



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0041610
(43) 공개일자 2020년04월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 3/62 (2006.01) C01B 33/06 (2006.01)
C04B 35/51 (2006.01) G21C 21/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 3/623 (2013.01)
C01B 33/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0121893
(22) 출원일자 2018년10월12일
심사청구일자 2018년10월12일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
(72) 발명자
안상준
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
안정수
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
김용희
대전광역시 유성구 대학로 291
(74) 대리인
특허법인지원

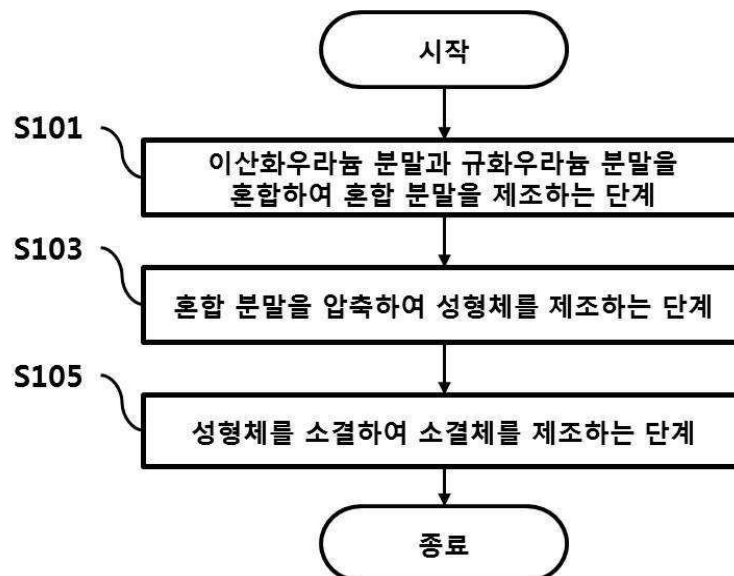
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 규화우라늄을 함유한 이산화우라늄 핵연료의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 규화우라늄을 함유하는 이산화우라늄 핵연료에 관한 것이다. 이산화우라늄 핵연료 제조 방법은 이산화우라늄 분말과 규화우라늄 분말을 혼합하여 혼합 분말을 제조하는 단계; 상기 혼합 분말을 압축하여 성형체를 제조하는 단계; 및 상기 성형체를 소결하여 소결체를 제조하는 단계;를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C04B 35/51 (2013.01)

G21C 21/02 (2013.01)

C04B 2235/3891 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018005596

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 선도연구센터지원사업

연구과제명 자율운전 소형모듈형 원자로 연구센터

기 여 율 1/1

주관기관 한국과학기술원

연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

이산화우라늄 분말과 규화우라늄 분말을 혼합하여 혼합 분말을 제조하는 단계;
상기 혼합 분말을 압축하여 성형체를 제조하는 단계; 및
상기 성형체를 소결하여 소결체를 제조하는 단계;
를 포함하는,
이산화우라늄 핵연료 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 소결체에 함유된 규화우라늄 분말은, 이산화우라늄 매트릭스(matrix)에 의해 코팅된,
이산화우라늄 핵연료 제조 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 이산화우라늄 매트릭스는, 상기 성형체에 포함된 이산화우라늄 분말의 소결을 통해 생성되는,
이산화우라늄 핵연료 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 혼합 분말을 제조하는 단계 이전에,
우라늄 금속과 실리콘 분말을 볼 밀링(ball milling)하여 상기 규화우라늄 분말을 제조하는 단계;
를 더 포함하는,
이산화우라늄 핵연료 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 소결체는, 상기 소결체의 총 질량 중 10~50wt%의 질량비의 규화우라늄을 포함하는,
이산화우라늄 핵연료 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 이산화우라늄 핵연료의 제조 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 규화우라늄을 함유한 이산화우라늄 핵연료의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 원자력발전은 과거 반세기가 넘는 기간 동안 주요 산업국가에서 중요한 에너지원으로 자리 매김하였으며, 현재에는 세계적으로 400여기의 원자력발전소가 운영되고 있다. 원자력발전소의 증가와 함께 원자력안전과 규제에 대한 관심과 중요성도 더욱 커지고 있으며, 원자력 사고 이후, 원자로 및 핵연료의 안전성 문제가 보다 중요시되고 있다.

