



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. G21C 3/62 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년05월08일 10-0715516 2007년04월30일
--	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자	10-2005-0099539 2005년10월21일 2005년10월21일	(65) 공개번호 (43) 공개일자	10-2007-0043349 2007년04월25일
----------------------------------	---	------------------------	--------------------------------

(73) 특허권자 한국원자력연구소
 대전 유성구 덕진동 150번지

 한국수력원자력 주식회사
 서울특별시 강남구 삼성동 167번지

(72) 발명자 정창용
 대전 유성구 송강동 그린아파트 303-1003

 김시형
 경기 군포시 금정동 744-1 신환아파트 103-304

 이수철
 대전 유성구 장대동 드림월드아파트 110-602

 이영우
 대전 유성구 노은동 493-15번지

 김한수
 충남 공주시 반포면 봉암리 76

 손동성
 대전 유성구 도룡동 현대아파트 102-702

(74) 대리인 특허법인씨엔에스

(56) 선행기술조사문헌 JP2000352593 A KR1020000033456 A	KR10200000019009 A KR1020030078101 A
--	---

심사관 : 이용호

전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 조대결정립 또는 단결정을 갖는 U O 2 소결체 제조방법

(57) 요약

본 발명은 원자로에 사용되는 핵연료 소결체의 제조방법에 관한 것이다.

본 발명은 UO_2 원료분말을 마련하는 단계; 상기 마련된 UO_2 원료분말을 압축성형하여 UO_2 성형체를 제조하는 단계; 상기 제조된 성형체를 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 $1400^{\circ}C$ 이상의 온도까지 가열하는 단계; 상기 가열된 성형체를 공기 분위기 또는 공기혼합가스 분위기에서 1분 이상 소결하여 UO_2 소결체를 제조하는 단계; 상기 소결체를 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 $1150\sim 1250^{\circ}C$ 까지 냉각하는 단계; 및 상기 냉각된 소결체를 환원성 분위기에서 환원처리한 다음 상온까지 냉각하는 단계;를 포함하여 이루어진다.

본 발명은 산화물 핵연료 소결체의 밀도와 결정립 크기를 효율적으로 제어할 수 있을 뿐만 아니라 소결시간도 단축시킬 수 있는 UO_2 소결체의 제조방법을 제공할 수 있다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

UO_2 원료분말을 마련하는 단계;

상기 마련된 UO_2 원료분말을 압축성형하여 UO_2 성형체를 제조하는 단계;

상기 제조된 UO_2 성형체를 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 $1400^{\circ}C$ 이상의 온도까지 가열하는 단계;

상기 가열된 성형체를 공기 분위기 또는 공기혼합가스 분위기에서 1분 이상 소결하여 UO_2 소결체를 제조하는 단계;

상기 소결체를 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 $1150\sim 1250^{\circ}C$ 까지 냉각하는 단계; 및

상기 냉각된 소결체를 환원성 분위기에서 환원처리한 다음 상온까지 냉각하는 단계;를 포함하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 2.

제 1항에 있어서, 상기 UO_2 원료분말의 평균입도가 $2.24\mu m$ 이하이며, 비표면적이 $2.27m^2/g$ 이상인 것을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 3.

제 1항 또는 제 2항에 있어서, 상기 UO_2 원료분말은 UO_2 원료분말을 $100MPa$ 이하의 압력으로 예비성형하여 예비성형체를 제조한 다음 상기 예비성형체를 분쇄하여 얻어진 것임을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 4.

제 1항에 있어서, 상기 UO_2 원료분말을 압축성형하여 UO_2 성형체를 제조시 기공형성제를 추가로 첨가함을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 5.

제 1항에 있어서, 상기 제조된 UO_2 성형체를 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 1400°C 이상의 온도까지 가열하는 단계는,

1400°C 이상으로의 온도까지의 가열과 추가로 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 4시간 이상 유지하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 6.

제 1항 또는 제 5항에 있어서, 상기 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어지는 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스로 구성됨을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 7.

제 1항 또는 제 5항에 있어서, 상기 1400°C 이상의 온도까지의 가열에서 1400°C 는 1530°C 임을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 8.

제 1항에 있어서, 상기 공기 분위기 또는 공기혼합가스 분위기에서의 소결시간이 10분 이상임을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 9.

