



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0111687
(43) 공개일자 2008년12월24일

<p>(51) Int. Cl. <i>B01D 39/00</i> (2006.01) <i>B01D 53/00</i> (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2007-0059948</p> <p>(22) 출원일자 2007년06월19일 심사청구일자 없음</p>	<p>(71) 출원인 강릉대학교산학협력단 강릉시 강릉대학로 120</p> <p>(72) 발명자 박상엽 강원도 강릉시 지변동 산 1번지 강릉대학교 공학 2호관 208호 송준호 강원 강릉시 교1동 부영아파트 501동 1504호 (뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인 김원준, 장성구</p>
--	--

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴 및 그제조방법

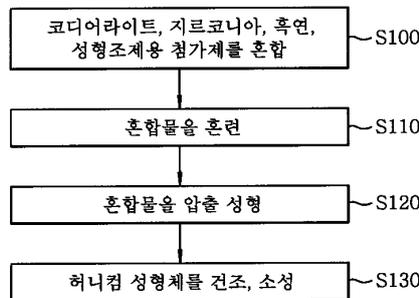
(57) 요약

본 발명은 다공성 코디어라이트(cordierite)/지르코니아(zirconia) 세라믹 허니컴(ceramic honeycomb) 및 그 제조방법에 관한 것이다.

본 발명의 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴은, 코디어라이트 분말에 기계적 특성의 증진을 위한 지르코니아 분말, 기공 형성을 위한 흑연 분말 및 성형조제용 첨가제를 혼합하여 혼합물을 만들고 상기 혼합물을 성형하여 허니컴 성형체를 제조한 후 상기 허니컴 성형체를 건조 및 소성하여 제조되는 것을 특징으로 한다.

따라서, 우수한 기공 특성, 기계적 특성 및 압출성형성을 갖는 세라믹 허니컴을 원활히 제조할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

방희곤

강원 강릉시 교1동 1747 부영아파트 604동 1101호

김성진

강원 강릉시 노암동 신화아파트 106동 802호

박성진

강원 영월군 영월읍 영흥1리 2반 1013-5번지

특허청구의 범위

청구항 1

코디어라이트 분말에 기계적 특성의 증진을 위한 지르코니아 분말, 기공 형성을 위한 흑연 분말 및 성형조제용 첨가제를 혼합하여 혼합물을 만들고 상기 혼합물을 성형하여 허니컴 성형체를 제조한 후 상기 허니컴 성형체를 건조 및 소성하여 제조되는 것을 특징으로 하는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 지르코니아 분말은,
1~5wt% 범위로 함유되는 것을 특징으로 하는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
상기 흑연 분말은,
5~30wt% 범위로 함유되는 것을 특징으로 하는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 지르코니아 분말은,
안정화 또는 부분 안정화 지르코니아이고, 입자 형태가 구상인 것을 특징으로 하는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴.

청구항 5

제 1 항 또는 제 4 항에 있어서,
상기 흑연 분말은,
입자 형태가 판상인 것을 특징으로 하는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴.

청구항 6

코디어라이트 분말에 기계적 특성의 증진을 위한 지르코니아 분말, 기공형성제인 흑연 분말 및 성형조제용 첨가제를 정량적으로 혼합하여 혼합물을 얻는 단계와,
상기 혼합물을 혼련하는 단계와,
상기 혼합물을 압출성형하여 허니컴 성형체를 제조하는 단계와,
상기 허니컴 성형체를 건조 및 소성하여 세라믹 허니컴을 완성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴 제조방법.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<10> 본 발명은 환경정화용 담체 필터(filter) 등에 사용 가능한 다공성 코디어라이트(cordierite)/지르코니아(zirconia) 세라믹 허니컴(ceramic honeycomb) 및 그 제조방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 우수한 기공

특성, 기계적 특성 및 압출성형성을 갖는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴 및 그 제조방법에 관한 것이다.

