



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년06월23일
(11) 등록번호 10-0840809
(24) 등록일자 2008년06월17일

(51) Int. Cl.
G21C 19/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2003-0090953
(22) 출원일자 2003년12월13일
심사청구일자 2006년07월21일
(65) 공개번호 10-2004-0052204
(43) 공개일자 2004년06월22일
(30) 우선권주장
10/318,657 2002년12월13일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP11337693 A
JP2002156488 A
JP2002243888 A

(73) 특허권자
홀텍 인터내셔널, 인크.
미국 08053 뉴저지 말톤 린콜린 드라이브 웨스트 555
(72) 발명자
신프, 크리스나피.
미국34683플로리다팜하버노르망디씨클리스트30
(74) 대리인
남상선

전체 청구항 수 : 총 54 항

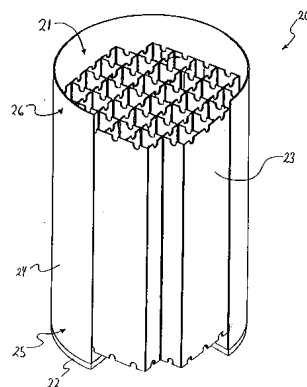
심사관 : 이용호

(54) 강제식 가스 유동 캐니스터 탈수

(57) 요약

본 발명은 방사성 원소를 저장하는데 사용되는 공동이 감입식 측정없이 적절하게 건조되는 것을 보장하기 위한 방법 및 시스템을 제공한다. 본 발명의 일 양상에 있어서, 자유 체적(V_F), 시작 증기압(vP_S) 및 공동 압력(P_C)을 가지는 방사성 원소들로 로딩된 공동을 건조하는 방법으로서, 상기 방법은, 원하는 증기압(vP_D)과 관련하여 상기 공동 내의 원하는 건조도(a degree of dryness)를 결정하는 단계와, 비반응성 가스를 온도(T_C)까지 냉각시키는 단계와, 상기 냉각시키는 단계에 의해 상기 비반응성 가스를 건조시키는 단계와, 상기 공동의 자유 체적(V_F)이 X 회 턴오버하도록 상기 공동 안으로 상기 건조된 비반응성 가스를 도입시키는 단계와, 상기 공동으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하는 단계를 포함하며, 시간(t) 내에 상기 공동 내에 상기 원하는 증기압(vP_D)을 달성하도록 온도(T_C) 및 유량(R)을 제어한다. 대안으로, X 를 제어하는 대신에 시간(t) 이상으로 유량(R)을 제어할 수 있다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

자유 체적(V_F), 시작 증기압(vP_S) 및 공동 압력(P_C)을 가지며 방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법으로서,

원하는 증기압(vP_D)과 관련하여 상기 공동 내부에서의 원하는 건조도를 결정하는 단계와,

비반응성 가스를 건조시키도록 상기 비반응성 가스를 온도(T_C)까지 냉각시키는 단계와,

시간(t) 동안 상기 공동 안으로 상기 건조된 비반응성 가스를 유량(R)으로 도입시키는 단계와,

상기 공동으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하는 단계를 포함하며,

상기 온도(T_C) 및 유량(R)이 상기 시간(t) 이후에 상기 공동 내에 상기 원하는 증기압(vP_D)을 달성하도록 제어되는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 유량(R)이 체적 유량 또는 질량 유량인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 비반응성 가스를 온도(T_C)까지 냉각시키는 단계와 상기 건조된 비반응성 가스를 유량(R)으로 도입시키는 단계 사이에, 상기 건조된 비반응성 가스를 온도(T_H)로 가열시키는 단계를 더 포함하며,

상기 온도(T_H)가 상기 시간(t) 이후에 상기 공동 내에 상기 원하는 증기압(vP_D)을 달성하도록 제어되는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 증기압(vP_D)이 약 3토르이고, 상기 자유 체적(V_F)이 약 300 ft^3 이며, 상기 공동 압력(P_C)이 약 50 lb/in^2 이고, 상기 시작 증기압(vP_S)이 약 87토르이며, 그리고

상기 유량(R)이 약 $78.125 \text{ ft}^3/\text{min}$ 로 설정된 체적 유량이고, 상기 온도(T_H)가 약 300°F 로 설정되며, 상기 온도(T_C)가 약 21°F 이하로 설정되고, 상기 시간(t)이 약 22.5분인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 비반응성 가스가 헬륨이고, 상기 증기압(vP_D)이 약 3 토르이고, 상기 자유 체적(V_F)이 약 300 ft^3 이며, 상기 공동 압력(P_C)이 약 50 lb/in^2 이고, 상기 시작 증기압(vP_S)이 약 87 토르이며,

상기 유량(R)이 약 2.5 lb/min 로 설정된 질량 유량이고, 상기 온도(T_H)가 약 300°F 로 설정되며, 그리고 상기 온

도(T_c)가 약 21°F 이하로 설정되고, 상기 시간(t)이 약 22.5분인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 냉각시키는 단계는, 응축기를 통해 상기 비반응성 가스를 유동시킨 후 상기 비반응성 가스를 냉동 건조시키는 탈습기 모듈을 통해 상기 비반응성 가스를 유동시키는 단계를 포함하며,

상기 탈습기 모듈은 온도(T_c)에서의 상기 비반응성 가스를 배출시키도록 되어 있는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 제거된 습윤한 비반응성 가스를 상기 냉각시키는 단계에서 처리함으로써 상기 공동으로부터 제거된 상기 습윤한 비반응성 가스를 재순환시키는 단계를 더 포함하는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 시간(t)이 경과한 후 상기 공동 안으로 상기 건조된 비반응성 가스를 도입하는 것을 중지하는 단계와, 그리고

상기 증기압(vP_D) 이하의 증기압을 가지는 상기 공동을 밀봉하여, 상기 공동 내부에 건조된 비반응성 가스의 분위기를 형성하는 단계를 더 포함하는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 비반응성 가스는 질소, 이산화탄소, 경질 탄화수소, 또는 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 이루어지는 군에서 선택되는 불활성 가스인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 공동 내의 상기 원하는 증기압(vP_D)이 약 3토르 이하인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 온도(T_c)가 약 21°F 이하인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 12

자유 체적(V_F), 시작 증기압(vP_S) 및 공동 압력(P_C)을 가지며 방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는

방법으로서,

원하는 증기압(vP_D)과 관련하여 상기 공동 내에서의 원하는 건조도를 결정하는 단계와;

비반응성 가스를 건조시키도록 상기 비반응성 가스를 온도(T_C)까지 냉각시키는 단계와,

상기 공동의 상기 자유 체적(V_F)이 X회 턴오버하도록 상기 공동 안으로 상기 건조된 비반응성 가스를 도입시키는 단계와;

상기 공동으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하는 단계를 포함하며,

상기 온도(T_C) 및 X가 상기 공동 내에 상기 원하는 증기압(vP_D)을 달성하도록 제어되는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 비반응성 가스를 온도(T_C)까지 냉각시키는 단계와 상기 공동 안으로 상기 건조된 비반응성 가스를 도입시키는 단계 사이에, 상기 건조된 비반응성 가스를 온도(T_H)로 가열시키는 단계를 더 포함하며,

상기 온도(T_H)가 상기 원하는 증기압(vP_D)을 달성하도록 제어되는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 증기압(vP_D)이 약 3토르이고, 상기 자유 체적(V_F)이 약 300 ft^3 이며, 상기 공동 압력(P_C)이 약 50 lb/in^2 이고, 상기 시작 증기압(vP_S)이 약 87토르이며,

상기 온도(T_H)가 약 300°F 로 설정되며, 상기 온도(T_C)가 약 21°F 이하로 설정되고, 상기 X가 약 5.85인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 냉각시키는 단계는 응축기를 통해 상기 비반응성 가스를 유동시킨 후, 상기 비반응성 가스를 냉동 건조시키는 탈습기 모듈을 통해 상기 비반응성 가스를 유동시키는 단계를 포함하며,

상기 탈습기 모듈은 상기 온도(T_C)의 상기 비반응성 가스를 유출시키도록 되어 있는,,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 제거된 습윤한 비반응성 가스를 상기 냉각시키는 단계에서 처리함으로써 상기 공동으로부터 제거된 상기 습윤한 비반응성 가스를 재순환시키는 단계를 더 포함하는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 17

제 12 항에 있어서,

시간(t)이 경과한 후 상기 공동 안으로 상기 건조된 비반응성 가스를 도입하는 것을 중지하는 단계와, 그리고

상기 증가압(vP_D)이하의 증기압을 가지는 상기 공동을 밀봉하여, 상기 공동 내부에 건조된 비반응성 가스의 환경을 형성하는 단계를 더 포함하는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 18

제 12 항에 있어서,

상기 비반응성 가스는 질소, 이산화탄소, 경질 탄화수소, 또는 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 이루어지는 군에서 선택되는 불활성 가스인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 19

제 12 항에 있어서,

상기 원하는 증기압(vP_D)이 약 3토르 이하인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 20

제 12 항에 있어서,

상기 온도(T_C)가 약 21°F 이하인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 방법.

청구항 21

자유 체적(V_F), 시작 증기압(vP_S) 및 공동 압력(P_C)을 가지는 방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템으로서,

상기 시스템에 비반응성 가스를 공급하도록 되어 있는 비반응성 가스 공급원과,

온도(T_C)로 비반응성 가스를 냉각시켜서 상기 비반응성 가스를 건조시키는 냉각 수단과,

상기 공동으로 상기 건조된 비반응성 가스를 유동시키고, 시간(t)의 주기 동안 상기 공동으로 상기 건조된 비반응성 가스를 유량(R)으로 도입시키도록 되어 있는 유동 수단과,

상기 공동으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하는 제거 수단을 포함하며,

상기 비반응성 가스 공급원, 상기 냉각 수단, 상기 유동 수단, 상기 제거 수단 및 상기 공동이 유체소통가능하게 연결되어 있고,

시간(t) 내에 상기 공동 내에 원하는 증기압(vP_D)이 달성되도록 온도(T_C) 및 유량(R)이 제어되는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 유량(R)이 질량 유량 또는 체적 유량인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 23

제 21 항에 있어서,

온도(T_H)로 상기 건조된 비반응성 가스를 가열시키는 가열 수단을 더 포함하며, 상기 가열 수단은 상기 냉각 수

단의 하류에서 그리고 상기 공동의 상류에서 상기 시스템에 유체소통가능하게 연결되며, 상기 원하는 증기압(vP_D)을 달성하도록 온도(T_H)가 제어되는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 증기압(vP_D)이 약 3토르이고, 상기 자유 체적(V_F)이 약 300 ft^3 이며, 상기 공동 압력(P_C)이 약 50 lb/in^2 이고, 상기 시작 증기압(vP_S)이 약 87토르이며, 그리고

상기 유량(R)이 약 $78.125 \text{ ft}^3/\text{min}$ 로 설정되는 체적 유량이고, 상기 온도(T_H)가 약 300°F 로 설정되며, 상기 온도(T_C)가 약 21°F 이하로 설정되고, 상기 시간(t)이 약 22.5분인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 25

제 23 항에 있어서,

상기 비반응성 가스가 헬륨이고, 상기 증기압(vP_D)이 약 3 토르이고, 상기 자유 체적(V_F)이 약 300 ft^3 이며, 상기 공동 압력(P_C)이 약 50 lb/in^2 이고, 상기 시작 증기압(vP_S)이 약 87 토르이며,

