

파인 세라믹스 소결체의 밀도 및 겉 기공을 측정 방법 표준화

Fine ceramics(Advanced ceramics, Advanced technical ceramics)-
Determination of density and apparent porosity

광전재료과 공업연구원 조덕호
02) 509-7231dhcho@ats.go.kr

1. 서론

파인세라믹스 소결체의 밀도는 소결체의 물성에 직접적으로 영향을 미치는 재료의 특성이며, 제조자와 사용자에게는 제품의 거래 및 소결 프로세스에 있어서 중요한 관리항목 중의 하나이다. 또 기공율은 소결체의 구조에 관한 정보를 얻을 수 있기 때문에 여러 가지 재료의 물성이나 소결 거동을 비교할 때 매우 중요한 요소가 된다. 그러나 아직 파인세라믹스 소결체에 관한 국내 규격이 없으며, 1999년부터 ISO/TC 206에서 파인 세라믹스의 밀도 및 기공율에 대한 국제표준화가 추진되어 2002년까지 규격 제정을 할 예정이다. 제정을 추진하고 있는 ISO 국제규격에 부합하는 표준화 연구를 통하여 파인 세라믹스 소결체의 밀도 및 기공율 측정방법에 대한 KS 규격을 제정하고자 하였다.

이에 본 보고서에서는 현재 제정을 추진하고 있는 ISO 국제규격에 부합하는 파인세라믹스 소결체의 밀도 및 기공율 측정방법을 연구하였으며 올바른 측정을 위한 시험 조건을 규명하고 표준화를 위해 상호 비교 평가(Round Robin Test)를 수행하여 KS 규격(안)을 제정하였다.

2. 문헌 연구

2.1 세계 각국의 관련 규격 비교

소결체의 밀도는 소결체의 물성에 직접적으로 관

련된 특성이며, 파인세라믹스 메이커나 사용자에게 있어 제품의 거래 및 소결 프로세스의 중요한 관리항목의 하나이다. 또, 기공율은 재료 밀도에 의존하지 않는 소결체 구조의 정보를 얻을 수 있기 때문에 여러 가지 재료에 대한 물성이나 소결 거동을 비교할 때 매우 중요한 특성이다. 그러나 소결체의 밀도와 기공율에 관한 파인세라믹스에 대한 규격은 전 세계적으로 EN 623-2 (1993) 및 JIS R 1634 (1997)의 두개만이 제정되어 있고 국내 규격은 없으며, 1999년부터 ISO/TC 206에서 파인세라믹스 소결체의 밀도 및 기공율에 대한 국제표준화가 추진되어 2002년까지 규격을 제정할 예정이다.

먼저, 관련규격인 EN 623-2 (1993), JIS R1634 (1997) 및 ISO/WD 18754 (2000)의 중요항목 대조표를 표 2-1에 나타내었다.

3. 시험 장치 및 방법

3.1 시험에 사용하는 장치 및 기구

- 1) 건조 오븐 : 110 °C ± 5 °C 를 조절할 수 있는 것
- 2) 전자저울 : 0.1 mg 정확도를 가지는 것
- 3) 포수장치 : 포수장치는 다음과 같은 것이다
 - ① 끓임법의 경우는 물의 비점이 유지될 수 있는 장치
 - ② 진공법의 경우는 25 kPa 이하로 유지할 수 있는 장치

