

## Investigation on the Pore Properties of the Microcellular ZrO<sub>2</sub> Ceramics Using Hollow Microsphere

Eun-Jung Lee, In-Hyuck Song<sup>†</sup>, Hai-Doo Kim, Young-Wook Kim\*, and Ji-Soo Bae\*\*

Engineering Ceramics Group, Korea Institute of Materials Science, Changwon 641-831, Korea

\*Department of Materials Science and Engineering, The University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

\*\*Young-Jin Ceramics Co., Ltd., Chonnam 525-813, Korea

(Received December 3, 2008; Accepted January 8, 2009)

### 중공형 미세구를 이용한 마이크로셀룰라 지르코니아의 기공 특성 고찰

이은정 · 송인혁<sup>†</sup> · 김해두 · 김영욱\* · 배지수\*\*

재료연구소 구조세라믹연구그룹

\*서울시립대학교 신소재공학과

\*\*영진세라믹스

(2008년 12월 3일 접수 ; 2009년 1월 8일 승인)

### ABSTRACT

In this study, a novel-processing route for producing microcellular zirconia ceramics has been developed. The proposed strategy for making the microcellular zirconia ceramics involves hollow microsphere as a pore former which has extremely low density of 0.025 g/cm<sup>3</sup>. Effects of hollow microsphere content and sintering temperature on microstructure, porosity, pore distribution, and compressive strength were investigated in the processing of microcellular zirconia ceramics. By controlling the content of hollow microsphere, it was possible to make the porous zirconia ceramics with porosities ranging from 45% to 75%. Typical compressive strength value of microcellular zirconia ceramics with ~65% porosity was over 50 MPa. By adjusting the mixing ratio of large and small zirconia powders, it was possible to control the pore structure from close to open pores.

**Key words :** ZrO<sub>2</sub>, Porous material, Microcellular ceramics, Porosity

### 1. 서 론

다공질 재료는 15~95%의 체적이 기공으로 이루어진 재료의 총칭으로, 기존의 치밀한 재료가 갖지 못하는 특성 (예: 분리, 저장, 열차단 등)을 부여할 수 있기 때문에 치밀한 재료와 더불어 산업적 중요성이 증대되고 있다. 다공질 재료기술은 크게 1) 재료 내부에 개기공 (open pore, penetrating pore)을 도입하여 filtration/separation 효과를 얻는 부분과 2) 재료 내부에 개기공/폐기공의 크기, 형상, 배향성, 기공율, 분포 등을 제어하여 기존 재료가 갖지 못하는 새로운 특성을 창출하는 부분으로 대별할 수 있다. 그러므로 이와 같은 기공 특성을 이용하여 각종 고온용 경량 구조재료, 고온로용 치구(kiln furniture), 방탄재료, 충격흡수재, 단열재료, 내화물, 고온용 가스 필터(hot

gas filter), 수질정화용 필터(water filter), 흡음재, 우주망원경용 경량 구조재, 복합재료용 프리폼(preform) 등 다양한 분야에 응용<sup>1,2)</sup>이 가능하다.

특히 셀룰라 구조를 가지고 있는 다공질 재료는 기존의 다공질 재료에 비하여 기공 함량에 대한 비강도가 우수하여 향후 응용 범위가 점차 확대 될 것으로 예상된다. 그러나 기존에 상용화 되어지고 있는 셀룰라 구조를 가지고 있는 세라믹스 재료는 기공의 크기가 100 μm~2 mm 범위로 매우 조대한 기공크기를 가지며 기공의 밀도 (단위부피당 cell의 개수)가 낮아서 우수한 기계적 특성을 기대하기 어렵다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 기공의 크기가 수십 이하이며, 기공밀도가 10<sup>9</sup> cells/cm<sup>3</sup> 이상 되는 마이크로셀룰라 세라믹스 제조에 관한 연구가 각종 공정에 의해 최근에 시도되어지고 있다.<sup>4,7)</sup>

지르코니아는 대표적인 고강도 고인성 세라믹스로서 부분안정화 지르코니아(partially stabilized zirconia, PSZ)와 준안정상의 정방정상 지르코니아 다결정체 (tetragonal zirconia polycrystals, TZP) 등이 있다. 이들은 순수한 지르

<sup>†</sup>Corresponding author : In-Hyuck Song

E-mail : sih1654@kims.re.kr

Tel : +82-55-280-3534 Fax : +82-55-280-3392

**Table 1.** Batch Composition of Microcellular Zirconia Ceramics (wt%)

Designation	ZrO <sub>2</sub> (MZY-6)	ZrO <sub>2</sub> (Z-tech)	Hollow microsphere	PVA, PEG
Z1H4	90	10	0.42	0.2, 0.2
Z1H5	90	10	0.52	0.2, 0.2
Z1H6	90	10	0.62	0.2, 0.2
Z1H7	90	10	0.72	0.2, 0.2
Z1H8	90	10	0.82	0.2, 0.2
Z0H6	100	0	0.62	0.2, 0.2
Z3H6	70	30	0.62	0.2, 0.2
Z5H6	50	50	0.62	0.2, 0.2

