



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년04월26일
(11) 등록번호 10-1138445
(24) 등록일자 2012년04월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21G 1/08 (2006.01) G21G 4/08 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0019451
(22) 출원일자 2011년03월04일
심사청구일자 2011년03월04일
(56) 선행기술조사문헌
JP07218697 A
KR1019990080474 A
KR100828413 B1
JP2008102078 A

(73) 특허권자
한국원자력연구원
대전 유성구 덕진동 150-1
(72) 발명자
김창규
대전광역시 유성구 배울2로 24, 테크노밸리 310-402 (관평동)
김기환
대전광역시 유성구 가정로 43, 103동 1501호 (신성동, 한울아파트)
(74) 대리인
이원희
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 7 항

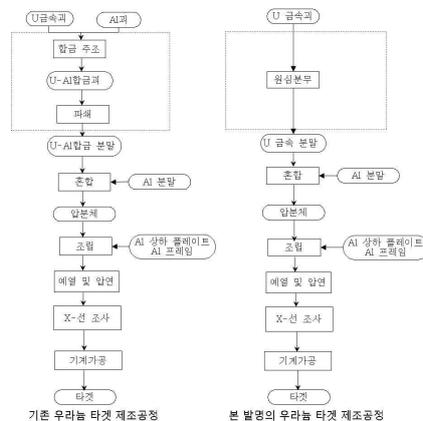
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 **저농축 고밀도 판상 우라늄 타겟의 제조방법 및 이에 의하여 제조되는 저농축 우라늄 고밀도 타겟**

(57) 요약

본 발명은 저농축이나 고밀도인 판형 우라늄 타겟의 제조방법 및 이에 의하여 제조되는 판형 저농축 고밀도 우라늄 타겟에 관한 것이다. 또한 본 발명은 상기 방법으로 제조된 우라늄 타겟을 이용하여 의료용 방사성 99Mo를 제조하는 방법에 관한 것이다. 상기의 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 Al, Si, Cr, Fe, 및 Mo로 이루어진 균으로부터 선택되는 하나 이상을 1wt% 미만으로 포함하는 저농축 우라늄 원료로부터 원심분무법을 이용하여 우라늄 합금 입자 분말을 제조하는 단계; 제조된 우라늄 합금 입자 분말을 40 내지 50 부피%로 Al-Si 합금 분말과 혼합하여 압분체를 제조하는 단계; 및 제조된 압분체를 압연하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 판형 저농축 고밀도 우라늄 타겟의 제조방법을 제공한다. 또한, 본 발명은 상기 방법으로 제조된 우라늄 타겟에 대하여 중성자를 조사하는 단계; 상기 조사된 타겟을 염기 용액으로 용해하는 단계; 상기 단계 b에서 처리된 결과물에 대하여 산 용액으로 처리하는 단계; 및 상기 단계에서 산처리된 결과물에서 99Mo를 추출하는 단계를 포함하는 의료용 방사성 99Mo의 제조방법을 제공한다. 본 발명의 제조방법에 따르면, IAEA의 권고에 부합하는 저농축 우라늄 타겟을 사용하면서도 99Mo의 생산량이 저하되지 않는 장점이 있다. 또한, 기존 타겟 형태를 유지하고 제조공정의 변경을 최소화할 수 있어 부가적이 공정이 필요 없고, 나아가 99Mo의 제조과정에서 염기로 우선 처리하여 알루미늄을 제거한 후, 산 처리를 함으로써 발생하는 핵폐기물의 양을 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

이윤상

대전광역시 유성구 배울2로 61, 1009동 502호 (관평동, 대덕테크노밸리10단지아파트)

류호진

대전광역시 유성구 노은서로86번길 18 (노은동)

우윤명

대전광역시 유성구 대학로75번길 30, 소향빌라 301호 (궁동)

장세정

대전광역시 유성구 어은로 57, 한빛APT 126-1102 (어은동)

박종만

대전광역시 유성구 전민로 71, 푸른APT 105동 301호 (전민동)

최선주

대전광역시 유성구 엑스포로339번길 320, 사이언스빌 4동 303호 (원촌동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 527110-11

부처명 교육과학기술부

연구사업명 창의 사업

연구과제명 쌍률주조법에 의한 U 및 U-Mo 균질박판 제조기술개발

주관기관 한국원자력연구원

연구기간 2008.01.01 ~ 2011.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

Al, Si, Cr, Fe, 및 Mo로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상을 1wt% 미만으로 포함하는 저농축 우라늄 원료로부터 원심분무법을 이용하여 우라늄 합금 입자 분말을 제조하는 단계(단계 1);

제조된 우라늄 합금 입자 분말을 40 내지 50 부피%로 Al-Si 합금 분말과 혼합하여 압분체를 제조하는 단계(단계 2); 및

제조된 압분체를 압연하는 단계(단계 3)를 포함하는 것을 특징으로 하는 판형 저농축 고밀도 우라늄 타겟의 제조방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 단계 2의 Al-Si 합금 분말 중 Si는 2 내지 5 중량%로 포함되는 것을 특징으로 하는 판형 저농축 고밀도 우라늄 타겟의 제조방법.