- <11> 일반적으로, 세라믹 허니컴(ceramic honeycomb)은 일종의 다공성 재료로서, 구조적으로 강도가 높고, 형태적으로 비표면적이 커서 활성을 높이며, 통기성이 좋아 압력손실을 낮추고, 단열효과가 우수하다는 등의 여러 장점을 가지고 있어, 자동차용 삼원 촉매 담체, 탈질용 촉매 담체, 용융금속용 필터 등으로 많이 사용되어 왔으며, 최근에는 경유 자동차의 매연제거용 필터를 비롯한 다양한 고온가스용 세라믹 필터의 재료로 사용되고 있다.
- <12> 촉매 담지 세라믹 필터는 먼지 여과와 촉매 기능을 동시에 수행할 수 있는 다공성 세라믹 지지체와 먼지 여과층 및 촉매를 결합시킨 구조물이라 할 수 있고, 이때 촉매 기능은 각종 유해가스와 반응하여 이를 제거할 수 있는 촉매를 다공성 지지체에 부착하여 얻어지며, 먼지 여과는 지지체 표면에 형성된 여과층의 미세 기공에 의한 물리적 제거기구에 의해 이루어진다.
- <13> 이와 같이 촉매 및 여과층의 지지체 역할을 수행하는 필터 지지체는 현재 환경 및 에너지 소재로 각광받고 있는 중요한 소재 중의 하나로서, 종래에는 고분자를 이용하여 제조하였으나 고분자 지지체는 제한된 사용환경, 즉 고온 및 강산 등의 조건에서는 사용하지 못한다는 한계성이 있어, 근래에는 내열성 및 내약품성 등에서 우수한 다공성 세라믹 허니컴을 이용하고 있다.
- <14> 세라믹 허니컴에 사용되는 재료로는 코디어라이트(cordierite), 스포듀멘(spodumene), 알루미나(alumina), Mullite(mullite), 실리콘 나이트라이드(Si₃N₄), 실리콘 카바이드(SiC) 등이 있다.
- <15> 이 중, 실리콘 카바이드의 경우에는 900℃ 이상에서 사용될 경우 산화되기 때문에 사용 가능한 최고 온도가 900℃로 다소 낮으나, 코디어라이트의 경우에는 1,000℃ 이상의 고온에서도 사용 가능하다는 장점 뿐만 아니라, 허니컴 성형공정에서 결정방향을 배열할 수 있어 열충격 저항성이 높고 열팽창율이 작다는 이점이 있다.
- <16> 그러나, 코디어라이트 세라믹은 일반적인 취성재료로서 충격에 의해 쉽게 파괴되기 때문에 기계적 특성이 매우 나쁘다는 단점이 있다.
- <17> 한편, 세라믹 허니컴의 제조방법으로는 다양한 것이 소개되고 시도되어 왔으나, 그 중에서 압출(extrusion)성형법이 가장 신뢰성 및 효율성 면에서 양호한 것으로 알려져 있으며, 사실상 압출성형법의 도입 후에 그 설계 및 질적인 면에서 상당한 진보가 이루어져 왔다.
- <18> 압출성형법을 통한 그 제조는 먼저 원료 분말들을 혼합하고 결합제 등의 성형조제용 첨가제를 혼합한 후, 압출성형하고, 이어서 건조 및 소성하는 것에 의해 이루어진다.
- <19> 그러나, 원활한 압출성형성을 확보하기 위해 윤활제, 가소제 등의 성형조제용 첨가제를 다량 사용하기 때문에, 제조비용을 상승시키고, 압출성형 공정을 복잡화시키며, 제조되는 세라믹 허니컴의 기계적 특성도 저하시키는 등의 문제점이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <20> 본 발명은 상기와 같은 제반 문제점을 해결하기 위하여 창안된 것으로서, 기계적 특성의 증진을 위해 지르코니아(zirconia)를 함유하며, 기공형성제로서 흑연(graphite)을 첨가함으로써, 우수한 기공 특성 및 기계적 특성을 가지며, 첨가된 지르코니아와 흑연이 압출성형시의 윤활 특성도 제고시켜 성형조제용 첨가제의 사용량도 줄일 수 있는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴 및 그 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- <21> 본 발명의 상기 목적과 여러가지 장점은 이 기술분야에 숙련된 사람들에 의해 첨부된 도면을 참조하여 아래에 기술되는 발명의 바람직한 실시예로부터 더욱 명확하게 될 것이다.

발명의 구성 및 작용

- <22> 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴은, 코디어라이트 분말에 기계적 특성의 증진을 위한 지르코니아 분말, 기공 형성을 위한 흑연 분말 및 성형조제용 첨가제를 혼합하여 혼합물을 만들고 상기 혼합물을 성형하여 허니컴 성형체를 제조한 후 상기 허니컴 성형체를 건조 및 소성하여 제조되는 것을 특징으로 한다.
- <23> 또한, 상술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴 제조방법은, 코디어라이트 분말에 기계적 특성의 증진을 위한 지르코니아 분말, 기공형성제인 흑연 분말 및 성형조제용 첨가제