[0004] 한편, 원전 설계의 안전성은 원전의 설계에 따라 법으로 규정된 다양한 설계기준사고의 허용기준이 만족함을 확인하여 평가된다. 또한, 원자력발전소의 안전성 및 운전성 확보를 위해 원자로 보호계통 및 안전계통의 설계 및 운영기술지침서에 필요한 정보(운전제한 조건, 안전계통 설정치 등)가 제공되고 있다. 정상상태를 벗어나 예상되는 운전과도상태 시에는 원자로 안전정지를 보장하고 설계기준사고인 냉각수상실사고(LOCA: Loss Of Coolant Accident)에 대해서도 비상급수냉각시스템 등의 안전계통을 설계하여 노심용융사고 가능성을 실질적으로 배제하려는 노력이 계속되고 있다.

[0005] 그러나 종래의 고열전도 사고저항성 핵연료 개념은 대부분 고열전도 핵연료 재료의 사용을 통한 열전도도 증가를 목표로 하므로 LOCA 등 핵연료온도 및 온도구배의 저감에 긍정적인 효과가 있으나, 핵연료 피복관 균열 등의 핵연료-냉각재 반응 등의 사고가 발생할 경우 기존 이산화우라늄(UO_2)에 비하여 산화저항성이 상대적으로 낮은 문제점이 존재한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) [특허문헌 1] 한국공개특허 특1999-0048847

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 전술한 문제점을 해결하기 위하여 창출된 것으로, 규화우라늄을 함유하는 이산화우라늄 핵연료를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

[0008] 또한, 본 발명은 산화 저항성이 낮은 규화우라늄을 감싸는 이산화우라늄을 포함하는 이산화우라늄 핵연료 소결체를 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

[0009] 본 발명의 목적들은 이상에서 언급한 목적들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기한 목적들을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화우라늄 핵연료 제조 방법은 이산화우라늄 분말과 규화우라늄 분말을 혼합하여 혼합 분말을 제조하는 단계; 상기 혼합 분말을 압축하여 성형체를 제조하는 단계; 및 상기 성형체를 소결하여 소결체를 제조하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0012] 실시예에서, 상기 소결체에 함유된 규화우라늄 분말은, 이산화우라늄 매트릭스(matrix)에 의해 코팅될 수 있다.

[0013] 실시예에서, 상기 이산화우라늄 매트릭스는, 상기 성형체에 포함된 이산화우라늄 분말의 소결을 통해 생성될 수 있다.

[0014] 실시예에서, 상기 이산화우라늄 핵연료 제조 방법은, 상기 혼합 분말을 제조하는 단계 이전에, 우라늄 금속과

실리콘 분말을 볼 밀링(ball milling)하여 상기 규화우라늄 분말을 제조하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0015] 실시예에서, 상기 소결체는, 상기 소결체의 총 질량 중 10~50wt%의 질량비의 규화우라늄을 포함할 수 있다.

[0016] 상기한 목적들을 달성하기 위한 구체적인 사항들은 첨부된 도면과 함께 상세하게 후술될 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다.

[0017] 그러나, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라, 서로 다른 다양한 형태로 구성될 수 있으며, 본 발명의 개시가 완전하도록 하고 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자(이하, "통상의 기술자")에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해서 제공되는 것이다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 규화우라늄을 함유함으로써 고온 열전도도 및 핵분열 밀도가 높고, 이산화우라늄으로 인해 산화 저항성 또한 높은 이산화우라늄 핵연료를 제공할 수 있다.

[0020] 또한, 이산화우라늄을 이용하여 산화 저항성이 낮은 규화우라늄을 코팅함으로써, 규화우라늄이 냉각재와 직접 접촉하는 것을 방지할 수 있다.

