

Ti 분말 첨가가 TiO₂ 나노 분말의 성형성에 미치는 영향

박진섭 · 김효섭 · 이기석^a · 이정구^b · 이창규^b · 홍순직^{*}
공주대학교 신소재공학부, ^a공주대학교 기계공학부, ^b한국원자력연구소

The Effect of Ti Powder addition on Compaction Behavior of TiO₂ Nano Powder

Jin-Sub Park, Hyo-Seob Kim, Ki-Seok Lee^a, Jeong-Goo Lee^b,
Chang-Kyu Rhee^b and Soon-Jik Hong^{*}

*Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University, 275,
Budaе-dong, Cheonan, Chungnam, 330-717, Korea*

^a*Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, 275,
Budaе-dong, Cheonan, Chungnam, 314-701, Korea*

^b*Nuclear Materials Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute,
P.O. Box 105, Yuseong-Gu Daejeon, 305-353, Korea*

(Received April 10, 2009; Revised April 30, 2009; Accepted May 8, 2009)

Abstract The compaction response of TiO₂ nano powders with an addition of Ti powders prepared by magnetic pulsed compaction and subsequent sintering processes was investigated. All kinds of different bulk exhibited an average shrinkage of about 12% for different MPCed pressure and sintering temperature, which were approximately 50% lower than those fabricated by general process (20%) and a maximum density of around 92.7% was obtained for 0.8GPa MPCed pressure and 1400°C sintering temperature. The addition of Ti powder induced an increase in the formability and hardness of the sintered TiO₂. But the lower densities were obtained on sintering with addition of over 10 (wt%) Ti powder due to generation of crack during sintering. Subsequently it was verified that the optimum compaction pressure in MPC and sintering temperature were 0.8GPa and 1400°C, respectively.

Keywords : Magnetic pulsed compaction, TiO₂ nano powder, Ti powder, Densification, Shrinkage

1. 서 론

다양한 분야에 광범위하게 사용되고 있는 TiO₂ 세라믹 재료는 최근 TiO₂ 분말을 소결하여 증착용 타겟 재료로, 혹은 HAP, Ti 등의 재료를 첨가하여 생체재료로 활용하고 있는 추세이다. 일부 회사에서는 이미 이들 분말을 소결하여 제품화하고 있으나, 소결 과정에서 쉽게 형성되는 균열 문제와 치수 및 밀도를 높이는 방안에 대한 지속적 연구가 필요한 상황이다. 더욱 효과적 인 소결기술을 확보하기 위해서는 무엇보다도 분말의 압축 성형기술에 의한 밀도의 향

상과 파괴인성 증가에 의한 신뢰도의 향상이 필요하다. 세라믹 재료의 물성을 향상시키려면 소결 후에 결함을 제거하는 것이 중요하지만, 소결 후의 제어는 실제로 불가능하기 때문에 소결 이전의 공정인 분말 제조 및 성형공정에서의 제어가 중요하다[1-2]. 하지만, 분말제조 과정에서는 입자형상 제어와 미세분말 제조의 제한사항때문에 더 많은 공정과 비용이 요구되는 등 현재 많은 한계점을 가지고 있다[3].

또한, TiO₂를 포함한 세라믹재료의 물성 대부분은 여러 가지 제조공정 및 성형 공정에 따라 크게 좌우되므로, 이에 따른 공정기술의 개발은 실용화 측면에

*Corresponding Author : [Tel : +82-41-521-9387; E-mail : hongsj@kongju.ac.kr]

서 큰 의의를 지니게 된다[4].

기존의 성형방법은 대부분 세라믹 미분말이 van der Waals나 그 밖의 다른 결합에 의한 응집입자를 함유하며, 충전과정에서의 입자간 마찰력 등에 의하여 압분체의 성형밀도를 저하하여 고밀도의 성형이 불가능하고, 성형 시 불균일한 밀도 분포 때문에 쉽게 파괴가 되어 효과적인 이용이 불가능하다는 문제점이 있었다[5].