표 2-1

밀도 측정방법의 각국 규격 비교

	JIS: (R1634)	ISO (WD18754)	CEN (EN 623-2)	고찰
적용 범위	파인세라믹스 (겔보기기공율 10% 미만)	파인세라믹스 (겔보기 기공율이 10% 미만)	Advanced Ceramics (겔보기기공율 1% 이상, 평균기공경이 200 μ m 이하)	기공율의 적용범위 다름
장치 · 기기	· 건조기 : 110 \pm 5 $^{\circ}$ C · 저울의 정확도 : 0.1 mg · 지지줄 : 직경 0.25mm · 진공능력 : \leq 2.0 kPa	· 건조기: 110 \pm 5 $^{\circ}$ C · 저울의 정확도 : 10g \leq 0.1 mg 10g \geq 0.001 % · 지지줄 : 직경 0.25 mm · 진공능력 : \leq 2.5 kPa	· 건조기: 110 \pm 5 $^{\circ}$ C · 저울의 정확도: 0.0001g(1g \leq 시료중량 $<$ 2g) 0.001g(2g \leq 시료중량 $<$ 30g) 0.01g(30g \leq 시료중량) · 지지줄 : 직경 0.15 mm · 진공능력 : \leq 2500 Pa	저울의 정확도, 지지줄의 지름 및 진공능력이 다름
시험편	시험편 체적 \geq 0.4cm ³	시험편 체적 \geq 0.4cm ³	질량 \geq 1g, 체적 \geq 1cm ³	시험편의 최소질량 및 체적이 다름
적용액	· 끓임법, 진공법 · 포수액 : 증류수, 이온교환수, 케로젠	· 끓임법, 진공법 · 포수액 : 증류수, 이온교환수, 유기액체	· 진공법, 기하학적 체적 밀도 측정법 · 포수액 : 계면활성제(0.01%보다 작은 농도)를 포함한 증류수, 유기액체	포수액의 종류 및 측정 방법이 다름
결과표기	· 밀도: 소수점 이하 2자리(g/cm ³) · 기공율: 소수점 이하 1자리(%)	· 밀도: 소수점 이하 2자리(kg/m ³) · 기공율: 소수점 이하 1자리(%)	· 밀도: 유효숫자 3자리(Mg/m ³ , kg/m ³) · 기공율: 0.1%까지(%)	밀도 표현 및 보정이 다름

- 4) 온도계 : KS B 5314에 규정된 1 $^{\circ}$ C의 정확도를 가진 것
- 5) 포수액 : 증류수, 수돗물, 에탄올, 계면활성제를 포함한 증류수
- 6) 지지대 : 수중에서 시험편을 지지하는 것
- 7) 지지줄 : 깨끗하고 탈지된 지름 1.4 mm, 0.5 mm, 0.35 mm, 0.25 mm인 스테인리스 줄
- 8) 시험편 : 소결 밀도 97 %, 95.25 %, 88.24 %, 79.7 %인 알루미나 소결체

3.2 시험절차

3.2.1 건조 시험편의 질량

시험편을 110 \pm 5 $^{\circ}$ C의 건조 오븐 중에서 질량 변화가 없을 때까지 건조한다. 즉 두 번의 연속된 질량 측정은 처음 측정 후 건조 오븐에서 최소한 2시간 후에 질량변화가 없을 때까지 반복 측정한다. 각각의 질량을 측정하기 전에 시험편이 상온에 도달할 때까지 데시케이터에 넣어둔다. 데시케이터에서 꺼낸 후 가능한 빨리 질량을 측정한다. 이때의 질량을 건조질량

m_1 로 한다. 끓임법의 경우, 끓이는 중에 시험편이 파괴될 수 있으므로 포수 시험편의 수중질량이나 포수 시험편의 질량을 측정할 후 건조 시험편의 질량을 측정한다.

3.2.2 포수 방법

3.2.2.1 끓임법

끓임법의 경우는 건조질량을 측정할 후, 시험편을 끓임 장치의 수면 하에 넣고 각각 30분, 1시간, 3시간 5시간씩 끓이고 실온까지 냉각하여 이 것을 포수 시험편으로 한다. 이 경우, 물을 가하여 냉각시킬 수도 있다.

3.2.2.1 진공법

시험편을 진공 용기에 넣고 열린 기공 속의 공기를 충분히 제거하기 위하여 25 kPa 이하의 진공 중에서 각각 10분, 15분, 30분, 45분간 유지한다. 포수액을 주입하여 시험편이 완전히 잠기게 한 후, 진공을 점차적으로 서서히 대기압 상태로 한 다음에 시험편을 포수액 속에서 30분간 방치한다.

3.2.3 포수 시험편의 수중질량

시험편을 얇은 지지대로 포수액 속에 매단 지지대에 넣는다. 완전히 포수된 시험편의 질량을 측정한다. 지지대에서 시험편을 제거하고 시험편이 있을 때와 동일한 깊이의 수중에 잠긴 지지대만의 질량을 측정한다. 시험편이 있을 때의 질량에서 수중에 지지대 질량을 뺀다. 이 것을 포수 시험편의 수중 질량, m_2 로 한다. 이 때 온도계를 사용하여 포수액의 온도를 측정한다.

