단계 a); 및
- [0119] 상기 단계 a에서 예열된 중간처리조 내부에 반응 가스를 주입하여 상기 핵연료 제조 중간물질을 분위기 가스 하에서 열처리하여 미세 입자를 생성하는 단계(단계 b);를 포함할 수 있다.
- [0120] 상기 단계 4의 하소는 가스 공급부(600)를 통해 기설정된 온도로 가열된 분위기 가스를 중간처리조(300) 내부에 주입하여 원통형 분리망(303)에 위치한 핵연료 제조 중간 물질을 열처리하여 미세 입자를 생성할 수 있으며, 일례로써 공기분위기(또는 산소분위기)에서 산화시켜 구형의 형태를 유지하면서 구형산화물 입자로 변환시킬 수 있다.
- [0121] 또한, 상기 단계 4의 하소는 다양한 온도에서 입자의 유동 없이 수행될 수 있으며, 상기 하소가 수행되는 온도 범위가 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0122] 한편, 상기 핵연료 제조 중간물질이 우라늄 산화물을 포함하는 경우에는 공기분위기에서 상기 열분해가 수행될 수 있으며, 상기 핵연료 제조 중간 물질이 탄소(C)를 포함하는 경우에는 환원가스 분위기 혹은 불활성가스 분위기에서 상기 열분해가 수행될 수 있다. 그러나, 상기 ADU 겔의 열분해를 위한 하소가 수행되는 조건이 상기 가스들로 제한되는 것은 아니다.

[0123] 이와 같이, 본 발명에 따른 핵연료 피복입자의 제조방법은 숙성-세척-건조 공정뿐만 아니라, 하소 공정을 동시에 수행할 수 있다.

[0124] 나아가, 본 발명은

[0125] 상기의 운전방법으로 제조되는 핵연료 피복입자를 제공한다.

[0126] 본 발명에 따른 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 제조 중간물질 처리과정은 일반적으로 사용되는 장치의 복잡한 구성 및 어려운 운전 방법 등의 문제점을 해결하여 제조할 수 있다. 또한, 순환유동을 이용하여 손쉽게 숙성 및 세척 공정을 수행하여 제조할 수 있으며, 건조 공정 수행 후에 다음 단계인 하소 처리 공정까지 동시에 수행하여 제조할 수 있다.

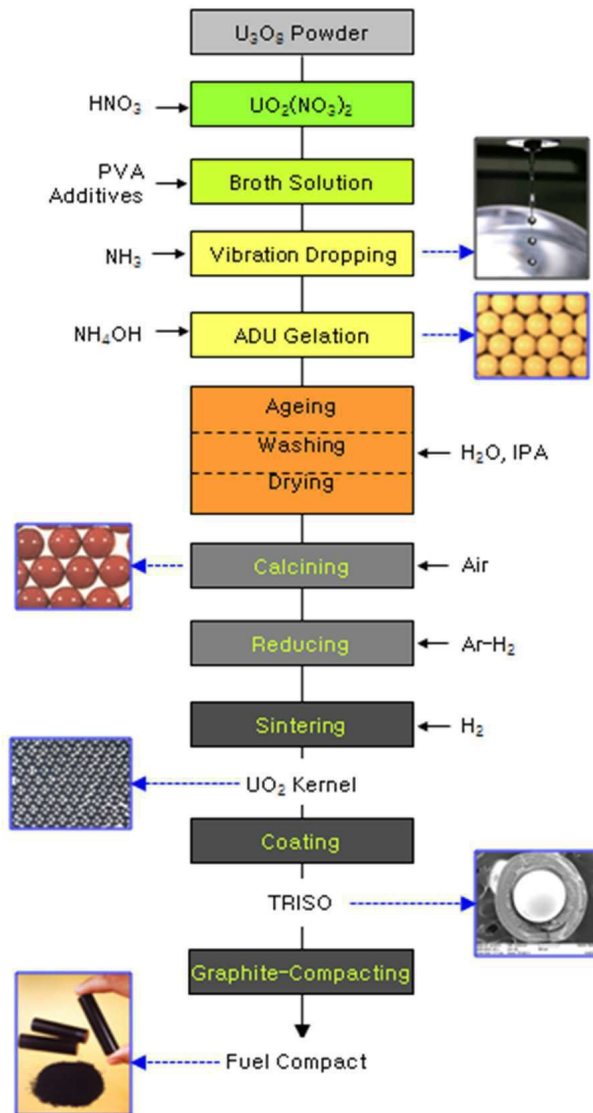
[0127] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