코니아에 안정화제로서 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, CeO<sub>2</sub> 등을 첨가하여 제조되고 있으며 특히 소결온도가 상대적으로 낮고 제조공정이 비교적 간단한 TZP가 구조용 세라믹스로서 다양하게 사용되고 있다.<sup>8,9)</sup> 이와 같은 지르코니아의 주요 응용 분야는 압전소자, 연료전지, 광통신용 등 전자재료와 setter 소재, 반도체 치구 소재 등 구조재료로서 다양한 산업용 응용 분야를 가지고 있다.<sup>10-16)</sup> 특히, 최근 들어 밀도가 높은 지르코니아 소재(6.1g/cm<sup>3</sup>)는 다공질화를 통하여 원가 절감 뿐만 아니라 경량화 및 통기성 향상 등을 통하여 새로운 응용 분야를 창출하고 있다. 예를 들어 기존의 치밀한 지르코니아 세터의 경우 중량이 많이 나가기 때문에 소성과정에서 열효율이 낮고 세라믹 부품의 탈지과정에서 세터와 접촉하는 부분에서 탈지가 잘되지 않아서 불량 및 세라믹부품의 특성이 저하되는 문제가 있다. 지르코니아 세터에 달라의 기공을 넣어서 세터의 자체 중량을 낮추어서 소성시 열효율을 높이고, 세터에 미세한 개기공을 만들어서 탈지과정에서 세터와 접촉되는 세라믹부품의 바닥면에서도 탈지가 잘 되도록 하는 효과가 기대된다.

기존에 많이 사용하고 있는 기공 형성제로는 밀도가 1 g/cm<sup>3</sup> 정도인 구형의 고분자 PMMA 입자를 사용한다. 그러나 소성 공정에서 구형의 PMMA 입자를 모두 열분해 하여 날려 보내야 하며, 이때 열분해 된 기체성분이 제거되는 공정에서 다공질 재료에서 결함을 유도하고, 많은 유해한 기체 성분으로 인하여 환경오염 문제 등을 야기 할 수 있다. 본 실험에서는 기공 형성제로 속이 비어 있는 중공형 미세구(hollow microsphere)를 기공 형성제로 사용하여 습식 혼합 공정을 통하여 다공성 지르코니아를 제조하였다. 특히 중공형 미세구의 함량 변화에 따른 기공의 형성 거동을 고찰 하였으며, 지르코니아 분말 크기 변화에 따른 기공의 크기의 분포 등을 고찰 하였다.

## 2. 실험 방법

출발원료로는 내화물용으로 조대한 ZrO<sub>2</sub> (<44 μm, MZY-6, 미래소재) 분말과 미분용 ZrO<sub>2</sub>(Z-tech, SF-EXTRA

grade, 1.0 μm, USA)분말을 사용하였다. 조대한 MZY-6 지르코니아 분말은 10.4 wt%의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>에 의하여 안정화된 정방정(tetragonal) 구조의 분말이며, 미세한 Z-tech 분말은 용사 공정에 의해 제조된 단사정(monoclinic) 구조의 분말이다.

기공형성제로 직경이 80 μm이며, 밀도가 0.025 g/cm<sup>3</sup>인 중공형 미세구(hollow microsphere, 092DET80, Expance, Sundsvall, Sweden)를 사용하였다. 중공형 미세구는 풍선 같이 안이 비어있는 형태로서 poly-methylmethacrylate 성분으로 이루어져 있다. 결합재는 poly-ethylene glycol (PEG)과 polyvinylalcohol (PVA)을 사용하였다. 그리고 칙량된 원료 분말들은 습식으로 혼합되었으며, 용매는 종류 수를 사용하였다.

원료 조합비는 Table 1에 나타내었으며, 원료 조합은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>불과 폴리프로필렌 병을 사용하여 습식으로 혼합하였다. 혼합된 슬러리는 필터프레싱 공정에 의해 직경 10 cm 크기의 원판 형태로 성형하였다. 그 후에 건조된 성형체는 전기로에서 5°C/min의 속도로 각각 1550°C, 1650°C, 1750°C로 승온하여 2시간 동안 공기 분위기에서 소결하였다.

마이크로셀룰라 구조의 지르코니아 세라믹스의 밀도는 부피와 질량을 측정하여 계산하였으며, 전체 기공도는 측정된 밀도와 지르코니아 세라믹스의 이론밀도로부터 계산하였다. 또한 기공의 분포는 수은 함침법을 이용한 porosimeter (AutoPore IV Series, USA)를 이용하였다. 또한 기공구조는 주사전자현미경(SEM, Jeol, Japan)을 사용하여 관찰하였다. 다공질 지르코니아 세라믹스의 곡강도는 span 30 mm의 치구를 사용하여 0.5 mm/min의 cross-head 속도로 3점 곡강도를 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1. 중공형 미세구(hollow microsphere)의 함량 변화

일반적으로 다공질 소재는 기공형성제의 양이 증가함에 따라 기공율이 증가하고 기계적 특성이 감소한다. 또한 출발원료에서 원료 분말의 입도가 미세함에 따라 동

