

酸化 · 還元處理된 UO_2 粉末의 粉碎特性 研究

*李載園 · 李正元

韓國原子力研究所

Study on the Characteristics of Milled UO_2 Powder Prepared by Oxidation and Reduction Process

*Jae-Won Lee and Jung-Won Lee

Nuclear Fuel Remote Fabrication Technology, Korea Atomic Energy Research Institute

요 약

핵연료 원료인 UO_2 분말을 사용해 원자로에서 연소된 사용후 핵연료 소결체를 모의 제조하여 1회 산화 · 환원처리하여 분말로 만든 후, 건 · 습식 attrition 분쇄에 따른 분말의 특성 및 소결성을 조사하였다. 분쇄에 의한 분말의 평균입자크기는 건식분쇄의 경우에는 $1 \mu m$ 이하인 미분말이 쉽게 생성되었으나, 습식분쇄에서는 그 이상의 분말만이 생성되었다. 그리고 분쇄분말의 비표면적은 건식분쇄한 경우가 습식분쇄한 경우 보다 높았다. 분말의 미세구조는 건식분쇄에 의해서는 느슨한 응집체가 형성되었으며, 습식분쇄 분말은 압축성이 낮은 불규칙적이고 각진 입자형태를 나타내었다. 건식분쇄에 의해서 압분체 밀도는 크게 증가하며 소결체 요구 조건을 만족하는 이론밀도의 95%이상이 되고 평균 결정립 크기가 $8 \mu m$ 이상인 소결체를 얻을 수 있었다.

주제어: DUPIC, 모의 핵연료, 산화환원, attrition 밀링, 소결

ABSTRACT

The characteristics of dry and wet milled powder prepared by 1 cycle OREOX (oxidation and reduction of oxide fuels) treatment were investigated using the simulated spent fuel pellet. Sintered pellets simulating spent nuclear fuel burned in reactor were fabricated from UO_2 powder using as a starting material in fabrication of nuclear fuel. The 1 cycle OREOX-treated powder was prepared by only one path of oxidation and reduction of the simulated pellet. Powder having average particle size of less than $1 \mu m$ could be easily obtained by dry milling, but not be achieved by wet milling. And, specific surface area of dry milled powder was higher than that of wet milled powder. Dry milled powder formed loose agglomerate, while wet milled powder showed the shape of irregular and angular particles. Dry milled powder provided higher green density, resulting in higher sintered density of higher than 95% TD and average grain size of larger than $8 \mu m$ satisfying the standard specification of sintered pellets.

Key words: DUPIC, simulated fuel, OREOX, attrition milling, sintering

1. 서 론

원자력발전소에 사용되는 핵연료는 UO_2 분말을 압분하고 고온에서 소결하여 소결체 형태로 제조한 다음, Zr 합금 재료인 피복관에 장전하여 양 끝단을 용접하여 연료봉 형태로 만들어 이 들을 한 묶음으로 만들어 사용하

게 된다. 발전소에서 한 번 사용된 핵연료는 연소중 핵분열에 따른 핵분열생성물이 생기게 되며 이들은 대개 높은 방사성을 띠게 된다. 경수로형 발전소에서 사용된 핵연료를 건식 공정으로 가공하여 중수로형 발전소에 핵연료로 재활용하고자 하는 경 · 중수로연계 핵연료(Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU Reactors : DUPIC) 주기기술 연구가 수행되고 있다.^{1,2)} 사용후 핵연료의 건식 가공을 위한 분말화 공정으로 산화 · 환원열처리

* 2002년 6월 7일 접수, 2002년 7월 30일 수리

* E-mail: njwlee@kaeri.re.kr

(oxidation and reduction of oxide fuels: OREOX) 공정이 사용되고 있다. 산화공정에 의해서 UO_2 가 산화되어 U_3O_8 으로 변하며 이때 상변태에 의해 약 32%의 부피팽창이 일어나게 되어 펠렛(또는 분말)이 깨어지거나 균열이 형성된다. 그 다음에 환원공정에 의해서 U_3O_8 에서 UO_2 로 환원될 때 수축이 일어나는데 이때 생기는 압축응력에 의해서 분말이 깨어지거나 균열이 형성된다. 이와 같은 OREOX 공정을 반복하면 불규칙적이고 각진 형태의 큰 입자를 갖는 분말에서 입자내 미세 균열을 갖는 작은 입자들로 구성된 분말로 되며, 분말의 비표면적 또한 증가되어 소결에 더욱 적합한 분말이 생성된다. 그러나, 일정 회수 이상으로 OREOX 공정을 반복할 경우 작은 입자들에 의해서 분말사이에 결합이 일어나 입자가 성장하게 된다.³⁾