상기 유량(R)이 약 2.5 lb/min 의 질량 유량이고, 상기 온도(T_H)가 약 300°F 로 설정되며, 그리고 상기 온도(T_C)가 약 21°F 이하로 설정되고, 상기 시간(t)이 약 22.5분인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 26

제 23 항에 있어서,

상기 건조된 비반응성 가스를 가열시키는 가열 수단이 보조 히터인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 27

제 21 항에 있어서,

상기 유동 수단이 가스 순환기인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 28

제 21 항에 있어서,

상기 냉각 수단은 탈습기 모듈에 상류에서 유체소통가능하게 연결된 응축기 모듈을 포함하며, 상기 탈습기 모듈은 상기 탈습기 모듈에서 배출되는 상기 비반응성 가스가 온도(T_C)가 되도록 상기 비반응성 가스를 냉동 건조시키도록 되어 있는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 29

제 21 항에 있어서,

상기 시스템을 통해 상기 공동으로부터 제거되는 상기 습윤한 비반응성 가스를 재순환시키도록 되어 있는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 30

제 21 항에 있어서,

상기 비반응성 가스가 질소, 이산화탄소, 경질 탄화수소, 또는 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 이루어지는 군에서 선택되는 불활성 가스인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 31

제 21 항에 있어서,

상기 공동 내의 상기 원하는 증기압(vP_0)이 약 3토르 이하인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 32

제 21 항에 있어서,

상기 온도(T_c)가 약 21°F 이하인,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 33

제 21 항에 있어서,

상기 공동은 상부 및 바닥부를 갖추고 있으며,

상기 공동의 바닥 또는 바닥 근처에서 상기 공동에 상기 건조된 비반응성 가스를 공급하도록 되어 있고, 상기 공동의 상부 또는 상부 근처에서 상기 공동으로부터 상기 습윤한 비반응성 가스를 제거하도록 되어 있는,

방사성 원소가 적재된 공동을 건조하는 시스템.

청구항 34

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법으로서,

(a)가스로부터 습기를 제거하기 위한 습기 제거 수단을 포함하는 가스 순환 시스템을 제공하는 단계와,

(b)상기 공동을 포함하는 밀봉식으로 밀폐된 페루프 통로를 형성하도록 상기 캐니스터에 상기 가스 순환 시스템을 연결하는 단계와,

(c)상기 캐니스터의 상기 공동 내에 원하는 증기압이 달성될 때까지 상기 밀봉식으로 밀폐된 페루프 통로를 통해 비반응성 가스를 순환시키는 단계로서, 순환되는 상기 비반응성 가스는 상기 비반응성 가스가 상기 캐니스터를 관류할 때 습윤해 지고 상기 비반응성 가스가 상기 습기 제거 수단을 관류할 때 건조해 지는, 비반응성 가스를 순환시키는 단계를 포함하는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 35

제 34 항에 있어서,

상기 공동 내에서의 상기 원하는 증기압의 달성을 보장하도록 상기 공동의 외부의 위치에서 상기 페루프 통로를 따라 상기 비반응성 가스의 하나 이상의 건습계 물성(psychrometric property)을 제어 및 측정 중 하나 이상을 실행하는 단계를 포함하는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 36

제 35 항에 있어서,

상기 제어 및 측정 중 하나 이상이 실행되는 건습계 물성은 건습계 관계(psychrometric relationship)를 통해 상기 캐니스터의 상기 공동 내부의 현재 증기압과 서로 연관될 수 있는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 37

제 36 항에 있어서,

상기 제어 및 측정 중 하나 이상이 실행되는 건습계 물성이 상기 캐니스터의 상기 공동 내부의 현재 증기압이 상기 원하는 증기압 또는 그 아래에 있음을 나타낼 때, 상기 밀봉식으로 밀폐된 페루프 통로를 통한 상기 비반응성 가스의 순환을 중단시키는 단계를 더 포함하는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 38

제 34 항에 있어서,

상기 공동 내에서 상기 원하는 증기압이 달성될 때, 상기 밀봉식으로 밀폐된 페루프 통로를 통한 상기 비반응성 가스의 순환을 중단시키는 단계,

상기 캐니스터와 상기 가스 순환 시스템을 단절시키는 단계, 및

상기 공동을 밀폐시켜서 상기 공동 내부에 상기 비반응성 가스의 환경을 형성시키는 단계를 더 포함하는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 39

제 34 항에 있어서,

상기 가스 순환 시스템은 상기 비반응성 가스의 공급원을 더 포함하는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 40

제 34 항에 있어서,

상기 가스는 질소, 이산화탄소, 경질 탄화수소 가스, 또는 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 이루어지는 군에서 선택되는 불활성 가스인,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 41

제 34 항에 있어서,

상기 캐니스터는 상기 단계(a) 내지 상기 단계(c) 동안 오버팩 모듈 내부에 수직으로 배향되며 위치되는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 42

제 34 항에 있어서,

상기 공동의 외부의 위치에서 상기 페루프 통로를 따라 상기 비반응성 가스의 하나 이상의 건습계 물성을 제어 및 측정 중 하나 이상을 실행하는 단계로서, 상기 제어 및 측정 중 하나 이상이 실행되는 건습계 물성이 상기 캐니스터의 상기 공동 내부의 현재 증기압과 연관될 수 있는, 건습계 물성을 제어 및 측정 중 하나 이상을 실행하는 단계,

상기 제어 및 측정 중 하나 이상이 실행되는 건습계 물성이 상기 캐니스터의 상기 공동 내부의 상기 현재 증기압이 원하는 증기압 또는 그 아래에 있음을 나타낼 때, 상기 밀봉식으로 밀폐되는 페루프 통로를 통한 상기 비반응성 가스의 순환을 중단시키는 단계, 및

상기 공동을 밀폐시켜서 상기 공동 내부에 상기 비반응성 가스의 환경을 형성시키는 단계를 더 포함하는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 43

제 42 항에 있어서,

상기 원하는 증기압은 3 토르이거나 3 토르보다 작고, 상기 가스는 질소, 이산화탄소, 경질 탄화수소 가스, 또는 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 이루어지는 군에서 선택되는 불활성 가스인,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 44

제 42 항에 있어서,

상기 제어 및 측정 중 하나 이상이 실행되는 건습계 물성은 온도인,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 45

제 42 항에 있어서,

상기 공동의 외부의 위치에서 상기 페루프 통로를 따라 상기 비반응성 가스의 하나 이상의 건습계 물성을 측정하는 단계를 더 포함하며, 상기 측정되는 건습계 물성은 건습계 관계의 사용을 통해 상기 캐니스터의 상기 공동 내부의 현재 증기압과 연관될 수 있는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 방법.

청구항 46

방사성 원소가 적재된 캐니스터를 건조하는 방법으로서,

(a)비반응성 가스의 공급원 및 가스로부터 습기를 제거하는 습기 제거 수단을 포함하는 가스 순환 시스템을 제공하는 단계와,

(b)페루프 유체 통로를 형성시키도록 상기 캐니스터에 상기 가스 순환 시스템을 연결시키는 단계와,

(c)상기 캐니스터를 통해 상기 비반응성 가스를 유동시키는 단계로서, 상기 습기 제거 수단 안으로 유동하는 습윤한 비반응성 가스로서 상기 비반응성 가스가 상기 캐니스터로부터 배출되는, 상기 비반응성 가스를 유동시키는 단계와,

(d)건조된 비반응성 가스를 생성시키도록 상기 습윤한 비반응성 가스로부터 상기 습기 제거 수단을 통해 습기를 제거하는 단계와,

(e)상기 캐니스터를 통해 상기 건조된 비반응성 가스를 유동시키는 단계와,

(f)상기 캐니스터 내에 원하는 증기압이 달성될 때까지 상기 단계(c) 내지 상기 단계(d)를 계속해서 실행시키는 단계를 포함하는,

방사성 원소가 적재된 캐니스터의 건조 방법.

청구항 47

제 46 항에 있어서,

상기 공동의 외부의 위치에서 상기 페루프 통로를 따라 상기 비반응성 가스의 하나 이상의 건습계 물성을 제어 및 측정 중 하나 이상을 실행하는 단계로서, 상기 제어 및 측정 중 하나 이상이 실행되는 건습계 물성이 상기

캐니스터의 상기 공동 내부의 현재 증기압과 연관될 수 있는, 건습계 물성을 제어 및 측정 중 하나 이상을 실행하는 단계,

상기 제어 및 측정 중 하나 이상이 실행되는 건습계 물성이 상기 캐니스터의 상기 공동 내부의 상기 현재 증기압이 원하는 증기압 또는 그 아래에 있음을 나타낼 때, 상기 페루프 통로를 통한 상기 비반응성 가스의 순환을 중단시키는 단계, 및

상기 캐니스터를 밀폐시켜서 상기 캐니스터 내부에 상기 비반응성 가스의 환경을 형성시키는 단계를 더 포함하는,

방사성 원소가 적재된 캐니스터의 건조 방법.

청구항 48

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치로서,

비반응성 가스의 공급원 및 가스로부터 습기를 제거하기 위한 가스 제거 수단을 포함하며, 건조 저장을 위해 준비되는 캐니스터의 공동에 작동가능하게 연결될 때 밀봉식으로 밀폐되는 페루프 통로를 형성하도록 구성되는 가스 순환 시스템과, 그리고

순환되는 비반응성 가스가 상기 캐니스터를 통해 유동하는 동안 습윤해 지고 상기 습기 제거 수단을 통해 유동하는 동안 건조해 지도록 상기 페루프 통로를 통해 상기 비반응성 가스의 공급원의 비반응성 가스를 순환시키는 가스 순환 수단을 포함하는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치.

청구항 49

제 48 항에 있어서,

상기 페루프 통로를 통해 유동하는 상기 비반응성 가스의 건습계 물성을 측정하기 위해 상기 공동의 외부의 위치에서 상기 페루프 통로에 작동가능하게 연결되는 센서 수단을 더 포함하며, 상기 건습계 물성은 건습계 관계를 통해 상기 캐니스터의 상기 공동 내부의 현재 증기압과 서로 연관될 수 있는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치.

청구항 50

제 48 항에 있어서,

상기 가스 순환 시스템은 상기 페루프 통로를 통해 유동하는 상기 비반응 가스를 가열하기 위한 가열 수단을 더 포함하며, 상기 가열 수단은 상기 습기 제거 수단의 하류에 위치되는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치.

청구항 51

제 48 항에 있어서,

상기 습기 제거 수단은 탈습기 모듈의 상류에 유체소통가능하게 연결되는 응축기 모듈을 포함하며, 상기 탈습기 모듈은 상기 페루프 통로를 통해 유동하는 상기 비반응성 가스를 응결시키도록 구성되는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치.

청구항 52

제 48 항에 있어서,

상기 비반응성 가스의 공급원은 질소, 이산화탄소, 경질 탄화수소 가스, 또는 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 이루어지는 군에서 선택되는 불활성 가스의 공급원인,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치.

청구항 53

제 48 항에 있어서,

상기 가스 순환 수단은 가스 순환기를 포함하는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치.