제 1항에 있어서, 상기 공기혼합가스 분위기는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어진 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스와 공기가 혼합된 것임을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

청구항 10.

제 1항에 있어서, 상기 환원성 분위기는 H_2 가스단독, 또는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어진 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스와 H_2 가스가 혼합된 것임을 특징으로 하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체 제조방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 원자로에 사용되는 핵연료 소결체의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 공기 분위기를 이용하여 기존의 소결시간보다 단시간 내에 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체를 제조할 수 있는 방법에 관한 것이다.

핵연료가 원자로 내에서 연소될 때, 핵분열기체의 방출은 핵연료 소결체의 결정립 크기와 관계가 있다. 즉, 핵연료 소결체의 결정립이 조대하면 핵분열기체가 결정립계까지 이동하는 거리가 멀어지게 되고, 이에 소결체 내에서 머무르는 시간이 길어져 핵분열기체의 방출이 감소된다. 따라서, 핵분열 기체의 방출량을 적게 하기 위해서는 소결체 내부에 핵분열가스가 머무를 수 있는 기공을 형성시키고 소결체의 결정립을 크게 하는 것이 일반적이다.

통상적으로, 원자로 연료로 사용되는 UO_2 소결체를 제조하는 공정은 UO_2 분말을 약 200~400MPa의 압력으로 압축성형하여 성형체를 제조하고, 1650~1750℃의 수소 분위기에서 약 4시간 동안 소결하는 것으로 되어있다. 그러나, 상기와 같은 환원소결 공정에서는 핵연료소결체의 결정립을 크게 성장시키는데 한계가 있고, 소결시간이 장시간 소요된다. 또한, 소결밀도를 조절하기 위해 사용되는 기공형성제나 PuO_2 , CeO_2 , Gd_2O_3 또는 Er_2O_3 등이 UO_2 에 혼합되어 소결되는 경우, 혼합분말의 소결성 감소로 인하여 소결체의 결정립 크기는 더욱 작아지게 된다.

UO_2 소결체의 제조시 결정립 크기를 크게 만들기 위한 종래의 기술로는 MgO , TiO_2 , Li_2O 및 Nb_2O_5 등과 같은 소결 촉진 물질을 기지상인 UO_2 분말에 첨가하여 분말처리 방법에 따라 균질하게 혼합, 분쇄한 후 소결공정에 의해서 UO_2 소결체를 제조하는 방법이 있다. 이와 같은 소결방법으로 소결체를 제조하면 결정립 크기를 최대 약 100 μm 까지 성장시킬 수 있으나, 소결을 촉진시키기 위하여 첨가한 물질이 핵연료의 성능에 나쁜 영향을 미치기 때문에 거의 사용되지 않는 것으로 알려져 있다. 결정립을 크게 만들기 위한 또 다른 방법으로 소결온도를 높이거나 소결시간을 장시간 유지시키는 것이 있으나, 이와 같은 방법은 전력소모가 많고 비생산적인 문제점이 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기 종래기술들의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 소결시 분위기로 공기를 적절하게 이용함으로써 산화물 핵연료 소결체의 밀도와 결정립 크기를 조대하게 제어할 수 있을 뿐만 아니라 소결시간도 단축시킬 수 있는 UO_2 소결체의 제조방법을 제공하는데, 그 목적이 있다.

발명의 구성

상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은,

UO_2 원료분말을 마련하는 단계;

상기 마련된 UO_2 원료분말을 압축성형하여 UO_2 성형체를 제조하는 단계;

상기 제조된 성형체를 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 1400℃ 이상의 온도까지 가열하는 단계;

상기 가열된 성형체를 공기 분위기 또는 공기혼합가스 분위기에서 1분 이상 소결하여 UO_2 소결체를 제조하는 단계;

상기 소결체를 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 1150~1250℃까지 냉각하는 단계; 및

상기 냉각된 소결체를 환원성 분위기에서 환원처리한 다음 상온까지 냉각하는 단계;를 포함하는 조대결정립 또는 단결정을 갖는 UO_2 소결체의 제조방법에 관한 것이다.

이때, 상기 UO_2 원료분말의 평균입도는 예를들면 2.24 μm 이하일 수 있으며, 비표면적은 2.27 m^2/g 이상일 수 있다.