이러한 OREOX 분말을 사용하여 소결 실험을 수행한 결과에 의하면 소결체 요구조건을 충족시킬 수 없어 소결성을 향상시키기 위해서 OREOX 처리분말을 attrition 밀링에 의해 미세 분말로 만든 후 사용하고 있다.⁴⁾ Attrition 밀링은 볼을 교반시켜 전단응력과 충격과 같은 분쇄공정에 의해서 미세 분말을 제조하는데 사용되는 고에너지 밀링방식으로 분쇄효율이 매우 높으며 세라믹재료의 분쇄 및 혼합분쇄에 의해 균질한 혼합물을 만드는데도 널리 이용되고 있다.^{5,6)} DUPIC 핵연료 제조 연구에서는 attrition 밀링전에 원료분말로 비표면적이 크며 입자가 작은 3회 OREOX 처리분말을 주로 사용하여 이의 소결 특성이 연구되었다.⁷⁻¹⁰⁾ 한편, 1회 OREOX 처리 분말은 평균입자크기가 약 $10 \mu m$ 로, 입자에 큰 균열이 생성되어 있어 attrition 밀을 사용하여 분쇄시간을 길게 하면 쉽게 미세한 분말로 분쇄될 것으로 예상된다.⁴⁾

건식분쇄는 분쇄효율이 우수한 것으로 알려져 있으며, 습식분쇄의 경우 분산유체를 사용하기 때문에 분쇄 후 분말의 회수율이 높고 취급시 분말의 비산을 방지할 수 있다는 장점이 있어 사용되고 있다. 분쇄 방식에 따라서 분말의 형태나 크기를 다를 것이며 소결성에도 다른 영향을 미칠 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 35,000 MWD/MTU 연소조건 의 모의 사용후 핵연료를 제조한 후 이를 사용하여 1회 OREOX 처리분말의 건식 및 습식 attrition 밀링에 따른 분말의 특성 및 소결성을 조사하였다.

2. 실험방법

모의 사용후 핵연료는 가압경수로에서 35,000 MWD/

Table 1. Contents of fission products added to UO_2 (simulated burnup; 35,000 MWD/MTU, cooling time; 15 years)

Fission products	Surrogates	Quantity (g/1000 g UO_2)
Nd(Pr, Sm)	Nd_2O_3	6.6945
Zr	ZrO_2	4.7803
Ce(Pu, Np)	CeO_2	9.1126
Mo	MoO_3	4.7826
Ru(Tc)	RuO_2	3.8053
Ba	$BaCO_3$	2.5228
Pd	PdO	1.5200
La	La_2O_3	1.8405
Sr	SrO	0.8414
Te	TeO_2	0.5628
Y	Y_2O_3	0.5597
Rh	Rh_2O_3	0.5255

MTU 연소도와 15년간 냉각된 사용후 핵연료를 모사하여 ORIGEN-2 코드로 기체상을 제외한 핵분열 생성물의 양(Table 1)을 결정하고, 모의 핵분열 생성물을 산화물 상태로 UO_2 분말(ADU, 평균입도 : $2.91 \mu m$)에 첨가하여 제조하였다. 모의 핵분열 생성물은 유발로 갈아서 UO_2 분말과 함께 attrition 밀을 사용하여 150 rpm에서 2시간동안 에탄올을 유체로 습식분쇄한 후 $40^\circ C$ 에서 건조하였다. 건조 시료를 유발로 다시 분쇄한 후 체질을 하였으며 윤활제인 zinc stearate를 0.2 wt.% 첨가하여 Turbula 혼합기로 1시간 혼합하였다. 이때 분말의 겉보기 밀도는 $1.80 g/cm^3$ 이었으며, 평균입자크기는 $0.7 \mu m$ 로 매우 작았다. 이 분말을 사용하여 300 MPa의 압력으로 압분체를 제조하였으며, 압분체를 Ar-4% H_2 유량 1 L/min의 분위기 하에서 $3^\circ C/min$ 의 속도로 승온시켜, $1700^\circ C$ 에서 6시간동안 소결하였다. 소결체 밀도가 $10.23 g/cm^3$, 결정립 크기가 약 $7.1 \mu m$ 인 것을 본 실험에 사용하였다.