청구항 54

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치로서,

비반응성 가스의 공급원, 가스로부터 습기를 제거하는 습기 제거 수단, 가스의 건습계 물성을 측정하기 위한 센서 수단, 및 가스 순환 수단을 포함하는 가스 순환 시스템을 포함하며,

상기 가스 순환 시스템은, (1) 건조 저장을 위해 준비되는 캐니스터의 공동에 작동가능하게 연결될 때 밀봉식으로 밀폐되는 페루프 통로를 형성하고, (2) 상기 비반응성 가스가 상기 캐니스터의 상기 공동을 통해 유동할 때 습윤하게 되고 상기 습기 제거 수단을 통해 유동할 때 건조해 지도록 상기 페루프 통로를 통해 상기 비반응성 가스를 순환시키며, 그리고 (3) 건습계 관계와 센서 수단의 측정값에 근거해서 상기 캐니스터의 상기 공동 내부에 원하는 증기압을 달성하도록 구성되는,

건조 저장을 위해 방사성 원소가 적재된 공동을 갖춘 캐니스터를 준비하는 장치.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <21> 본 발명은 일반적으로 방사성 원소 저장에 관한 것으로, 보다 상세하게는 "건조 상태"로 장기간 보관하기 위하여 사용후 핵연료를 건조하는 방법 및 시스템에 관한 것이다.
- <22> 핵 원자로의 작동시에, 연료 어셈블리로 알려진, 농축 우라늄으로 채워진 공동의 지르코늄 튜브가 핵 원자로의 코어에서 연소된다. 그 에너지가 미리 정해진 수준 이하로 고갈된 후에 핵 원자로에서 이 연료 어셈블리를 제거하는 것이 일반적이다. 에너지가 고갈되고 후속해서 제거될 때, 이러한 사용후 핵연료(spent nuclear fuel; "SNF")는 여전히 많은 방사선을 함유하고 높은 열을 방출하므로, 그 이후의 포장, 이송 및 저장에 있어 많은 주의가 요구된다. 특히, SNF는 극도로 위험한 중성자 및 감마 광자를 발산한다. 이러한 중성자와 감마 광자를 원자로의 코어로부터 제거한 후 항상 잘 보관하는 것은 필수적이다.
- <23> 핵 원자로의 탈연료 과정(defueling)에 있어서, 원자로로부터 SNF를 제거하고, 대개 사용후 연료 저장조(spent fuel pool) 또는 폰드 스토리지(pond storage)로서 알려진 수중에 이러한 SNF를 위치시킨다. 사용후 연료 저장조의 물은 SNF의 냉각을 촉진시키고 적합한 방사선 차폐물로서 제공된다. 상기 SNF는 안전하게 운반될 수 있을 정도로 충분히 열과 방사능이 소진될 때까지 충분히 오랜 기간 동안 사용후 연료 저장조 안에 저장된다. 그러나, 안전, 공간 그리고 경제성을 고려할 때, SNF를 오랜기간 저장하기 위하여 사용후 연료 저장조만 사용하는 것은 그리 바람직하지 않다. 따라서, SNF를 오래 저장할 필요가 있는 경우에는, 건조 상태의 SNF를 사용후 연료 저장조 안에 어느 정도의 기간 동안 저장한 후, 적합한 방사선 차폐물로서 제공되는 구조물 내에 채워진 건조 불활성 가스 안에 SNF를 저장하는 것이 핵 산업(nuclear industry)에서 표준화된 방법이다. 건조 상태에서 오랜 기간 동안 SNF를 저장하도록 만들어진 전형적인 구조물이 스토리지 캐스크(storage cask)이다.
- <24> 스토리지 캐스크(storage cask)는 SNF의 캐니스터(canister)를 받아들이기에 적합한 공동을 가지고 있으며, 철, 납, 콘크리트 및 환경적으로 적합한 수성 재료로 만들어진 크고 무거운 구조로 설계된다. 그러나, 스토리지 캐스크의 설계 주안점은 오랜 기간 동안 SNF를 저장할 수 있기에 적합한 방사선 차폐물을 제공하는 것이기 때문에, 크기 및 중량은 자주 (만약 기왕에 고려된다면) 부수적인 고려 요건이 된다. 결과적으로, 스토리지 캐스크의 중량과 크기는 종종 운반과 처리와 관련하여 문제를 야기한다. 일반적으로, 스토리지 캐스크는 100톤이 넘는 무게와 15피트 이상의 높이를 가지고 있다. 스토리지 캐스크와 관련된 문제는 대개 그들이 대부분의 핵 전력 발전소 크레인에 의해 운반되기에 너무 무겁다는 것이다. 또 다른 문제는 일반적으로 스토리지 캐스크가

사용후 연료 저장조에 위치하기에는 너무 크다는 것이다. 따라서, 사용후 연료 저장조 안에서 냉각된 후 SNF를 저장하기 위하여, 사용후 연료 저장조로부터 제거된 후 SNF는 저장 지역에 위치한 캐스크로 운반되고, 탈수되고 건조된 후 저장 설비로 이송되어야 한다. 이러한 이송 절차의 모든 단계 내내 적합한 방사선 차폐물이 필요하다.

<25> 사용후 연료 저장조로부터 SNF를 제거하고 스토리지 캐스크로 추가적으로 이송할 필요성의 결과, 일반적으로 개방 캐니스터가 사용후 연료 저장조 안에 잠긴다. 이 때 SNF 봉(rods)은 물 속에 잠기는 동안 개방 캐니스터 안에 바로 위치한다. 그러나, 밀봉된 후에라도, 캐니스터 하나로는 SNF의 방사능에 대하여 적합한 저장을 제공하지 못한다. 적재된 캐니스터는 추가적인 방사선 차폐물이 없이 사용후 연료 저장조로부터 제거되거나 이송될 수 없다. 따라서, SNF의 이송 동안 추가적으로 방사선 차폐를 제공하는 장치가 필요하다. 이러한 추가적인 방사선 차폐는 사용후 연료 저장조 안에 위치해 있는 동안 이송 캐스크라고 불리는 큰 원통형 컨테이너 내에 SNF가 적재된 캐니스터를 위치시킴으로써 달성된다. 스토리지 캐스크와 유사하게, 이송 캐스크는 SNF의 캐니스터를 받아들이기에 적합한 공동을 구비하고, 그 안에서 SNF가 발산하는 방사선으로부터 그 주위를 차폐하도록 설계된다.

<26> 적재된 캐니스터를 이송하도록 이송 캐스크를 편리하게 이용하기 위해, 먼저 빈 캐니스터가 개방된 이송 캐스크의 공동 안에 위치한다. 이때 캐니스터와 이송 캐스크는 사용후 연료 저장조 안에 침수된다. 캐스크 저장에 앞서, SNF는 원자로로부터 제거되고, 사용후 연료 저장조의 바닥에 배열된 습윤한 스토리지 랙(storage rack) 안에 위치한다. 건조 저장을 위하여, SNF는 물로 넘치는 침수된 캐니스터 안으로 그리고 이송 캐스크 안으로 이송된다. 이때, 적재된 캐니스터는 그 안에 사용후 연료 저장조로부터 들어온 물과 SNF를 담은 채로 뚜껑이 덮인다. 이때, 적재된 캐니스터와 이송 캐스크는 크레인에 의해 사용후 연료 저장조로부터 제거되고, 오랜 기간동안 건조 상태로 저장되기 위하여 SNF가 적재된 캐니스터를 위치시키는 저장 지역에 놓여진다. SNF가 적재된 캐니스터를 적합하게 건조 저장하도록 하기 위하여, 미국 핵 규제 위원회("N.R.C")는 캐니스터가 밀봉되어 스토리지 캐스크로 옮겨지기 전에 SNF와 캐니스터 내부가 적당히 건조될 것을 요구한다. 특히, N.R.C규정은 캐니스터가 불활성 가스에 의해 다시 메워지고 밀봉되기 전에 캐니스터 내부의 증기압("vP")이 3 토르(Torr)(1 토르= 1mmHg) 이하가 되도록 하고 있다. 증기압은 평형상태(equilibrium)에서의 액체에 대한 증기의 압력이다. 여기에서 평형상태란 가스상으로부터 액체상으로 분자가 변할 때와 액체상으로부터 가스상으로 변하는 경우의 분자의 수가 동일한 경우를 말한다. 3토르보다 낮은 vP를 요구하는 것은 적은 양의 수증기가 캐니스터의 내부에 존재하면 SNF가 오랜 기간동안에도 충분히 건조된 상태로 유지되도록 하기 때문이다.

<27> 현재, 핵 설비들은 진공 건조 과정을 통하여 N.R.C의 3 토르 또는 그 이하의 캐니스터 내부 증기압(vP) 규정을 만족하고 있다. 이러한 과정을 수행함에 있어, 처음에 캐니스터 내부에 위치한 전체 물은 캐니스터로부터 배수된다. 액체 물 전체가 배수된 후, 진공 시스템이 캐니스터에 결합하여 작동함으로써 캐니스터 내부는 대기압 이하의 압력이 조성된다. 캐니스터 내부의 대기압 이하의 압력 조건은 진공상태가 물의 증기를 제거하는 것을 돕는 동안, 남아있는 액체 물의 증발을 촉진시킨다. 이 때 캐니스터 내부의 vP는 진공 게이지와 같은 적당한 측정 장치를 위치시킴으로써 측정되고, 이는 캐니스터 내부에 위치하여 그 안에 존재하는 가스 내용물을 직접 측정한다. 만일 필요하다면, 이러한 진공 절차는 캐니스터 내부 증기압(vP)이 3토르 또는 그 이하가 될 때까지 반복된다. 허용가능한 캐니스터 내부 증기압(vP)에 도달되면, 캐니스터는 불활성 가스로 다시 채워지고 캐니스터는 밀봉된다. 이 때 (내부에 캐니스터가 위치된) 이송 캐스크는 스토리지 캐스크의 위로 이송되고, SNF가 적재된 캐니스터는 오랜 기간의 저장을 위해서 상기 스토리지 안으로 들어간다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<28> N.R.C의 3토르 또는 그 이하의 캐니스터 내부 증기압(vP)의 요구조건을 충족하는 현재의 방법은 잠재적으로 위험하고, 작동하는데 시간이 소요되며, 오차가 발생하기 쉽고, SNF 봉들이 높은 온도를 가져야 하고 가격에 있어서 높은 비용을 요구한다. 우선, 직접 캐니스터 내부 증기압(vP)을 측정하는 것은 위험한데, 이는 캐니스터가 매우 높은 방사선 SNF를 내재하고 있기 때문이다. 캐니스터가 물리적으로 깨지는 경우에는, 주위와 작업자에게 방사능이 노출될 위험이 있다. 게다가, 캐니스터 내부를 대기 압력 이하의 조건으로 만들기 위해서는 고가의 진공 장비를 필요로 하고, 이는 복잡한 장치에 있어서의 문제를 야기할 수 있다. 마지막으로, 진공 건조를 위한 작동의 지속시간은 불필요하게 긴데, 이는 진공 건조 시간이 수일에 해당하는 것이 일반적이기 때문이다. 진공 상태는 동결되기 쉬운 경향이 있어, 캐니스터 내부에는 얼음이 형성되기 쉬운데, 이로 인해 측정 장치가 잘못 작동할 수 있다. 낮은 캐니스터 압력은 SNF 봉들이 생산하는 열의 온도의 실질적인 상승을 가져오는 열전달 매질(캐니스터 내부의 개방공간과 간극에 채워진 가스)의 점진적인 손실을 가져오게 된다.