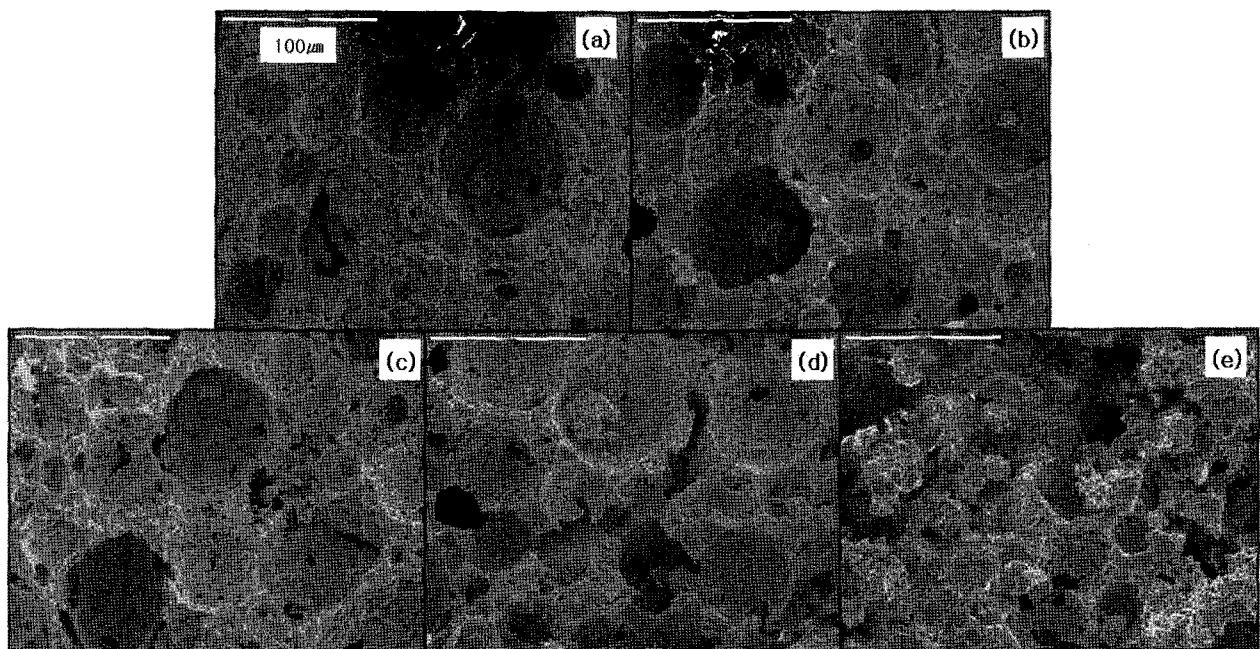


Fig. 1. Typical fracture surfaces of microcellular zirconia ceramics sintered at 1650°C for 2 h with various hollow microsphere contents: (a) 0.42 wt%, (b) 0.52 wt%, (c) 0.62 wt%, (d) 0.72 wt%, and (e) 0.82 wt%.

일한 소결온도에서 소결성이 증대되어 더 치밀화된 미세 조직이 형성되고, 강도도 증가한다. 본 연구에서는 저가의 조대한 내화물용 지르코니아 분말(<44 μm)을 이용하여 마이크로셀룰라 세라믹을 제조하고자 하였으며, 치밀화를 촉진하기 위한 목적으로 미세한 지르코니아 분말(1.0 μm)을 10 wt% 첨가하였다. 그리고 기공형성제인 중공형 미세구 함량 변화에 따른 기공을 변화 및 기계적 특성 변화를 관찰하였다.

Fig. 1은 중공형 미세구의 함량 변화에 따른 기공의 형태 변화를 나타낸 파단면 조직사진이다. 중공형 미세구는 밀도가 0.025 g/cm<sup>3</sup>로 매우 가벼워서 Fig. 1의 중공형 미세구의 양 0.51 wt%이면 걸보기 부피가 지르코니아 분말의 양과 거의 동일하다. 중공형 미세구의 크기가 80 μm임으로 Fig. 1의 파단면 상의 기공 크기와 일치함을 관찰할 수 있었다. 이는 전반적으로 중공형 기공형성제가 열분해 제거 시 마이크로셀룰라 형태로 전환이 용이함을 알 수 있다. 또한 Fig. 1에서 보는 바와 같이 중공형 미세구의 양이 0.62 wt%까지 증가함에 따라 기공의 양도 증가하고 기공 구조도 잘 발달되어 지는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 중공형 미세구의 양이 0.72 wt%부터는 중공형 미세구의 함량이 과도 하여 셀 간의 벽들이 허물어지기 시작하는 것을 관찰 할 수 있었으며, 중공형 미세구의 양이 0.82 wt%에서는 기공의 형태가 셀룰라 구조를 가지지 못하는 것을 관찰 할 수 있었다.

Fig. 2는 중공형 미세구의 함량 변화에 따른 소결 온도별 기공도를 측정한 결과이다. 전체적으로 기공을 변화를

고찰해 보면 중공형 미세구의 함량이 증가함에 따라 기공율이 증가함을 보여 주고 있으며, 이는 기공 형성제 양의 증가에 따른 기공도의 증가에 해당한다. 그러나 중공형 미세구의 함량이 0.72 wt%부터는 기공율의 증가 폭이 크지 않음을 관찰 할 수 있었으며, 이는 Fig. 1에서 관찰

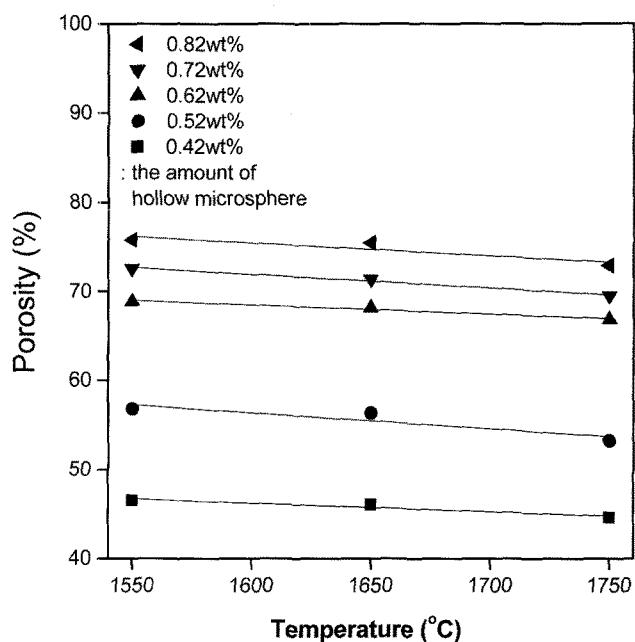
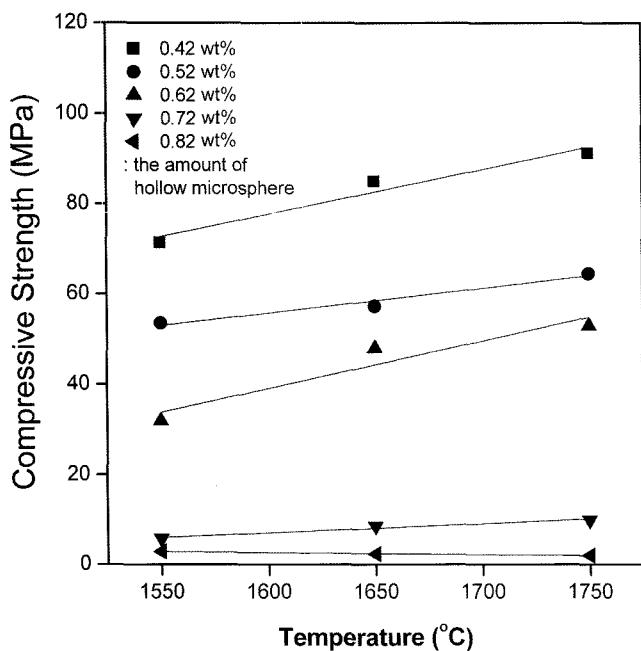