또한, 상기 UO_2 원료분말은 UO_2 원료분말을 100MPa 이하의 압력으로 예비성형하여 예비성형체를 제조한 다음 상기 예비성형체를 분쇄하여 얻어지는 것을 이용하는 것이 가능하다.

또한, 본 발명에서는 상기 UO_2 원료분말을 압축성형하여 UO_2 성형체를 제조시 기공형성체를 추가로 첨가하는 것이 가능하다.

본 발명에 있어서, 상기 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 상기 제조된 성형체를 상온부터 1400℃ 이상의 온도까지 가열하는 단계 이후에, 1400℃ 이상의 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 4시간 이상 소결하는 단계를 추가로 포함하는 것이 가능하다.

상기 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어지는 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스로 구성될 수 있다.

또한, 상기 소결온도는 1530℃ 이상인 것이 바람직할 수 있다.

상기 공기 분위기 또는 공기혼합가스 분위기에서의 소결시간이 10분 이상인 것이 바람직할 수 있다.

상기 공기혼합가스 분위기는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어진 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스와 공기가 혼합된 것일 수 있다.

상기 환원성 분위기는 H_2 가스 단독, 또는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어진 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스와 H_2 가스가 혼합된 것일 수 있다.

이하, 본 발명을 상세하게 설명한다.

일반적으로, UO_2 성형체를 공기 분위기에서 소결할 경우 일정 온도범위에서 UO_2 지지(matrix)상의 급속한 상변태로 인해서 소결체가 분말화가 되거나 깨어지게 되므로 소결을 수행할 수 없는 것으로 알려져 있다. 그러나, 본 발명에서는 이러한 급속한 상변태 구간에서 약산화성 또는 불활성 가스를 불어주어 소결체가 손상되는 것을 방지하고, 적절하게 제어된 소결온도에서 공기를 불어주어 소결체가 조대결정립 또는 단결정을 갖도록 하는데 특징이 있다.

본 발명의 UO_2 소결체 제조방법에서는 먼저 UO_2 원료분말을 마련하게 된다. 상기 UO_2 원료분말은 그 평균입도가 2.24 μm 이하인 것이 바람직한데, 그 이유는 입도가 2.24 μm 를 초과하는 경우 소결체가 조대결정립 또는 단결정을 갖기 위하여 소결시간이 길어질 수 있기 때문이다. 또한, 상기 UO_2 원료분말은 그 비표면적이 2.27 m^2/g 이상인 것이 보다 바람직한데, 그 이유는 비표면적이 이를 만족하는 경우 같은 조건에서 보다 조대한 결정립을 얻을 수 있기 때문이다.

또한, 본 발명에서는 상기와 같이 UO_2 원료분말을 그대로 사용하는 것도 가능하지만, 또한 준비된 UO_2 원료분말을 100MPa 이하의 압력으로 예비성형하여 예비성형체를 제조하고, 상기 예비성형체를 분쇄하여 얻어진 UO_2 원료분말을 사용하는 것도 가능하다. 이 경우 분말의 유동성이 좋기 때문에 자동성형기로 성형체를 대량으로 성형할 수 있는 장점이 있다.

이후, 상기와 같이 마련된 UO_2 원료분말을 압축성형하여 UO_2 성형체를 제조하게 된다. 이때, 상기 압축성형시 압력은 특별하게 제한되는 것은 아니며, 예를 들면 200~400MPa의 압력을 이용하는 것이 가능하다. 또한, 본 발명에서는 필요에 따라 UO_2 원료분말에 기공형성체를 추가로 첨가하여 성형체를 제조하는 것이 가능하다. 상기 기공형성체의 예로는 스테아르산 아연(Zinc stearate), 아크로와스(Acrowax) 및 디카본 아미드(Dicarbon amide) 등이 있다.

다음으로, 상기와 같이 제조된 성형체를 소결하기 위하여 소결온도까지 가열하게 된다. 이때 분위기는 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기로 하는 것이 바람직한데, 그 이유는 상기와 같은 분위기에서는 UO_2 성형체가 U_3O_8 로 산화되고 이에 따른 부피팽창으로 인한 성형체 깨어짐을 억제할 수 있기 때문이다. 상기 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어지는 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스로 구성될 수 있다.