하지만, 최근 나노 금속 및 세라믹 분말의 성형 시 극복적인 성형을 억제하고 분말 전체에 일정한 힘이 작용하며, 동시에 분말간의결합을 위해 운동에너지를 효과적으로 투입할 수 있는 동적 성형방법인 자기 펄스 압축 성형(Magnetic Pulsed Compaction, MPC)

을 이용하면, 분말의 균일화 및 치밀화를 가능하게 하므로 고밀도의 성형체를 제작할 수 있고, 소결온도를 낮출 수 있을 뿐만 아니라 높은 기계적 특성을 얻을 수 있는 특징이 있는 것으로 보고되고 있다[6]. 또한, 성형시간 단축과 자동화가 가능하여 기존의 일반공정에 비해 경제성이 높은 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 이러한 장점이 보고된 자기펄스 압축 성형법을 이용하여 TiO₂ 나노분말의 치밀성을 개선 시키고, 미량의 Ti 분말을 첨가함으로써 세라믹 재료에 인성을 부여할 수 있을 뿐만 아니라 미세조직제어와 더불어 성형 및 소결 시 균열을 방지할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 본 연구에서는 고속/고압으로 우수한 성형성을 나타내는 자기펄스 압축 성

Table 1. Effect of different mixing conditions on the appearance of bulk at various compaction pressure and Ti powder (O: non crack, X: crack)

No	Compaction pressure	PVA(g)+w(g)	TiO ₂ (g)	Ti wt%	Sintering Temperature (°C)	Crack Formation
1	0.7GPa	1 + 9	40	2	1300	O
2	0.7GPa	1 + 9	40	4	1300	O
3	0.7GPa	1 + 9	40	6	1300	O
4	0.7GPa	1 + 9	40	10	1300	O
5	0.7GPa	1 + 9	40	20	1300	X
6	0.7GPa	1 + 9	40	30	1300	X
7	1GPa	1 + 9	40	0.5	1300	X
8	1GPa	1 + 9	40	1	1300	X
9	1.2GPa	1 + 9	40	2	1300	O
10	1.2GPa	1 + 9	40	4	1300	O
11	1.2GPa	1 + 9	40	6	1300	O
12	1.5GPa	1 + 9	40	2	1300	O
13	1.5GPa	1 + 9	40	4	1300	O
14	1.5GPa	1 + 9	40	6	1300	O
15	1.2GPa	1 + 9	40	10	1300	O
16	1.2GPa	1 + 9	40	20	1300	X
17	1.2GPa	1 + 9	40	30	1300	X
18	1.2GPa	1 + 9	40	40	1300	X
19	1.2GPa	1 + 9	40	50	1300	X
20	1.7GPa	1 + 9	40	10	1300	X
21	1.7GPa	1 + 9	40	20	1300	X
22	1.7GPa	1 + 9	40	30	1300	X
23	1.7GPa	1 + 9	40	40	1300	X
24	1.7GPa	1 + 9	40	50	1300	X
25	1.7GPa	1 + 9	40	0.5	1300	X
26	1.7GPa	1 + 9	40	1	1300	X

형장치를 이용하여 TiO₂+Ti 혼합분말의 치밀화 거동에 대한 연구를 수행하였으며, 성형압력과 소결온도 및 Ti 분말의 혼합비 변화에 따른 치밀화 거동과 기계적특성에 대한 연구결과를 보고하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구의 출발원료인 TiO₂ 나노 분말은 국내 기업으로부터 조달된 Rutile 형의 결정구조를 갖는 다각형의 원료분말을 사용하였다. 일반적으로 세라믹 분말 자체로는 성형이 어려워 성형밀도의 증가와 성형결합의 억제를 목적으로 binder를 첨가한다. 따라서 본 연구에서는 TiO₂ 나노 분말에 접결제로서 PVA와 물을 사용하였으며 혼합 후 물은 80°C의 온도에서 3시간 동안 건조하였다. 혼합량은 선행된 실험의 결과값의 최적조건[6] (PVA: 2 wt%, 물: 18 wt%)에 Ti 분말을 0.25~25 g으로 다양하게 혼합하고, 자기펄스 압축 성형장치를 이용하여 내경 20 mm의

금형에 7 g의 분말을 장입하여 판상의 디스크 형태로 압축한 뒤 대기 중에서 소결하였다. 표 1은 TiO₂와 Ti 분말의 혼합비 및 압력변화에 대한 실험조건을 나타내고 있으며, 표 2는 성형압력 및 소결 온도 변화에 따른 실험조건을 나타내고 있다.