[0021] 본 발명의 효과들은 상술된 효과들로 제한되지 않으며, 본 발명의 기술적 특징들에 의하여 기대되는 잠정적인 효과들은 아래의 기재로부터 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화우라늄 핵연료 소결체의 제조 방법을 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 SEM 이미지를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고, 여러 가지 실시예들을 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 이를 상세히 설명하고자 한다.

[0025] 청구범위에 개시된 발명의 다양한 특징들은 도면 및 상세한 설명을 고려하여 더 잘 이해될 수 있을 것이다. 명세서에 개시된 장치, 방법, 제법 및 다양한 실시예들은 예시를 위해서 제공되는 것이다. 개시된 구조 및 기능상의 특징들은 통상의 기술자로 하여금 다양한 실시예들을 구체적으로 실시할 수 있도록 하기 위한 것이고, 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다. 개시된 용어 및 문장들은 개시된 발명의 다양한 특징들을 이해하기 쉽게 설명하기 위한 것이고, 발명의 범위를 제한하기 위한 것이 아니다.

[0026] 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그 상세한 설명을 생략한다.

[0027] 이하, 본 발명의 일 실시예에 따른 규화우라늄(U_3Si_2)을 함유한 이산화우라늄(UO_2) 핵연료 소결체의 제조 방법을 설명한다.

[0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 이산화우라늄 핵연료 소결체의 제조 방법을 도시한 도면이다.

[0030] 도 1을 참고하면, S101 단계는 이산화우라늄 분말과 규화우라늄 분말을 균질하게 혼합하여 혼합 분말을 제조하는 단계이다. 일 실시예에서, 3차원 혼합기를 이용하여, 60rpm으로 1시간 동안 이산화우라늄 분말과 규화우라늄 분말을 혼합하여 혼합 분말을 제조할 수 있다.

[0031] 일 실시예에서, 규화우라늄 분말은 고에너지 볼 밀링(high energy ball milling)을 통해 제조될 수 있다. 예를 들어, 우라늄 금속과 실리콘 분말을 500~600rpm으로 8~12 시간 동안 볼 밀링하여 $1\sim3\ \mu m$ 의 크기를 가진 규화우라늄이 제조될 수 있다.

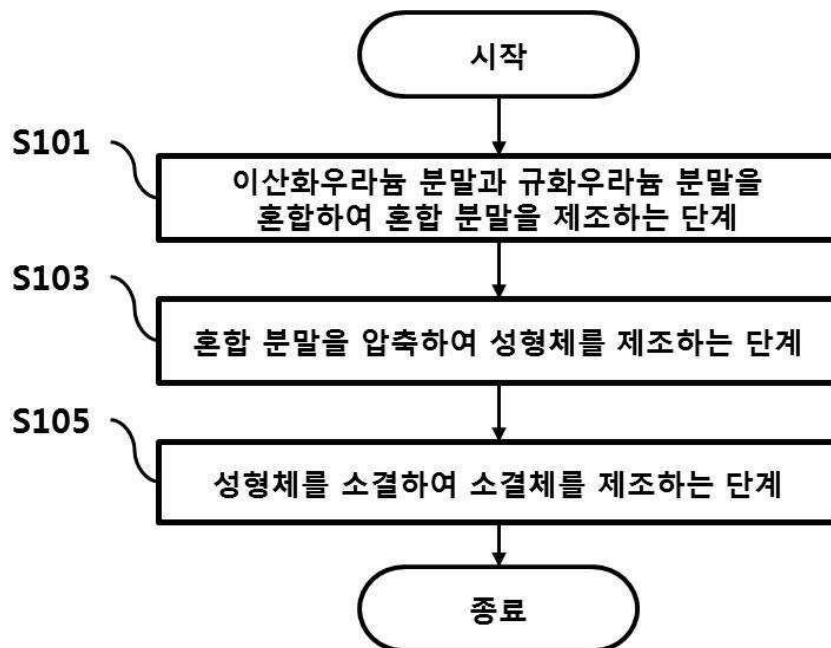
[0032] S103 단계는 혼합 분말을 압축하여 압축 성형체를 제조하는 단계이다. 일 실시예에서, 윤활제를 도포한 다이에

혼합 분말을 장입하고 압축 성형하여 압축 성형체를 제조할 수 있다.