청구항 3

제1항의 방법으로 제조되는 판형 저농축 고밀도 우라늄 타겟.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 우라늄 타겟의 우라늄 밀도는 7.5 g-U/cc 내지 9.0 g-U/cc인 것을 특징으로 하는 판형 저농축 고밀도 우라늄 타겟.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 저농축 고밀도 우라늄 타겟은 의료용 방사성 99Mo를 위한 조사 타겟으로 사용되는 것을 특징으로 하는 판형 저농축 고밀도 우라늄 타겟.

청구항 6

제3항의 우라늄 타겟에 대하여 중성자를 조사하는 단계(단계 a);

상기 조사된 타겟을 염기 용액으로 용해하여 알루미늄 피복재 및 기지 물질을 제거하는 단계(단계 b);

상기 단계 b에서 처리된 결과물에 대하여 산 용액으로 처리하여 미반응 우라늄을 회수하는 단계(단계 c); 및

상기 단계 c에서 산처리된 결과물에서 99Mo를 추출하는 단계(단계 d)를 포함하는 의료용 방사성 99Mo의 제조방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 단계 b의 염기 용액은 수산화나트륨 용액이고, 상기 단계 c의 산 용액은 질산 용액인 것을 특징으로 하는 의료용 방사성 99Mo의 제조방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 의료용 동위원소 99Mo제조에 사용되는 우라늄 타겟 중 저농축인 우라늄 금속에 Si, Cr, Al, Fe, Mo을 1 wt% 미만으로 소량 첨가한 우라늄 합금의 입자를 Al-Si 합금 기지, 특히 Si 함량이 2 내지 5 중량%인 Al-Si 합금 기지에 분산시킨 판상 저농축 고밀도 타겟의 제조방법 및 이에 의하여 제조되는 저농축 고밀도 우라늄 타겟에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 99mTc는 의료 진단용 방사성 동위원소 수요의 약 80 %를 차지하는 원소로서 핵의학적 질병진단에 중요하게 활용되고 있는 의료용 방사성 동위원소이다. 99mTc는 자연상태에는 존재하지 않는 인공원소이며, 99Mo의 방사선붕괴에 의하여 생성되는 딸핵종이다.

[0003] 한편, 의료용 방사성 동위원소인 99mTc의 유일한 모핵종인 99Mo를 제조하는 방법은 크게 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 우라늄을 핵분열시켜 생성되는 생성물 중 99Mo를 추출하는 방법이고, 두 번째 방법은 98Mo에 중성자를 조사하여 99Mo를 얻는 방법이다. 그러나 두 번째 방법의 경우 원료물질인 98Mo를 얻기 어렵고, 이에 따라 가격이 비싼 문제점이 있으며, 방사선 강도가 약하여 주로 첫 번째 방법이 사용된다. 이와 같은 방법으로 제조되는 99Mo는 방사선붕괴에 의하여 99mTc가 생성되고, 생성된 99mTc가 질병 진단에 사용된다. 그러나 99Mo는 반감기가 66 시간으로 매우 짧아 생산성을 높이기 위하여 최근까지 농축도가 90 % 이상인 고농축 우라늄 타겟을 사용하여왔다. 여기서 농축도 90 % 이상이란 우라늄 동위원소 중 핵분열이 잘 일어나는 235U가 90 % 이상 포함되고, 238U가 10 % 이하로 포함됨을 의미한다.

[0004] 최근 핵확산억제정책으로 의료용 방사성 동위원소 99Mo를 위한 조사 타겟 물질 우라늄의 농축도를 약 90% 고농축에서 20 % 이하로 낮추는 정책을 미국과 국제원자력기구(IAEA)가 주축이 되어 1996년부터 전 세계적으로 추진하고 있다. 그러나 조사 타겟 물질 우라늄의 농축도를 약 90% 고농축에서 20 % 이하로 낮추는 경우 99Mo의 생산량이 떨어지는 문제점이 있다. 이에 235U의 농축도를 90 %에서 20 %인 저농축으로 낮추는 대신에 그만큼 우라늄 총 함량을 증가시키는 방향으로 연구가 진행되고 있으며, 가급적 기존에 사용하고 있는 타겟 공정 및 형태를 변경하지 않는 방법을 원칙으로 하여 연구가 진행되고 있다.

