

기체투과법을 이용한 다공성 세라믹 지지체의 기공크기 평가

김현중 · 박재구¹⁾

1. 서론

기공구조는 다공성 지지체의 1차 물성으로서 기공크기, 기공율, 기공형태 등으로 세분화할 수 있으며, 이들은 비표면적, 함수율 등과 같은 2차 물성과 각기 밀접한 연관성을 지니고 있다. 특히, 연속기공은 지지체의 양쪽면이 모두 외부로 노출된 기공을 의미하는 것으로 투과 유체의 흐름에 직접 관련되는 기공을 지칭한다. 따라서 이러한 연속기공을 평가하는 것은 어떤 다공성 지지체를 환경정화용 필터로 적용할 경우, 반드시 고려하여야 할 중요한 인자라 할 수 있다.

다공성 지지체의 기공구조를 평가하는 방법으로는 화상해석법, 수은주입법 또는 기체투과법 등과 같은 방법이 이용된다. 하지만, 화상해석법과 수은주입법은 연속기공과 비연속기공을 같은 기공으로 평가하기 때문에, 투과율과 직접 관련된 연속기공만을 정량적으로 구별하기 어렵다. 반면, 기체투과법은 측정방법이 간단할 뿐 아니라 다공성 시료의 연속기공을 선별 평가할 수 있다는 장점이 있으며, 이를 통해 평가된 기공은 지지체 내부에 존재하는 기공과 기공의 연결부분(pore window)의 크기를 나타낸다. 기존의 기체투과법의 경우 다공성 지지체와 같이 큰 기공을 가진 매체의 기공구조를 평가함에 있어서 고압의 요구로 인한 투과유체의 유동영역에 변화가 발생할 수 있다. 그러나, 수정된 기체투과법(modified gas permeation method)은 일정한 저압하에서 투과유량을 측정하기 때문에 큰 기공을 가진 매체의 경우에도 적용이 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 수정된 기체투과법을 이용해 본 연구실에서 제작된 다공성 지지체의 기공크기를 평가하였다.

2. 실험 방법

기공크기 평가를 위해 본 연구에서 사용된 시편은 발포법을 이용하여 제조된 두께 6 mm, 지름 60 mm인 원판형의 다공성 지지체이다. Fig. 1은 다공성 지지체의 기공구조를 SEM(scanning electron microscopy)을 통해 본 사진이다. 출발원료는 cordierite(내외세라믹스(일))이며, 여기에 물을 첨가하여 슬러리를 형성시켰다. 발포제로는 Sodium Lauryl Sulfate(SLS, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$)를 사용하여 성형체를 제작하였다. 다공성 지지체의 기공 내부는 ASTM F316-80에 의거하여 시편을 끓는 물에 10분 동안 담궈두어 초기 열린 기공을 함침시켰다. Fig. 2는 다공성 지지체의 기공크기를 평가하는 실험장치를 도시한 것이다. 시편내 기공에 함침된 물을 제거하기 위한 비젯음성유체로는 일반 공기를 사용하였으며, air compressor를 이용하여 유동하였다.

주요어: 다공성 지지체, 수정된 기체투과법, 기공크기

1) 한양대학교 지구환경시스템공학과(jkpark@hanyang.ac.kr)

3. 결과 및 고찰

3.1 측정차압과 투과유량 사이의 관계

지지체 내부에 존재하는 기공의 직경변화에 따른 각 채널내 유체의 Reynolds number 값과 기체분자의 평균자유행로 값으로부터 다공성 지지체의 경우 한 개의 채널을 통한 투과유량의 흐름은 Hagen-Poiseuille 모델에 따름을 알 수 있었다.

Fig. 3은 시간에 따른 다공성 지지체의 내부채널을 통한 투과유량의 변화를 나타낸다. 다공성 지지체의 기공구조의 특성으로 인해, 각각의 적용차압에 해당하는 투과유량을 구분짓는 경계가 시간에 따라 변함을 알 수 있었다. 가장 작은 적용차압이 가해진 경우에는 약 1100 sec 까지 일정한 투과유량을 나타냈고, 점 A 이후부터는 증가하는 경향을 보였다. 한편, 가장 큰 적용차압의 결정은 기울기가 ∞ 에 가깝고, 최종투과유량의 도달시간이 일치하는 점 B로 하였다. Fig. 4는 일정한 적용차압 3500 Pa에서 시간의 변화에 따른 측정차압과 투과유량 사이의 관계를 나타낸 그래프이다. A는 초기유량을 의미하며, B는 물로 채워진 모든 기공이 열린 후 측정된 최종투과유량을 의미한다. A에서 B로 유량의 변화가 일어나는 동안 지지체 내부에 존재하는 기공의 크기가 다른 각 채널내에 함침된 물은 단계적으로 빠져나가게 된다. 즉 직선 C를 따라 각 기공별로 대표시간에서의 측정차압과 투과유량이 존재한다.

3.2 기공크기 및 분포 평가

다공성 지지체의 기공분포는 위에서 구해진 측정차압과 투과유량 및 Hagen-Poiseuille 식을 통해 계산된 유량을 이용하여 구할 수 있었다. Fig. 5는 다공성 지지체의 기공분포를 평가하는 순서도이다. ΔP 와 Q 는 측정차압과 투과유량을 나타내며, q 와 N 은 한 개의 채널을 통해 흐르는 계산된 유량과 기공의 개수를 의미한다. 한편, Hagen-Poiseuille 식으로부터 계산된 유량은 다공성 지지체 내부의 유체가 흐르는 유동층을 가장 작은 기공의 직경에 상당하는 채널로 가정하여 계산된 값이다. 따라서, 본 시편내 기공의 복잡한 기하학적 구조를 고려할 때, 절대적인 기공의 개수는 과대평가가 된다. 결국, 부피분율(volume fraction)의 개념을 적용하였으며, Fig. 6은 기공의 부피분율을 나타낸 것이다. 지지체의 기공크기는 $30 \mu\text{m} \sim 80 \mu\text{m}$ 로 분포하며 평균크기(중위경)는 약 $50 \mu\text{m}$ 임을 알 수 있었다.