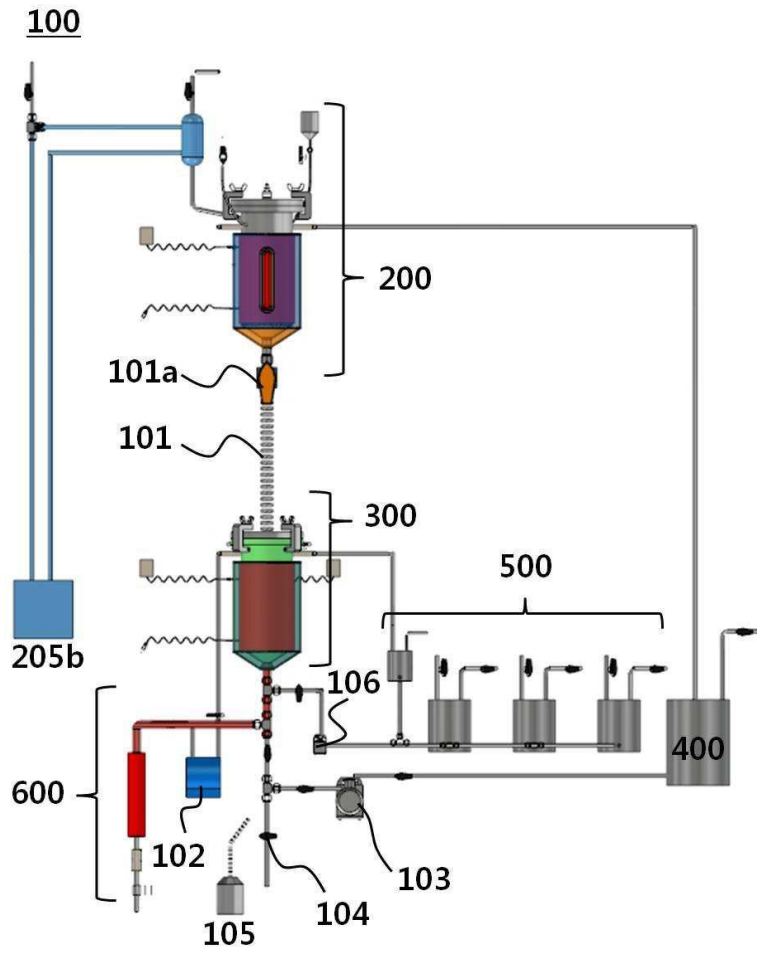
- [0128] 100 : 순환유동을 이용한 고온가스로 또는 초고온가스로 핵연료 피복입자 중간생성물의 숙성-세척-건조 시스템
- | | |
|-----------------|-----------------|
| 101 : 이동관 | 101a : 조절 밸브 |
| 102 : 진공펌프 | 103 : 순환펌프 |
| 104 : 드레인 밸브 | 105 : 용기 |
| 106 : 작은 순환펌프 | 200 : 숙성조 |
| 201 : 원통형 본체 | 202 : 가열부 |
| 203 : 플렌지 | 204 : 클램프 |
| 205 : 배기관 | 205a : 콘덴서 |
| 205b : 냉각부 | 206 : 오버플로우관 |
| 207 : 투입구 | 300 : 중간처리조 |
| 301 : 원통형 본체 | 302 : 가열부 |
| 303 : 원통형 분리망 | 304 : 오버플로우관 |
| 304a : 진공관 | 304b : 세척관 |
| 305 : 플렌지 | 306 : 클램프 |
| 400 : 숙성 용액 저장부 | 500 : 세척 용액 저장부 |
| 501 : 제1 탱크 | 502 : 제2 탱크 |
| 503 : 제3 탱크 | 504 : 버퍼 탱크 |
| 600 : 가스 공급부 | 601 : 예열 수단 |