본 연구에 사용된 자기펄스 압축 성형장치는 자기펄스 형성부분, 가압핀치, 성형 몰드로 구성되어 있으며, 최대 약 4 GPa 압력으로 300 마이크로초 내의 매우 짧은 시간에 초고압으로 성형할 수 있는 특징이 있다[7]. 실험 조건은 성형압력이 0.7~1.7 GPa, Ti 혼합비는 2~50 wt%이었으며, 소결온도는 1300~1400°C에서 2시간 동안 대기 중에서 상압소결을 하였다. 예비 성형체의 밀도는 부피와 무게를 측정하여 계산하였고, 소결체의 밀도는 아르키메데스 법으로 측정하여 평균값으로 나타내었다. 제조된 소결체의 미세조직은 전계방출 주사전자 현미경(Field Emission Scanning Electron Microscopy: FE-SEM)으로 관찰하였으며, 소결체의 경도는 비커스 경도시험기를 이

Table 2. Effect of different mixing conditions on the appearance of bulk at various compaction pressure and sintering temperature (O: non crack, X: crack)

No	Compaction pressure	PVA(g)+w(g)	TiO ₂ (g)	Ti wt%	Sintering Temperature (°C)	Crack Formation
1	0.7GPa	1 + 9	40	2	1350	O
2	0.7GPa	1 + 9	40	4	1350	O
3	0.7GPa	1 + 9	40	6	1350	O
4	0.8GPa	1 + 9	40	2	1350	O
5	0.8GPa	1 + 9	40	4	1350	O
6	0.8GPa	1 + 9	40	6	1350	O
7	0.9GPa	1 + 9	40	2	1350	O
8	0.9GPa	1 + 9	40	4	1350	O
9	0.9GPa	1 + 9	40	6	1350	O
10	0.7GPa	1 + 9	40	0	1400	O
11	0.8GPa	1 + 9	40	0	1400	O
12	0.9GPa	1 + 9	40	0	1400	O
13	0.7GPa	1 + 9	40	2	1400	O
14	0.7GPa	1 + 9	40	4	1400	O
15	0.7GPa	1 + 9	40	6	1400	O
16	0.8GPa	1 + 9	40	2	1400	O
17	0.8GPa	1 + 9	40	4	1400	O
18	0.8GPa	1 + 9	40	6	1400	O
19	0.9GPa	1 + 9	40	2	1400	O
20	0.9GPa	1 + 9	40	4	1400	O
21	0.9GPa	1 + 9	40	6	1400	O

용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 성형에 이용된 TiO_2 나노 분말 및 Ti 분말 입자 크기와 형상을 나타내는 주사전자현미경 사진(SEM)으로서 TiO_2 나노 분말은 100~300 nm 크기로 분말입자들이 응집되어 있는 형태를 나타냈으며, 나노 분말의 표면에서 그 밖의 다른 불순물은 관찰되지 않았다. 또한, 혼합분말로 사용된 Ti 분말은 구형의 형상으로 분말입자의 크기는 20~50 μm 를 나타냈다.

세라믹 나노 분말은 앞서 말한 바와 같이 수분과 함께 점결제 없이는 초기 성형이 어려우므로 본 연구에서는 실험조건(표 1, 표 2)에 나타난 것과 같이 TiO_2 분말에 PVA와 물을 점결제로 사용하고, Ti 분말의 함량을 다양하게 변화시켜 최적의 혼합조건을 확립하고자 하였다. 표 1의 균열형성 여부에서 볼 수 있는 것과 같이 Ti 함량이 2-10% 범위에서는 예비

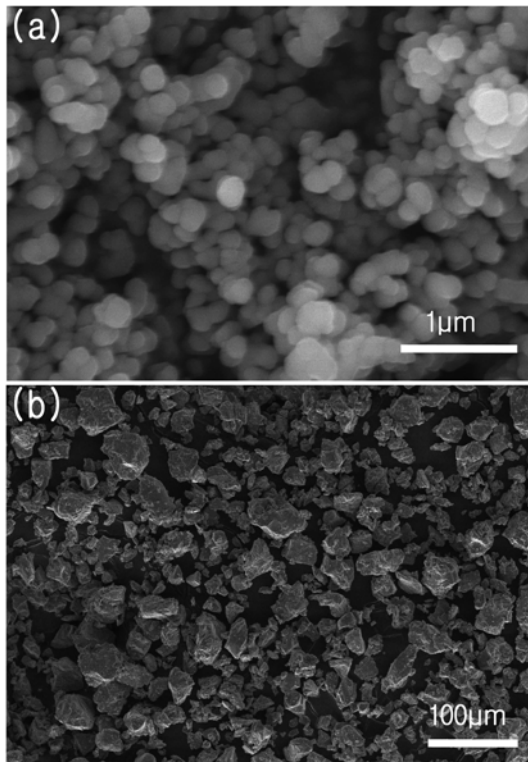


Fig. 1. SEM micrographs of (a) TiO_2 nano powder and (b) Ti Powder.