또한, 본 발명에서는 상기와 같이 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 소결온도까지 가열한 다음, 동일한 분위기 내에서 4시간 이상 소결하는 단계를 추가로 포함할 수 있다(도 1b). 이 경우 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 소결하게 되면 결정립이 커지게 되고, UO_2 소결체가 보다 쉽게 조대결정립 또는 단결정을 갖는 것이 가능하다.

이후, 상기 성형체를 소결하여 UO_2 소결체를 제조하게 된다. 이때 상기 소결은 공기 분위기 또는 공기혼합가스 분위기에서 실시하게 된다. 통상적으로, UO_2 성형체를 공기 분위기에서 소결할 경우 일정 온도범위에서 UO_2 기지상의 급속한 상변태로 인하여 소결체가 분말화되거나 깨어지게 되어 소결을 수행할 수 없는 것으로 알려져 있다. 그러나, 본 발명에서는 상술한 바와 같이 이러한 급속한 상변태 구간에서 약산화성 또는 불활성 가스 분위기를 이용하여 소결체가 손상되는 것을 방지할 수 있다. 상기 공기혼합가스 분위기는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어진 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스와 공기가 혼합된 것을 이용하는 것이 가능하다.

상기 소결시 소결온도는 $1400^\circ C$ 이상으로 제한하는 것이 바람직하며, 그 이유는 소결온도가 $1400^\circ C$ 미만이면 UO_2 기지상의 급속한 상변태로 인하여 소결체가 분말화되거나 깨어지게 되는 문제점이 발생할 수 있기 때문이다. 보다 바람직하게는, 상기 소결온도를 $1530^\circ C$ 이상으로 제한하는 것이다. 이와 관련하여 보다 상세하게 살펴보면 다음과 같다.

도 2는 UO_2 성형체가 고온에서 공기와 반응하여 산화되는 거동을 관찰하기 위해, 열중량분석장치(TGA)를 이용하여 성형체의 산화에 의한 무게변화를 시간에 따라 기록한 것이다. UO_2 성형체는 $900^\circ C$ 미만의 온도에서 공기를 흘려주면 급격하게 산화가 진행되어 분말로 변한다. 도 2a는 CO_2 분위기에서 UO_2 성형체를 가열하여 각각 $900^\circ C$, $1200^\circ C$ 및 $1500^\circ C$ 에 도달한 후 공기 분위기로 바뀌 $1500^\circ C$ 까지 가열하거나 $1500^\circ C$ 로 유지하였을 때의 성형체의 산화에 의한 무게증가율을 나타낸다. 도 2b는 CO_2 분위기에서 UO_2 성형체를 가열하여 $1530^\circ C$ 에 도달하였을 때 공기 분위기로 바뀌 산화거동을 기록한 것이다. 이로부터 알 수 있는 바와 같이, UO_2 성형체의 산화가 $900\sim 1500^\circ C$ 사이에서 이루어질 경우, 무게가 증가하여 최대값에 도달하는 포화무게는 산화온도가 높을수록 감소하는 경향을 보인다. 산화가 $1500^\circ C$ 에서 이루어진 경우, 무게변화곡선에서 변곡점이 발견되었고, 이러한 현상은 산화에 의한 상변태와 관련이 있다. 공기 분위기로의 교체가 $1530^\circ C$ 에서 이루어진 경우, $1500^\circ C$ 의 산화실험에서 변곡점이 나타난 값을 정점으로 더 이상 산화되지 않고 무게증가율이 일정한 기울기로 감소하였다. 따라서, 공기 분위기로의 교체가 $1530^\circ C$ 이상에서 실시되면(소결온도가 $1530^\circ C$ 이상이면), UO_2 기지를 산화시키지 않고 신속하게 소결을 하는 것이 가능하다.

그리고, 상기 소결시 소결시간은 1분 이상으로 제한하는 것이 바람직하다. 이때 상기 소결시간을 10분 이상으로 한다면 UO_2 소결체가 조대결정립 또는 심지어는 단결정을 갖는데 보다 유리하다.

이후, 상기와 같이 제조된 UO_2 소결체를 약산화성 분위기 또는 불활성가스 분위기에서 $1150\sim 1250^\circ C$ 까지 냉각하게 된다.