[0005] 예를 들어, 미국 Argonne 국립연구소에서는 두께가 약 120 ~ 150 μm의 얇은 우라늄 금속박판을 알루미늄 두 개의 원통 사이에 넣은 형태의 타겟을 개발하였다. 우라늄 금속박판에 대하여 원자로 내에서 중성자를 조사시키면 이방성 미세조직에 의하여 변형이 일어나고, 핵분열 생성가스에 의하여 기포 또는 원자 개수가 늘어나기 때문에 부피 팽창이 일어난다. 이와 같은 부피 팽창은 온도가 높을수록 원자 확산운동이 커짐에 따라 급격히 증가하기 때문에 핵분열로 발생하는 많은 열을 효과적으로 방출하기 위하여 상기와 같은 디자인으로 타겟을 개발한 것이다. 그러나 일반적으로 대규모 99Mo 생산자의 99Mo를 제조하기 위한 공정에 사용되는 타겟은 판형인 점, 핵분열 후 알루미늄 원통틀을 제거하고 난 후, 이후의 처리를 해야 하므로 공정이 복잡해지는 점 등의 문제점이 있다.

[0006] 한편, 현재 대규모 99Mo 생산자의 타겟은 고농축 우라늄과 알루미늄의 합금물질인 알루미늄나이드는 알루미늄 금속에 약 18 중량%의 우라늄 금속을 첨가하여 용융 합금한 물질로, 냉각 중에 Al 기지에 UAl₃와 UAl₄ 상이 석출되어 분산되어 있는 형태의 미세조직으로, 열전도도가 매우 우수하여 중심부 온도가 낮게 유지되기 때문에 온도의 상승에 의한 거동 악화를 방지할 수 있는 장점이 있으나, 우라늄 함량은 약 1.5 g-U/cc로 낮다. 우라늄 알루미늄나이드의 금속간 화합물 중에 UAl₂는 UAl₃와 UAl₄보다 우라늄 함량이 높아 UAl₂ 분말을 우선 제조하고 알루미늄 분말과 혼합하여 압연 성형한 분산물질은 우라늄 함량이 약 3.0 g-U/cc로 높아진다. 이와 같은 원리를 이용하여 최근 남아프리카 공화국에서는 99Mo를 위한 타겟 물질을 우라늄 알루미늄 합금 물질이 아닌 우라늄 알루미늄

미나이드(UAl₂)를 알루미늄 기지에 분산시켜, 약간의 불리함을 감수하면서 농축도를 45 %에서 20 %로 낮춘 우라늄 타겟을 개발하였다. 그러나, 이와 같은 방법은 고농축 우라늄 타겟을 사용할 때보다 99Mo의 생산량이 떨어지는 문제점이 있다. 99Mo의 생산량 저하는 결국 99mTc의 생산량 저하로 이어지고, 99Mo는 반감기가 짧아 한꺼번에 많은 양을 생산할 수도 없으므로, 생산량의 저하는 매우 큰 문제라고 할 수 있다.

[0007] 이에 본 발명의 발명자들은 전 세계적으로 추진 중인 저농축 우라늄 타겟의 사용에 대처하면서, 99Mo의 생산량이 저하되지 않는 우라늄 타겟의 제조와 관련한 연구를 수행하던 중 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 고농축 우라늄 타겟의 형태를 유지하고 제조공정 변경을 최소화하면서 판상 저농축 고밀도 우라늄 타겟을 제조하는 방법 및 이에 의하여 제조되는 판상 저농축 고밀도 우라늄 타겟을 제공하는데 있다. 본 발명의 다른 목적은 상기 방법으로 제조된 저농축 고밀도 우라늄 타겟을 이용하여 의료용 방사성 99Mo를 제조하는 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기의 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 Al, Si, Cr, Fe, 및 Mo로 이루어진 군으로부터 선택되는 하나 이상을 1wt% 미만으로 포함하는 저농축 우라늄 원료로부터 원심분무법을 이용하여 우라늄 합금 입자 분말을 제조하는 단계; 제조된 우라늄 합금 입자 분말을 40 내지 50 부피%로 Al-Si 합금 분말과 혼합하여 압분체를 제조하는 단계; 및 제조된 압분체를 압연하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 판상 저농축 고밀도 우라늄 타겟의 제조방법을 제공한다. 또한, 본 발명은 상기 방법으로 제조된 우라늄 타겟에 대하여 중성자를 조사하는 단계; 상기 조사된 타겟을 염기 용액으로 용해하여 알루미늄 피복재 및 기지 물질을 제거하는 단계; 상기 단계에서 처리된 결과물에 대하여 산 용액으로 처리하여 미반응 우라늄을 회수하는 단계; 및 상기 단계 c에서 산처리된 결과물에서 99Mo를 추출하는 단계를 포함하는 의료용 방사성 99Mo의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