성형체에서 균열이 형성되지 않았으나 그 외의 조건에서는 균열이 형성됨을 알 수 있었다. 또한, 표 2에서 볼 수 있는 것과 같이 Ti 함량을 2-6%로 고정하고, 압력과 소결온도를 변화시켜서 성형한 결과 모든 시료에서 균열이 관찰되지 않았다.

그림 2는 자기펄스 압축 성형장치로 성형압력변화(0.7~1.7 GPa)와 Ti 분말의 혼합비율(2~50 wt%)을 달리 하였을 때 각 조건에 따른 파괴경향을 나타내고 있다. 같은 TiO_2 와 점결제 혼합조건에서 Ti의 혼합비가 증가함에 따라 성형압력도 점차 증가하여 10 wt% 이상에서는 1.2 GPa 이상의 압력에서도 균열이 없는 성형체를 제조할 수 있었다. 그러나 소결 후 0.9 GPa 이상의 압력으로 성형된 모든 시료에서 심한 균열이 형성되어 밀도가 감소하였다. 이와 같은 결과는 높은 성형압력 때문에 세라믹 재료의 압축·성형시 성형체 내부에 과도한 탄성 에너지가 축적되고,

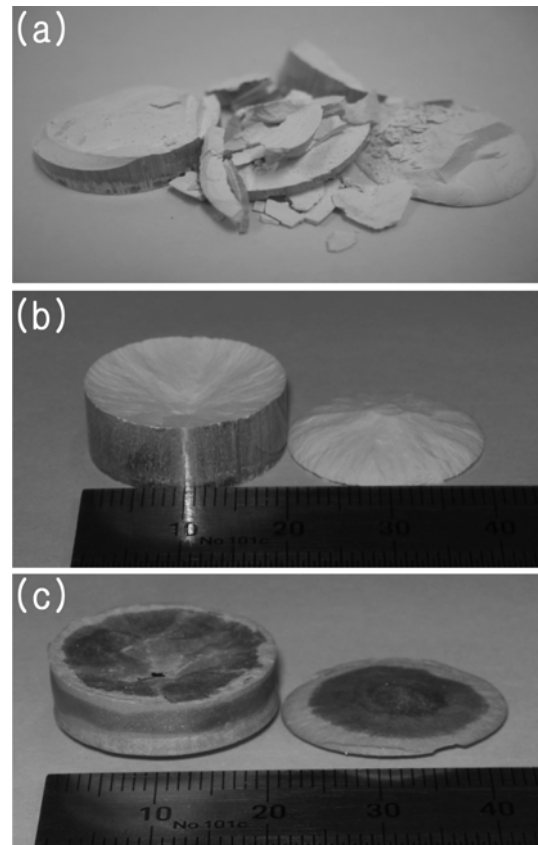


Fig. 2. Photos of fracture behavior of (a,b) MPCed components and sintered and (c) bulk.

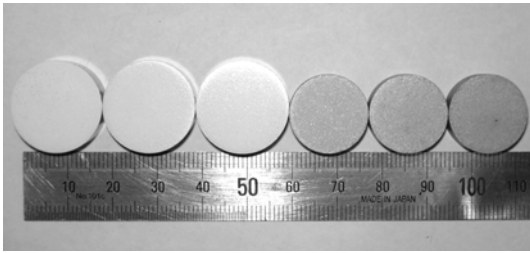


Fig. 3. Photo of comparing size and shape of (left) MPCed component (0.7GPa) and find component with (right) MPC ((0.7GPa)+sintering).

이러한 탄성에너지가 분말의 치밀화에 필요한 에너지를 초과하여 소결 시 균열이 발생하는 것으로 판단된다[6]. 또한, Ti 분말의 혼합비 증가에 따른 예비 성형체에서의 성형압력 증가는 Ti 분말을 첨가함으로써 압축·성형 시 소성변형이 좀 더 용이하고 과도한 탄성에너지의 축적을 방지하는 역할을 하였기 때문인 것으로 생각된다. 하지만 그림 2(c)에 보이는 바와 같이 Ti 혼합비가 10 wt% 이상에서는 높은 소결온도에 의해 성형체 내부의 Ti 분말이 용융상태에 가까워 짐으로서 중심 쪽으로 Ti가 유동하면서 최종 소결체의 형상이 변형되거나 심한 균열을 일으키는 현상을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 결과는 Ti 혼합비가 증가할수록 더욱 심하게 일어났다. 결과적으로 Ti 분말의 혼합비 증가는 성형체의 성형성은 증가시키지만 10 wt% 이상에서는 오히려 소결 시 변형이나 균열을 일으켜 최종 소결체의 밀도를 저하하는 원인이 됨을 알 수 있었다.