3.2.4 포수 시험편의 질량

시험편을 수중에서 꺼내어 젖은 거즈로 표면의 포수액을 닦아 내고, 질량을 측정하여 시험편의 포수질량 m_3 으로 한다. 거즈는 충분히 포수액을 함유시킨 후, 시험편 표면의 물방울만을 닦을 정도로 짜서 사용한다.

3.2.5 포수액의 밀도

포수액의 온도에 따른 밀도 ρ_1 , 은 KS M 2002에 규정하는 방법을 사용하여 $0.0001 (g/cm^3)$ 까지 측정한다.

3.2.6 측정의 반복

같은 시험편에 대하여 두 번씩 측정한다.

3.3 결과 분석

3.3.1 겉보기 밀도

겉보기 밀도는 다음 식에 따라 소수점 이하 2자리까지 계산한다.

$$\rho_a = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_1 \quad (1)$$

여기서, ρ_a 겉보기 밀도 (g/cm^3)

m_1 건조 시험편의 질량 (g)

m_2 포수 시험편의 수중질량 (g)

ρ_1 포수액의 온도에 따른 밀도 (g/cm^3)

3.3.2 부피 밀도

부피 밀도는 다음 식에 따라 소수점 이하 2자리까지 계산한다.

$$\rho_v = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \times \rho_1 \quad (2)$$

- 여기서, ρ_b 부피 밀도 (g/cm^3)
- m_1 건조 시험편의 질량 (g)
- m_2 포수 시험편의 수중질량 (g)
- m_3 포수 시험편의 질량 (g)
- ρ_1 포수액의 온도에 따른 밀도 (g/cm^3)

3.3.3 결보기 기공률

결보기 기공률은 다음 식에 따라 소수점 이하 1자리까지 계산한다.

$$\pi_a = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \times 100 \quad (3)$$

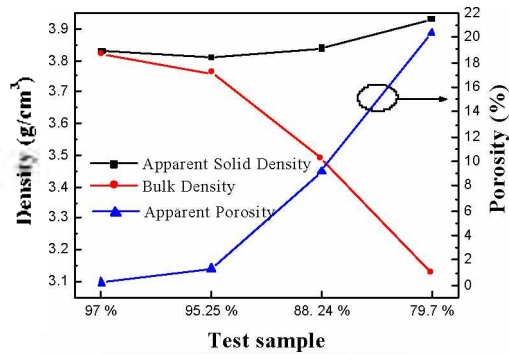
- 여기서, π_a 결보기 기공률 (%)
- m_1 건조 시험편의 질량 (g)
- m_2 포수 시험편의 수중질량 (g)
- m_3 포수 시험편의 질량 (g)

4. 결과 및 고찰

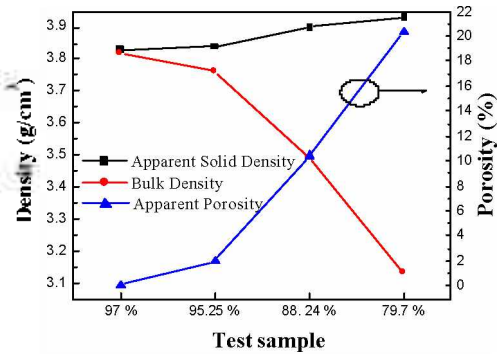
4.1. 시험편 기공률

파인세라믹스 소결체에는 구조재료, 전자재료 외에 환경재료, 바이오 세라믹스, 다공재료라고 불리는 것 등, 광범위한 재료가 존재한다. 그 중에 필터, 바이오 세라믹스 촉매담체 같은 복잡하고 다량의 기공을 갖는 것도 있다. 따라서 본 시험방법이 어느 정도의 기공률을 갖는 파인세라믹스 재료에 합당한지, 그 적용 범위를 조사하기 위하여 알루미나를 시험편으로 하여 기공률에 따른 밀도의 변화 및 영향을 조사하였다. 그림 4-1에 소결 밀도가 각각 97%, 95.25%, 88.24%, 79.7%인 알루미나 시험편의 밀도 및 기공률의 변화를 나타내었다. 소결 밀도가 감소할수록 결보기 기공률과 결보기 밀도는 증가하고 부피 밀도는 감소

하는 것을 알 수 있다. 이는 시험편 내에 열린 기공이 소결 밀도 감소에 따라 상대적으로 증가하여 나타난 결과이다.