[0010] 본 발명의 제조방법에 따르면, IAEA의 권고에 부합하는 저농축 우라늄 타겟을 사용하면서도 99Mo의 생산량이 저하되지 않고 오히려 증가될 수 있는 장점이 있다. 또한, 기존 타겟 형태를 유지할 수 있어 부가적인 공정이 필요 없고, 나아가 99Mo의 제조과정에서 염기 용액으로 우선 처리하여 알루미늄 피복재 및 기지물질을 제거한 후 산 처리를 함으로써, 발생하는 핵폐기물의 양을 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 기존의 우라늄 타겟의 제조공정도와 본 발명에 따른 제조공정도를 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 99mTc는 의료 진단용 방사성 동위원소 수요의 약 80 %를 차지하는 원소로서 핵의학적 질병진단에 중요하게 활용되고 있는 의료용 방사성 동위원소이고, 이의 유일한 모핵종은 99Mo이다. 99Mo는 반감기가 96시간으로 매우 짧아 필요량 이상으로 생산하여 저장해 두는 것이 불가능하므로, 생산시 대량 생산하는 편이 매우 유리하다. 따라서, 99Mo의 적정 생산량 확보를 위하여 현재까지는 고농축 우라늄 타겟을 사용하여 왔으나, 최근 전세계적으로 핵확산 방지와 관련하여 고농축 우라늄 타겟을 저농축 우라늄 타겟으로 전환하는 노력이 계속되고 있으며, 본 발명은 이와 같은 권고에 부합하기 위하여 저농축 우라늄 타겟을 사용하면서도 99Mo의 생산량이 저하되지 않는 우라늄 타겟의 제조방법 및 이에 의하여 제조되는 타겟을 이용한 99Mo의 제조방법에 관한 것이다.

- [0013] 이하 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0014] 본 발명은
- [0015] Al, Si, Cr, Fe, 및 Mo로 이루어진 균으로부터 선택되는 하나 이상을 1wt% 미만으로 포함하는 저농축 우라늄 원료로부터 원심분무법을 이용하여 우라늄 합금 입자 분말을 제조하는 단계(단계 1);
- [0016] 제조된 우라늄 합금 입자 분말을 40 내지 50 부피%로 Al-Si 합금 분말과 혼합하여 압분체를 제조하는 단계(단계 2); 및
- [0017] 제조된 압분체를 압연하는 단계(단계 3)를 포함하는 것을 특징으로 하는 판상 저농축 고밀도 우라늄 타겟의 제조방법을 제공한다.
- [0018] 이하 본 발명을 각 단계별로 상세히 설명한다.
- [0019] 본 발명의 단계 1은 Al, Si, Cr, Fe, 및 Mo로 이루어진 균으로부터 선택되는 하나 이상을 1wt% 미만으로 포함하는 저농축 우라늄 원료로부터 원심분무법을 이용하여 우라늄 합금 입자 분말을 제조하는 단계로, 이후 기지에 분산될 핵분열 원료를 제조하는 단계이다.
- [0020] 우라늄은 ²³⁸U와 ²³⁵U의 동위원소 형태로 존재하며, 자연계에는 핵분열이 잘 일어나지 않는 ²³⁸U가 약 99.3 %, 핵분열이 잘 일어나는 ²³⁵U가 약 0.7 %의 양으로 존재한다. 본 발명에서 저농축 우라늄이란 핵분열이 잘 일어나는 ²³⁵U가 20 % 미만으로 포함되어 있는 우라늄을 의미하며, ⁹⁹Mo 생산용으로 사용되고 있는 고농축 우라늄은 ²³⁵U가 90 %를 초과하여 포함되어 있는 우라늄을 의미한다.
- [0021] 본 발명에서 사용되는 저농축 우라늄 원료는 순수한 우라늄 금속, 우라늄알루미늄아이드, 또는 우라늄 산화물일 수 있으나, 순수한 우라늄 금속인 것이 바람직하다. 왜냐하면, 본 발명에서는 저농축 우라늄 타겟을 사용하는 대신에 ⁹⁹Mo의 생산량 감소를 방지하기 위하여 고밀도인 타겟을 제조하고 있으므로, 타겟 내 우라늄의 밀도를 높이기 위하여 원료는 순수 우라늄 금속인 것이 바람직하다.
- [0022] 다만, 본 발명의 저농축 우라늄 원료에는 Al, Si, Cr, Fe, 및 Mo로 이루어진 균으로부터 선택되는 하나 이상이 1 wt% 미만으로 포함된다. Al, Si, Cr, Fe, 또는 Mo와 같은 원소를 포함하는 경우 우라늄 합금 입자의 결정립이 미세화되어 중성자 조사 또는 온도 변화에 대한 팽윤 및 변형에 대한 문제를 해소할 수 있다. 그러나, 상기 원소들이 1 wt% 이상으로 포함되는 경우에는 우라늄 밀도, 즉 우라늄 함량이 감소되는 문제점이 있다.
- [0023] 본 발명에서 기지에 분산될 우라늄 합금 입자 분말은 원심분무법에 의하여 제조된다. 본 발명에서 언급된 원심분무법은 대한민국 등록특허 제10-279880호에 기재된 핵연료분말의 제조장치를 이용한 방법을 의미한다. 즉, 회전하는 원반상으로 노즐을 통하여 합금용탕이 토출되면, 원심력에 의하여 미세한 입자가 형성되면서 챔버 벽면까지 비행하게 되고, 비행과정에서 냉각가스에 의하여 냉각되어, 챔버 벽면에 도달할 때는 구형의 미세 분말형태가 되어 회수용기로 회수되는 방법이다. 이때 합금 입자 분말의 크기는 약 50 μm에서 약 500 μm까지 범위까지 회전속도, 용탕공급량, 디스크 크기, 용탕 온도에 따라 다르게 분포될 수 있다. 용탕의 입자는 비표면적이 매우 크기 때문에 응고속도가 빨라 미세한 결정립의 조직 구조를 갖는다. 이와 같은 방법으로 입자를 제조할 경우, 제조공정이 단순하고, 제조과정에서의 손실율이 낮아져 생산성이 향상될 뿐만 아니라, 불순물 혼입이 억제되어 순도도 매우 높아지는 장점이 있다.