그림 3은 TiO₂+Ti 혼합 분말을 20 mm 지름의 금형에 주입하고 자기펄스 압축 성형장치로 성형한 초기 성형체와 이를 1400°C에서 2시간 동안 소결시킨 소결체를 나타내는 사진으로써 소결체 표면에서는 어떠한 결함이나 균열이 관찰되지 않았다. 초기 성형체는 지름이 20 mm 높이가 9.27 mm 이었으며, 소결후에는 지름이 17.2 mm 높이가 8 mm로 감소하였다. 자기펄스 압축 성형 장치로 0.7~0.9GPa의 압력으로 성형하여 1400°C에서 2시간 동안 유지하였을 때 Ti 분말의 혼합비 변화(2~30 wt%)에 따라 균열이 발생한 경우를 제외하고 수축률은 평균 약 10%로 나타났다. 이와 같은 수축률은 기존의 일반공정(20%)보다 50%정도 낮은 값으로써 최종제품의 소결 시 균열을 방지하고 치수정밀도를 향상시킬 수 있

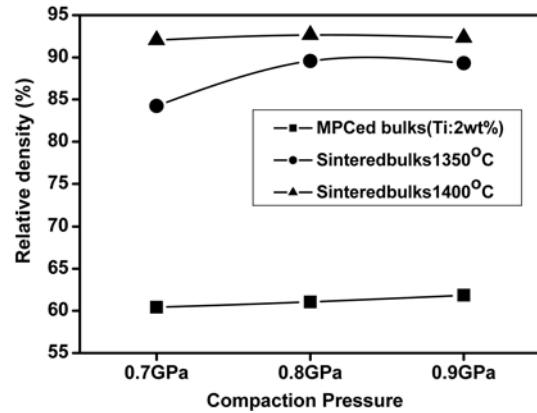


Fig. 4. Variation of relative densities for the MPCed TiO₂+Ti pre-compacts and then sintered bulks prepared at different conditions of MPC pressure and sintering temperatures.

을 것으로 기대된다. 많은 연구결과에서 상압소결에서 소결특성을 저하하는 원인으로 나노 분말 자체의 응집경향과 불균일 성형 미세구조, 특히 불균일 기공 구조를 지적하고 있다[8-9]. 따라서 자기펄스 압축 성형장치를 이용하여 성형하고 소결하는 경우 나타나는 이러한 낮은 수축률은 높은 성형압력 때문에 일반공정보다 입자충전 미세구조의 균일도 향상 및 내부기공의 감소로 초기성형체의 높은 치밀화를 이루어 소결특성이 향상된 것으로 생각된다.

그림 4는 자기펄스 압축 성형장치로 성형한 초기 성형체와 이를 1350, 1400°C에서 2시간 동안 각각 소결하였을 때의 밀도변화를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 초기성형체의 밀도는 평균 60%로 일반 공정[10-11]에 비해 매우 높은 결과를 나타내고 있으며, 소결 후 평균밀도 90% 이상으로서 짧은 소결 시간에도 불구하고 높은 밀도분포를 나타냈다. 일반적으로 90%이상의 소결밀도를 얻기 위해서는 일반공정은 많은 요인에 의해 고압성형이 어려워므로 낮은 압력으로 성형하여 장시간의 소결을 필요로 한다. 하지만 자기펄스 압축 성형장치는 빠른 속도와 압력에 의한 초기 성형체의 미세구조의 균일화 및 높은 치밀화로 인한 내부기공의 감소와 높은 에너지에 의한 소결 구동력의 향상에 의해 2시간의 짧은 소결시간으로도 약 90% 이상의 높은 소결 밀도를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

그림 5는 Ti 혼합비에 따라 자기펄스 압축 성형장

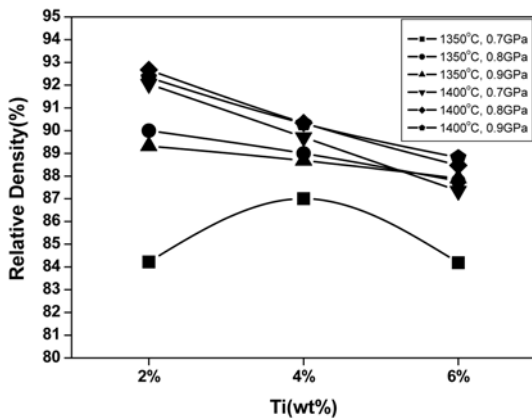


Fig. 5. Relative density as a function of Ti with powder addition at various MPCed pressure and sintering temperatures.