Fig. 2. Effects of sintering temperature and hollow microsphere content on the porosity of microcellular zirconia ceramics.



**Fig. 3.** Effects of sintering temperature and hollow microsphere content on the compressive strengths of microcellular zirconia ceramics.

된 바와 같이 셀 간의 기지 조직이 허물어지면서 소결 공정시 기공 형성이 원활하지 않기 때문이다. 또한 소결 온도 증가에 따른 기공도의 감소 경향은 크게 나타나지 않았다. 이는 소결온도가 증가함에 따라, 일반적인 분말 소결체와 같은 전체적인 부피를 축소보다는 기공 벽(strut)

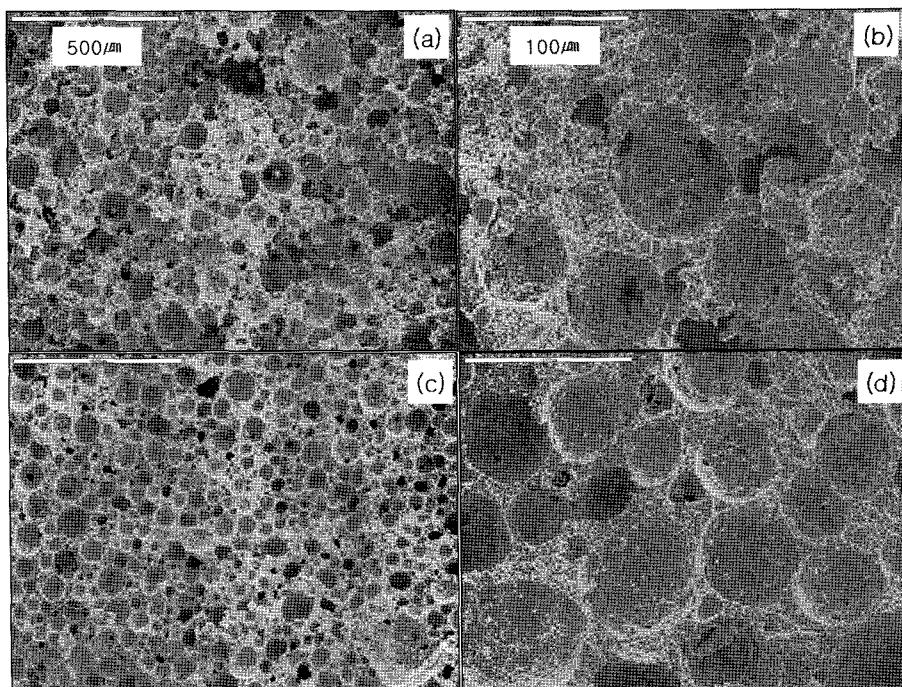
조직의 치밀화 및 입자성장이 우세하기 때문으로 판단된다.

Fig. 3은 중공형 미세구의 함량 변화에 따라 소결 온도별 압축 강도 변화를 측정한 결과이다. 중공형 미세구의 함량이 증가함에 따라 압축강도가 감소하는 것을 관찰 할 수 있었다. 특히 압축강도는 중공형 미세구의 양이 0.72 wt%인 경우 급격한 압축강도의 감소가 이루어지는 것을 관찰 할 수 있었으며, 이는 Fig. 1에서 관찰된 바와 같이 셀룰라 세라믹스의 기지 조직의 열화에 기인하는 것으로 판단된다. 소결 온도가 증가함에 따라 압축 강도는 증가하는 경향을 보이고 있으나, 중공형 미세구의 양이 0.72 wt% 이상인 경우에는 압축강도가 거의 증가 하지 않음을 관찰하였다. 이는 중공형 미세구의 양이 0.72 wt% 이상일 경우 기공율이 70% 이상으로 높고 셀룰라 조직도 비교적 견전하지 않기 때문에 소결성 증대에 따른 압축강도의 증가가 이루어지지 않았기 때문이다.

상기의 실험 결과 중공형 미세구의 첨가는 다공성 마이크로셀룰라 세라믹스의 제조에 매우 효과적이었음을 알 수 있었으며, 비교적 높은 60% 이상의 기공율을 얻을 수 있었다. 그러나 기공율이 70% 이상인 중공형 미세구의 함량이 0.72 wt% 이상의 경우에는 강도 저하와 미세구조의 불균일을 초래하였음을 알 수 있었다.