를 정량적으로 혼합하여 혼합물을 얻는 단계와, 상기 혼합물을 혼련하는 단계와, 상기 혼합물을 압출성형하여 허니컴 성형체를 제조하는 단계와, 상기 허니컴 성형체를 건조 및 소성하여 세라믹 허니컴을 완성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- <24> 이하, 첨부된 도면을 참조로 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다.
- <25> 도 1은 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 제조방법을 보여주는 흐름도이다.
- <26> 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 제조방법은, 코디어라이트 분말에 기계적 특성의 증진을 위한 지르코니아 분말, 기공형성제인 흑연 분말 및 성형조제용 첨가제를 정량적으로 혼합하는 단계(100)와, 혼합물을 진공혼련 압출성형기를 이용하여 혼련하는 단계(110)와, 혼련된 혼합물을 진공혼련 압출성형기를 이용하여 일정속도로 압출성형하여 허니컴 성형체를 제조하는 단계(120)와, 제조된 허니컴 성형체를 건조 및 소성하여 세라믹 허니컴을 완성하는 단계(130)를 포함한다.
- <27> 먼저, 원료를 혼합하는 단계(100)에서는 무기물 분말들과 성형조제용 첨가제를 정량적으로 조합시킨 후, 골고루 혼합시키는 것이 중요하다.
- <28> 이때, 코디어라이트 분말로는 순도가 99%, 입자 크기가 수~수십 μ m의 것을 사용한다.
- <29> 지르코니아 분말은 고순도의 안정화 또는 부분 안정화 지르코니아를 사용하며, 입자가 구상형태로, 크기가 수 μ m의 것을 사용한다.
- <30> 기공형성제인 흑연 분말은 입자가 판상형태의 것을 사용하며, 해당 흑연 성분은 소성 열처리 과정을 거치면서 휘발되어 기공을 형성한다.
- <31> 성형조제용 첨가제는 윤활제, 가소제, 결합제 및 초순수 증류수 등을 포함한다.
- <32> 혼합물을 혼련하는 단계(110)에서는 혼합물 내의 성분들이 균일하게 분산되도록 하기 위해 여러 번 반복 실시하는 것이 좋으며, 평균적으로 3~5회 정도 실시하는 것이 좋다.
- <33> 압출성형하는 단계(120)에서는 혼합물의 점도 및 습도에 따라 압출속도를 조절하는 것이 중요하며, 그러나 미리 혼합 단계(100)에서 혼합물의 점도 및 습도를 최적 조건으로 맞춘 후에 압출성형을 실시하는 것이 더욱 바람직할 수 있다.
- <34> 건조 및 소성하는 단계(130)에서는 건조는 적절한 온도와 습도로 건조시키는 것이 균열 또는 단락현상을 방지할 수 있고, 소성은 1,250~1,450 $^{\circ}$ C 온도범위로 실시하는 것이 좋다.
- <35> < 실시예 >
- <36> 도 2의 표와 같은 여러 조성으로 각기 충분히 혼합한 다음, 혼합물을 진공혼련 압출기를 이용하여 3회 혼련하고, 이후 압출속도를 조절하면서 압출성형하였다. 그리고, 성형된 허니컴 성형체를 급격한 표면수분의 건조를 방지하기 위해 항온항습장치에서 온도 60 $^{\circ}$ C, 습도 40%로 12~24시간 동안 건조시켰다. 그 후, 건조가 완료된 성형체를 1,250~1,400 $^{\circ}$ C에서 2시간 동안 10 $^{\circ}$ C/min 승온속도로 공기 중에서 소성시킨 다음 로냉하였다.
- <37> 도 3은 1,250 $^{\circ}$ C부터 1,400 $^{\circ}$ C까지의 소성온도(sintering temperature)에서 열처리한 코디어라이트/지르코니아 복합체에 대한 X-선 회절 분석 결과를 보여주는 그래프이다.
- <38> 해당 그래프를 참조하면, 모든 소성온도에서 코디어라이트와 큐빅(cubic) 지르코니아만이 존재하는 것을 확인할 수 있으며, 또한 소성온도의 증가에 따라 결정화가 증진되는 것을 확인할 수 있다.
- <39> 통상적으로 소성에 따라 코디어라이트의 SiO₂와 지르코니아(ZrO₂)가 반응하여 ZrSiO₄을 생성할 것으로 예상하였으나, 실제로는 ZrSiO₄을 관찰할 수 없었고, 이는 안정한 지르코니아를 사용하였기 때문인 것으로 고려된다.
- <40> 도 4a와 도 4b는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 및 소성온도 변화에 따른 치밀화 거동 변화인 수축율(shrinkage)과 밀도(density) 변화를 각기 보여주는 그래프이다.
- <41> 그 결과를 살펴 보면, 소성온도 및 지르코니아 함량의 증가에 따라 수축율은 증가하는 경향을 나타낸다.
- <42> 그리고, 흑연을 첨가한 것이 첨가하지 않은 것보다 동일한 소성온도에서 낮은 수축율을 나타내며, 이는 소성 열처리에 따라 흑연 성분이 휘발되어 기공을 원활히 형성한 결과로 판단된다.
- <43> 또한, 모든 조건에서 수축율은 1,300 $^{\circ}$ C의 소성온도까지는 완만한 수축 거동을 보이다가 1,350 $^{\circ}$ C부터는 급격한