치로 압축하고 1400°C에서 2시간 동안 소결된 소결체의 밀도 변화를 나타낸 그래프이다. 일반적으로 세라믹분말의 소결특성 및 최종밀도에 영향을 주는 주된 인자는 소결온도와 성형압력 및 첨가제 등으로 알려져 있다[10]. 본 연구에서는 실질적인 치밀화는 1000°C 이상에서 일어났으며, 온도상승과 더불어 소결밀도는 증가하여 1400°C 2시간에서 최대값을 나타내다가 이후 온도에서는 큰 변화가 없었기때문에 최적의 소결온도는 1400°C 부근임을 알 수 있었다. 또한, 압축압력이 증가함에 따라 밀도는 증가하였고, 0.7~0.9 GPa의 성형압력에서 균열이 없는 성형체 및 소결체를 제조할 수 있었다. Ti의 혼합비는 증가할수록 성형성은 증가시켰지만, 최종 소결체의 밀도 및 수축률은 감소하였다. 일반적으로 세라믹 분말의 소결 시 첨가제를 넣는 이유는 소결체의 최종 밀도를 증가시키기 위함이지만, 밀도 이외의 소결특성이나 기계적특성을 요구하는 경우에는 약간의 밀도저하를 감수하더라도 첨가제의 사용은 필수적이다. 하지만, 실험결과에서도 알 수 있듯이 Ti 첨가 시 밀도는 감소하였지만 그 차이가 1% 미만으로 Ti 첨가에 의한 소결밀도 저하는 크지 않은 것으로 판단된다.

그림 6은 초기 자기펄스 압축압력 변화에 따른 소결체의 지름과 높이 수축률을 나타내는 것으로서 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 Ti의 혼합비가 증가함에 따라 수직 및 수평 방향 모두 수축률이 약간 감소하였지만 평균 약 10%로 거의 일정한 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 기존공정(20%)에 비해

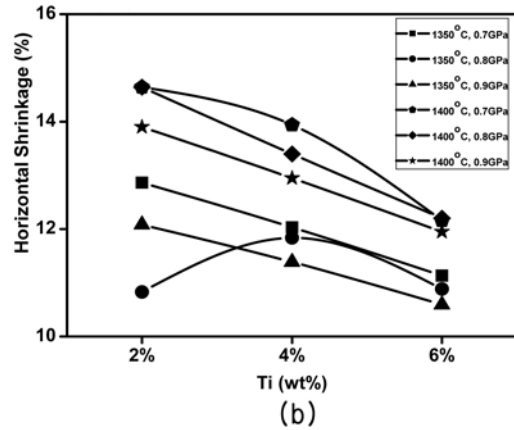
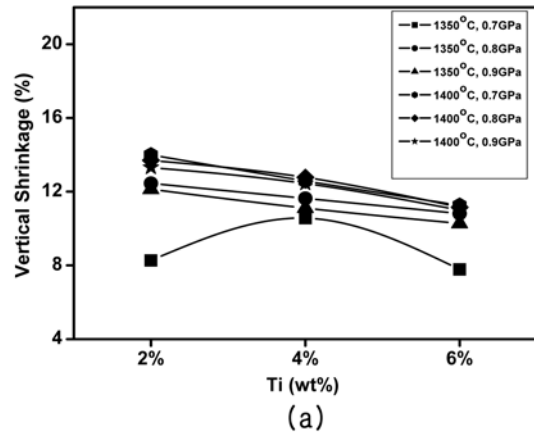


Fig. 6. (a) Vertical and (b) Horizontal shrinkage of sintered (MPC+sintering) bulks at different MPC pressure and sintering temperatures.

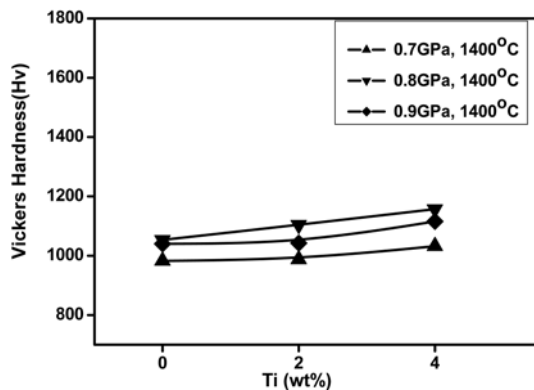


Fig. 7. Vickers Hardness of sintered bulks (MPC+sintering) at 1400°C for 2h as a function of different mixing conditions.