### 3.2. 출발원료 크기에 따른 영향

앞 절인 중공형 미세구(hollow microsphere)의 함량 변화 실험에서는 출발원료로 내화물용으로 조대한  $ZrO_2$  분말 90 wt%와 미분용  $ZrO_2$  분말 10% 사용하여 실험을 실



**Fig. 4.** The SEM images of microcellular zirconia ceramics sintered at 1650°C with variations in the amount of small zirconia powder; (a)(b) Z0H6 and (c)(d) Z5H6.

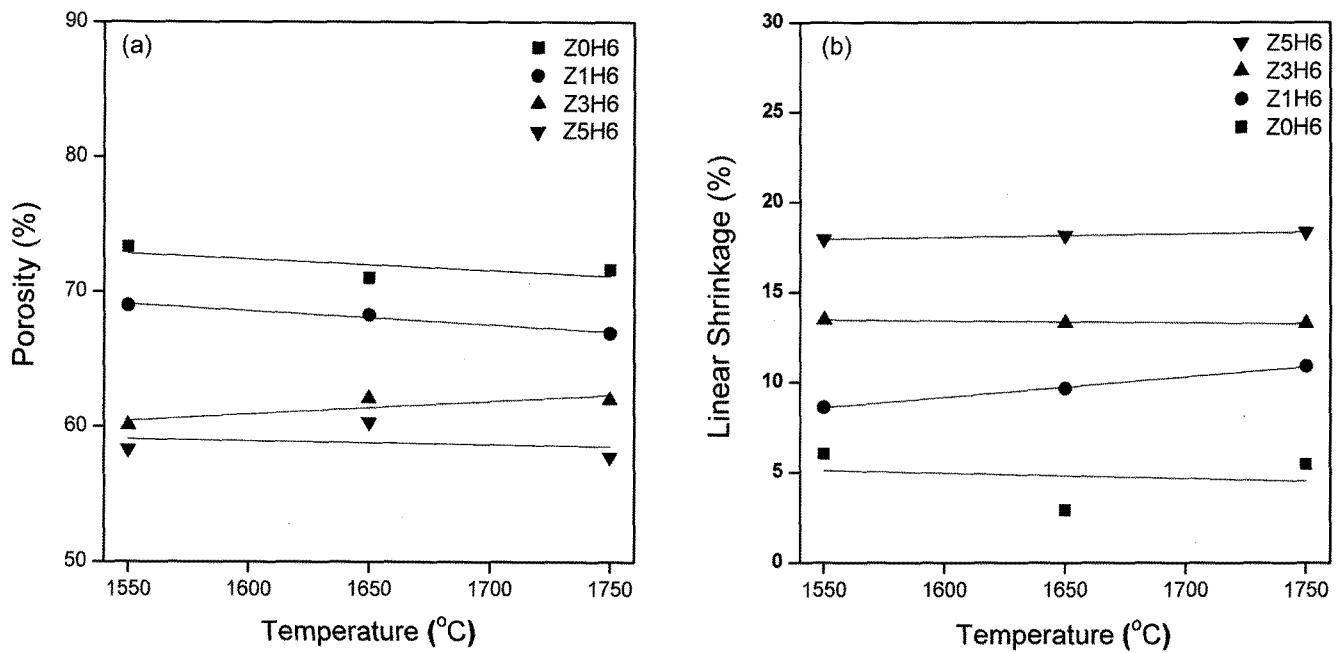


Fig. 5. Effects of sintering temperature and small zirconia content on (a) porosity and (b) linear shrinkage of the microcellular zirconia ceramics.

시하였다. 본 절에서는 중공형 미세구 양을 가장 효과적으로 마이크로셀룰라 기공을 형성시킨 것으로 판단되는 0.62 wt%로 고정하고, 출발원료인 지르코니아 분말의 크기별 혼합 비율을 변화시켜서, 마이크로셀룰라 지르코니아를 제조하였다.

Fig. 4는 미세한 지르코니아 분말이 첨가되지 않은 소결시편과 50%의 미세한 지르코니아 분말이 첨가된 소결시편의 미세 조직사진이다. 미세한  $ZrO_2$  분말 첨가 유무와 상관없이 마이크로셀룰라 구조가 잘 형성되어짐을 관찰할 수 있다. 그러나 미세한 분말이 첨가되지 않은 소결시편(Z0H6)의 경우에는 조대한 지르코니아 입자가 관찰되면서 표면이 매끄럽지 않은 것을 관찰 할 수 있었으며, 미세한 지르코니아 분말이 50% 첨가된 소결 시편(Z5H6)의 경우 표면이 미세한 지르코니아 분말로 이루어져서 매끄러운 표면이 형성된 것을 관찰 할 수 있었다.

Fig. 5(a)는 지르코니아 분말 혼합비율 변화가 소결온도 변화에 따라서 기공도에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. 미세한 지르코니아 분말의 양이 증가함에 따라 소결 수축현상이 활발해 짐에 따라 기공율의 감소를 관찰 할 수 있다. 즉 미세한 지르코니아 분말이 없는 경우에는 기공율이 70% 이상으로 높으며, 미세한 지르코니아 분말이 50% 첨가된 경우에는 기공율이 60% 이하로 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 소결 시편의 선수축율 Fig. 5(b)를 고찰해 보면 미세 분말이 사용되지 않은 시편(Z0H6)의 경우에는 선수축율이 5% 내외 값을 보여 주고 있으나, 미세분말이 10% 사용된 시편(Z1H6), 30% 사용된 시