도면

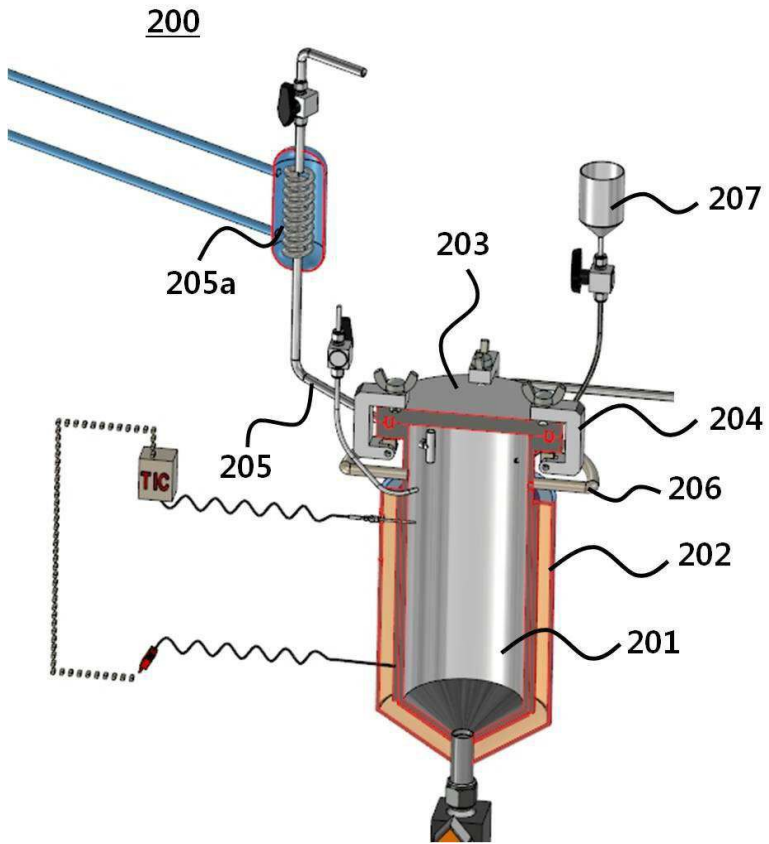
도면1



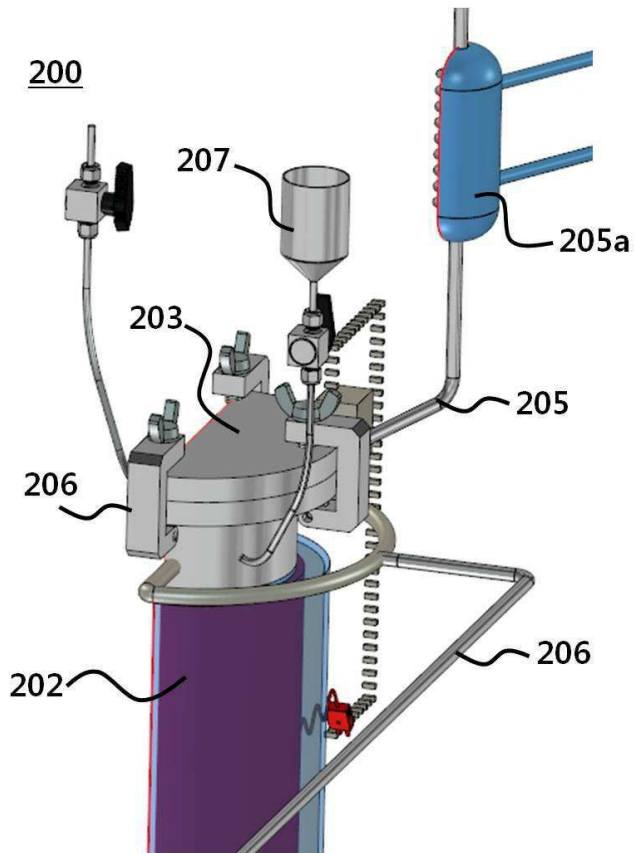
도면2



