

## HEPA Filter형 숨쉬는 벽체용 나노세라믹 여재개발

김 종 원, 안 영 철<sup>\*</sup>, 김 길 태<sup>\*</sup>  
부산대학교 건축학부, <sup>\*</sup>대한주택공사 주택도시연구원

### Development of Nano Ceramic Structures for HEPA Type Breathing Wall

Jong-Won Kim, Young-Chull Ahn<sup>\*</sup>, Gil-Tae Kim<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>School of Architecture, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

<sup>\*</sup>Housing & Urban Research Institute, Korea National Housing Corporation, Kyunggi, 463-704, Korea

(Received August 3, 2007; revision received March 11, 2008)

**ABSTRACT:** In the perspective of saving energy in buildings, high performance of insulation and air tightness for improving the heating and the cooling efficiency has brought the positive effect in an economical view. However, these building energy saving technologies cause the lack of ventilation, which is the direct cause of increasing the indoor contaminants, and it is also very harmful to residents because they spend over 90% of their time in the indoor area. Therefore, the ventilation is important to keep indoor environment clean and it can also save energy consumption. In this study, a HEPA type breathing wall is designed as a passive ventilation system to collect airborne particles and to supply fresh outdoor air. To make fine porous structures, polymer nano fibers which were made by electrospinning method are used as a precursor. The nano fibers are coated with SiO<sub>2</sub> nano particles and finally the HEPA type breathing wall is made by sintering in the electric furnace at 300~500 °C. The pressure drops of nano ceramic structure are 8.2, 25.5 and 44.9 mmAq at the face velocity of 2.0, 5.9 and 8.8 cm/s, respectively. Also the water vapor permeability is 3.6 g/m<sup>2</sup> · h · mmHg. In this research, the porous nano ceramic structures are obtained and the possibility for the usage of a material for HEPA type breathing wall can be obtained.

**Key words:** Breathing wall(숨쉬는 벽), Ventilation(환기), Pressure drop(압력손실), Porous nano ceramic structure(다공성 나노구조체), Electrospinning(전기방사)

### 1. 서 론

최근 에너지 비용의 증가에 따른 건축물의 고 단열 및 고기밀화는 실내환경의 쾌적성 보장의 측면에서 환기의 부족을 초래하여 부정적인 요소로 작용하게 되었으며 기계적 환기 또는 자연환

기의 중요성에 대해 재인식하게 하는 계기가 되고 있다. 그래서 적극적인 대처방안으로 전열교 환기를 사용한 기계적 환기방법이 많이 적용되고 있으나 이 역시 추가적인 동력을 소모해야 한다는 단점과 창문을 통해 대량의 공기를 유입시켜 단시간에 환기를 시켜오던 과거의 생활습관에 비해 상당히 제한된 양의 환기만을 할 수 있다는 단점 때문에 소비자들의 욕구를 충족시켜줄만한 완벽한 대안으로서는 부족한 상황이다.<sup>(1)</sup>

반면 소극적 대처방안으로 일본과 영국에서는

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2492; fax: +82-51-514-2230

E-mail address: ycahn@pusan.ac.kr

습취는 벽(Breathing Wall)이라는 개념의 연구를 수행하였는데, 일본에서는 다공성 알루미늄 시트를 이용하여 습취는 벽체를 만들었으며 전열성능, 투습성능, 환기성능 등에 대하여 평가를 하였다.<sup>(2)</sup> 영국에서는 화이버 형태의 매트를 스티로폼으로 제작된 프레임 속에 넣어 단위 셀로 제작한 습취는 벽체를 개발하였으며 환기성능 및 필터로서의 분진제거성능에 대하여 분석을 수행하였다.<sup>(3)</sup> 특히 영국에서는 “Energyflo”라는 이름으로 상업화하였을 만큼 기술적인 완성도가 높은 것으로 파악되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 통기성 습취는 벽체의 일부분을 구성할 HEPA 필터형 습취는 벽을 개발하고자 하며 특히 황사 등의 미세입자가 실내로 유입되는 것을 방지하기 위하여 고효율 분진포집 성능을 가지는 습취는 벽을 개발하고자 한다.

2. 실험방법 및 실험장치

2.1 Nano 세라믹 구조체 제조과정

일반적으로 사용되는 HEPA 필터는 글래스 화이버, 셀룰로오스 등의 섬유상 물질들이 바인더에 의해 부착되어 제작되며 보통 수  $\mu\text{m}$ 의 섬유직경을 가지고 있다. 본 연구의 목표인 HEPA 필터급 효율을 가지는 습취는 벽체를 만들기 위해서 재질은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  등의 세라믹 재질을 고려하였으며 고효율을 위해 HEPA 필터와 유사한  $1\ \mu\text{m}$  이하의 세라믹 섬유를 제작하고자 하였다.