- [0024] 또한, 우라늄 합금 주괴를 제조한 후 이를 과쇄하여 분말을 제조하는 기존의 방법보다는 원심분무법을 이용하여 우라늄 합금 입자 분말을 제조하는 것이 바람직한 다른 이유는 생성되는 입자가 구형이며 미립자이기 때문이다. 기존의 방법으로 분말을 제조할 경우 결정립 크기가 약 수백 μm 정도 되지만, 원심분무법으로 제조할 경우 약 수 μm 정도의 미세한 결정립 조직이 형성된다. 본 발명에서는 우라늄 입자가 구형이기 때문에 압연 성형이 잘 이루어지며 결정립 크기가 중성자 조사 및 온도 변화에 대한 팽윤이 적어 타겟 성능이 향상되는 장점이 있다.
- [0025] 본 발명에 따른 단계 2는 제조된 우라늄 합금 입자 분말을 40 내지 50 부피%로 Al-Si 합금 분말과 혼합하여 압분체를 제조하는 단계이다.
- [0026] 본 발명에서 우라늄 합금 입자 분말은 기지를 형성하는 Al-Si 합금 분말과의 혼합분말 중 40 내지 50 부피%로 혼합되는 것이 바람직하다. 이는 저농축 우라늄을 사용하는 대신 고밀도의 타겟을 제조하기 위함이다. 즉, 우라늄 합금 입자 분말을 40 부피% 미만으로 혼합할 경우 핵분열에 의하여 생성되는 ^{99}Mo 의 양이 적어 생산량이 저하되는 문제점이 있고, 반면, 우라늄 합금 입자 분말의 혼입량이 50 부피%를 초과하는 경우에는 압연 성형하기 어려운 문제점이 있다.
- [0027] Al-Si 합금 분말은 추후 압연에 의하여 우라늄 분말을 포함하는 기지 역할을 하며, 단순 알루미늄을 사용할 경우 알루미늄과 우라늄의 계면에서 팽윤이 일어나 밀도 및 열전도도를 저하시키는 문제가 발생하므로, 이를 방지하기 위하여 Al-Si 합금 분말을 사용하여 상호반응을 억제한다.
- [0028] 이때 Al-Si 합금 분말에 포함되는 Si의 양은 2 내지 5 중량%인 것이 바람직하다. Si의 양이 2 중량% 미만인 경우 알루미늄과 우라늄의 상호반응을 억제하는 역할을 충분히 수행하지 못하여 핵분열 중 우라늄 타겟의 발열성에 문제가 발생하며, Si의 양이 5 중량%를 초과하는 경우에는 열전도도가 저하되고 알카리 용액으로 용해한 후 용액 중에 고형의 이물질로 잔존하는 문제점이 있다.
- [0029] 본 발명에 따른 단계 3은 제조된 압분체를 압연하는 단계로 단계 2에서 혼합분말로 압분체를 제조한 후 이를 압연하여 판상 우라늄 타겟을 제조하는 단계이다.
- [0030] 상기 단계 3의 압연은 공지의 방법으로 수행될 수 있으며, 예를 들어 ^{99}Mo 의 생산을 위한 우라늄 타겟을 제조하는 기존의 방법에서 사용하는 샌드위치형 프레임에 압분체를 넣고 조립하고 용접하여 압연하는 방법을 그대로 사용할 수 있으므로, 추가적인 공정비용이 소요되지 않는 장점이 있다. 따라서, 현재의 고농축 우라늄 타겟을 사용하는 공정에 본 발명에 따른 제조방법을 용이하게 적용할 수 있다.
- [0031] 또한 본 발명은 상기 방법으로 제조되는 저농축 고밀도 우라늄 타겟을 제공한다. 현재까지 사용되어온 ^{99}Mo 생산을 위한 우라늄 타겟은 고농축 우라늄 타겟으로 군사적 목적으로 전용될 위험이 있다. 이에 최근 전세계적으로 저농축 우라늄 타겟을 사용할 것을 권고하고 있으나, 저농축 우라늄 타겟을 사용할 경우 ^{99}Mo 의 생산량이 저하되고, 이에 따라 의료 진단용 방사성 동위원소 수요의 약 80 %를 차지하는 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 의 생산량이 저하되는 문제점이 있었다. 본 발명의 제조방법에 의하여 제조된 우라늄 타겟은 저농축 우라늄 원료를 사용하여 군사적 목적으로 전용될 위험이 없으면서도, 고농축 우라늄 타겟이기 때문에 이를 이용하여 ^{99}Mo 를 생산할 경우 생산량이 저하되지 않는 장점이 있다. 또한, 기존의 우라늄 타겟 형태 그대로 제조하는 것이 가능하여 추가적인 공정비용이 소요되지 않는 장점이 있다.
- [0032] 본 발명에 따른 우라늄 타겟은 저농축 우라늄 원료를 사용하므로, ^{99}Mo 의 생산량 저하를 방지하기 위하여 고농