편(Z3H6)의 경우 각각 10%, 14%의 선수축율을 보여 주었다. 또한 미세 분말이 50% 사용된 시편(Z5H6)의 경우 선수축율이 약 18%의 비교적 높은 선수축율을 관찰할 수 있었다. 그러나 Fig. 5(a)에서 관찰 한 바와 같이 소결온도에 따른 기공율 변화의 측면에서, 소결온도의 증가에

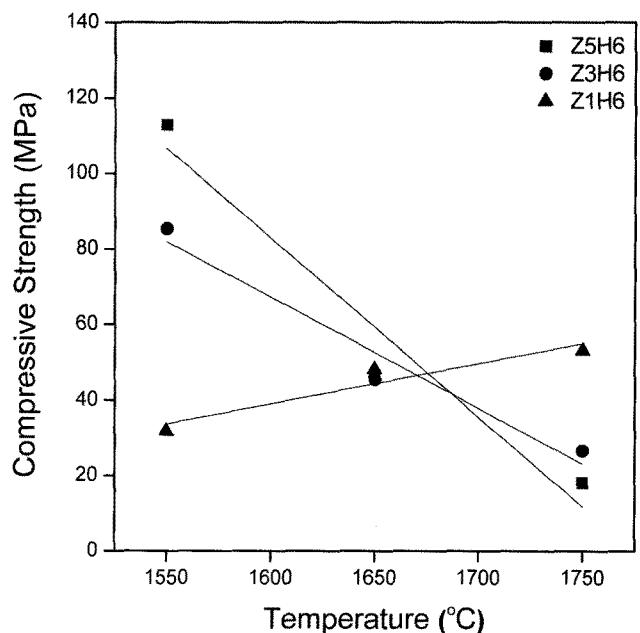


Fig. 6. Effects of sintering temperature and small zirconia content on the compressive strengths of microcellular zirconia ceramics.

따라 다공질 재료의 부피 축소에 의한 전체 기공도 감소에는 크게 영향을 미치지 못하였다.

Fig. 6은 소결온도 변화에 따른 기계적 압축 실험 결과를 나타낸 그림이다. 일반적으로 세라믹 재료의 소결 온도가 증가하면 치밀화가 이루어지고, 강도의 증가를 유발한다. Fig. 6에서 관찰되는 바와 같이 미세한 지르코니아 분말이 10% 첨가 된 경우에는 소결온도가 증가함에 따라 압축강도가 증가한다. 그러나 미세한 지르코니아 분말의 양이 30, 50% 증가함에 따라 소결온도가 1550°C일 경우에는 압축강도가 증가하는 경향을 보이고 있으나, 동일한 미세 분말 함량이 포함된 경우 소결온도 증가에 따라 오히려 압축강도는 감소하는 경향을 보이고 있다. 미세 분말 함량 증가시 소결온도 증가에 따른 압축 강도 감소 이유를 고찰하기 위하여, Fig. 7은 1650°C에 소결한 마이크로셀룰라 지르코니아를 미세 분말의 양 변화에 따라 측정한 X선 분석 결과이다.

본 실험에 사용된 조대한 지르코니아 분말은  $\text{Y}_2\text{O}_3$ 의 첨가에 의해 안정화된 정방정(tetragonal) 구조의 결정구조를 가지고 있으며, 미세한 지르코니아 분말인 분말은 단사정(monoclinic) 구조를 가지고 있다. 단사정 구조를 가지는 미세 분말의 함량이 10%일 경우에는 조대한 정방형 구조의 안정화된 지르코니아를 나타내는 피크가 지배적으로 나타나지만, 미세 분말의 양이 증가함에 따라 단사정 구조의 피크가 증가하는 경향을 보여주고 있다. 잘 알려진 바와 같이 지르코니아는 승온시 1170°C 부근에서 단사정에서 정방적으로 상변태를 하며 냉각시에는 약 900°C 부근에서 정방정에서 단사정을 상변태 하는 것으로 보고되고 있다. 이때 상변태시에는 단사정 지르코니아의 밀도가 약 5.56 g/cm<sup>3</sup>이며, 정방정 지르코니아의 밀도가 약 6.10 g/cm<sup>3</sup>임으로 상변태시 약 4.6% 정도의 부피 변화를 유발한다. 그러므로 본 실험의 경우 단사정 구조를 가지는 미세 분말이 첨가량이 증가함에 따라, 열처리 공정시 정방정으로 변태하지만, 고용 안정화되지 못하고 냉각 공정시 다시 단사정으로 상변태를 일으키기 때문일 것으로 판단된다. 즉 승온시의 상변태는 치밀화 되기 전

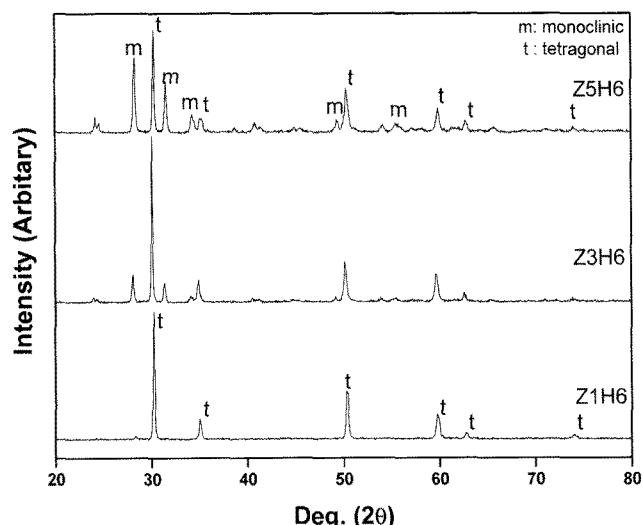


Fig. 7. XRD results of microcellular zirconia ceramics with variations in the amount of small zirconia powder at the sintering temperature of 1650°C.