Fig. 1에는 본 연구에서 제작하고자 하는 직경  $1\ \mu\text{m}$  이하의 나노 세라믹 구조체 제조에 대한 순서를 나타내었다. 우선 전기방사법(Electro-spinning)에 의해 직경  $500\ \text{nm}$  이하인 고분자 나노섬유 필터를 제조하며 이 필터 표면을 세라믹 재질을 이용하여 코팅을 하게 된다. 그 후 소결공정을 통해 고분자 나노섬유를 분해시켜 제거하고 나면 최종적으로 다공성 나노 세라믹 구조체가 얻어지게 된다.

2.2 전기방사방법

Fig. 2에는 전기방사장치의 개략도를 나타내었는데 용융상태에 있는 고분자액에 전기장이 부여될 때 팁의 끝에 있는 방울 표면에 전하 또는 쌍

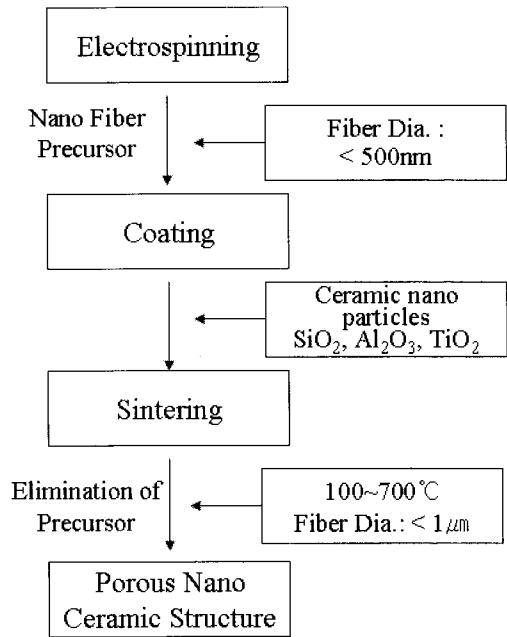


Fig. 1 Process to make te HEPA type breathing wall.

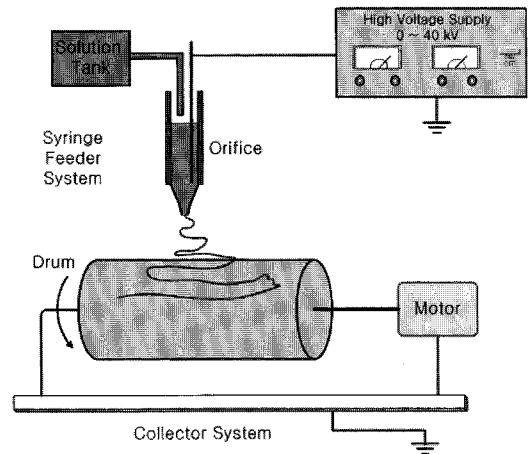


Fig. 2. Schematic diagram of the electro-spinning.

극자 배향이 공기 층과 용액의 계면에 유도되고, 전하 또는 쌍극자 반발로 표면장력과 반대되는 힘을 발생시킨다. 어떤 임계 전기장세기에서 이 반발정전기력이 표면장력을 극복하게 되면서 하전된 고분자 용액의 Jet가 방출되는데, 이 Jet는 점도가 낮은 용액의 경우 표면장력으로 인해 미세 방울로 붕괴되고, 점도가 높은 용액의 경우 Jet는

붕괴되지 않고 접지된 콜렉터를 향하여 섬유상 형태로 이동하게 된다. 이때 Jet가 공기 중을 지나면서 고분자 섬유는 증발, 건조되며 표면에 전하가 밀집되면서 전하반발력이 더욱 커짐으로 해서 Nano 직경의 섬유로 만들어지게 된다.<sup>(4-5)</sup>

### 2.3 Nano 세라믹 구조체 제작

전기방사를 통해 제조된 고분자 나노섬유는 Fig. 3에 나타낸바와 같은 크기 30 nm 정도의 SiO<sub>2</sub> 나노입자가 분산된 용액을 이용하여 침지법(Dipping)에 의해 코팅을 하게 되며 초음파 분산기(Branson, B2510)를 통하여 고른 코팅이 이루어지도록 하였다. 코팅된 고분자 나노섬유는 바람이 잘 통하는

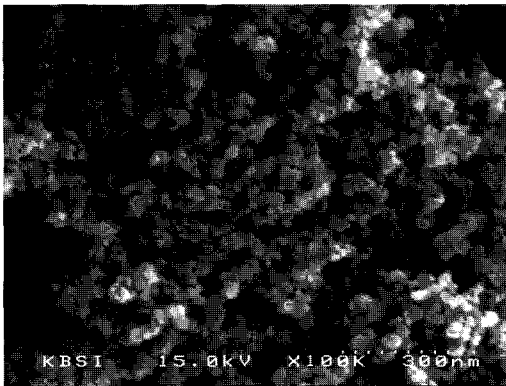


Fig. 3 SiO<sub>2</sub> silica nano particles.