발명의 구성 및 작용

- <29> 본 발명의 목적은 SNF가 적재된 공동의 내부를 건조하기 위한 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.
- <30> 본 발명의 다른 목적은 수용할 수 있을 정도로 낮은 vP 가 공동의 내부에 있도록 확실하게 하기 위하여 공동의 내부의 vP 를 물리적으로 측정하지 않고 SNF가 적재된 공동을 건조하기 위한 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.
- <31> 또한 본 발명의 또 다른 목적은 대기압 이하의 조건으로 공동의 내부를 조성하지 않고 SNF가 적재된 공동의 내부를 건조하기 위한 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.
- <32> 또한 본 발명의 또 다른 목적은 고가의 진공 장비를 사용하지 않고도 SNF가 적재된 공동의 내부를 적합하게 건조하기 위한 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.
- <33> 본 발명의 다른 목적은 시간적으로 더 충분한 방법으로 건조 저장을 위하여 SNF가 적재된 공동을 준비하도록 하는 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.
- <34> 본 발명의 또 다른 목적은 가격의 측면에서 더 효과적인 방법으로 건조 저장을 위하여 SNF가 적재된 공동을 준비하도록 하는 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.
- <35> 본 발명의 추가적인 목적은 선행기술과 관련한 과도한 SNF 봉의 온도를 제거하도록 하는 건조 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.
- <36> 상기와 같은 목적은 자유 체적(V_F), 시작 증기압(vP_s), 및 공동 압력(P_c)을 가진, 방사성 원소가 적재된 공동을 건조하기 위한 방법을 포함하는 본 발명의 한 양상에 의해서 달성된다. 상기 방법은: 원하는 증기압(vP_D)과 관련하여 공동 내부의 원하는 건조도(a degree of dryness)를 결정하는 단계; 비반응성 가스(non-reactive gas)를 건조시키도록 온도(T_C)까지 상기 비반응성 가스를 냉각시키는 단계; 시간(t)동안 공동 안으로 건조된 비반응성 가스를 유량(R)으로 도입시키는 단계; 공동으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하는 단계를 포함하며, 여기에서 온도(T_C) 및 유량(R)은 시간 후에 공동 내에 원하는 증기압(vP_D)을 달성하도록 제어된다.
- <37> 상기 방법은 상기 비반응성 가스를 온도(T_C)까지 냉각시키는 단계와 상기 건조된 비반응성 가스를 도입시키는 단계 사이에, 상기 건조된 비반응성 가스를 온도(T_H)까지 가열하는 단계를 더 포함하는 것이 바람직한데, 이때 시간(t) 후 공동 내에 원하는 증기압(vP_D)에 도달하도록 온도(T_H)가 조절된다.
- <38> 상기 냉각시키는 단계는 응축기(condenser)를 통하여 비반응성 가스를 유동시킨 후 상기 비반응성 가스를 냉동 건조시키는 탈습기 모듈(demoisturizer module)을 통하여 상기 비반응성 가스를 유동하는 단계를 더 포함하는 것이 바람직한데, 여기에서 탈습기 모듈은 온도(T_C)에서 비반응성 가스의 습기를 제거하도록 되어 있다. 상기 공동으로부터 제거된 습윤한 비반응성 가스는 이러한 제거된 습윤한 비반응성 가스를 냉각 단계로 보내기 위하여 재순환될 수 있다. 더욱이, 이 방법은 추가적으로 다음과 같은 단계 즉, 시간(t)이 지난 후 공동 안으로 건조된 비반응성 가스의 도입을 중지하는 단계; 공동을 밀봉하여 증기압(vP_D) 이하의 증기압을 가진 공동 내부에 건조된 비반응성 가스의 환경을 형성시키는 단계를 더 포함하는 것이 바람직하다.
- <39> 이용가능한 장치에 따라, 조절 가능한 유량(R)은 체적 유량 또는 질량 유량일 수 있다. 적합한 비반응성 가스는 질소, 이산화탄소, 경질 탄화수소(light hydrocarbon)(예를 들어, 메탄) 그리고 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 구성된 군(group)으로부터 선택된 불활성 가스를 포함한다. 공동 내부의 원하는 증기압(vP_D)은 약 21 °F 미만의 온도에 대응하는 약 3 토르 이하인 것이 바람직하다.
- <40> 또 다른 양상으로서, 본 발명은 자유 체적(V_F), 시작 증기압(vP_s), 및 공동 압력(P_c)을 가진, 방사성 원소가 적재된 공동을 건조하기 위한 방법이다. 상기 방법은: 원하는 증기압(vP_D)에 대하여 공동 내부의 원하는 건조도를 결정하는 단계; 비반응성 가스를 건조시키도록 상기 비반응성 가스를 온도(T_C)까지 냉각시키는 단계; 공동 내부의 자유 체적(V_F)이 X 회 턴오버(turn-over)되도록 상기 공동 내부로 건조된 비반응성 가스를 도입하는 단계; 공동으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하는 단계를 포함하며, 여기에서 온도(T_C)와 X 는 공동 내부에서 원하는 증기압(vP_D)을 달성하기 위하여 조절된다.

- <41> 상기 방법은 상기 냉각시키는 단계 이후 그리고 상기 도입하는 단계 전에 건조된 비반응성 가스를 온도(T_H)까지 가열하는 단계를 더 포함하는 것이 바람직한데, 이때 공동 내에 원하는 증기압(vP_D)을 형성하기 위하여 온도(T_H)가 조절된다. 이러한 방법의 상기 냉각 단계는 응축기를 통하여 비반응성 가스를 유동시키고 그 후 상기 비반응성 가스를 냉동 건조시키는 탈습기 모듈을 통하여 상기 비반응성 가스를 유동하는 단계를 더 포함할 수 있는데, 여기에서 탈습기 모듈은 온도(T_C)의 비반응성 가스를 유출시키도록 적용된다.
- <42> 본 발명에 따른 방법은 상기 냉각시키는 단계로 상기 제거된 습윤한 비반응성 가스를 보냄으로써 공동으로부터 제거된 습윤한 비반응성 가스를 재순환시키는 단계; 상기 공동의 자유 체적(V_F)이 X 회 턴오버된 후 공동 안으로 상기 건조된 비반응성 가스의 도입을 중지시키는 단계; 공동을 밀봉하여 증기압(vP_D) 이하의 증기압을 가진 공동 내부에 상기 건조된 비반응성 가스의 분위기를 형성시키는 단계를 더 포함할 수 있다.
- <43> 적합한 비반응성 가스는 질소, 이산화탄소, 메탄과 같은 경질 탄화수소, 그리고 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 구성된 그룹으로부터 선택된 불활성 가스를 포함한다. 공동 내부의 원하는 증기압(vP_D)은 $21^\circ F$ 이하의 온도(T_C)에 대응하는 약 3 토르 이하인 것이 바람직하다.
- <44> 또 다른 양상으로서, 본 발명은 자유 체적(V_F), 시작 증기압(vP_S), 및 공동 압력(P_C)을 가진, 방사성 원소가 적재된 공동을 건조시키기 위한 시스템이며, 상기 시스템은: 상기 공동 건조 시스템으로 비반응성 가스를 공급하도록 되어 있는 비반응성 가스 공급원; 비반응성 가스를 건조시키도록 온도(T_C)로 비반응성 가스를 냉각시키는 냉각 수단; 공동으로 건조된 비반응성 가스를 유동시키기 위한 유동 수단으로서, 시간(t) 동안 공동 안으로 상기 건조된 비반응성 가스를 유량(R)으로 도입시키도록 구성되는 유동 수단; 상기 공동으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하기 위한 제거 수단을 포함하며; 여기에서 비반응성 가스 공급원, 냉각 수단, 유동 수단, 제거 수단, 그리고 공동은 유동가능하게 결합되어 있고; 온도(T_C)와 유량(R)은 시간(t) 이후 공동 내에서 원하는 증기압(vP_D)을 달성하기 위하여 조절된다.
- <45> 상기 공동 건조 시스템은 온도(T_H)로 상기 비반응성 가스를 가열하기 위한 가열 수단을 더 포함하는 것이 바람직하며, 상기 가열 수단은 상기 냉각 수단의 하류에서 그리고 상기 공동의 상류에서 상기 공동 건조 시스템과 유동가능하게 결합되며, 상기 온도(T_H)는 원하는 증기압(vP_D)을 달성하도록 조절된다. 이러한 가열 수단은 보조 히터인 것이 바람직하다.
- <46> 유량(R)은 질량 유량 또는 체적 유량일 수 있다. 가스를 유동 또는 순환시키는 가스 유동 수단 또는 가스 순환 수단은 가스 순환기일 수 있고, 냉각 수단은 탈습기 모듈의 상류에 유동가능하게 결합된 응축기 모듈을 포함할 수 있으며, 상기 탈습기 모듈은 상기 탈습기 모듈에서 방출되는 비반응성 가스가 온도(T_C)가 되도록 비반응성 가스를 냉동 건조하도록 되어 있다.
- <47> 상기 공동 건조 시스템은 상기 공동 건조 시스템을 통하여 상기 공동으로부터 제거되는 습윤한 비반응성 가스를 재순환시키도록 되어 있는 것이 바람직하다. 비반응성 가스는 질소, 이산화탄소, 메탄과 같은 경질 탄화 수소, 또는 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논으로 구성된 그룹으로부터 선택된 불활성 가스일 수 있다. 공동 내부의 원하는 증기압(vP)은 $21^\circ F$ 이하인 온도(T_C)에 대응하는 약 3 토르 이하인 것이 바람직하다.
- <48> 마지막으로, 상기 공동은 상부와 바닥부를 구비하는 것이 바람직하고, 상기 시스템은 공동의 바닥부의 근처 또는 바닥부에서 공동으로 상기 건조된 비반응성 가스를 공급하도록 되어 있고, 상기 공동의 상부 또는 그 근처에서 공동으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하도록 되어 있는 것이 바람직하다.
- <49> 도 1은 본 발명에 사용하기에 적합한 캐니스터(canister; 20)를 도시한다. 캐니스터(20)는 단지 예시를 위해 도시되어 있다. 본 발명은 특정 형상, 구조, 또는 크기에 한정되지 않으며 방사성 원소를 이송, 저장, 또는 유지하는데 사용되는 임의의 유형의 외장 용기에 적용가능하다. 따라서, 본 발명의 범위는 사용후 핵연료(spent nuclear fuel; "SNF")가 캐니스터를 사용하지 않고 캐스크(cask)의 공동 안으로 직접 적재되는 캐스크 실시예도 포함한다.
- <50> 캐니스터(20)는 바닥판(22)과, 공동(21)을 형성하는 원통형 벽(24)을 포함한다. 여기에서 사용되는 바와 같이, 바닥판(22)에 가장 근접하는 캐니스터(20)의 단부(end; 25)를 캐니스터(20)의 바닥이라 하는 한편, 바닥판(22)에서 가장 멀리 위치한 캐니스터(20)의 단부(26)를 상부라고 한다. 캐니스터(20)의 공동(21)의 내부에는 벌집형 그리드(honeycomb grid; 23)가 위치한다. 벌집형 그리드(23)는 사용후 핵연료("SNF") 봉(rods)을 수용하게

되는 복수의 직사각형 박스를 포함한다. 캐니스터(20)는 캐니스터(20)의 바닥에 혹은 바닥 근처에 위치한 배수구(도시 안됨)를 포함하는데, 이 배수구는 캐니스터(20) 외부로부터 공동(21)으로 밀봉식 통로를 제공한다. 배수구는 바닥판(22)상에 위치될 수 있다. 또한, 이 배수구는 종래의 플러그, 배수 밸브 또는 용접 과정을 사용하여 밀봉되거나 개방될 수 있다.