수축이 진행되는 것을 확인할 수 있다.

- <44> 나아가, 성형조제용 첨가제의 함량 변화에 따라서는 거의 수축율 및 밀도 변화가 없으며, 이는 첨가제는 압출성형시에 중요한 공정인자일 뿐 허니컴의 특성에는 거의 영향을 미치지 못한다는 것을 의미한다.
- <45> 도 5a와 도 5b는 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 및 소성온도 변화에 따른 기공율(porosity)과 압축강도(compressive strength), 그리고 조성 변화에 따른 기공 분포 결과를 보여주는 그래프이다.
- <46> 그 결과를 살펴 보면, 동일한 소성온도에서 지르코니아 함량이 증가함에 따라 기공율은 감소하고 압축강도는 증가하며, 반면 흑연 첨가에 따라서는 기공율은 증가하고 압축강도는 감소 내지 변화되지 않는 것을 확인할 수 있다.
- <47> 이로부터, 지르코니아의 첨가는 압축강도와 같은 기계적 특성을 큰 폭으로 향상시키며, 흑연의 첨가는 기공율을 큰 폭으로 향상시키는 것을 알 수 있다.
- <48> 통상적으로 순수한 코디어라이트 허니컴의 경우는 기공율 30~35%, 압축강도 7~11MPa 정도를 나타내는데, 본 발명에 따라 지르코니아 및 흑연을 첨가한 허니컴의 경우에는 기공율 46%, 압축강도 26MPa 정도의 매우 우수한 특성을 나타내었다.
- <49> 결과적으로, 지르코니아는 1~5wt% 범위로 함유시키는 것이 바람직하며, 만약 1wt% 미만으로 함유시키면 강도 특성이 너무 저하되어 바람직하지 않고, 반면 5wt%를 초과하면 강도 특성의 향상에는 도움이 되나 지르코니아가 고가인 점에서 제조원가를 너무 상승시키므로 바람직하지 않다.
- <50> 그리고, 흑연은 5~30wt% 범위로 함유시키는 것이 바람직하며, 만약 5wt% 미만으로 함유시키면 기공율이 너무 저하되어 바람직하지 않고, 반면 30wt%를 초과하면 밀도값이 너무 저하되어 허니컴 내의 셀들이 쉽게 붕괴될 수 있어 바람직하지 않다.
- <51> 덧붙여, 성형조제용 첨가제의 함량 변화는 기계적 특성 및 기공 특성에 거의 영향을 미치지 못하는 것을 확인할 수 있다.
- <52> 한편, 도 5b를 참조하면, 본 발명의 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴은 7~8 μ m 정도의 적절한 평균 기공크기를 가져 이 점에서도 우수한 결과를 나타내었다.
- <53> 도 6은 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 변화에 따른 압출압력(extrusion pressure) 변화를 보여주는 그래프이다.
- <54> 그 결과를 살펴 보면, 모든 조건에서 통상적인 바와 같이 압출속도(extrusion velocity)의 증가에 따라 압출압력이 증가되는 것을 확인할 수 있다.
- <55> 그리고, 무엇보다도 지르코니아와 흑연 함유량이 증가됨에 따라 압출압력이 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 구상의 지르코니아 입자와 판상의 흑연 입자들이 압출성형시에 코디어라이트 입자들간의 마찰, 항복강도 및 전단응력을 감소시킴으로써 혼합물의 유동성 즉, 유향 특성을 크게 증가시켰기 때문인 것으로 유추된다.
- <56> 즉, 지르코니아와 흑연을 첨가하면 우수한 기공 특성 및 기계적 특성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 부가적으로 압출성형성도 증진시켜 그만큼 성형조제용 첨가제의 사용량을 줄일 수 있는 것으로 결론지을 수 있다.
- <57> 도 7은 본 발명에 따라 1,300 $^{\circ}$ C의 소성온도를 통해 제조된 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 변화에 따른 열팽창계수를 분석한 표이다.
- <58> 통상 지르코니아는 높은 열팽창계수를 가지고, 코디어라이트는 낮은 열팽창계수를 가지며, 본 발명에서 사용한 코디어라이트의 경우는 그 열팽창계수가 $2.0 \times 10^{-6} / ^{\circ}$ C임을 감안할 때, 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 열팽창계수는 거의 변화 없이 조금 저하되었으며, 이는 저열팽창성인 코디어라이트의 기지상에 분산된 지르코니아 입자의 구속으로 인해 열팽창계수가 조금 저하된 것으로 판단된다.
- <59> 도 8은 본 발명에 따라 1,300 $^{\circ}$ C의 소성온도를 통해 제조된 C-7A10G2Z 조성의 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴에 대한 주사전자현미경(SEM) 사진으로, 허니컴 프레임에 기공들이 매우 균일하게 분산된 것을 확인할 수 있다.
- <60> 나아가, 도 9는 본 발명에 따라 최적화된 공정조건으로 제조된 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴

에 대한 시제품 사진을 나타내며, 소성 전에는 첨가된 흑연 성분으로 인해 검은색을 띠는데, 소성과정을 거치면서 흑연 성분이 휘발되어 변색되는 것을 확인할 수 있다.

<61> 이로써, 본 발명에 따르면, 코디어라이트/지르코니아와 흑연을 적정량 첨가함으로써, 우수한 기공 특성, 기계적 특성 및 압출성형성을 확보할 수 있게 된다.

<62> 이상, 상기 내용은 본 발명의 바람직한 일 실시예를 단지 예시한 것으로 본 발명의 당업자는 본 발명의 요지를 변경시킴이 없이 본 발명에 대한 수정과 변경을 가할 수 있음을 인지해야 한다.

발명의 효과

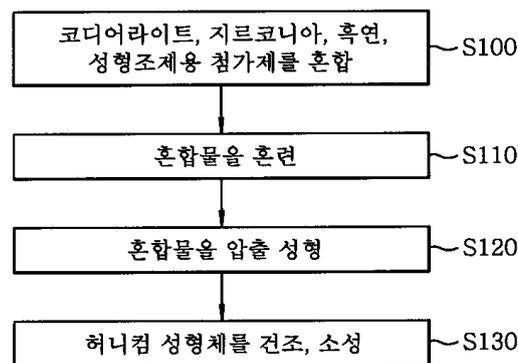
<63> 본 발명에 따르면, 우수한 기공 특성, 기계적 특성 및 압출성형성을 갖는 세라믹 허니컴을 원활히 제조할 수 있는 효과가 달성될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- <1> 도 1은 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 제조방법을 보여주는 흐름도,
- <2> 도 2는 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 변화를 보여주는 표,
- <3> 도 3은 본 발명에 따른 코디어라이트/지르코니아 복합체의 소결온도 변화에 따른 X-선 회절 분석 결과를 보여주는 그래프,
- <4> 도 4a와 도 4b는 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 및 소성온도 변화에 따른 치밀화 거동 변화를 보여주는 그래프,
- <5> 도 5a와 도 5b는 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 및 소성온도 변화에 따른 기공율 및 압축강도, 그리고 조성 변화에 따른 기공 분포를 보여주는 그래프,
- <6> 도 6은 본 발명에 따른 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 및 압출속도 변화에 따른 압출압력의 변화를 보여주는 그래프,
- <7> 도 7은 본 발명에 따라 1,300℃의 소성온도를 통해 제조된 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴의 조성 변화에 따른 열팽창계수를 보여주는 표,
- <8> 도 8은 본 발명에 따라 1,300℃의 소성온도를 통해 제조된 C-7A10G2Z 조성의 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴에 대한 주사전자현미경(SEM) 사진,
- <9> 도 9는 본 발명에 따라 최적화된 공정조건으로 제조된 다공성 코디어라이트/지르코니아 세라믹 허니컴에 대한 시제품 사진이다.