OREOX 처리분말의 제조는 우선 모의 사용후 핵연료를 관상모에 장입한 후 3 L/min 유량의 공기를 흘려 보내 $450^\circ C$ 에서 3시간동안 산화처리를 하였으며, 환원은 3 L/min 유량의 Ar-4% H_2 혼합가스로 $700^\circ C$ 에서 5시간동안 수행하였다. 최종단계로 2 L/min의 Ar-2% O_2 가스로 $70^\circ C$ 에서 4시간동안 안정화처리를 하였다. OREOX 처리분말을 다시 attrition 밀을 사용하여 150

rpm으로 15, 60, 120분 동안 분쇄하였다. 분쇄에는 직경 5 mm의 지르코니아 볼을 사용하였으며 볼/OREOX 처리분말의 무게비는 40으로 하였다. 습식분쇄의 경우에 유체는 에탄올을 사용하였으며 분쇄 후 슬러지를 40°C에서 건조하였다. 건식 및 습식분쇄 분말은 모두 20 mesh 체로 체질하여 사용하였다.

분쇄분말에 zinc stearate를 0.25 wt.%를 첨가하고 Turbula 혼합기로 25분간 혼합한 후 일축의 유압 압축기로 100 MPa에서 350 MPa의 압력을 가하여 압분체를 성형하였다. 압분체를 알루미늄 판 위에 올려 원통형 전기로에 넣고 Ar-4%H₂ 분위기에서 3°C/min의 속도로 가열하여 최종 1700°C에서 6시간동안 소결하였다.

OREOX 처리분말 및 분쇄분말의 입자크기분포 및 입자크기는 laser particle size analyzer(Malvern), 비표면적은 BET법을 이용하여 측정하였다. 또한 분말의 미세 조직은 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 분석하였다. 압분체 밀도는 치수를 측정하여 계산하였으며 소결체 밀도는 수침법으로 결정립 크기는 선형교차법(linear intercept method)으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분말특성

모의 사용후 핵연료 소결체의 OREOX 처리후 건식 및 습식분쇄에 따른 분말특성을 알아보기 위하여 분쇄 시간에 따른 입자크기 분포, 평균입자 크기와 비표면적을 측정하여 각각 Fig. 1 과 Fig. 2 에 나타내었다. 분말의 입자크기는 초음파 처리를 한 후 측정하였다. 입자

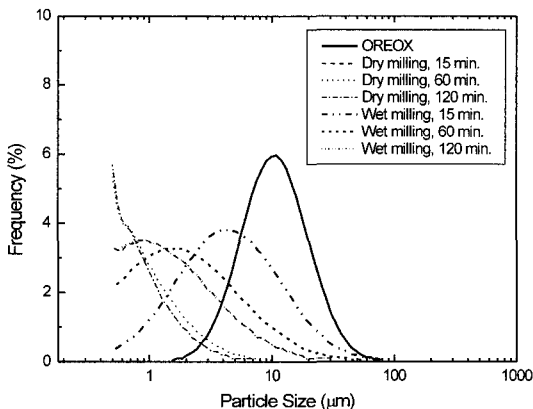


Fig. 1. The variation of particle size distribution with milling time.

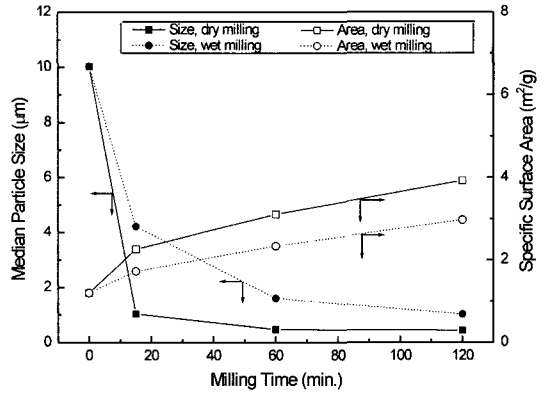


Fig. 2. The variation of median particle size and specific surface area with milling time.

크기분포를 측정된 결과에 의하면 OREOX 처리분말 및 분쇄분말은 Gaussian 형태의 분포를 보이며, OREOX 처리분말은 1.53 µm에서 77.6 µm까지 큰 입자로 구성되어 있었다. 습식분쇄의 경우에는 120분간 분쇄하여도 30.5 µm의 큰 입자가 남아있으며, 건식분쇄의 경우에는 60분 이상 분쇄하면 9.94 µm이하의 작은 입자들만 남아있었다. 건식분쇄의 경우 15분간 분쇄한 분말의 입자크기는 120분간 습식분쇄한 분말과 거의 동일한 분포를 갖는다.