4. 참고문헌

1. S. Dallaire and R. Angers, "Porosity and Permeability of Sintered MgO," *J. Can. Ceram. Soc.*, **51**, 29-34 (1982).
2. R. W. Schofield, A. G. Fane and C. J. D. Fell, "Gas and Vapour Transport Through Microporous Membranes. 1. Knudsen-poiseuille Transition," *J. Membrane Sci.*, **53**, 159-171 (1990).
3. E. Skjetne and J. L. Auriault, "New Insight on Steady, Non-linear Flow in Porous Media," *Eur. J. Mech. B/Fluids*, **18**(1), 131-145 (1999).
4. K. Sakai, "Determination of Pore Size and Pore Size Distribution. 2. Dialysis Membranes," *J. Membrane Sci.*, **96**, 91-130 (1990).

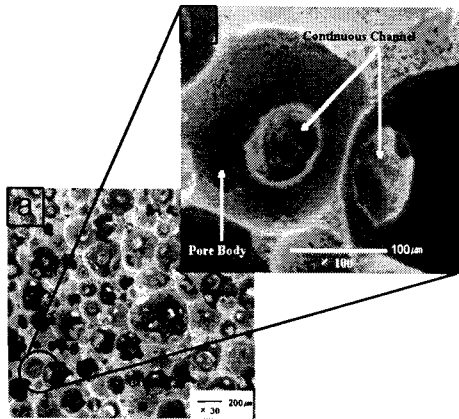


Fig. 1. Microstructure of porous support; (a: ×30, b: ×100).

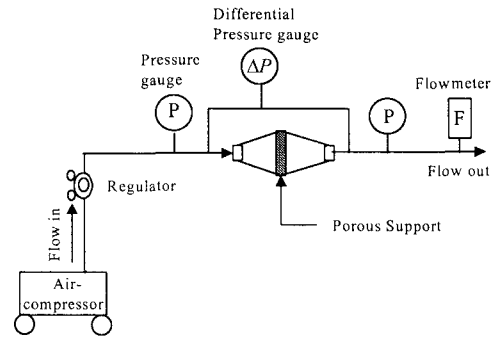


Fig. 2. A schematic diagram for evaluating pore size of porous support.

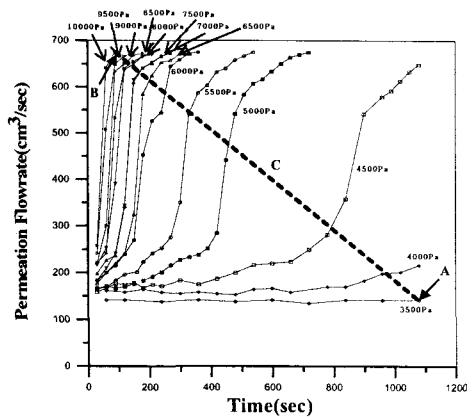


Fig. 3. Variation of permeation flowrate of porous support according to time ; (parameter : applied differential pressure).

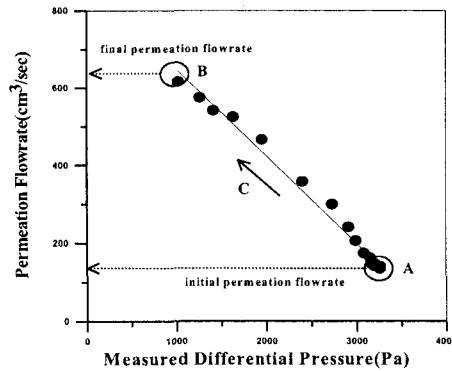


Fig. 4. Relationship of measured differential pressure and permeation flowrate according to time ; (applied differential pressure : 3500 Pa).

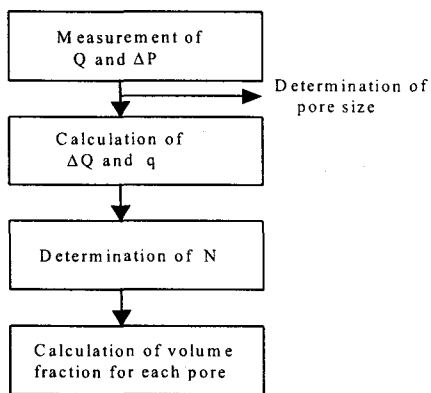


Fig. 5. Flowchart in relation to calculation of pore size distribution.

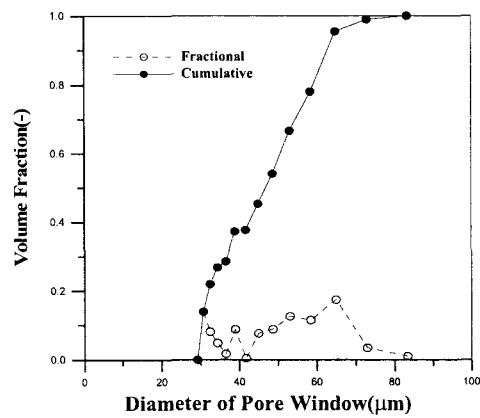


Fig. 6. Cumulative and fractional pore size distributions of porous support.