이어 상기 온도범위의 환원성 분위기에서 상기 소결체를 환원처리한 다음 상온까지 냉각하게 된다. 이때 상기 환원성 분위기는, 예를 들면 H_2 가스 단독, 또는 CO_2 , Ar, He, N_2 및 수증기로 이루어진 그룹으로부터 선택된 1종 이상의 가스와 H_2 가스가 혼합된 것을 사용하는 것이 가능하다.

이하, 실시예를 통하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

[실시예1]

IDR(Integrated Dry Route) 공정에 의해 제조된 DU- UO_2 분말을 사용하였으며, 상기 분말은 평균입자크기가 $2.24\mu\text{m}$, 비표면적은 $2.27\text{m}^2/\text{g}$, 분말의 O/U(산소/우라늄)비는 2.13이었다. 상기 UO_2 원료분말을 100MPa 이하의 낮은 압력으로 예비 성형체를 제조하고 이것을 분쇄 및 채질하여 UO_2 원료분말을 마련하였다.

상기와 같이 마련된 UO_2 원료분말을 약 4g씩 금형에 장입하여 약 300MPa의 압력으로 압축성형하여 UO_2 성형체를 제조하였다. 상기 성형체를 도 1a에서와 같이 소결하였다. 즉, 1단계에서는 상온부터 소결온도(약 1530°C)까지 CO_2 가스 분위기로 유지하였다. 이후, 2단계에서는 소결시간을 30초, 1분, 5분 및 10분으로 구분하여 소결하였다. 그리고, 3단계에서는 1200°C 까지 온도를 낮추는 구간에 1단계에서 이용한 CO_2 가스 분위기를 이용하였다. 또한, 4단계에서는 1200°C 의 온도에서 H_2 가스 분위기에서 약 2시간 동안 유지하여 환원처리하였다. 상기와 같은 소결조건에 따라 제조된 소결체의 소결밀도와 결정립 크기를 하기 표 1에 나타내었다.

[표 1]

소결시간(분)	소결밀도(g/cm^3)	평균 결정립 크기(μm)
0.5	10.81	14
1	10.81	14
5	10.80	25
10	10.80	1500

상기 표 1에서 알 수 있는 바와 같이, 본 발명에 따르면 $14\mu\text{m}$ 이상의 평균 결정립 크기를 갖는 조대한 UO_2 소결체를 제조할 수 있었다. 특히, 소결시간이 10분인 경우에는 $1500\mu\text{m}$ 의 매우 조대한 평균 결정립 크기를 가짐을 알 수 있었다.

[실시예2]

상기 실시예1과 동일한 DU- UO_2 분말을 입도별로 약 4g씩 금형에 장입하여 약 300Mpa의 압력으로 압축성형하여 성형체를 제조하였다. 상기 성형체를 도 1a에서와 같이 소결하였다. 먼저, 1단계에서는 상온부터 소결온도(약 1700°C)까지 CO_2 가스 분위기로 유지하였다. 이후, 2단계에서는 소결시간을 10분으로 하여 소결하였다. 그리고, 3단계에서는 1200°C 까지 온도를 낮추는 구간에 1단계에서 이용한 CO_2 가스 분위기를 이용하였다. 또한, 4단계에서는 1200°C 의 온도에서 H_2 가스 분위기에서 약 2시간 동안 유지하여 환원처리하였다. 상기와 같은 소결조건에 따라 제조된 소결체의 소결밀도와 결정립 크기를 하기 표 2에 나타내었다.

[표 2]

입도(μm)	비표면적(m^2/g)	소결밀도(g/cm^3)	평균 결정립 크기(μm)
2.24	2.27	10.80	2000
0.4 이하	3.45	10.83	2500

상기 표 2에서, 비표면적이 $2.27\text{m}^2/\text{g}$ 이상인 경우 조대한 결정립을 얻는데 보다 유리함을 알 수 있었다.

[실시예3]

상기 실시예1과 동일한 DU- UO_2 분말을 입도별로 약 4g씩 금형에 장입하여 약 300Mpa의 압력으로 압축성형하여 성형체를 제조하였다. 상기 성형체를 도 1b에서와 같이 소결하였다. 먼저, 1단계에서는 상온부터 소결온도(약 1700°C)까지와 약

4시간의 소결유지시간(dwelled time)동안 CO₂ 가스 분위기로 유지하였다. 이후, 2단계에서는 소결시간을 10분으로 하여 소결하였다. 그리고, 3단계에서는 1200℃까지 온도를 낮추는 구간에 1단계에서 이용한 CO₂ 가스 분위기를 이용하였다. 또한, 4단계에서는 1200℃의 온도에서 H₂ 가스 분위기에서 약 2시간 동안 유지하여 환원처리하였다. 상기와 같은 소결조건에 따라 제조된 소결체의 소결밀도와 결정립 크기를 하기 표 3에 나타내었다.