원료분말인 OREOX 분말의 평균입자크기는 10.4 µm이며 건식분쇄에 의해서 초기 분쇄단계에 급격히 감소하며 60분만 분쇄하여도 0.47 µm로 감소한다. 반면에 습식분쇄의 경우에는 분쇄 속도가 매우 느리며 120분간 분쇄하여도 평균입자크기가 1.02 µm로 15분간 건식분쇄한 것과 비슷하였다. 건식분쇄의 경우에 입자들은 충격, 회전, tumbling 및 전단력에 의해서 분쇄되므로 submicron 범위의 미세 입자들이 쉽게 얻어진다. 반면에 습식분쇄의 경우에는 입자크기는 액체 전단력 및 볼의 충격력에 의해서 감소되기 때문에 submicron 이하의 모의 DUPIC 분말을 얻기 위해서 분쇄시간을 더욱 길게 할 필요가 있다. 원료분말의 비표면적은 1.20 m²/g로 매우 낮으나 분쇄에 의해서 분말의 입자크기가 감소함에 따라서 비표면적은 분쇄시간에 따라서 거의 선형적으로 증가하였다. 건식분쇄의 경우는 3.92 m²/g, 습식분쇄의 경우에는 2.97 m²/g까지 증가하였다.

OREOX 분말과 분쇄에 따른 분말의 미세 조직변화는 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였으며 그 결과를 3회 OREOX 처리분말과 비교하여 Fig. 3 에 나타내었다. 1회 OREOX 처리분말은 큰 균열을 가지며 각진 형태

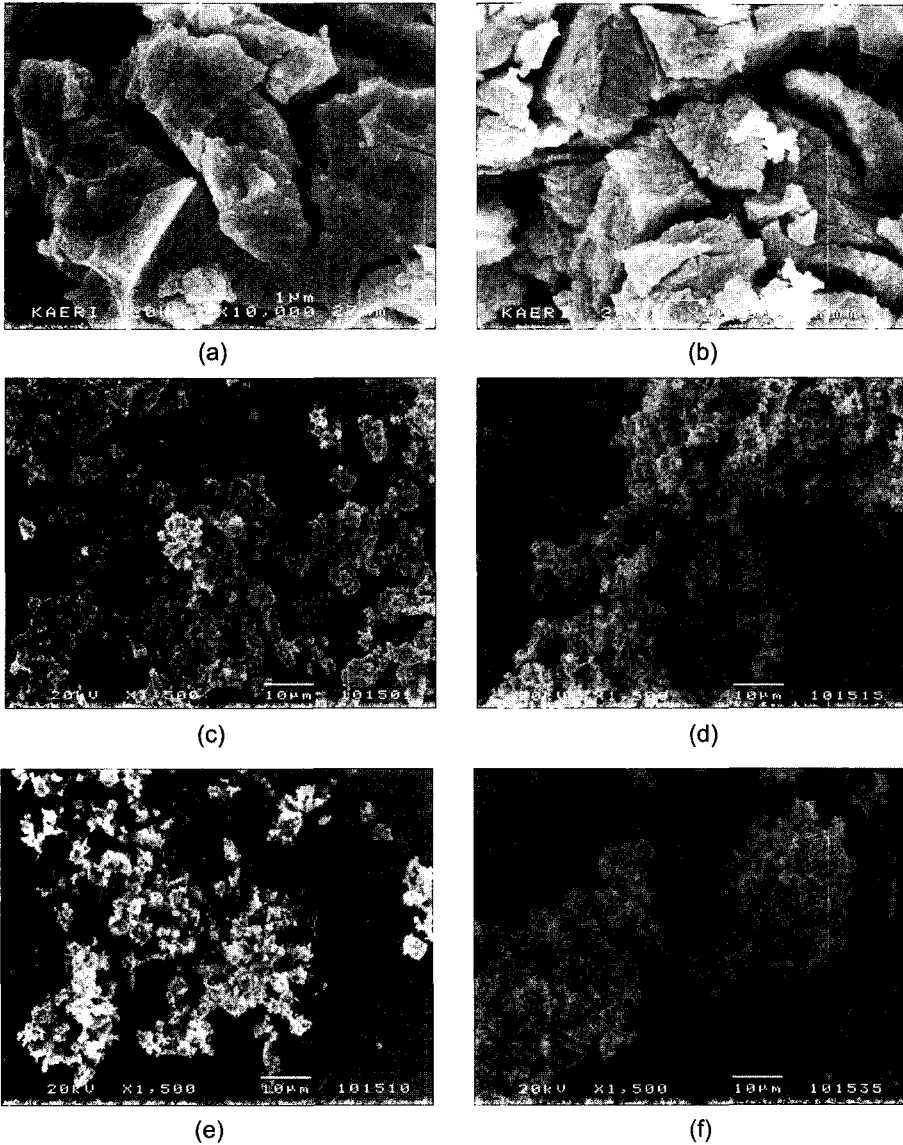


Fig. 3. Morphologies of the OREOX and milled powder; (a) 1 cycle-OREOX powder, (b) 3 cycle-OREOX powder, (c) 15 min wet milling, (d) 15 min dry milling, (e) 12 min wet milling, (f) 120 min dry milling.