50% 정도 낮은 값으로서 자기펄스 압축 성형장치로 짧은 시간에 매우 높은 압력으로 인해 치밀화가 증

가하여 소결 후에도 수축률이 큰 변화가 없는 것으로 생각된다. 또한, 수직 및 수평 방향의 수축률이 모두 일정한 값으로 기존 성형 공정과는 달리 치수 제어에 매우 유리할 것으로 기대된다.

그림 7은 Ti 혼합비 및 자기펄스 압축 성형 압력 변화에 따라 성형 후 소결된 소결체의 경도변화를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 Ti의 혼합비가 증가할수록 경도 값 역시 증가함을 알 수 있었다. 경도 향상에 영향을 미치는 인자로는 소결성, 결정립 크기, 내부 기공률 등이 있으며[12], 본 실험의 결과 성형 및 소결조건이 동일하였기 때문에 Ti를 혼합한 소결체가 일반 소결체에 비해 높은 경도를 나타내는 것은 Ti 혼합에 의해 이들 인자에 특별한 영향을 미침으로써 경도값이 향상된 것으로 보인다. 이에 대한 자세한 연구는 미세조직 및 기계적 특성 분석을 통하여 정확한 원인을 해석할 수 있을 것으로 생각된다.

소결된 세라믹재료는 취성이 강하기 때문에 많은 연구자가 경도시험을 이용하여 파괴 인성을 계산하

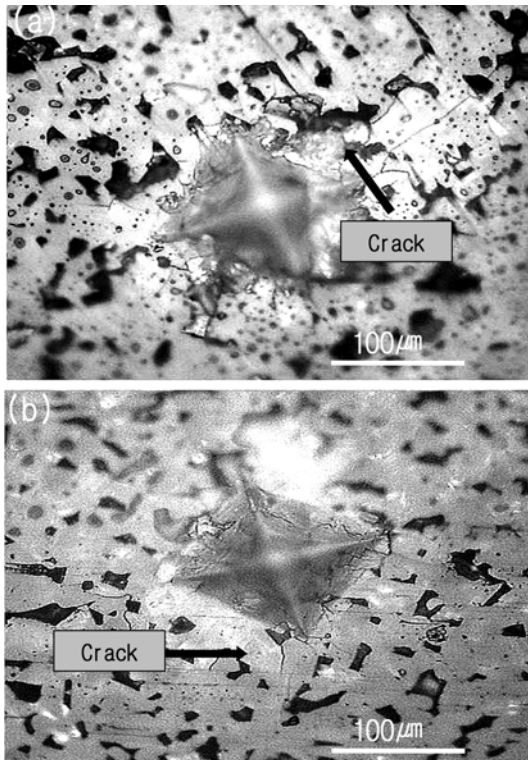


Fig. 8. Optical micrographs of sintered (a) TiO₂ and (b) TiO₂+Ti bulks with different preparation condition showing cracks formed from the corners of hardness indenters.

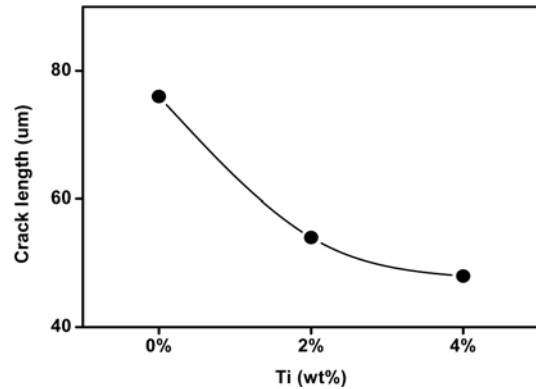


Fig. 9. Showing different crack length of sintered bulks at 0.8GPa, 1400°C for 2h as a function of different mixing conditions.