[표 3]

입도 (μm)	비표면적 (㎡/g)	소결밀도 (g/cm ³)	평균 결정립 크기 (μm)
2.24	2.27	10.83	5000
0.4 이하	3.45	10.84	단결정

상기 표 3에서 알 수 있는 바와 같이, 약산화성 분위기에서 승온하고 약 4시간의 소결유지시간을 갖는 경우 보다 조대한 결정립을 갖는데 유리하였을 뿐만 아니라 심지어는 단결정의 UO₂ 소결체도 얻을 수 있었다(도 5).

도 3a는 UO₂ 성형체를 1500℃의 공기 분위기에서 1시간 동안 소결하여 얻은 소결체의 사진으로서 변형이 많이 되어있는 형상이다. 그러나, 도 3b는 1530℃의 공기 분위기에서 5분 동안 소결하여 얻은 소결체의 사진으로서 건전한 형태를 가지고 있다. 즉, 1530℃ 미만의 소결온도에서 건전한 형태의 소결체를 제조하기 위해서는 공기 분위기에서 짧은 시간동안 소결하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 그러나, 1530℃ 이상의 소결온도를 이용하는 경우에는 공기 분위기에서 긴 시간동안 소결하더라도 건전한 소결체를 얻는 것이 가능하다.

도 4는 공기를 이용한 소결공정에 따라 1530℃의 공기 분위기에서 5분동안 소결된 UO₂ 소결체의 미세 조직 사진이다. 이와 같이, 본 발명에 따르면 단시간의 공기 주입으로 조대결정립을 갖고 균질성이 향상된 소결체 제조가 가능하다.

도 5는 본 발명에 따라 제조된 단결정을 갖는 소결체의 미세 조직 사진이다.

발명의 효과

본 발명에 따르면, 소결시 분위기로 공기를 적절하게 이용함으로써 산화물 핵연료 소결체의 밀도와 결정립 크기를 조대하게 제어할 수 있을 뿐만 아니라 소결시간도 단축시킬 수 있는 UO₂ 소결체의 제조방법을 제공할 수 있다. 또한, 산화물 핵연료 소결체의 밀도와 결정립 크기를 효율적으로 제어할 수 있어 보다 우수한 소결체를 제조하는 것이 가능하다.

도면의 간단한 설명

도 1a 및 도 1b는 본 발명의 소결체를 제조하기 위한 소결공정의 예이다.

도 2a 및 도 2b는 UO₂ 성형체의 시간에 따른 열중량분석 결과이다.

도 3a는 1500℃의 공기를 포함한 분위기에서 1시간동안 소결한 UO₂ 소결체의 사진이다.

도 3b는 1530℃의 공기를 포함한 분위기에서 5분동안 소결한 UO₂ 소결체의 사진이다.

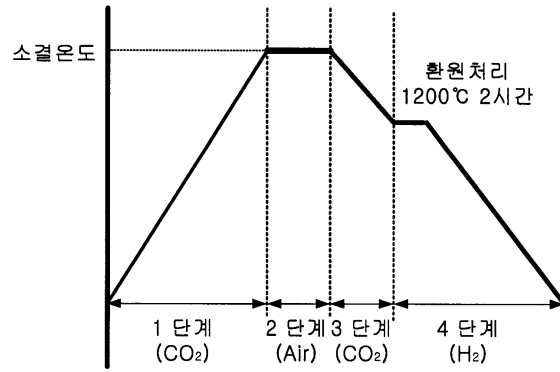
도 4는 도 3b의 UO₂ 소결체의 미세조직 사진이다.

도 5는 본 발명에 따라 제조된 단결정을 갖는 UO₂ 소결체의 미세조직 사진이다.