<51> 도 1에 도시된 바와 같이, 캐니스터(20)는 비어 있고(즉, 공동(21)은 벌집형 그리드(23)내에 위치한 사용후 핵 연료 봉을 가지고 있지 않고), 캐니스터(20)의 상부(26)는 개방되어 있다. SNF 봉을 이송하고 저장하기 위해 캐니스터(20)를 사용할 때, 캐니스터(20)는 이송 캐스크(10) 내부에 위치하지만(도 2), 캐니스터(20)는 개방되어 비어있다. 이때, 캐니스터(20)의 바닥에 혹은 바닥 근처에 위치한 배수구가 폐쇄되고 밀봉된다. 이후, 개방된 이송 캐스크(10)와 개방된 캐니스터(20)가 사용후 연료 저장조에 침수되는데, 사용후 연료 저장조는 공동(21)의 나머지 체적이 물로 채워지게 한다. 그러면, 핵 원자로에서 제거된 SNF 봉은 사용후 연료 저장조 안으로 넣어져서 캐니스터(20)의 공동(21) 안에 위치된다. 바람직하게, 한 다발의 SNF 봉은 벌집형 그리드(23)의 각각의 직사각형 박스 내에 위치된다. 공동(21)이 SNF 봉으로 일단 적재되면, 캐니스터(20)의 상부(26)에 캐니스터 덮개(27)(도 2)가 고정되어, SNF 봉을 밀봉시키고 공동(21) 내에 물이 고이게 한다. 캐니스터 덮개(27)는 복수의 밀봉식 덮개 구멍(28)을 구비하는데, 이 덮개 구멍(28)은 개방될 때 캐니스터(20)의 외부로부터 공동(21) 안으로 통로를 형성한다. 이후, (내부에 적재되고 밀봉된 캐니스터(20)를 갖추고 있는) 이송 캐스크(10)가 크래인에 의해 사용후 연료 저장조로부터 상승되며 스테이징 영역(staging area) 내에 직접해서 위치되어(도 2에 도시된 바와 같이), 캐니스터(20)가 건조-저장을 위해 적절하게 준비될 수 있다.

<52> 도 2를 참조하면, 스테이징 영역에 있을 때, 캐니스터(20)(SNF 봉 및 사용후 연료 저장조의 물을 포함해서)는 이송 캐스크(10) 내부에 있다. 캐니스터(20)와 이송 캐스크(10) 모두는 직접 위치에 있다. 스테이징 영역에 일단 적절하게 위치되면, 캐니스터(20)의 바닥(25)에 또는 바닥 근처에 위치하는 배수구(도시 안됨)가 개방되고, 캐니스터(20)의 공동(21) 내에 트래핑(trapping)되는 덩어리 물(bulk water)이 배수된다. 공동(21)으로부터 덩어리 물이 배수됨에도 불구하고, 공동(21) 내부에 잔존하는 미량의 액체의 물과 수증기로 인해 공동(21) 내에 그리고 SNF 봉 상에 수분이 남게 된다. 그러나, 캐니스터(20)를 영구히 밀봉하고 장기간의 건조 저장을 위해 저장 캐스크로 이송할 수 있기 전에, 내부에 포함된 공동(21)과 SNF 봉이 충분히 건조되는 것이 보장되어야 한다. 컨테이너 내부의 증기압("vP")이 낮다는 것은 적은 정도의 습기가 존재함을 나타내므로, 미국 원자력 규제 위원회("N.R.C.")는 공동(21) 내에 3 토르 이하의 증기압("vP")이 얻어질 때 충분한 건조가 달성된 것으로 규정하였다.

<53> 도 3은 공동(21) 내부의 형성되는 증기압("vP")을 감입식으로(intrusively) 측정할 필요없이 허용가능한 미국 원자력 규제 위원회의 규정으로 공동(21)을 건조할 수 있는 페-루프 시스템의 실시예를 개략적으로 도시한다. 도 5는 본 발명에 따라 가스 순환 시스템으로서 작동하는 시스템(300)을 작동하는 방법의 일 실시예의 플로우차트이다. 도 6은 본 발명에 따른 시스템(300)을 작동하는 방법의 제 2 실시예의 플로우차트이다.

<54> 시스템(300)은 캐니스터(20)에 연결되어, 페-루프 시스템을 형성한다. 그러나, 본 발명은 페-루프 시스템을 구비하지 않고 실시될 수 있다. 시스템(300)은 비반응성 가스 저장고(non-reactive gas reservoir; 340), 가스 냉각 요소(310), 온도 센서(320), 가스 순환기(330), 보조 히터(350), 가스 유동 제어기(360), 및 가스 분배기(370)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 가스 냉각 요소(310)는 응축기(395)와 탈습기 모듈(demoisturize module; 380)을 포함하며, 가스로부터 습기를 제거하기 위한 습기 제거 수단으로서 작용한다. 이들 요소들 모두는 유체소통가능하게 연결되어, 비반응성 가스가 외부 환경으로 유출되지 않고 시스템(300)을 통해 유동할 수 있다. 여기에서 언급되는 모든 유체 연결부는 나선형 연결부, 밀봉, 링 클램프, 및/또는 가스킷을 사용하여 시스템(300)의 요소들과 유체소통가능하게 연결되는 적합한 튜브(tubing) 또는 배관(piping)을 사용하여 달성될 수 있다. 배관 및 튜브는 가요성 또는 비가요성 금속 콘딩의 구성일 수 있다. 시스템(300)의 여러 요소들에 배관 및 튜브를 유체소통가능하게 연결하기 위한 구성은 선택된 배관 또는 튜브의 물질 조성 및 선택된 장비의 특정 설계 구조물에 위임될 것이다.

<55> 비반응성 가스 저장고(340)는 헬륨 가스를 저장하는데 사용되는 것이 바람직하다. 헬륨 가스가 바람직한 비반응성 가스지만, 임의의 비반응성 가스가 시스템(300) 내에 사용될 수 있으며 이 또한 본 발명의 범위 내에 있다. 예컨대, 비반응성 가스는 질소, 이산화탄소, 메탄과 같은 경질 탄화수소, 또는 여기에 한정되지는 않지만, 헬륨, 아르곤, 크립톤 및 크세논을 포함한 임의의 불활성 가스일 수 있다.

<56> 시스템(300)을 통과하는 가스 헬륨의 유동은 가스 순환기(330)와 같은 가스 유동 또는 가스 순환 수단에 의해 달성된다. 가스 순환기(330)는 헬륨 가스가 가스 순환기(330)에서 유출될 때 헬륨 가스의 압력을 상승시킴으로

써 시스템(300) 및 캐니스터(20)를 통해 헬륨 가스를 순환시킨다. 이와 같이, 가스 순환기(330)에서 유출되는 헬륨 가스는 시스템(300)을 통해 반시계 방향으로 인도된다. 시스템(300)을 통과하는 가스 유동의 방향은 유체 연결부 상에 표시된 화살표로 도시되어 있다.

<57> 헬륨 저장고(340)는 시스템으로의 적절한 헬륨 가스의 공급원을 제공한다. 헬륨 저장고(340)는 응축기(395)와 유체소통가능하게 연결되어 있다. 헬륨 가스가 시스템(300)을 통해 인도되면, 헬륨 저장고(340) 내의 헬륨 가스가 응축기(395) 안으로 유동한다. 헬륨 가스는 응축기(395)를 통해 유동하면서 냉각된다. 이러한 헬륨 가스의 냉각은 헬륨 가스 내에 트래핑된 습기의 일부가 헬륨 가스 밖으로 응축되게 하고 액체 형태로 응축기(395) 내에 모이게 한다. 유체 배수(도시 안됨)를 통해 액체의 물이 응축기(395)로부터 제거되는 한편, 별도의 유체 연결부를 통해 부분적으로 건조된 헬륨 가스가 탈습기 모듈(380)(냉동 건조기라고도 알려져 있다) 안으로 유동한다. 이후, 부분적으로 건조된 헬륨 가스는 탈습기 모듈(380)을 통해 유동하고, 여기서, 관형 열 교환기를 통해 유동하는 냉매 유체에 의해 헬륨 가스를 냉동-건조시킴으로써 헬륨 가스가 한층 더 냉각된다. 이러한 부분적으로 건조된 헬륨 가스의 온도의 추가의 하락으로 인해, 헬륨 가스로부터 추가의 습기가 제거된다. 이와 같이, 탈습기 모듈(380)에서 유출되는 헬륨 가스는 상당히 낮은 습기 함량(즉, 낮은 증기압)을 가지며 상당히 건조된다. 탈습기 모듈(380)내의 헬륨 가스로부터 제거되는 습기는 냉매 유체 냉각식 열 교환기 튜브 상에서 바로 동결된다.

<58> 탈습기 모듈(380)의 외부로 유동하는 헬륨 가스의 온도를 모니터링하고 온도가 적당히 낮은가를 확인하여, 헬륨 가스가 상당히 건조되었는가를 보장할 수 있다. 탈습기 모듈(380)은 유출되는 헬륨 가스가 원하는 낮은 온도(T_c)로 냉각되었는가를 보장하게 한다. 이것은 탈습기 모듈(380)에서 유출되는 헬륨 가스의 온도를 온도 센서(320)에 의해 모니터링함으로써 실행된다. 온도 센서(320)는 전기 접속부(325)를 통해 탈습기 모듈(380)에 작동가능하게 연결되어 있다. 적절하게 프로그래밍된 프로세서(도시 안됨)와 사용자 인터페이스를 사용하여, 원하는 온도(T_c)가 사용자에게 의해 입력된다. 온도 센서(320)는 탈습기 모듈(380)에서 유출되는 헬륨 가스의 온도를 반복적으로 측정한다. 유출되는 헬륨 가스가 입력된 원하는 온도(T_c)와 부합되지 않는다면, 탈습기 모듈(380)에 적절한 신호가 송신된다. 탈습기 모듈(380)은 송신된 신호에 따라, 헬륨 가스의 냉각을 증가시키거나 감소시킴으로써 적절하게 응답할 것이다. 이러한 조절 프로세스는 탈습기 모듈(380)에서 유출되는 헬륨 가스가 원하는 온도(T_c) 이하로 도달될 때까지 반복되어, 도 5 및 도 6의 단계(500, 600)를 각각 완료한다. 아래에 상세히 기재하듯이, 원하는 온도(T_c)는 사용자에게 의해 선택되어, 유출되는 헬륨 가스가 충분히 건조되어, 공동(21) 내에 원하는 증기압(vP_D)을 달성하기 위해 공동(21)(도 1)으로부터 적절한 양의 습기를 제거할 수 있다.