를 보인다(Fig. 3(a)). 3회 OREOX 처리분말은 반복적인 열처리에 의해서 큰 균열은 작은 균열로 변하며 입자크기($4.32 \mu\text{m}$)도 감소하게 된다(Fig. 3(b)). 또한 입자 내에 미세한 균열들에 의해서 더욱 비표면적($4.23 \text{m}^2/\text{g}$)이 증가되나 압분시에 저항으로 작용하여 압분체의 밀도가 감소될 수 있는 형태를 보인다. 건식분쇄에 의해서는 분쇄시간의 증가에 따라서 분말이 미세해지며 느슨한 형태의 응집체가 생성됨을 보인다(Fig. 3(d)와 (f)).

반면에 습식분쇄에 의해서는 불규칙적이고 각진 입자형태를 보이고 있다(Fig. 3(c)와 (e)).

OREOX 처리분말의 분쇄방법 및 분쇄시간에 따라서 겉보기 밀도와 탭 밀도를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 분쇄에 의해서 OREOX 처리분말의 겉보기 밀도 및 탭 밀도는 크게 증가하였다. 원료물질인 OREOX 처리분말의 밀도가 낮은 것은 UO_2 가 U_3O_8 로 상변화시에 부피팽창이 일어나 펠렛형태에서 popcorn형

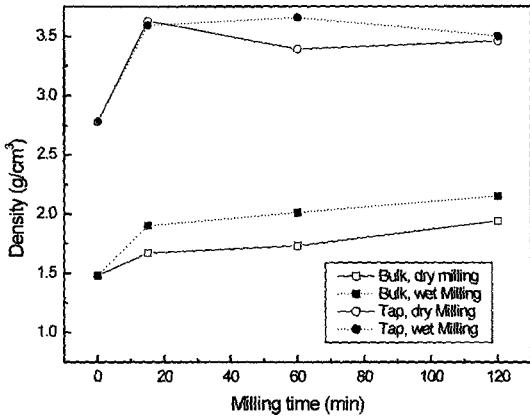


Fig. 4. The variation of bulk and tap densities of OREOX powder with milling time.

태의 분말로 변형되기 때문이다. 습식분쇄 분말이 건식분쇄한 경우보다 탭 밀도 및 겉보기 밀도가 높는데 이는 굵은 큰 입자들이 많이 남아 있기 때문인 것으로 생각된다. 탭 밀도는 분쇄에 의해서 넓은 범위의 입자크기분포를 가지기 때문에 증가하였다가 분쇄시간이 길어짐에 따라서 매우 작은 입자들로 분포될 경우에는 입자간 마찰에 의해서 다소 감소함을 알 수 있었다.

3.2. 압분 및 소결성

분쇄시간에 따른 OREOX 처리분말의 압분체 및 소결체 밀도를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 5 에 나타내었다. 압분체는 분쇄분말을 300 MPa의 압력으로 성형하여 제조하였다. 건식분쇄 분말의 압분체 밀도는 6.61 g/cm²에서 6.70 g/cm² 범위(61.4%-62.4% TD)이며 반

면에 습식분쇄 분말의 압분체 밀도는 6.38 g/cm²에서 6.57 g/cm² 범위(59.5%-61.2% TD)로 건식분쇄보다 낮았다. 습식분쇄의 경우에는 굵고 각진 형태의 입자들로 구성되어 있어 입자간의 마찰저항에 의해서 재배열 및 변형이 용이하게 일어나지 않기 때문에 밀도가 낮은 것으로 생각된다. 120분간 분쇄한 경우에 건식분쇄 및 습식분쇄 모두 압분체 밀도가 다소 낮아지는데 이는 비표면적이 큰 미세한 입자와 성형 die 벽면의 마찰력이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 건식분쇄 분말의 경우에는 겉보기 밀도가 낮으나 압분과정중에 분말입자의 재배열 및 변형에 의해서 높은 압분체 밀도를 나타내었다. 따라서 건식분쇄 분말은 비표면적이 크며 새롭게 접촉하는 입자간의 면이 많이 생성되었기 때문에 소결성도 향상될 수 있음을 보인다.¹¹⁾

미세한 입자는 소결의 추진력으로 작용하는 과잉의 표면에너지를 가지기 때문에 굵고 큰 입자의 분말보다 높은 소결밀도를 얻을 수 있다. 따라서 소결체 밀도는 분쇄시간이 길어짐에 따라서 크게 증가하였다. 건식분쇄 분말의 경우에는 10.01 g/cm²(93.3% TD)에서 10.47 g/cm²(97.6% TD)로 증가하였다. 반면에, 습식분쇄 분말의 소결체 밀도는 9.42 g/cm²(87.8% TD)에서 10.21 g/cm²(95.2% TD)로 분쇄시간에 따라서 크게 증가하나 건식분쇄 분말의 소결체보다 낮은 밀도를 보였다.