(a) 액침법



(b) 진공법



그림 4-1. 시험편 소결 밀도에 따른 밀도 및 기공률

한편 결보기 기공률 측정 및 부피 밀도 측정에는 포수 시료를 닦아내는 과정에서 불가피하게 인위적 오차가 발생한다. 따라서, 측정자에 따른 측정오차를 알아보기 위해 10명의 서로 다른 측정자가 동일한 방법으로 실험한 오차의 결과를 그림 4-2에 나타내었

다. 겉보기 기공율이 10 %미만인 경우, 겉보기 기공율에 따른 개인간 오차가 0.2351 %, 0.7357 %, 3.066 %로 낮은 값을 나타내었으나, 10 %이상인 경우 20.3964 %로 매우 큰 값을 나타내어 신뢰성이 떨어지는 결과를 얻었다. 따라서 기공율이 10 % 이상인 다공성 파인세라믹스 재료에 대해서는 기공을 측정 방법을 별도의 규격으로 검토할 필요가 있다고 하겠다.

또한 그림 4-1에서와 같이 포수 방법으로 각각 흡입법과 진공법을 사용하여 얻어진 측정치의 평균에 대하여 평가한 결과, 겉보기 기공율 10 %미만의 시험편에서 밀도와 겉보기 기공율의 값에 별다른 차이가 없음을 확인되었기 때문에 두 방법 모두 포수방법으로 사용하여도 문제가 없을 것으로 생각된다.

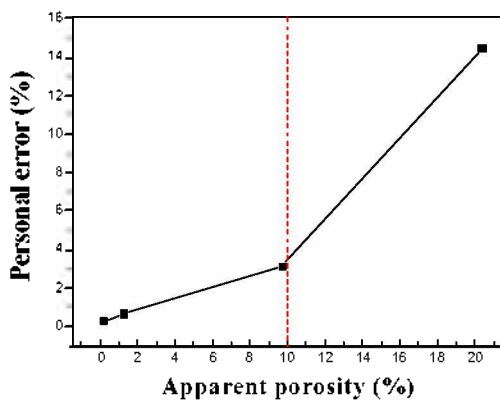


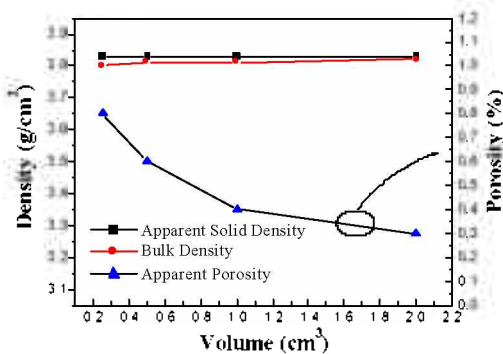
그림 4-2. 겉보기 기공율에 따른 개인간 오차

4.2 시험편 체적

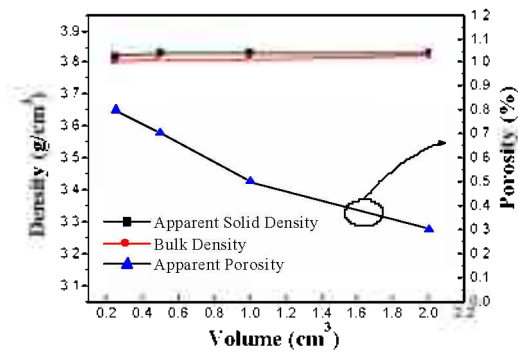
파인세라믹스 소결체는 그 형상이 전자재료와 같은 소형에서부터 구조재료와 같은 대형까지 매우 다양하다. 따라서 시험편 체적이 다른 알루미나 소결체를 대상으로 체적에 따른 밀도의 변화와 영향을 조사하였

다. 소결 밀도가 97 %인 알루미나 소결체에서 절취하여 시험편으로 사용하였다. 그림 4-3에 체적이 4cm^3 , 2cm^3 , 1cm^3 , 0.5cm^3 , 0.25cm^3 인 알루미나 시험편의 밀도 및 기공율의 변화를 나타내었다. 시험편의 체적이 감소할수록 겉보기 기공율과 겉보기 밀도는 증가하고 부피 밀도는 감소하는 것을 알 수 있었다. 이는 시험편의 체적이 작아지면서 체적당 표면적이 증가하여 열린 기공이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 마찬가지로 시험편의 형상(구단적이냐 판상이냐 침상이냐)에 따른 변화도 같은 원인으로 밀도 및 기공율 변화가 나타날 수 있으므로 다시 검토할 필요가 있다고 하겠다.