도면

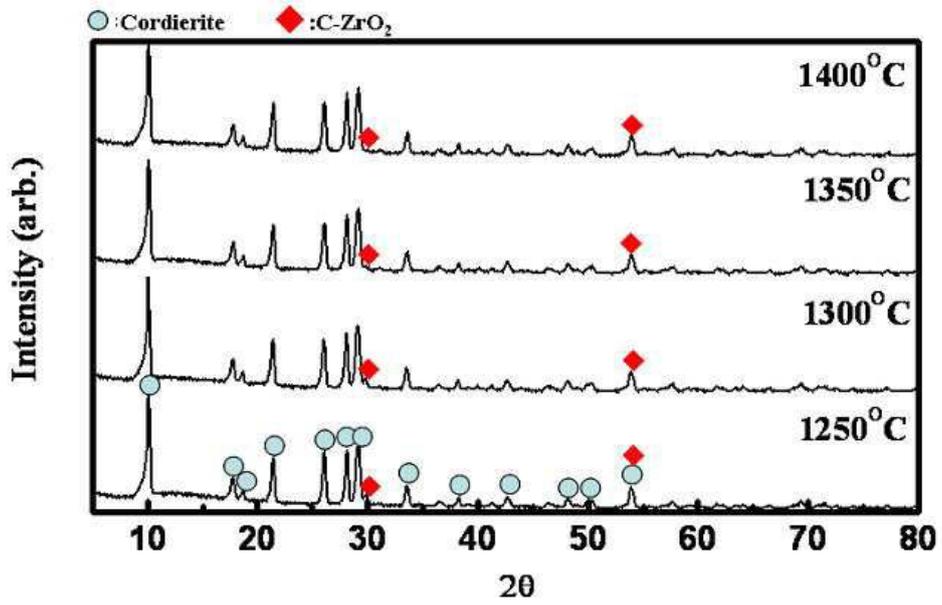
도면1



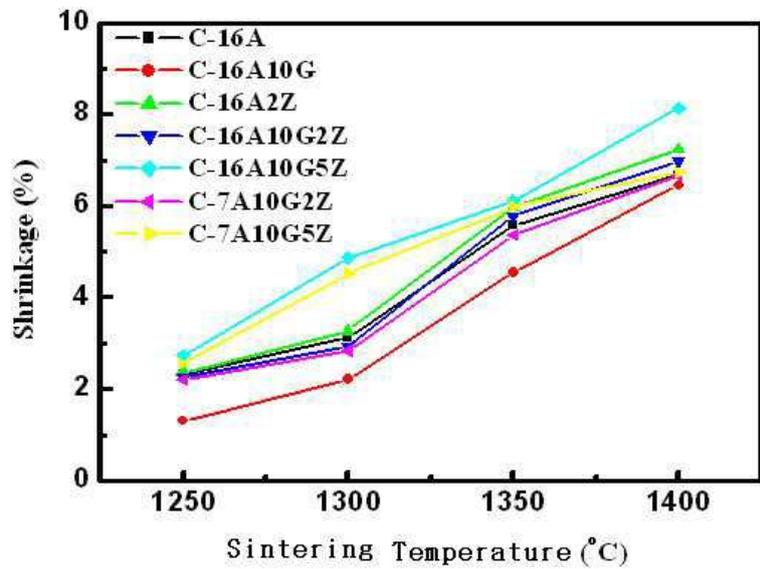
도면2

Notation	Composition
C-16A	Cordierite + 16wt% Additives
C-16A10G	Cordierite + 16wt% Additives + 10wt% Graphite
C-16A2Z	Cordierite + 16wt% Additives + 2wt% ZrO ₂
C-16A10G2Z	Cordierite + 16wt% Additives + 10wt% Graphite + 2wt% ZrO ₂
C-16A10G5Z	Cordierite + 16wt% Additives + 10wt% Graphite + 5wt% ZrO ₂
C-7A10G2Z	Cordierite + 7wt% Additives + 10wt% Graphite + 2wt% ZrO ₂
C-7A10G5Z	Cordierite + 7wt% Additives + 10wt% Graphite + 5wt% ZrO ₂