축 우라늄 타겟과 우라늄의 밀도 측면에서 동등하여야 한다. 실제 99Mo생산에 사용되는 타겟은 90 % 정도 농축된 우라늄이 약 1.5 g-U/cc정도로 함유되어 있다. 20 % 농축 우라늄일 경우 핵분열 우라늄 235U가 동등하게 함유하게 하려면 우라늄 밀도가 6.75 g-U/cc이어야 한다. 그러나 저농축 우라늄에는 중성자 흡수율이 큰 238U가 다량 함유되므로 99Mo를 동등하게 생산하려면 밀도가 약 7.2 g-U/c정도가 되어야 한다. 원심분무한 우라늄 입자의 밀도는 18 g-U/cc 이상이다. 타겟 심재에서 7.2 g-U/cc가 되려면 체적으로 40% 정도 우라늄 입자가 분산되어야 한다. 지금까지 압연하여 분산형 판상 핵연료를 제조하는 기술에서 분산재의 최대 부피분율은 약 50% 정도로 알려져 있다. 따라서 우라늄 타겟의 우라늄 밀도는 7.5 g-U/cc 내지 9.0 g-U/cc인 것이 바람직하다. 우라늄의 밀도가 7.5 g-U/cc 미만인 경우 이렇게 제조된 우라늄 타겟을 이용하여 99Mo를 생산할 경우 생산량이 고농축 우라늄 타겟보다 저하되는 문제점이 있고, 그 밀도가 9.0 g-U/cc를 초과하는 경우 타겟 제조하는데 어려운 문제점이 있다.

- [0033] 또한 본 발명은
- [0034] 상기 저농축 고밀도 우라늄 타겟에 대하여 중성자를 조사하는 단계(단계 a);
- [0035] 상기 조사된 타겟을 염기 용액으로 용해하여 알루미늄 피복재 및 기지 물질을 제거하는 단계(단계 b);
- [0036] 상기 단계 b에서 처리된 결과물에 대하여 산 용액으로 처리하여 미반응 우라늄을 회수하는 단계(단계 c); 및
- [0037] 상기 단계 c에서 산처리된 결과물에서 99Mo를 추출하는 단계(단계 d)를 포함하는 의료용 방사성 99Mo의 제조방법을 제공한다.