이므로 기계적 특성에 영향을 미치지 않지만 냉각시 상변태는 치밀화된 조직의 부피 변화로 인하여 기계적 결함을 유발 시킬 것으로 예상된다. Fig. 8은 미세 분말의 함량이 50 wt%인 소결 시편의 소결 온도별 미세구조를 고배율로 관찰한 것이다. 소결온도가 증가함에 따라 미세한 분말 입자들이 입성장을 하는 것을 관찰 할 수 있다. 특히, 소결온도가 1750°C에서 소결한 경우에는 셀벽 조직의 치밀화 및 입성장이 충분히 이루어지지만, Fig. 8(c)의 화살표로 표시된 바와 같이 입계면에서 크랙(crack)이 발생되었다. 이는 미세한 지르코니아 분말이 소결온도가 증가함에 따라 정방정 구조로 치밀화 및 입성장을 하지만, 냉각시 단사정 구조로의 상변태로 유발된 크랙으로 인하여 Fig. 6에서와 같이 압축강도가 감소하는 것으로 판단된다. 그리고 이와 같이 상변태로 인한 기계적 특성 저하는 안정화 되지 않은 분말의 함량이 증가하거나 소결 온도가 높아서 입자가 조대해진 경우 더욱 심하게 발생된다. 그러므로 본 실험 결과를 통하여 향후 조대한 입자와 같이

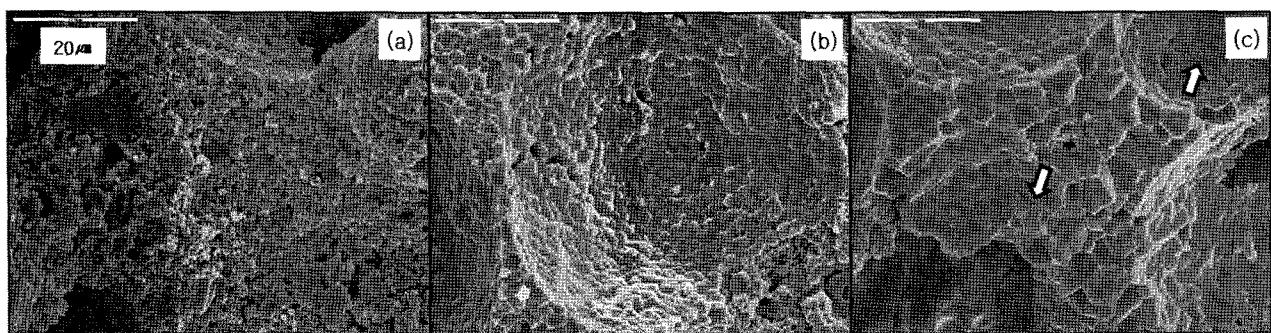


Fig. 8. Typical fracture surface of microcellular zirconia ceramics with specimen Z5H6, sintered at various sintering temperatures : (a) 1550°C, (b) 1650°C, and (c) 1750°C.

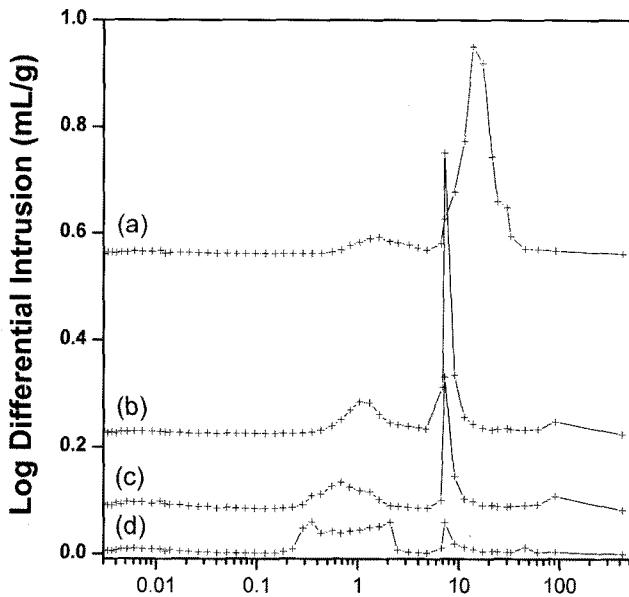


Fig. 9. Results of pore distribution for the microcellular zirconia sintered at 1550°C using mercury porosimeter. (a) Z0H6, (b) Z1H6, (c) Z3H6, and (d) Z5H6.

안정화된 미세한 분말을 이용함으로 소결 온도 증가에 따른 강도 증가를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 9는 출발원료 혼합 비율이 변함에 따라 기공의 크기분포를 수온합침법에 의해 측정한 결과이다. 미세한 분말이 포함되지 않은 조대한 분말을 이용한 (a)의 경우 약 20 μm 크기의 기공이 날카로운 피크를 형성하면서 주된 기공을 형성하고 있으며, 1.5 μm 크기의 기공이 일부 관찰되었다. 미세 분말의 함량이 증가함에 따라서 날카로운 피크를 보이는 기공은 점차 기공 크기가 10 μm 이하로 감소하였다. 특히 측정된 정량적인 평균 기공크기도 미세한 분말을 사용하지 않은 (a)의 경우 15.7 μm를 보여 주었으며, 미세 분말의 함량이 증가할수록 (b)(c)(d)의 평균 기공크기는 각각 7.9, 7.5, 1.1 μm 등으로 감소하는 경향을 보여 주었다. 또한 첨가된 미세 분말의 양이 증가함에 따라 Fig. 9에서 피크의 적분 면적의 감소하는 것을 보여 주고 있으며, 적분 면적은 다공질 내부에 침투하는 수온의 정량적인 양이라고 볼 수 있다. 즉 수온은 폐기공에는 침투하지 못하고 개기공에만 침투할 수 있으므로 상대적으로 개기공의 양이 감소한 것이다. 이와 같은 현상은 기지 조직의 치밀화로 인하여 기공의 형태가 개기공(open pore)에서 폐기공(close pore)로 전환됨에 따라서 나타나는 경향으로 판단할 수 있다.