체적이 작은 경우, 측정 온도, 포수액의 공기 포함, 포수액 속에서의 시험편위치의 일관성에 따른 오차에 많은 영향을 받는다. 따라서 시험편의 체적은 0.4cm^3 이상으로 하고 그 이하, 예를 들면 전자재료와 같은 소형의 경우에는 여러 개를 합쳐서 측정하는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 또 측정용 시험편은 흙이거나 진공흡입에 의해 분(粉)이나 립(粒)이 떨어지거나, 표면의 영향에 의해 측정오차가 생기기 때문에, 미리 먼지 및 결함이 생기기 쉬운 입자를 제거하고 심한 요철이 없는 시료를 사용하는 것이 바람직하다.



(a) 포입법



(b) 진공법



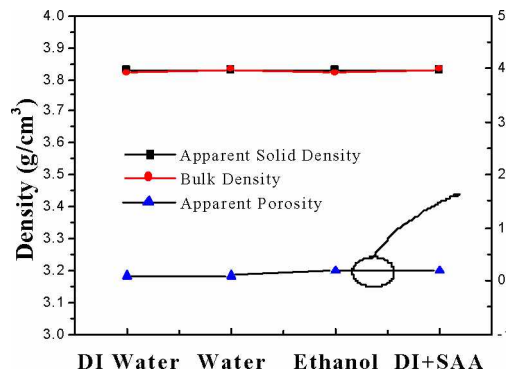
그림 4-3 시험편 제작에 따른 밀도 및 기공율

4.3 포수액 종류

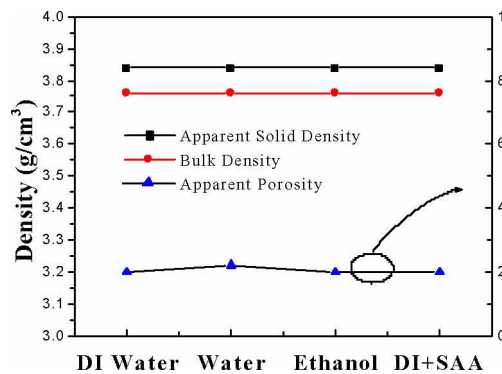
일반적으로 끓임법에서는 끓임에 의해 용액이 변질될 우려가 있기 때문에 포수액으로 증류수를 사용한다. 그러나 진공법에서는 여러 용액을 포수액으로 사용할 수 있으므로, 적합한 포수액을 조사하기 위하여 포수액에 따른 밀도의 변화 및 영향을 조사하였다. 물에 민감한 재료의 경우, 적당한 유기 액체를 사용해야 하므로, 유기 포수액은 휘발성이 상대적으로 낮고 비독성인 에탄올을 사용하였다. 또한 표면장력을 줄이기 위해 계면활성제 0.005% 첨가한 증류수를 사용하였으며 주위에서 쉽게 구할 수 있는 수돗물도 포함하여 실험하였다.

그림 4-4는 알루미늄 시험편을 진공법으로 포수액에 따른 밀도 및 겉보기 기공율의 변화를 나타낸 것이다. 소결 밀도 97%인 알루미늄 시험편에 대해 일반적인 수돗물과 증류수, 에탄올, 계면활성제가 0.005% 들어간 증류수로 얻어진 측정치의 평균이 이렇다 할 차이가 없음을 확인되었다. 또한 소결 밀도가 95.25%, 88.24%로 겉보기 기공율이 증가하여도 차

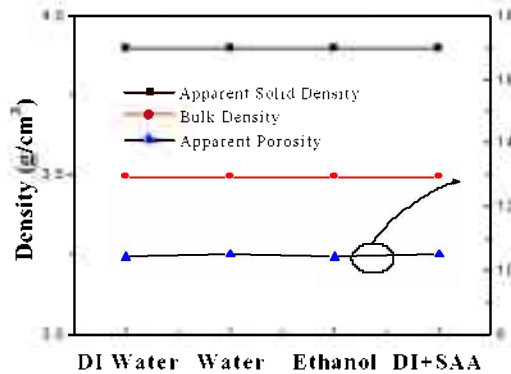
이를 발견할 수 없어 모두를 포수액으로 사용하여도 문제가 없는 것으로 판단된다.