<59> (원하는 온도(T_c)를 가지는)건조된 헬륨 가스는 가스 순환기(330) 안으로 유동하는데, 이러한 가스 순환기(330)는 상술한 바와 같이 건조된 헬륨 가스의 압력을 상승시켜서, 시스템(300) 전체적으로 보조 히터(350) 안으로 건조된 헬륨 가스를 순환시키도록 인도한다. 보조 히터(350)는 가스 순환기(330)의 하류에 유체소통가능하게 연결되어 있다. 보조 히터(350)에 유입될 때, 건조된 헬륨 가스는 원하는 가열 온도(T_H)로 과열되어, 도 5 및 도 6의 단계(510, 610)를 각각 완성한다. 헬륨 가스의 온도를 온도(T_H)로 상승시키면, 헬륨 가스가 공동(21) 안으로 유입될 때 (SNF 봉 상의 습기를 포함한) 공동(21)으로부터 습기를 제거하는 것이 용이하다. 그러나, SNF 봉은 종종 다량의 열을 발생시키므로, 이러한 상황에서는 보조 히터(350)가 필요하지 않을 수도 있다. 보조 히터(350)는 보조 히터(350)로부터 나오는 건조된 헬륨 가스가 작동가능하게 연결된 온도 센서(도시 안됨)를 사용하여 온도(T_H)로 유지되는 것을 보장한다. 간략한 기재를 위해, 온도 센서(320) 및 탈습기 모듈(380)에 사용되는 것들과 연결 및 제어가 유사함을 이해하고, 이러한 작동가능한 연결부의 논의는 생략할 것이다.

<60> 보조 히터(350)를 떠날 때, 건조된 헬륨 가스(이제는 온도(T_H)의 상태임)는 가스 유동 제어기(360) 안으로 유동한다. 가스 유동 제어기 요소(360)는 전기 접속부(390)에 의해 가스 순환기(330)에 작동가능하게 연결되어 있다. 본 발명이 사용되는 방법에 따라, 가스 유동 제어기(360)는 체적 유량 제어기 또는 질량 유량 제어기 중 어느 하나일 수 있다.

<61> 가스 유동 제어기(360)가 체적 유량 제어기라면, 밸브는 일정한 원하는 체적 유량(R)으로 헬륨 가스를 통과하게 할 것이다. 원하는 체적 유량(R)은 적절히 프로그래밍된 프로세서(도시 안됨)를 구비하는 연결된 사용자 인터페이스를 통해 사용자에게 의해 입력된다. 적절하게 프로그래밍된 프로세서는 체적 유량 밸브에 신호를 송신하여, 원하는 체적 유량(R)이 달성되도록 밸브를 조절한다. 본 실시예에서, 사용자는 사용자 인터페이스 내에 원하는 시간(t)을 또한 입력할 것이다. 시간(t)이 지나면, 적절하게 프로그래밍된 프로세서는 가스 순환

기(330)에 중지 작동 신호를 송신하고, 시스템(300)을 통과하는 헬륨 가스의 유동을 정지시킨다. 이러한 방법으로, 가스 유동 제어기(360)는 도 5의 단계(520)를 용이하게 수행한다.

<62> 도 5의 단계(520)가 용이하게 수행될 수 있는 다른 방법은 질량 유량 제어기를 사용하는 것이다. 가스 유동 제어기(360)가 질량 유량 제어기라면, 질량 유량 제어기를 통해 유동하는 가열된 건조된 헬륨 가스의 질량을 밸브가 측정하게 될 것이다. 사용자는 체적 유량값이 아니라 원하는 질량 유량(R) 및 원하는 시간(t)을 입력할 것이다. 질량 유량이란 체적 유량이란 원하는 유량(R)과 시간(t)이 얼마인지 사용자가 어떻게 결정하는지에 대해서는 아래에 보다 상세히 설명할 것이다.

<63> 대안으로, 가스 유동 제어기(360)는 사용자가 수치값(X)을 사용자 인터페이스에 입력하도록 되어 있으며, 여기서, 수치값(X)은 공동(21)의 자유 체적(V_F)이 헬륨 가스 유동에 의해 턴-오버(turn-over)되기를 사용자가 원하는 횟수(the number of times)를 나타낸다. 여기에 사용되는 바와 같이, 자유 체적(V_F)의 값은 여러 캐니스터에 대해 상이할 것이며, 캐니스터가 SNF 봉에 의해 완전히 적재되었는가에 좌우될 것이지만, 비게될 때 공동의 체적과 공동 안으로 적재되는 SNF 봉의 개수 및 크기를 알면 임의의 주어진 캐니스터에 대한 자유 체적(V_F)의 값을 어렵잡을 수 있다. 본 명세서 전체에 걸쳐 사용되듯이, 자유 체적(V_F)은 충분한 가스가 공동 안으로 유동해서 자유 체적(V_F)을 충전시키고 이전에 체적을 점유했던 가스를 대체할 때 턴-오버된다. 예컨대, 자유 체적(V_F)이 300 ft^3 이고 건조된 헬륨 가스의 600 ft^3 의 체적이 자유 체적(V_F)안으로 유동한다면, 자유 체적(V_F)은 2회 "턴-오버"된다. 따라서, X값은 2.0이다. 이러한 시스템(300)의 실시예에서, 사용자는, 원하는 증기압(vP_D)을 달성하는 공동 내의 증기압을 야기하는 특정 횟수로 자유 체적(V_F)이 턴-오버되도록 X를 선택한다. 원하는 X를 사용자가 계산하는 방법은 아래에서 설명할 것이다. 원하는 X를 알고 있다고 가정하면, 사용자는 유량(R) 및 시간(t) 대신에 이 값을 사용자 인터페이스에 입력한다. 적절히 프로그래밍된 프로세서는 질량 유량 제어기 또는 체적 유량 제어기이든지, 가스 유동 제어기(360)와 소통되어, 원하는 X회로 공동의 자유 체적(V_F)을 턴-오버시키는 건조된 헬륨 가스의 체적을 공급하고, 이에 따라 도 6의 단계(620)를 완료한다. 원하는 X를 야기하는 건조된 헬륨 가스의 체적이 일단 공동(21)내에 공급되면, 적절하게 프로그래밍된 프로세서는 중지 작동 신호를 가스 순환기(330)에 송신해서, 시스템(300)을 통과하는 헬륨 가스의 유동을 중지시킨다.

<64> 가스 유동 제어기(360)에서 유출될 때, 건조된 헬륨 가스는 가스 분배기(370) 안으로 유동한다. 가스 분배기(370)는 캐니스터(20)와 유체소통가능하게 연결되며, 덩어리 물을 배수하는데 사용되는 동일한 배수 밸브(도시 안됨)를 가능하면 통과해서 캐니스터(20)의 바닥에 또는 바닥 근처에 공동(21)(도 1) 안으로 가열된 건조 헬륨 가스를 도입시키게 된다. 가스 분배기(370)는 가열된 건조 헬륨 가스를 공동(21)의 자유 체적(V_F) 안으로 도입시켜서, 도 5 및 도 6의 단계(520, 620)를 각각 완료한다. 건조 헬륨 가스가 공동(21)에 들어오면, 습기를 흡수함으로써 습윤하게 된다. 건조 헬륨 가스에 의한 이러한 습기의 흡수는 공동(21) 내에 이미 존재하는 수증기와 혼합됨으로써, 그리고 SNF 봉 상에 그리고 공동(21) 내에 존재할 수 있는 액체의 물을 증발시킴으로써 발생된다. 건조 헬륨 가스가 온도(T_H)로 과열되면, 건조 헬륨 가스 내에 추가된 에너지는 액체의 물의 증발의 개시를 도울 것이다. 건조 헬륨 가스가 연속으로 공동(21) 안으로 도입됨에 따라, 공동(21)의 자유 체적(V_F)이 충전된다. 자유 체적(V_F)이 일단 충전되면, 건조 헬륨 가스의 연속적인 공급으로, 상부에 또는 상부 근처에서 출구 오리피스로부터 공동(21) 밖으로 습윤한 헬륨 가스를 밀어내어, 도 5 및 도 6의 단계(530, 630)를 각각 완료한다. 따라서, 가스 순환기(330)는 공동(21)으로부터 습윤한 비반응성 가스를 제거하는 제거 수단으로서 작용한다. 출구 오리피스는 밀봉식 캐니스터 덮개 구멍(도 2)일 수 있다. 공동(21)으로부터 습윤한 헬륨 가스의 이러한 제거는 공동(21) 내의 생성된 증기압을 떨어뜨린다. 습윤한 헬륨 가스가 공동(21) 밖으로 유동하면서, 유체 연결부를 통해 헬륨 저장고(340)로 습윤한 헬륨 가스가 전달된다. 이와 같이, 습윤한 헬륨 가스는 시스템(300)을 통해 재순환될 수 있어서, 연속적인 캐니스터 건조 프로세스를 지속한다.

<65> 상술한 바와 같이, 가열된 건조 헬륨 가스가 시간(t)동안 유량(R)으로 공동(21)을 통해 일단 순환되면, 공동(21) 안으로의 가열된 헬륨 가스의 도입은 중지되고, 따라서, 도 5의 단계(540)를 완료한다. 대안의 실시예에서, 가열된 건조 헬륨 가스가 공동(21)을 통해 순환될 때, 공동(21) 안으로 가열된 건조 헬륨 가스의 도입이 중지되어, 자유 체적(V_F)이 X회 턴-오버하게 되고, 따라서, 도 6의 단계(640)를 완료한다. 이 시점에서, 시스템(300)은 배수 밸브와 오리피스를 포함한 공동(21) 내의 모든 개구 및 캐니스터(20)와 분리되고 밀봉되어, 공동(21) 내에 건조 헬륨 가스를 트래핑하고, 공동(21) 내부에 비반응성 환경을 생성시켜서, 도 5 및 도 6의 단계

(550)를 각각 완료한다.