- [0033] S105 단계는 압축 성형체를 소결하여 소결체를 제조하는 단계이다. 일 실시예에서, 아르곤(Ar) 환경에서 1600^{°C}로 4시간 동안 압축 성형체를 가열하여 소결체를 제조할 수 있다. 여기서, 소결체는 규화우라늄을 함유한 이산화우라늄 핵연료 소결체를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 규화우라늄은 소결체의 총 질량 중 10~50wt%의 질량비로 첨가되어 있을 수 있다.
- [0034] 일 실시예에서, 소결체 내에서 열전도도는 높지만 산화저항성이 낮은 규화우라늄 분말은 산화저항성이 높은 이산화우라늄 매트릭스(matrix)에 의해 코팅될 수 있다. 이는, 규화물이 산화물에 비하여 밀도가 높으므로, 부피 비중이 큰 이산화우라늄이 매트릭스를 형성하기 때문일 수 있다. 여기서, 이산화우라늄 매트릭스는 상기 소결 과정을 통해 이산화우라늄 분말로부터 생성될 수 있다.
- [0035] 즉, 핵연료의 밀도가 높을수록 핵분열 밀도 또한 높아지므로, 규화우라늄을 함유한 고밀도의 이산화우라늄 핵연료 소결체는 중성자 경제성에서 이득을 확보할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 규화우라늄을 함유한 이산화우라늄 핵연료 소결체는 기존 핵연료인 이산화우라늄에 비해 향상된 핵분열 밀도와 열전도도를 통한 사고저항성 증가와 동시에 산화 저항성이 높을 수 있다. 또한, 이산화우라늄에 열전도도가 높은 규화우라늄을 혼합시킴으로써, 이산화우라늄 핵연료 소결체의 열전달효율이 증가될 수 있다.
- [0037] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 SEM 이미지를 도시한 도면이다.
- [0038] 도 2를 참고하면, 우라늄과 열물성 및 특성이 유사한 세륨(Ce)을 대체물질로 사용하여 SEM 이미지를 출력하였다. 이 경우, 1~5^{μm} 크기의 이산화세륨(CeO₂) 분말과 1~3^{μm} 크기의 규화세륨(Ce₃Si₂) 분말을 3차원 혼합기를 이용하여 60rpm으로 1시간 동안 균질하게 혼합하여 혼합 분말을 제조할 수 있다. 또한, 혼합 분말을 350 Mpa 압력으로 1분 동안 압축하여 압축 성형체를 제조할 수 있다. 이후, 아르곤 환경에서 1600^{°C}로 4시간 동안 압축 성형체를 가열하여 소결체를 제조할 수 있다.
- [0039] 이렇게 제조된 규화세륨을 함유한 이산화세륨 소결체에 대한 SEM 이미지를 참고하면, 산화 저항성이 높은 이산화세륨이 열전도도는 높지만 산화 저항성이 낮은 규화세륨을 감싸는 매트릭스를 형성하는 것을 확인할 수 있다. 이는, 규화물이 산화물이 비하여 밀도가 높으므로, 부피 비중이 큰 이산화세륨이 매트릭스를 형성하기 때문일 수 있다.
- [0040] 상술한 바와 같이, 세륨은 우라늄과 열물성 및 특성이 유사하기 때문에, 도 2에서 설명된 규화세륨을 함유한 이산화세륨 소결체에 대한 특성은 규화우라늄을 함유한 이산화우라늄 소결체에 적용될 수 있다.
- [0042] 이상의 설명은 본 발명의 기술적 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로, 통상의 기술자라면 본 발명의 본질적인 특성이 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변경 및 수정이 가능할 것이다.
- [0043] 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라, 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예들에 의하여 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.
- [0044] 본 발명의 보호범위는 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

도면

도면1



도면2