(a) 소결 밀도 97 %



(b) 소결 밀도 95.25 %



(c) 소결 밀도 88.24 %



그림 4-4 포수액 종류에 따른 밀도 및 기공율

4.4 지지줄의 지름

측정장치는 시험편을 지지하는 지지대와 지지줄로 구성되었다. 이 중 지지대는 전체가 용액중에 담기기 때문에 측정에 영향이 없다. 그러나 지지줄의 경우 일부가 대기중, 일부가 포수액 중에 담긴 상태에 있기 때문에 포수액에 의한 표면장력의 영향이 생긴다. 따라서 굵기 1.4 mm, 0.5 mm, 0.35 mm, 0.25 mm, 0.12 mm, 0.07 mm의 지지줄을 사용하여 포수 시험편의 수중 질량을 측정하여 지지줄 지름에 따른 계측 오차를 조사하였다. 그림 4-5는 16 °C 에서 지지줄의 지름에 따른 소결 밀도 97 % 알루미늄 포수 시험편의 수중 질량의 변화를 나타낸 것이다. 지지줄의 지름이 줄어들며 따라 질량이 증가하였으나 0.25 mm, 0.12 mm, 0.07 mm에서는 일정한 값을 나타내었다. 이러한 결과는 지지줄 지름이 0.25 mm 이하에서는 표면장력에 의한 영향이 최소화된 것으로 판단된다. 또한 지지줄의 지름 0.25 mm 이하에서는 지름 1.4 mm와 약 10 mg의 수중 질량의 차이가 나는 결과를 얻어 표면장력의 영향을 완전히 무시할 수 없었다.

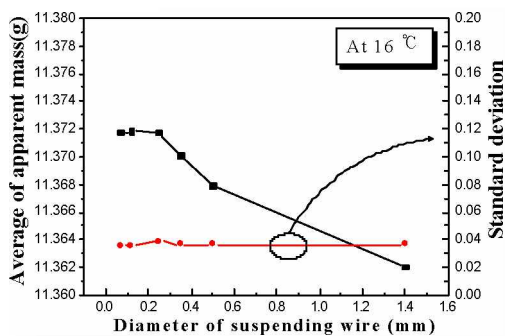
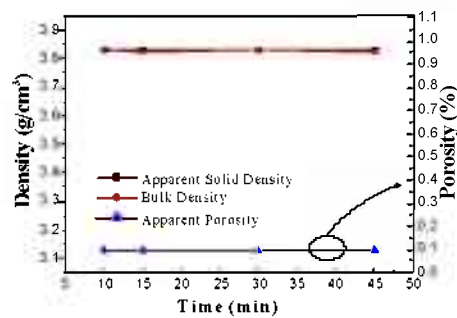


그림 4-5 지지줄 지름에 따른 시험편 수중 질량 및 표준편차

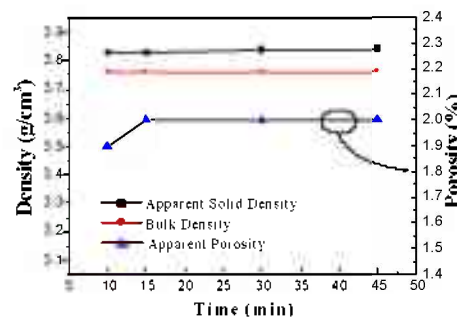
4.5 진공흡입 및 유지 시간

시험편을 진공 용기에 넣어 열린 기공 속의 공기를 충분히 제거하기 위하여 필요한 진공흡입 시간을 구명하기 위하여 알루미늄 시험편을 사용하여 진공흡입 시간을 10분, 15분, 30분 및 45분으로 변화시켜 측정하였다.