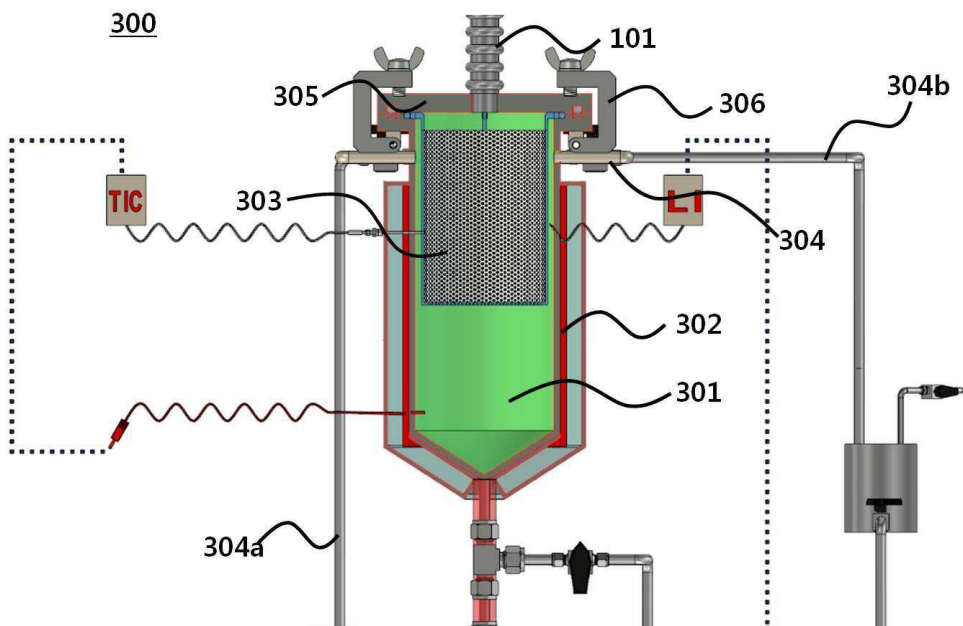
도면3



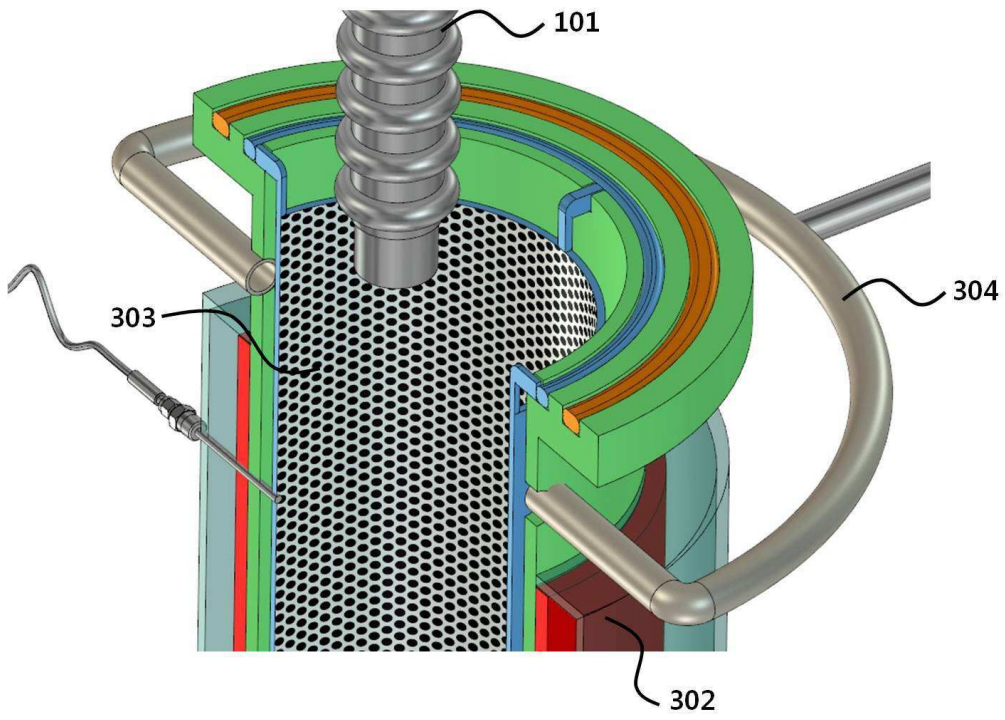
도면4