#### 4. 결 론

비중이 높은 지르코니아 분말과 비중이 매우 낮은 기공형성제인 중공형 고분자 미세구( $0.025 \text{ g/cm}^3$ )를 출발원

료로 사용하여 습식 혼합공정으로 고기공을 마이크로셀룰라 세라믹스를 제조하였다. 기존에 기공형성제로 많이 사용하고 있는 밀도가 약  $1 \text{ g/cm}^3$  정도인 PMMA는 다양한 혼입시 열분해 제거 공정에서 결함 유도 및 환경오염 측면 등의 문제점이 있으며, 이와 같은 단점을 해결할 수 있는 방안으로 중공형 미세구는 향후 많은 응용이 예상된다. 본 연구에서는 중공형 미세구의 함량 변화에 따른 기공의 형성 거동을 고찰하였으며, 45%~75%의 범위의 기공율을 가지는 건전한 마이크로셀룰라 지르코니아 세라믹스를 제조하였다. 제조된 마이크로셀룰라 지르코니아 세라믹스의 압축강도는 기공율이 65%일 때, 약 50 MPa 이었다. 출발원료의 크기 변화의 영향을 고찰하였으며, 미세한 지르코니아 분말의 함량이 증가함에 따라 기공구조는 개기공에서 폐기공 구조로 변화하였다.

#### Acknowledgment

본 연구는 지식경제부 차세대소재성형기술개발사업단 (the Center for Advanced Materials Processing, CAMP)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

- J. Saggio-Woyansky, C. E. Scott, and W. P. Minnear, "Processing of Porous Ceramics," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **71** [11] 1674-82 (1992).
- P. Sepulveda, "Gelcasting Foams for Porous Ceramics," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **76** [10] 61-5 (1997).
- W. Wu, T. Fujii, and G. L. Messing, "Synthesis of Cellular Inorganic Materials by Foaming Sol-Gels," *J. Non-Cryst. Solids*, **121** 407-12 (1990).
- I. H. Song, M. J. Kim, H. D. Kim, and Y.-W. Kim, "Processing of Microcellular Cordierite Ceramics from a Pre-ceramic Polymer," *Scripta Mater.*, **54** 1521-25 (2006).
- Y.-W. Kim, H. D. Kim, and C. B. Park, "Processing of Microcellular Mullite," *J. Am. Ceram. Soc.*, **88** [12] 3311-15 (2005).
- Y.-W. Kim, Y. J. Jin, Y. S. Chun, I. H. Song, and H. D. Kim, "A Simple Pressing Route to Closed-Cell Microcellular Ceramics," *Scripta Mater.*, **53** 921-25 (2005).
- I. H. Song, Y. M. Kim, H. D. Kim, and Y.-W. Kim, "Synthesis of Microcellular Cordierite Ceramics Derived from a Pre-ceramic Polymer," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **44** [5] 184-89 (2007).
- G. Suárez, L. B. Garrido, and E. F. Aglietti, "Sintering Kinetics of 8Y-Cubic Zirconia: Cation Diffusion Coefficient," *Materials Chemistry and Physics*, **110** [2-3] 370-75 (2008).
- S. Ramanathan and S. K. Roy, "Liquid Phase Sintering of Yttria-Stabilised Zirconia," *Interceram*, **4** 253-55 (1994).
- M. P. Albano, L. A. Genova, L. B. Garrido, K. Plucknett, "Processing of Porous Yttria-stabilized Zirconia by Tape-

- casting," *Ceramics International*, **34** [8] 1983-88 (2008).
11. I. K. Jun, Y. H. Koh, J. H. Song, S. H. Lee, and H. E. Kim, "Improved Compressive Strength of Reticulated Porous Zirconia Using Carbon Coated Polymeric Sponge As Novel Template," *Mater. Lett.*, **60** 2507-10 (2006).
12. A. K. Gain and B. T. Lee, "Microstructure Control of Continuously Porous  $t\text{-ZrO}_2$  Bodies Fabricated by Multi-Pass Extrusion Process," *Mater. Sci. & Eng. A*, **419** 269-75 (2006).
13. B. Nait-Ali, K. Haberko, H. Vesteghem, J. Absi, and D. S. Smith, "Thermal Conductivity of Highly Porous Zirconia," *J. Europ. Ceram. Soc.*, **26** 3567-74 (2006).
14. A. K. Gain, H. Y. Song, and B. T. Lee, "Microstructure and Mechanical Properties of Porous Yttria Stabilized Zirconia Ceramic Using Poly Methyl Methacrylate Powder," *Scripta Mater.*, **54** 2081-85 (2006).
15. S. H. Chae, J. H. Eom, Y.-W. Kim, I. H. Song, H. D. Kim, J. S. Bae, S. M. Na, and S. I. Kim, "Porosity Control of Porous Zirconia Ceramics," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **45** [1] 65-8 (2008).
16. S. H. Chae, Y.-W. Kim, I. H. Song, H. D. Kim, and J. S. Bae "Effect of Template Size Ratio on Porosity and Strength of Porous Zirconia Ceramics," *J. Kor. Ceram. Soc.*, **45** [9] 537-43 (2008).