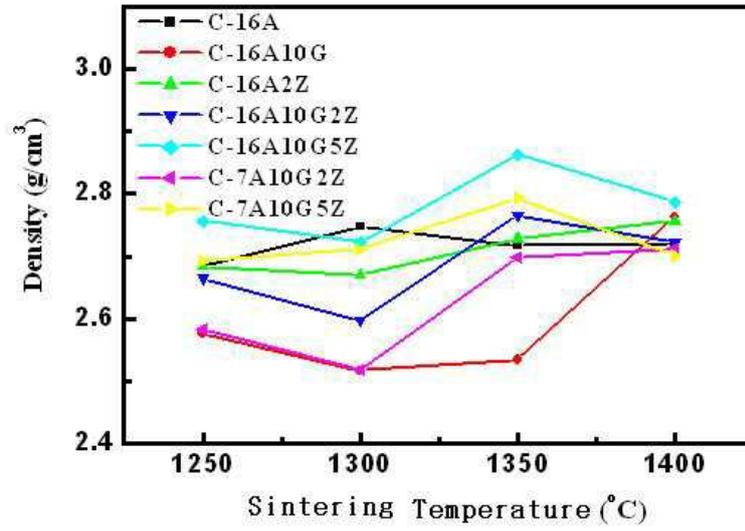
도면3



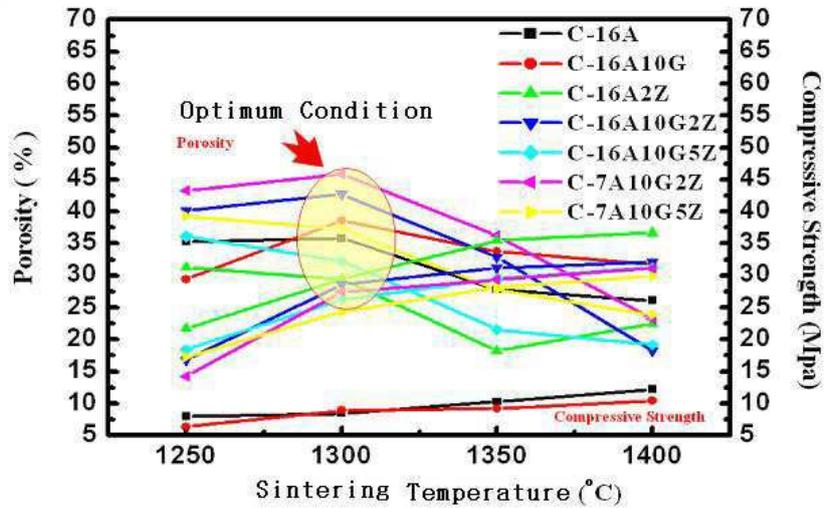
도면4a



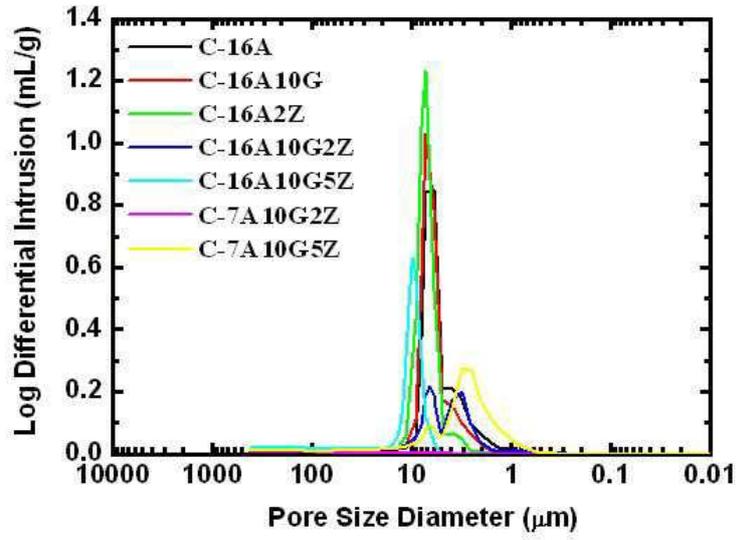
도면4b



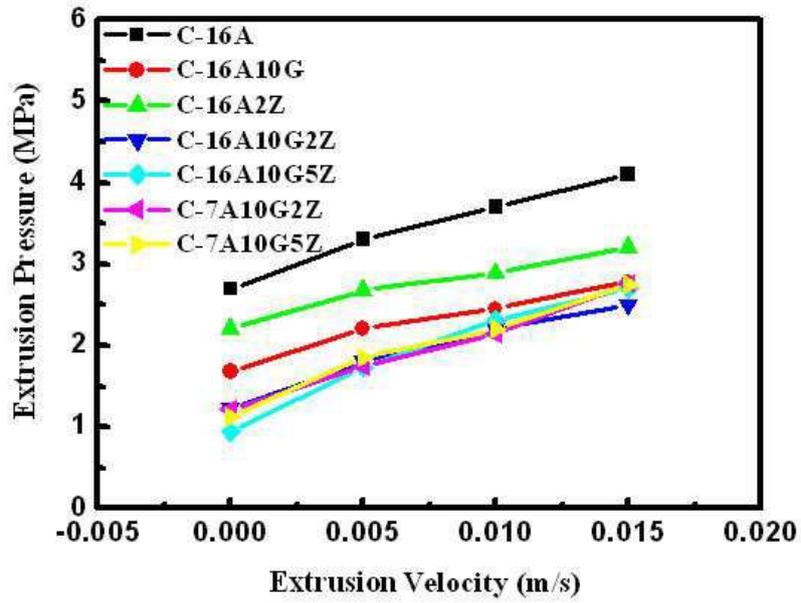
도면5a



도면5b



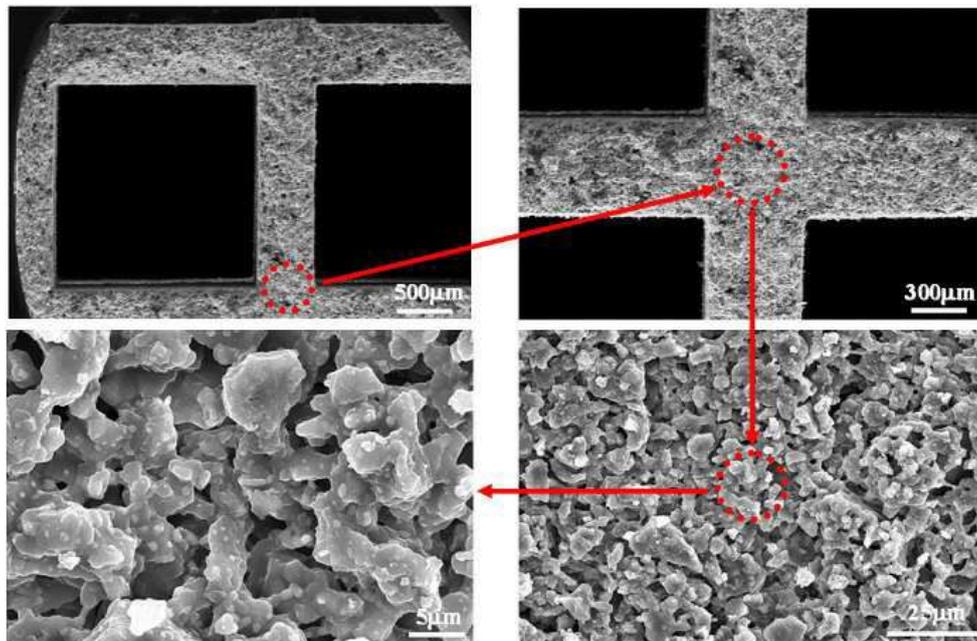
도면6



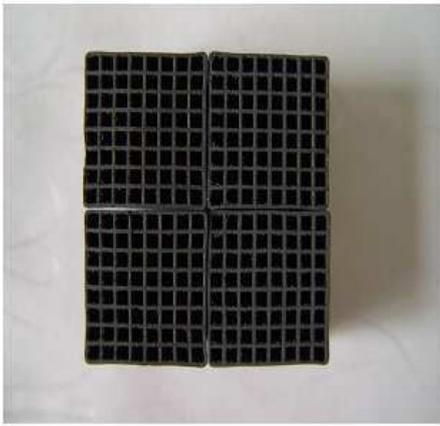
도면7

Group (Composition)	Linear Thermal Expansion Coff.($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Linear Thermal Expansion Coff.($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
	20~500 $^{\circ}\text{C}$	20~1000 $^{\circ}\text{C}$
C-16A	1.93	2.08
C-16A10G	1.75	2.28
C-16A2Z	1.62	2.14
C-16A10G2Z	1.69	2.21
C-16A10G5Z	1.68	2.32
C-7A10G2Z	1.71	2.35
C-7A10G5Z	1.73	2.49

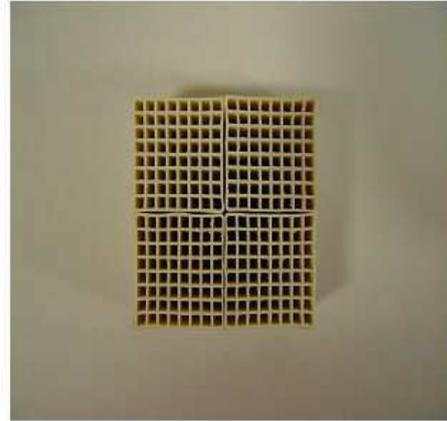
도면8



도면9



소성전



소성후