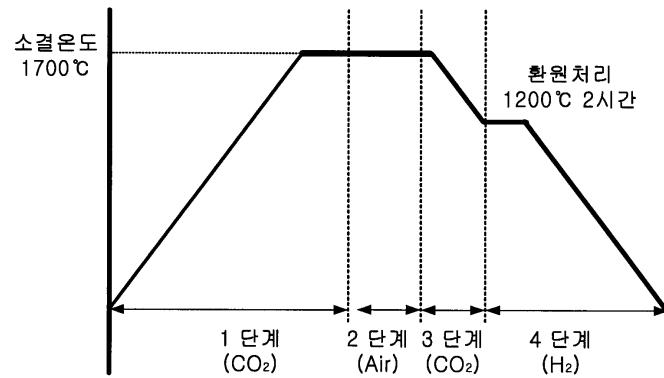
도면

도면1

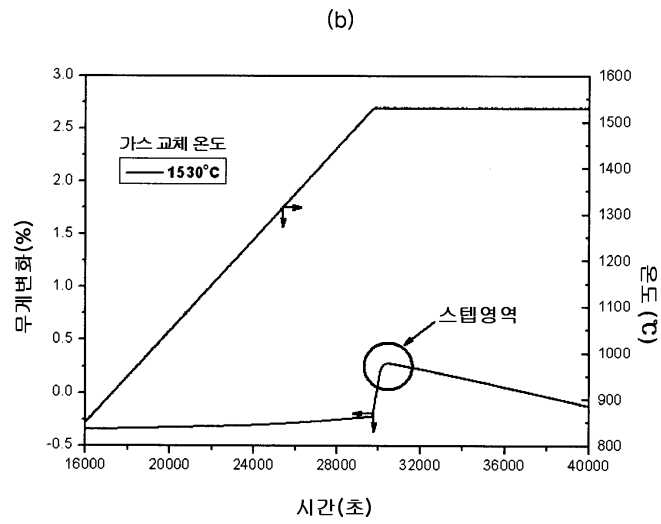
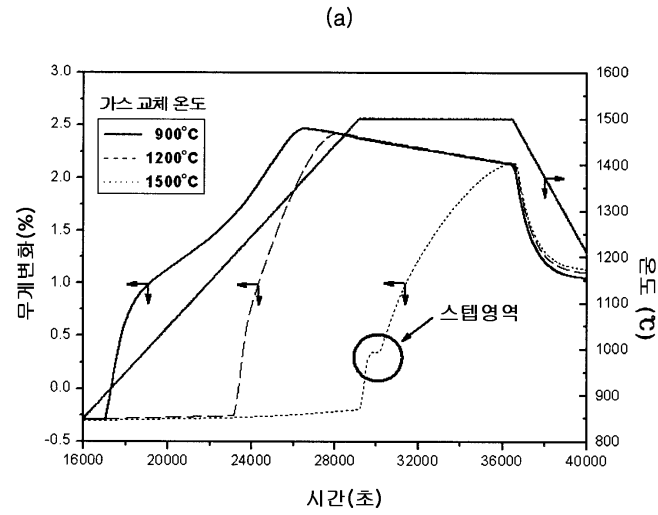
(a)



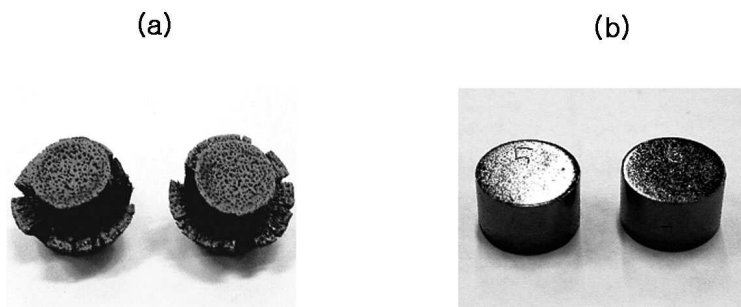
(b)



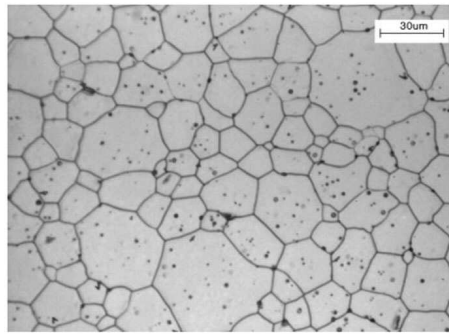
도면2



도면3



도면4



도면5