는 연구결과를 보고하고 있으나 본 연구에서는 이에 대한 정확성을 고려하여 파괴 인성 값은 계산하지 않았으며, 단지 측정 후 형성된 압흔자 주위를 광학현미경으로 관찰하여 균열 형성 및 길이를 측정하여 그 결과를 그림 8과 9에 각각 나타냈다. 그림 8(a)는 Ti 분말을 첨가하지 않고, 성형 및 소결된 TiO₂ 나노 분말 소결체의 압흔자 주위에서 형성된 균열을 나타내는 사진으로 균열의 크기는 77 µm 길이를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 같은 성형 조건에서 Ti 분말이 첨가된 소결체의 경우(그림 8(b), Ti 4 wt%)는 순수한 TiO₂ 나노 분말 소결체보다 균열 길이가 20 µm로 짧음을 알 수 있었다. 이처럼 Ti 분말 함량 변화에 따라 소결된 소결체의 경도 및 균열 길이 측정 결과를 그림 7과 9에 각각 나타냈다. 경도와 균열 길이는 5회의 측정결과를 평균으로 계산하였으며, 그림 7과 9에서 볼 수 있는 것과 같이 Ti 첨가량이 2%, 4%로 증가함에 따라 경도는 각각 50 Hv씩 증가하였으며, 균열 길이는 30 µm, 10 µm씩 감소하였다. 이와 같은 결과는 TiO₂ 나노 분말 소결에 순수한 Ti 분말 첨가에 의하여 최종 소결체의 밀도 저하 없이 경도를 증가시키고, 균열 전파를 줄여서 기계적 특성 향상에 효과가 있는 것으로 생각된다. 또한, 적합한 첨가제의 비율 조절에 의하여 요구하는 특성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

본 연구에서는 자기펄스 압축 성형장치를 이용하

여 TiO_2 +Ti 혼합 분말의 성형 및 소결체의 치밀화 거동과 기계적 특성에 대한 연구를 수행하였다. 성형 압력이 0.7~0.9 GPa, 소결온도가 1400°C, Ti 혼합비가 2~6 wt%일 때 변형 및 균열이 없는 소결체를 얻을 수 있었으며, 이때 최대밀도는 이론 밀도의 약 92.7%를 나타내었다. 성형압력 변화에 따른 소결체의 수축률은 가로 및 세로가 평균적으로 10%의 범위를 나타내었으며, 이와 같은 값은 일반 공정(20%)에 비해 50% 낮은 비율로서 성형 및 소결 시 균열 방지와 치수조절에 더 나은 성형방법임을 알 수 있었다. 또한, Ti의 혼합비 변화는 성형성의 증가 및 균열 방지 그리고 최종 소결체의 인성 증가와 같은 효과를 나타내었으며, 과도한 첨가량은 오히려 소결 과정에서 소결체의 변형이나 균열을 일으킬 수 있으므로 10 wt% 이내로 사용하여야 함을 알 수 있었다.

결과적으로 자기펠스 압축 성형장치를 이용하여 Ti 분말 첨가에 따른 TiO_2 나노 분말의 치밀화 및 기계적특성(파괴인성)의 개선의 가능성을 확인하였으며, 성형압력, 소결온도, Ti 및 점결체의 혼합비 등과 같은 최적의 성형 조건을 확립함으로써 기존 공정보다 우수한 밀도와 특성이 있는 TiO_2 소결체 제조가 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 21세기 프론티어 연구개

발사업의 일환인 “차세대 소재성형기술개발 사업단”의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] J. H. Song, J. S. Lee, I. S. Park and D. Y. Lim: J. Kor. Ceram. Soc., **37** (2000) 625 (Korean).
- [2] G. H. Lee and C. K. Rhee: J. Kor. Inst. Met. & Mater., **9** (2003) 425.
- [3] J. H. Song, J. S. Lee, I. S. Park and D. Y. Lim: J. Kor. Ceram. Soc., **37** (2000) 625 (Korean).
- [4] A. Kumpmann, B. Gnther and H. D. Kunze, Mater. Sci. Eng. A., **168** (1993) 165.
- [5] H. C. Park and Frank L. Riley: J. Kor. Ceram. Soc., **29** (1992) 489 (Korean).
- [6] H. S. Kim, J. G. Lee, C. K. Rhee, J. M. Koo and S. J. Hong: J. Kor. Mater. Res, **18** (2008) 8 (Korean).
- [7] R. C. Kang, M. K. Lee, W. W. Kim, C. K. Rhee and S. J. Hong: J. Kor. Powder Metall. Inst., **15** (2008) 38 (Korean).
- [8] W. H. Rhodes: J. Am. Ceram. Soc., **64** (1981) 19.
- [9] F. W. Dynys and J. W. Halloran: J. Am. Ceram. Soc., **67** (1984) 596.
- [10] Y. L. Chen and R. J. Brook, Br: J. Ceram. Trans., **88** (1989) 7.
- [11] Mehdi Mazaheri, A. M. Zahedi, M. Haghghatzadeh and S. K. Sadmezhaad: Ceram. Int., **35** (2009) 685.
- [12] J. H. Shin, Y. G. Jung and S. K. Hur: J. Ceram. Soc., **37** (2000) 856.