높은 소결밀도를 나타내는 120분 건식분쇄 분말의 압분성을 알아보기 위해 압분압력을 100 MPa에서 350 MPa까지 변화시키면서 밀도를 측정하여 Fig. 6 에 나타내었다. 압분체 밀도는 6.09 g/cm²(56.8% TD)에서 6.81 g/cm²(63.5% TD)까지 증가하였다. 소결체 밀도 또한

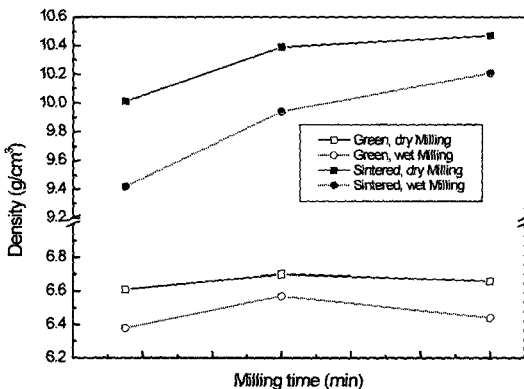


Fig. 5. Effect of milling time on the sintered and green densities.

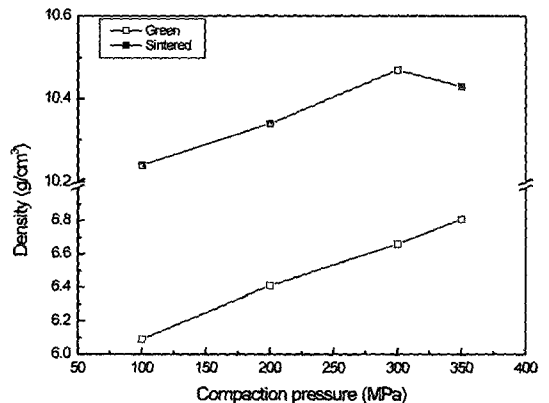


Fig. 6. The variation of the sintered and green densities with compaction pressure.