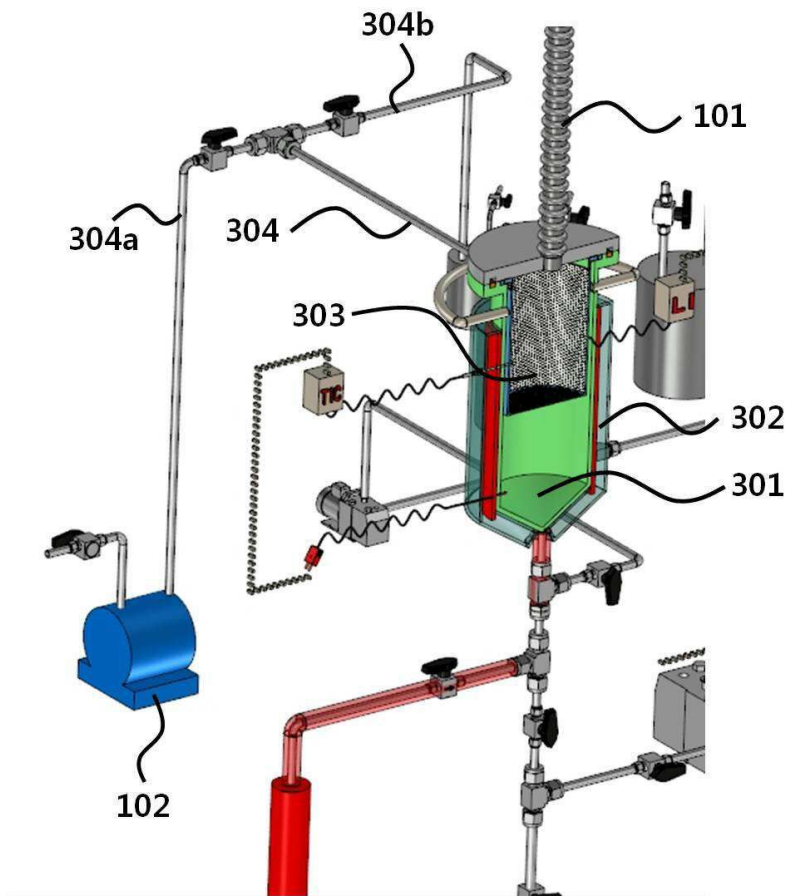
도면5



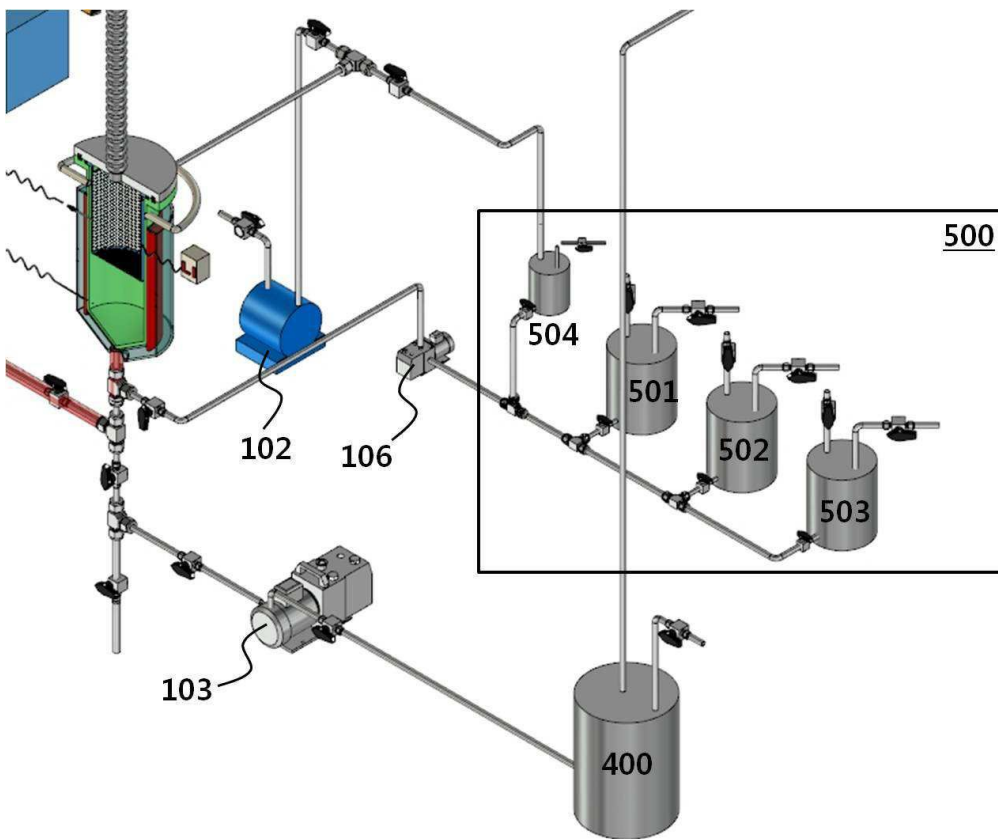
도면6



도면7



도면8



도면9