- [0038] 이하 본 발명을 각 단계별로 상세히 설명한다.

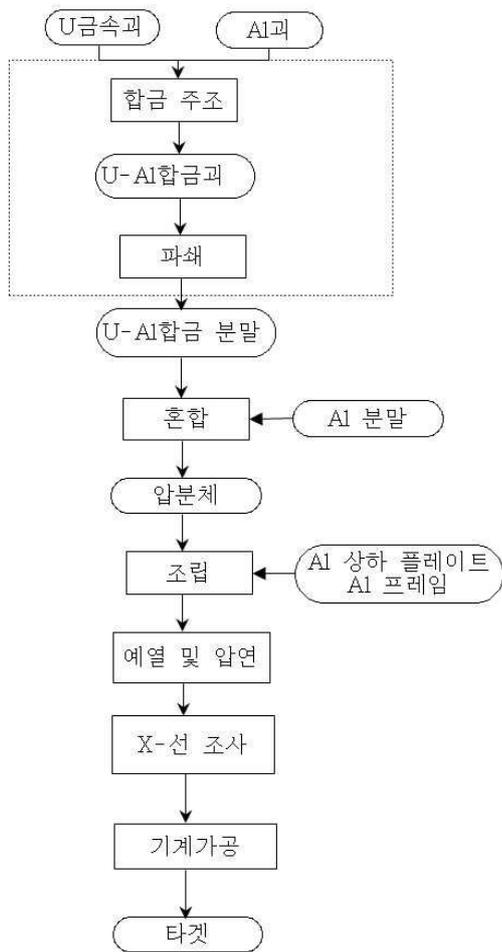
- [0039] 본 발명의 단계 a는 본 발명의 방법으로 제조된 저농축 고밀도 우라늄 타겟에 중성자를 조사하는 단계로, 본 발명의 방법으로 제조된 우라늄 타겟을 원자로에 장입하고 중성자를 조사하여 핵분열시키는 단계이다. 핵분열과정을 통하여 핵분열 생성물이 생성된다. 우라늄이 핵분열되면 70 여 종류의 원자들이 생성된다. 핵분열 생성물 중에 가스로 존재하는 원소 분율이 약 30% 정도로 크다. 고품의 원소는 대부분 단일 원자로 존재하여 거의 핵분열 비율대로 매우 서서히 부피가 팽창되지만 가스 원자는 결합에서 이동하여 만나 분자를 이루고 성장하여 기포를 이루는 과정에서 부피팽창을 유발한다. 온도가 높아지면 가스 원자의 이동속도가 증가되어 부피팽창은 기하급수적으로 크게 증가된다. 따라서 타겟의 심재의 온도를 가급적 낮추어야 한다. 이를 위하여 본 발명에서는 열전도도가 우수한 Al 물질 기지에 우라늄 입자를 분산시킨 매우 얇은 판상 심재를 사용한다. 두께는 약 1.3-1.6 mm이나 심재 두께는 약 0.7-1 mm 정도이다. 연구로용 판상핵연료에서 연소거동을 예측하기 위해 개발한 plate-code를 사용하여 원자로에서 약 250 W/cm²로 조사시키는 조건에서 타겟 심부의 표면과의 온도 상승 차이를 계산한 결과, 그 차이는 약 5 °C 미만으로 온도 상승에 의한 핵분열 생성 가스에 의한 팽윤 유발은 크지 않을 것으로 판단된다. Al 피복재의 온도 상승폭은 약 1.2 °C로 미소하지만 냉각수와 표적 피복 표면의 계면에서 온도 상승이 비교적 크다. 냉각수 유속이 약 6 m/sec일 경우 열속이 약 250 W/cm²에서 계면 온도 상승폭은 약 20 °C이다. 일반적인 냉각수 온도를 비교적 높게 45 °C로 가정하여도 표적의 중심부 온도는 대략 71 °C 부근으로 매우 낮다. 따라서 본 발명에 따른 우라늄 타겟에 대하여 중성자를 조사하는 단계에서 온도에 의한 핵분열 생성 가스 원자의 이동 및 결합에 의한 팽윤 영향은 거의 없을 것으로 판단된다.