그림 4-6은 소결 밀도 97 %, 95.25 %인 알루미늄 시험편의 진공흡입 시간에 따른 밀도 및 겉보기 기공을 변화를 나타내었다. 소결 밀도 97 %인 경우 흡입 시간에 관계없이 밀도 및 겉보기 기공율의 변화는 없었으나 95 %인 경우 진공 흡입시간이 15분 이상이어야 일정한 밀도 및 겉보기 기공율을 보였다. 따라서 시험편 내부의 열린 기공속의 공기를 충분히 제거하기 위해서는 15분 이상의 진공흡입 시간이 필요함을 알 수 있었다.



(a) 소결 밀도 97 %



(b) 소결 밀도 95.25 %

그림 4-6 진공 흡입시간에 따른 밀도 및 기공율

또한 진공흡입 후 포수액을 주입 중에는 진공 펌프는 계속 작동되나 주입이 완료되면 작동을 멈추는 경우와 30분간 유지한 경우의 차이를 조사하였다. 소결 밀도 97%인 알루미늄 시험편의 경우 15분 진공 흡입 후 펌프의 작동을 멈춘 경우와 진공 흡입 후 펌프를 30분간 유지시킨 경우 둘 다 동일한 결과(표 4-1)를 얻었다.

표 4-1
진공유지 시간에 따른 밀도 및 기공율

흡입시간/ 유지시간	ρ_a (g/cm ³)	ρ_b (g/cm ³)	π_a (%)
15/0	3.83	3.82	0.1
15/30	3.83	3.82	0.1

4.6 풀임 시간

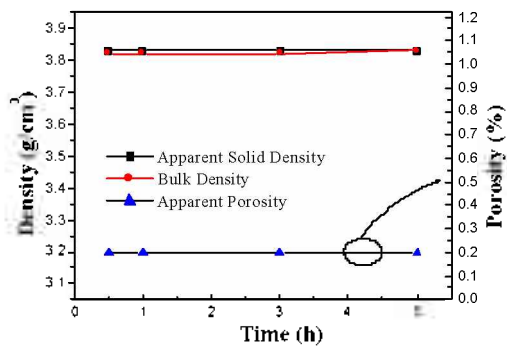
시험편을 포수액에 담가 열린 기공 속을 포수액으로 치환하기 위하여 풀임고 실온까지 냉각한다.

이때 열린 기공 속을 포수액으로 충분히 치환시킬 수 있는 풀임 시간을 조사하기 위하여 알루미늄 시험편을 사용하여 풀임 시간을 30분, 1시간, 3시간, 5시간으로 변화시켜 시험하였다.

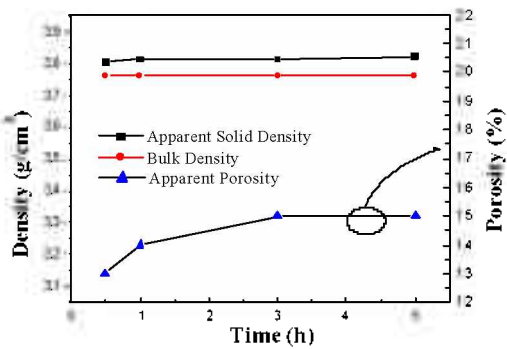
그림 4-7은 소결 밀도 97%, 95.25%인 알루미늄 시험편의 풀임 시간에 따른 밀도 및 겉보기 기공율 변화를 나타낸 것이다.

소결 밀도 97%인 경우 풀임 시간에 관계없이 밀도 및 겉보기 기공율의 변화가 없었으나 95%인 경우 진공 풀임 시간이 3시간 이상인 경우 일정한 밀도 및 기공율을 보였다.

따라서 풀임법의 경우 포수액으로 충분히 치환시킬 수 있는 풀임 시간은 3시간인 것으로 판단된다.



(a) 소결 밀도 97%



(b) 소결 밀도 95.25%

그림 4-7 풀임 시간에 따른 밀도 및 기공율

4.7 상호비교평가 결과

KS/WVD 0008 (파인세라믹스 소결체의 밀도 및 기공 측정방법) 작업안을 근거로 하여 파인세라믹스 생산업체, 시험 연구기관 및 대학교를 합한 15기관에서 상호비교평가를 실시하였다. 겉보기 밀도, 부피 밀도, 겉보기 기공율의 상호비교평가의 평균값은 기술 표준원의 결과와 비교한 결과, 밀도 표현 단위의 최소값인 0.01 g/cm³의 측정 오차가 발생하였으며 겉보기 기공율은 겉보기 기공율의 표현단위의 최소값인 0.1%의 측정 오차가 발생하여 측정방법이 상호 신뢰할 만한 수준인 것으로 판단된다.