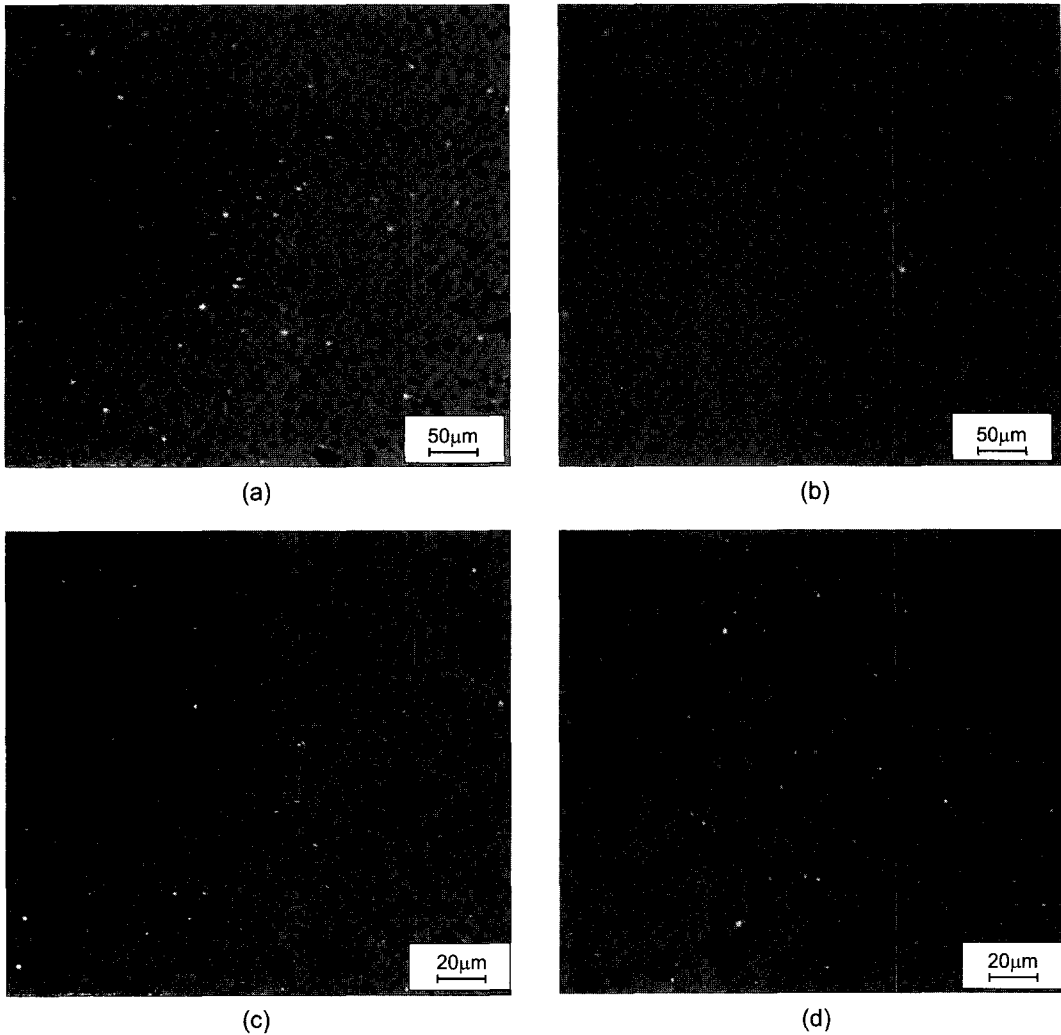


Fig. 7. Pore micrograph and grain structure of sintered pellets made from dry milled powder; (a) and (c) 15 minutes, (b) and (d) 120 minutes.

10.24 g/cm²(95.4% TD)에서 10.47 g/cm²(97.6% TD)로 소결체 품질시양조건을 만족하고 있다. 1회 OREOX 처리분말은 강 등^{8,9)}에 의해서 연구된 3회 OREOX 처리분말보다 압축체 밀도가 높고 넓은 압력범위에서 건전한 소결체를 나타내며 또한 낮은 소결 온도에서도 높은 소결체 밀도를 나타내었다.

3.3. 소결체 미세구조

OREOX 처리분말의 분쇄시간 및 분쇄방법에 따른 소결체의 기공분포(Fig. 7(a)와 (b)) 및 미세조직(Fig. 7(c)와 (d))을 관찰하였으며 건식분쇄 분말에 대한 것

을 Fig. 7에 나타내었다. 분쇄시간이 짧은 경우 작은 기공들이 많이 분포되어 있으며 또한 불규칙하게 큰 기공들도 다소 분포되어 있다. 반면에 분쇄시간이 긴 경우에는 분쇄시간이 짧은 경우보다 기공의 수가 현저하게 적으며 기공들은 대부분 원형에 가까우며 다소 큰 기공들도 분포한다. 이는 분쇄시간이 길어짐에 따라서 비표면적이 커져 소결성이 높아지기 때문이다. 결정립 크기는 분쇄시간의 길어짐에 따라서 증가하며 건식분쇄 분말의 경우에는 6.23 μm에서 8.81 μm로 증가하며 습식분쇄의 경우에는 5.55 μm에서 7.14 μm로 증가하였다. 건식분쇄의 경우에는 60분만 분쇄하여도 8 μm이

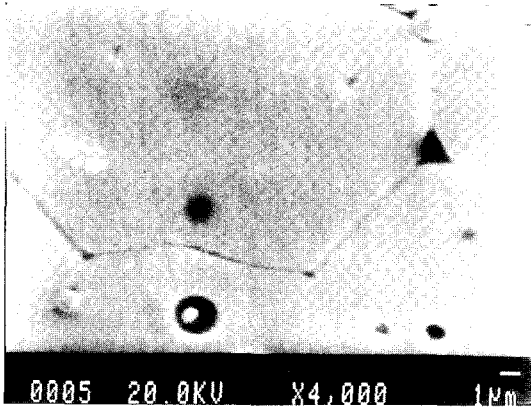


Fig. 8. SEM micrograph of sintered pellet.

상의 큰 결정립을 나타내었다.

Fig. 8 은 120분 건식분쇄 분말 소결체의 미세조직을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하여 나타난 것으로 다각형 및 등축의 UO_2 결정립이 펠렛의 기지상을 형성하고 있다. 결정립내의 작은 기공이 있으며, 모의 DUPIC 소결체의 결정립 형태 및 크기는 UO_2 핵연료 펠렛과 거의 동일함을 알 수 있다. 직경이 약 1 μm 인 구형의 금속 석출물이 UO_2 결정립내와 결정립계에 분포되어 있었다.