- [0040] 본 발명의 단계 b는 중성자 조사를 통하여 생성된 생성물을 염기 용액으로 용해하여 알루미늄 피복재 및 기지 물질을 제거하는 단계로, 중준위 핵폐기물을 처리하기 전에 알루미늄을 우선 제거하여 핵폐기물의 양을 감소시키기 위한 단계이다. 즉, 중성자 조사 후 생성되는 물질 중 저준위 폐기물인 알루미늄을 먼저 제거하여 쉽게 처리하고, 중준위 폐기물을 나중에 처리함으로써, 특별한 처분이 요구되는 중준위 폐기물의 양을 줄일 수 있는 장점이 있다. 이때 사용되는 염기 용액은 수산화나트륨 용액 등을 사용할 수 있으나, 중성자 조사 후 생성물에서 알루미늄을 분리할 수 있는 한 이에 한정되는 것은 아니다.

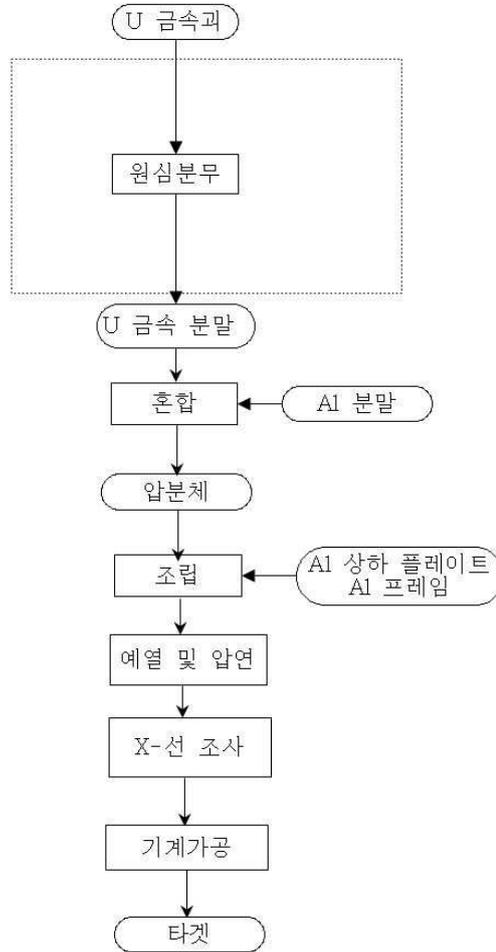
- [0041] 본 발명의 단계 c는 처리된 결과물에 대하여 산 용액으로 처리하여 미반응 우라늄을 회수하는 단계로, 염기 처리로 알루미늄이 제거된 중성자 조사 후 생성물에 함유된 우라늄 입자 분말에서 유용한 방사성 동위원소 물질을 회수하기 위해 잔류 우라늄 입자 분말에 대하여 산 처리를 하는 단계이다.
- [0042] 미반응 우라늄 등은 중준위 핵폐기물로, 고화 또는 매립 등의 특별한 핵폐기물 처분이 요구되며, 이를 위한 비용이 많이 소요된다. 따라서, 이와 같은 중준위 핵폐기물의 발생량을 줄이면 공정비용이 크게 절감될 수 있으며, 본 발명에서는 염기 처리를 통하여 알루미늄을 우선 제거함으로써 단계 c에서 중준위 핵폐기물의 발생량을 줄이고 있다. 본 단계에서 사용되는 산 용액은 예를 들어 질산 용액일 수 있으나, 미반응 우라늄 등을 회수할 수 있는 한 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0043] 본 발명의 단계 d는 산처리된 결과물에서 99Mo를 추출하는 단계로, 우라늄 타겟이 핵분열하고 생성된 생성물에서 알루미늄 및 미반응 우라늄을 회수한 결과물로부터 최종적으로 99Mo를 추출하는 단계이다. 본 분리 단계는 예를 들어 α -벤조이녹심(α -Benzoinoxime)을 이용한 침전 분리와 같은 공지의 방법을 통하여 수행될 수 있다.
- [0044] 상기와 같은 본 발명의 제조방법에 따르면, IAEA의 권고에 부합하는 저농축 우라늄 타겟을 사용하면서도 99Mo의 생산량이 저하되지 않고 오히려 증가될 수 있는 장점이 있다. 또한, 기존 타겟 형태를 유지할 수 있어 부가적인 공정이 필요 없고, 나아가 99Mo의 제조과정에서 염기 용액으로 우선 처리하여 알루미늄 피복재 및 기지물질을 제거한 후 산 처리를 함으로써, 발생하는 핵폐기물의 양을 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

도면

도면1



기존 우라늄 타겟 제조과정



본 발명의 우라늄 타겟 제조과정