<66>

도 4를 참조하면, 시스템(300)을 통해 순환하는 헬륨 가스의 열역학 사이클이 증기 압력-온도 다이어그램 상에 도시되어 있다. 이러한 다이어그램에는 물에 대한 증기압 곡선이 그려져 있다. 증기압 곡선 위로는 물이 액체 상태이고, 증기압 곡선 아래로는 물이 기체 상태이다. 곡선상의 임의의 점에서는 기체 및 액체가 평형 상태로 공존한다. 도시를 위해, 열역학 그래프는 시스템(300)이 원하는 온도(T_C)가 21 °F이고, 온도(T_H)가 300 °F이며, 그리고 공동(21)내의 시작 증기압(vP_S)이 87 토르가 되도록 작동한다고 가정한다. 여기에 사용되는 바와 같이, 공동(21)내의 시작 증기압(vP_S)은 덩어리 물을 공동에서 배수시킨 후 그리고 임의의 건조 헬륨 가스가 공동을 통과하기 전의 공동 내의 증기압이다. 다이어그램상의 지점(1)에서 시작하면, 수증기를 함유한 과열된 헬륨 가스가 캐니스터(20)의 공동(21)에서 유출되며 응축기(395)로 유입된다. 응축기(395) 내에 일단 유입되면, 과열된 헬륨 가스는 이슬점이 증기압 곡선과의 교차점 즉, 지점(2)에 도달할 때까지 1-2선을 따라 냉각된다. 응축기(395)내에서 헬륨 가스의 냉각은 이슬점 아래로 계속되며, 2-3선을 따라 증기압 곡선 아래로 헬륨 가스의 밖으로 수증기를 점진적으로 응축시킨다. 2-3선으로부터 응축되는 액체는 응축기로부터 분리되며 제거되는 한편, 부분적으로 건조된 헬륨 가스는 탈습기 모듈(380) 안으로 유동하며, 거기서 냉동-건조된다. 탈습기 모듈(380)에서 헬륨 가스는 이슬점 아래로 보다 더 냉각되는 한편, (21°F인) 원하는 온도(T_C)에 도달할 때까지 3-4선을 따라 헬륨 가스의 외부로 수증기를 보다 더 응축시킨다. 건조된 헬륨 가스는 응축기 모듈(380)을 출발하며, 보조 히터(350)에서 4-5선을 따라 온도(T_H)까지 과열되어, 공동(21)내에서 액체의 물이 증발되는 것을 돕는다. SNF 봉이 충분히 가열되어 있지 않다면, 이러한 과열작용이 공동(21) 내부에서 발생되어, 보조 히터(50)가 필요 없게 한다. 일단 공동(21) 내에 있게 되면, 건조 헬륨 가스는 SNF 봉에 의해 발산된 열로 인해 심지어 더 가열되며, 가열된 건조 헬륨 가스는 증발하는 액체의 물로부터 수증기를 흡수하여 습윤화되고, 5-1선을 따라 건조 헬륨 가스의 증기압이 증가된다. 건조 헬륨 가스가 공동(21)을 유동하는 동안은, 공동(21) 내의 증기압은 계속해서 감소될 것이다. 이것은 또한 유출되는 습윤한 헬륨 가스의 증기압이 (지점(5)에서) 시간이 지남에 따라 감소하게 한다. 공동(21) 내부의 증기압은 계속해서 단조롭게 감소해서, 공동(21)에 유입되는 가열된 건조된 비반응성 가스의 증기압에 접근할 것이다. 따라서, 탈습기 모듈(380)에서 유출되는 헬륨 가스의 온도가 원하는 증기압(vP_D) 이하인 증기압, 본 실시예에서는 3토르에 상응하도록 충분히 낮게 되는 것을 보장함으로써, 충분한 양의 건조 헬륨 가스가 공동(21)을 통해 유동하는 동안은, 공동(21) 내에 원하는 증기압(vP_D)이 달성될 수 있다. 따라서, 원하는 건조 상태를 증기압과 관련하여 알게 되면, 시스템(300)의 사용자는 도 4를 사용하여 또는 유사한 크래프를 사용하여 원하는 온도(T_C)를 계산할 수 있어서, 건조 레벨을 달성할 수 있다. 현재 N.R.C 규정에 따르면, 건조의 측정값으로서 공동(21) 내에 달성되어야 하는 증기압은 3토르 이하이므로, 증기압(vP_D)은 3토르 이하가 될 것이며, 따라서, 도 5 및 도 6의 단계(560)을 각각 완료한다. 이와 같이, 도 4에 볼 수 있듯이, 이것은 21°F이하의 온도(T_C)에 상응한다.

<67>

증기압(vP_D)을 일단 알게 되면 온도(T_C)(21°F)가 계산되며, 다음 단계는 공동(21) 내부에 존재하는 자유 체적(V_F)을 결정하는 것이다. 이것은, 벌집형 그리드(23)와 같은, 공동(21) 내에 존재할 수 있는 임의의 다른 고체의 체적과 내부에 포함된 SNF 봉의 어림의 체적만큼 공동(21)의 총 체적을 감소시킴으로써 실행된다. 자유 체적(V_F)이 결정되면, 이후 시스템(300)의 사용자는, 보조 히터(350)에 의해 건조 헬륨 가스가 가열될 온도(T_H)와, 이러한 가열된 건조 헬륨 가스가 공동(21)에 공급될 유량(R)을 선택한다. 건조되는 공동에 대한 자유 체적(V_F)의 값과 온도(T_H) 및 유량(R)에 대해 선택된 값에 따라, 공동이 3토르의 원하는 증기압(vP_D)을 달성하기 전에, 가열된 건조 헬륨 가스가 시간(t)의 주기 동안 공동(21)을 통해 유동해야 할 것이다. 공동(21) 내부의 조건을 시뮬레이팅하고 시스템(300)의 변수들에 대한 가정의 값들(hypothetical values)을 설정함으로써, 데이터의 적절한 그래프를 읽음으로써 주어진 일련의 변수들에 대한 시간(t)이 결정될 수 있다.

<68>

도 7을 참조하면, 데이터 그래프는 주어진 일련의 시뮬레이팅된 조건들에 대한 공동 내에 생성된 증기와 대한 공동을 통과하는 가스 유동의 시간을 도식화한 것이다. 이러한 시간-증기압 그래프를 만들 때, 다음의 조건들이 가정되었거나 선택되었다: 즉, 이들 조건들은 (1) (도 4에서, 21°F의 온도(T_C)와 관련한) 3토르의 vP_D ; (2) 약 300 ft³의 V_F ; (3) (약 0.032 lb/ft³의 헬륨 밀도(ρ)와 관련한) 300°F의 온도(T_H); (4) 78.125 ft³/min의 유량(R); (5) 50 lb/in²의 공동 압력(P_C); 및 (6) 공동 내부에서의 87토르의 시작 증기압(vP_S)이다. 데이터 플롯

에서 볼 수 있듯이, 건조 헬륨 가스를 시간을 초과하여 공동을 통해 유동하게 하면, 공동 내부에 생성된 증기압이 감소된다. 이러한 데이터를 플로팅(plotting)함으로써, 약 22.5분의 시간(t)에, 공동 내부의 생성된 증기압은 3 토르의 증기압(vP_D)과 같게 될 것이다. 시간(t)을 결정할 때, 탈습기 모듈에서 유출되는 헬륨 가스에 대해 온도(T_C)에 도달된 후 시계를 출발시킨다. 도 7의 조건들은 단지 예시만을 위해 선택하였다. 사용자에게 의해 선택된 임의의 변수들에 대해 그리고 공동 내부의 임의의 일련의 시작 조건들에 대해 유사한 그래프를 시뮬레이팅할 수 있다. 따라서, 공동 내부의 증기압을 감입식으로 측정할 필요없이 임의의 주어진 일련의 조건들에 대해 임의의 원하는 증기압(vP_S)을 달성하는데 필요한 시간을 어렵게 산출할 수 있다. 실제 실험 데이터를 도식화함으로써 또는 적절하게 프로그래밍된 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 적절한 그래프들을 만들 수 있다.

<69> 대안으로, 유량(R)으로서 질량 유량을 선택할 수 있다. 단순히 가스 유동의 밀도를 아는 것으로, 질량 유량이 체적 유량과 용이하게 상호변환가능하다. 가스의 질량 유량은 그 가스의 체적 유량을 가스 밀도와 곱한 것과 같다. 예컨대, 위에서 선택된 체적 유량(R)인 $78.125 \text{ ft}^3/\text{min}$ 은 $2.5 \text{ lb}/\text{min}$ 의 질량 유량에 상응하며, 여기서, 헬륨의 밀도는 대략 $0.032 \text{ lb}/\text{ft}^3$ 이다. 따라서, 도 7과 유사한 데이터 플롯들이 주어진 질량 유량에 대해 시뮬레이팅될 수 있다.

<70> 또한, 남아있는 변수들을 설정함으로써 임의의 하나의 변수를 계산할 수 있다. 예컨대, 어떤 건조 시간(t)이 요구된다면, 가스 유량(R)에 대한 증기압을 생성하는 그래프 플로팅이 생성될 수 있으며, 여기서, 시간(t)은 일정하게 유지되고, 유량(R)은 변화된다. 따라서, 본 발명은 임의의 특정 변수가 일정하게 유지되는 상황에 한정되지 않는다.

<71> 도 8을 참조하면, 주어진 일련의 시뮬레이팅된 조건들에 대해, 공동내에 생성된 증기 대(versus) 가스에 의한 자유 체적(V_C)의 턴오버(X)의 횟수가 도식화된 데이터 그래프가 도시되어 있다. 이러한 턴오버 수-증기압 그래프를 만들 때, 다음의 조건들이 가정되거나 또는 선택된다: 즉, 이 조건들은, (1) (도 4에서, 21°F 의 온도(T_C)와 관련한) 3토르의 vP_D ; (2) 약 300 ft^3 의 V_F ; (3) (약 $0.032 \text{ lb}/\text{ft}^3$ 의 헬륨 밀도(ρ)와 관련한) 300°F 의 온도(T_H); (4) $50 \text{ lb}/\text{in}^2$ 의 공동 압력(P_C); 및 (6) 공동 내부에서의 87토르의 시작 증기압(vP_S)이다. 시스템(300)가 임의의 주어진 캐니스터에 대해 연속적으로 작동되면서, 공동의 자유 체적(V_F) 안으로 유동하는 가스의 총 체적(V_{tot})이 증가한다. 총 체적(V_{tot})을 자유 체적(V_F)으로 나눈 값이 X이므로, 헬륨 가스가 계속해서 유동하면서 X도 증가한다. 도 8에 도시된 바와 같이, X가 증가함에 따라, 생성된 증기압은 증기압 플롯 라인을 따라 감소된다. 이러한 데이터 플롯 라인으로부터, 누구든지 X값을 결정할 수 있으며, 이러한 X에서, 공동 내부에 생성된 증기압은 3토르의 원하는 증기압(vP_D) 이하가 될 것이다.

<72> 도 9를 참조하면, 충분한 체적의 가열된 건조 헬륨 가스가 공동을 통해 유동해서 5.86 이상의 X가 생성될 때, 공동 내부에 3토르의 원하는 증기압(vP_D)이 달성됨을 볼 수 있다. 따라서, 5.86이상의 X를 달성하도록 시스템(300)을 프로그래밍함으로써, 공동의 내부를 감입식으로 측정할 필요없이 3토르의 원하는 증기압(vP_D)이 달성되는 것을 보장할 수 있다. 도 8 및 도 9의 조건들은 단지 예시를 위해 선택하였다. 사용자에게 의해 선택되거나 요구되는 임의의 변수들에 대해 그리고 공동 내부의 임의의 주어진 일련의 시작 조건들에 대해 유사한 그래프들이 시뮬레이팅될 수 있다(또는, 실제 실험 데이터를 사용하여 플로팅될 수 있다).

발명의 효과

<73> 본 발명에 의하면, 공동의 내부의 vP 를 물리적으로 측정하지 않고 SNF가 적재된 공동을 건조시킬 수 있고, 대기압 이하의 조건으로 공동의 내부를 조성하지 않고 SNF가 적재된 공동의 내부를 건조시킬 수 있으며, 또한 고가의 진공 장비를 사용하지 않고도 SNF가 적재된 공동의 내부를 적합하게 건조할 수 있다. 또한, 본 발명에 따르면, 가격의 측면에서 더 효과적인 방법으로 SNF가 적재된 공동을 준비해서 건조 저장할 수 있다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 부분적인 단면의 빈 상태로 개방된 캐니스터의 사시도이다.

<2> 도 2는 이송 캐스크 안에 위치하고 밀봉된 도 1에 따른 캐니스터를 구비한 이송 캐스크의 부분적인 단면의 사시

도이다.