4. 결 론

모의 사용후 핵연료를 사용하여 1회 OREOX 처리한 분말을 attrition 밀로 건식 및 습식분쇄한 분말의 특성 및 소결성을 조사한 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 건식분쇄에 의해서 비표면적이 큰 1 μm 이하의 미세 분말이 쉽게 얻어지나, 습식분쇄의 경우에는 보다 긴 분쇄시간이 요구된다.
2. 건식분쇄한 분말들은 작은 입자들로 구성되어 있어 굵고 작긴 형태의 큰 입자들이 많이 있는 습식분쇄 분말보다 좋은 압분성을 보였다.
3. 분쇄시간에 따라서 OREOX 분말의 소결체 특성은 크게 향상되며, 건식분쇄의 경우에는 60분간 분쇄하면 이론밀도의 95%이상의 밀도와 결정립 크기는 8 μm 이상인 건전한 소결체를 얻을 수 있었다. 반면에 습식분쇄에 의해서는 이런 조건을 충족시킬 수 없었다.
4. 모의 DUPIC 분말을 제조하기 위해 보통 3회

OREOX 처리를 수행하고 있으나 1회만 OREOX 처리를 하여도 고에너지 attrition 밀링에 의해서 소결체 요구조건을 만족시키는 분말을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

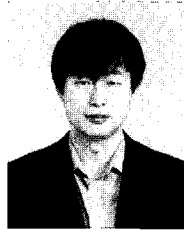
참고문헌

1. M. S. Yang, B. G. Kim, K. W. Song, K. K. Bae, S. S. Kim, W. K. Kim, I. H. Jung, and H. S. Park : "Characteristics of DUPIC fuel fabrication technology", Global '97 Conference, 535-537, ANS, Yokohama, Japan (1997).
2. J. S. Lee, H. S. Park, R. D. Gasby, and J. Sullivan : "Burn spent PWR fuel again in CANDU reactors by DUPIC", Global '95 Conference, 355-359, ANS, Versailles (1995).
3. 양명승 : "핵연료 제조 및 품질관리기술개발: 경·중수로 연계 핵연료주기 기술개발", KAERI/RR-1744/96 (1996).
4. P. Dhanjal and B. Clatworthy : "DUPIC phase II development oxidizing, decladding, OREOX processing, and fabrication tests on SIMFUEL", DUPIC-AE-012, AECL, Canada (1996).
5. D.A. Stanley, L. Y. Sadler III, D. R. Brooks, and M. A. Schwartz : "Attrition milling of ceramic oxides", Ceramic Bulletin, 53(11), 813-815 (1974).
6. J. E. Beaker : "Attritor grinding of refractories", Am. Ceram. Soc. Bull., 75(5), 72-74 (1996).
7. 양명승 : "DUPIC 핵연료제조 및 공정기술개발: 경·중수로 연계 핵연료주기 기술개발", KAERI/RR-2022/99 (1999).
8. 강권호, 배기광, 박희성, 송기찬, 문제선 : "모의 DUPIC 핵연료의 소결 특성 연구", 한국분말야금학회지, 7(3), 123-130 (2000).
9. K. H. Kang, K. C. Song, H. S. Park, J. S. Moon, and M. S. Yang : "Fabrication of simulated DUPIC fuel", Metals and Materials, 6(6), 583-588 (2000).
10. J. W. Lee, S. H. Kim, S. P. Yim, J. H. Kim, W. K. Kim, J. Y. Min, and M. S. Yang : "Improvement of the sinterability of thermally-treated UO_2 powder by horizontal ball milling", Metals and Materials, 7(3), 291-295 (2001).
11. M. S. Abdel-Azim : "Contribution to fuel fabrication of UO_2 pellets using lower sintering temperatures", J. Nucl. Mater., 217. 217-219 (1994).



李 載 園

- 1995년 충남대학교 고분자공학과 석사
- 현재 한국원자력연구소 선임연구원



李 正 元

- 1992년 연세대학교 금속공학과 박사
- 현재 한국원자력연구소 책임연구원

신간 소개



비즈니스와 연구를 위한 9가지 상식과 지식

페플라스틱의 처리와 재활용

- 저 자 : 손영배
- 발행처 : (주)일보코리아
- 신국판 322p
- 가 격 : 20,000원

페플라스틱과 관련된 비즈니스와 연구를 위한 사람들의 필독서!!
 "무엇이 문제이고 어떻게 해야 하는가"를 저자의 경험 등을 바탕으로 해서 독자들과의 대화형태로 저술한 페플라스틱의 처리와 재활용을 위한 지침서