5. 결 론

1) 시험편의 기공률

겔보기 기공률이 10 %미만인 경우, 겔보기 기공률에 따른 개인간 오차가 0.2351 %, 0.7357 %, 3.088 %로 낮은 값을 나타내었으나, 10 %이상인 경우 20.3664 %로 매우 큰 값을 나타내어 신뢰성이 떨어지는 결과를 얻었다.

2) 시험편 체적

체적이 작은 경우, 측정 온도, 포수액의 공기 포함, 포수액 속에서의 시험편위치의 일관성에 따른 오차에 많은 영향을 받는다. 따라서 시험편의 체적은 0.4cm³ 이상으로 하고 그 이하의 경우에는 여러 개를 합쳐서 측정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

3) 포수액 종류

일반적인 수돗물과 증류수, 에탄올, 계면활성제가 0.005 % 들어간 증류수로 소결밀도 97 %, 95.25 %, 88.24 %인 시험편으로 얻어진 측정치의 평균이 이렇다할 차이가 없음이 확인되어 모두를 포수액으로 사용하여도 문제가 없는 것으로 판단된다.

4) 지지줄의 지름

지지줄의 지름이 줄어듦에 따라 시험편의 수중질량이 증가하였으나 0.25 mm, 0.12 mm, 0.07 mm에서는 일정한 값을 나타내었다. 이러한 결과는 지지줄 지름이 0.25 mm 이하에서는 표면장력에 의한 영향이 최소화된 것으로 판단된다. 또한 지지줄의 지름 0.25 mm 이하에서는 지름 1.4 mm와 약 10 mg의 수중 질량의 차이가 나는 결과를 얻어 표면장력의 영향을 완전히 무시할 수 없었다.

5) 진공흡입 및 유지 시간

소결 밀도 97 %인 경우 흡입시간에 관계없이 밀도 및 겔보기 기공률의 변화는 없었으나 95 %인 경우 진공 흡입시간이 15분 이상이어야 일정한 밀도 및 겔보기 기공률을 보였다. 따라서 시험편 내부의 열린 기공속의 공기를 충분히 제거하기 위해서는 15분 이상의 진공흡입 시간이 필요함을 알 수 있었다. 또한 15 분 진공 흡입 후 펌프의 작동을 멈춘 경우와 진공 흡입 후 펌프를 30분간 유지시킨 경우 둘 다 동일한 결과를 얻었다.

6) 품입 시간

소결 밀도 97 %인 경우 품입 시간에 관계없이 밀도 및 겔보기 기공률의 변화가 없었으나 95 %인 경우 진공 품입 시간이 3 시간 이상인 경우 일정한 밀도 및 기공률을 보였다. 따라서 품입법의 경우 포수액으로 충분히 치환시킬 수 있는 품입 시간은 3 시간인 것으로 판단된다. 등의 결론을 얻어 KS/WVD 0003 (파인세라믹스 소결체의 밀도 및 기공률 측정방법) 작업안을 제정하여 파인세라믹스 생산업체, 시험 연구기관 및 대학교를 합한 15기관에서 상호비교평가를 실시하였다. 상호 비교평가는 소결밀도 97 %의 시험편을 이용하였고 함께 150개의 시험편에 대하여 품입법으로 밀도 및 겔보기 기공률을 구하였다. 겔보기 밀도, 부피 밀도, 겔보기 기공률의 상호비교평가의 평균 값은 기술표준원의 결과와 비교한 결과, 밀도 표현의 최소값인 0.01 g/cm³의 측정 오차가 발생하였으며 겔보기 기공률은 겔보기 기공률 표현의 최소값인 0.1의 측정 오차가 발생하여 측정방법이 상호 신뢰할만한 수준인 것으로 판단된다.

비고: 통 연구의 결과로 작성한 파인세라믹스 소결체의 밀도 및 기공률 측정 방법 규격(안)은 2002년 3월 21일 오업부회차 심의를 통과하여 확정교서를 남겨두고 있다. ♣