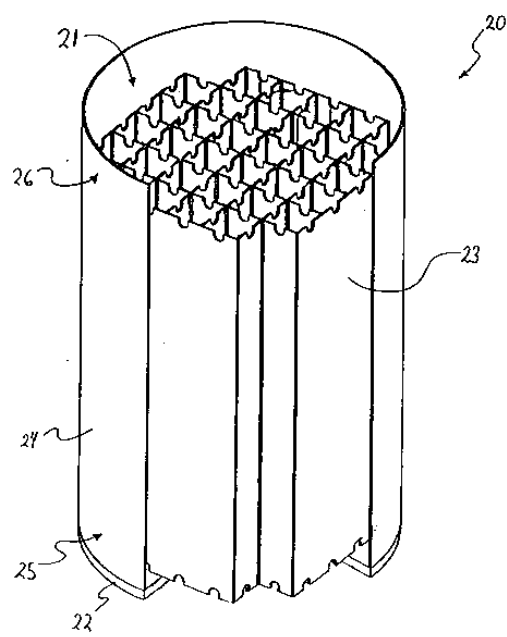
- <3> 도 3은 본 발명에 따른 페-루프 시스템의 개략적인 배치도이다.
- <4> 도 4는 특별한 조건하에서의 도 3의 시스템에 따라 유동하는 헬륨 가스의 열역학적 사이클을 도시한 그래프이다.
- <5> 도 5는 본 발명에 따른 방법의 제 1 실시예의 플로우차트이다.
- <6> 도 6은 본 발명에 따른 방법의 제 2 실시예에 따른 플로우차트이다.
- <7> 도 7은 여러번 공동을 통하여 건조 가열된 헬륨 가스가 유동한 후 캐니스터의 공동안의 결과적인 증기압에 대하여 도식화된 데이터로 그린 데이터 그래프이다.
- <8> 도 8은 공동 내에 생성된 증기에 대한 공동의 자유 체적의 턴오버의 수를 플로팅한 데이터 그래프이다.
- <9> 도 9는 도 8에서의 IX-IX지역의 확대도이다.

<10> * 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 *

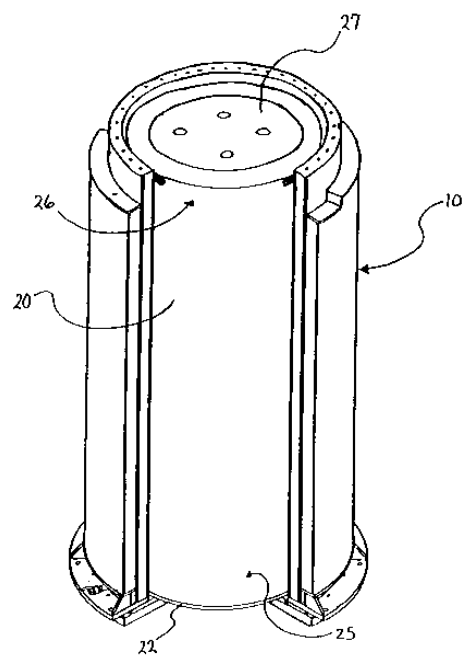
- | | |
|------------------------|------------------|
| <11> 10 : 이송 캐스크 | 20 : 캐니스터 |
| <12> 21 : 공동 | 22 : (캐니스터의) 바닥판 |
| <13> 23 : 별집형 그리드 | 24 : 원통형 벽 |
| <14> 26 : (캐니스터의) 상부 | 27 : 캐니스터 덮개 |
| <15> 28 : 덮개 구멍 | 300 : 시스템 |
| <16> 310 : 냉각 요소 | 320 : 온도 센서 |
| <17> 325, 390 : 전기 접속부 | 330 : 가스 순환기 |
| <18> 340 : 비반응성 가스 저장고 | 350 : 보조 히터 |
| <19> 360 : 가스 유동 제어기 | 370 : 가스 분배기 |
| <20> 380 : 탈습기 모듈 | |

도면

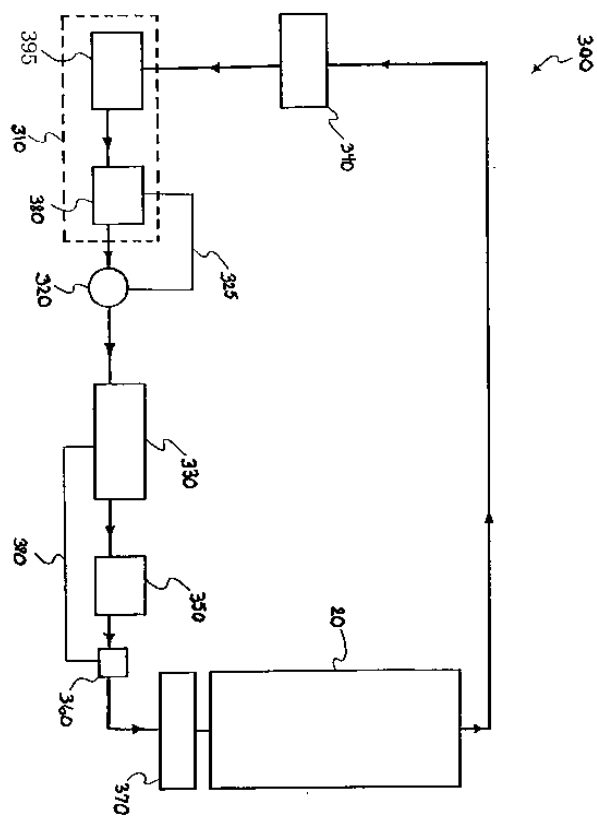
도면1



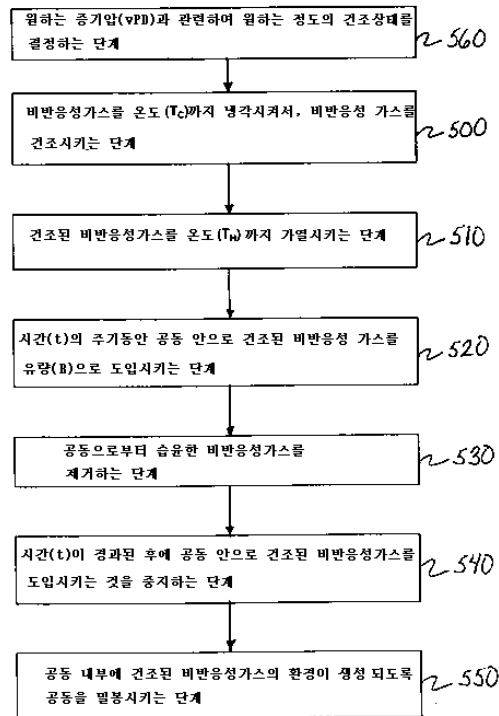
도면2



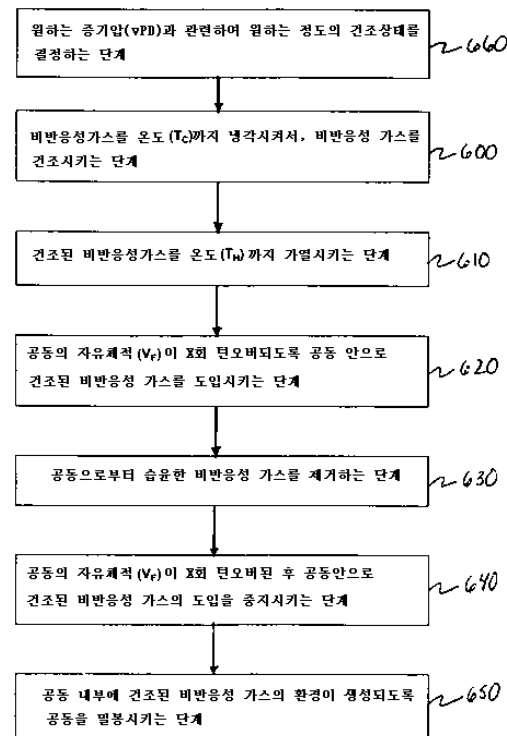
도면3



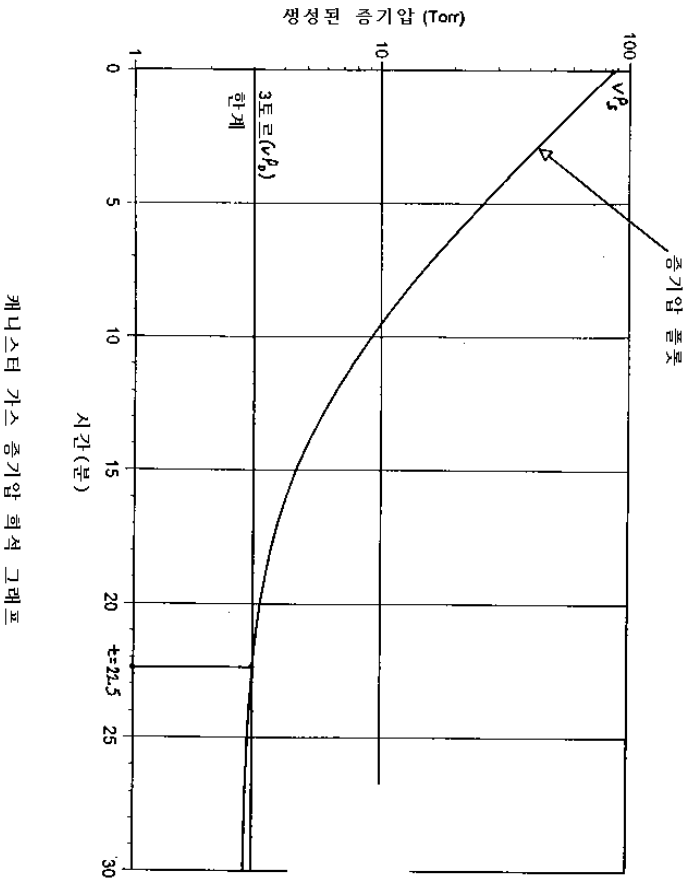
도면5



도면6

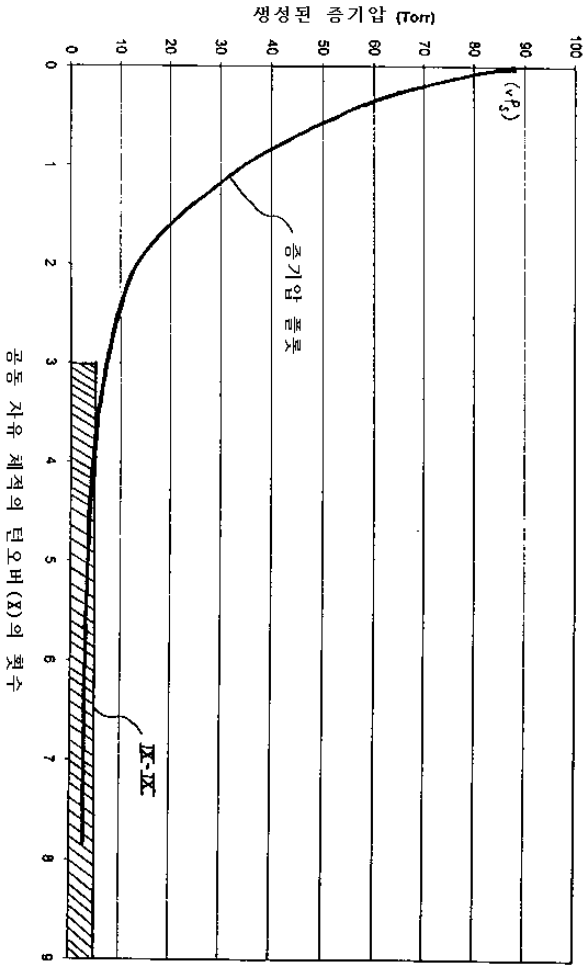


도면7



도면8

공동 자유 체적 텀오버에 근거한 케니스터 증기압 화석



도면9