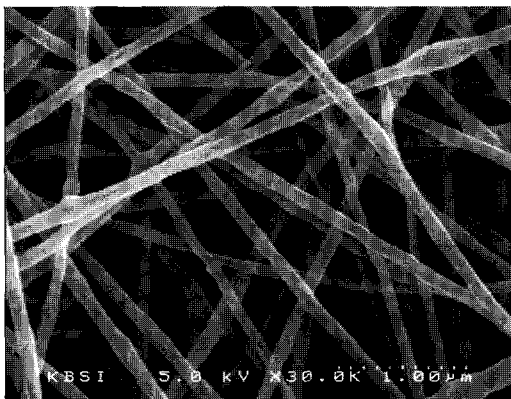


Fig. 4 The Scanning electron micrograph of the electrospun fibers from a 10 wt% PEO solution dissolved in water (Electric field strength : 2 kV/cm).

그늘에서 충분히 건조시킨 뒤 전기로 속에서 300~500 °C 사이에서 소결시킨다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 전기방사에 의한 고분자 나노섬유 제조

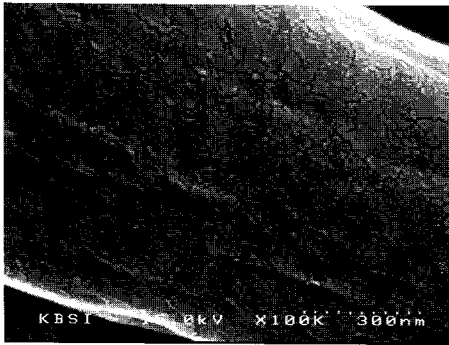
Fig. 4에는 전기방사에 의해 제조된 PEO(Poly ethylene Oxide) 재질의 나노섬유 사진을 나타내었다. 섬유의 직경은 약 100~200 nm 정도로 균일한 굵기로 이루어져 있음을 알 수 있다. PEO 고분자 용액의 농도가 너무 묽게 되면 고분자 용액이 무화되어 스프레이 되기 때문에 비드(Bead) 입자가 많이 형성되며 섬유의 직경은 매우 가늘어지게 된다. 반면 농도가 진하게 되면 점성이 강하게 작용하여 정전력이 크게 작용하지 못하여 섬유의 직경이 굵게 나타나며 비드의 형성은 크게 줄어들게 된다. 또한 전계강도를 강하게 해주면 이온의 방출량이 증가하게 되어 전기적인 반발력이 커져서 섬유의 찢어짐 현상이 증가하므로 직경이 작아지는 특성을 나타내지만 지나치게 강할 경우 스파크가 발생하게 되고 휘발성 유기용제를 사용한 경우 화재가 발생할 가능성이 있으므로 적정범위로 전계강도를 조절할 필요가 있다.

### 3.2 SiO<sub>2</sub> 농도에 따른 코팅특성

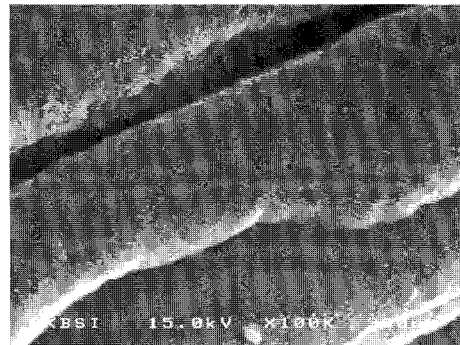
Fig. 5에는 SiO<sub>2</sub> 입자의 질량농도에 따른 코팅 특성을 비교하여 나타내었다. 실험은 4 wt%와 6 wt% 두 가지 경우에 대하여 수행되었으며 전자현미경 분석 결과 두 가지 경우 모두에서 나노섬유의 표면 전체에 걸쳐 코팅상태가 양호한 것으로 분석되었다. 그래서 본 연구에서는 분산매체인 물의 질량을 기준으로 하여 4 wt%의 농도로 설정하여 실험을 수행하였다.

### 3.3 Nano 세라믹 구조체 제작

Fig. 6에는 본 연구에서 제작된 나노 세라믹 구조체의 전자현미경 사진을 나타내었는데 당초 입자포집성능의 기준으로 생각하였던 HEPA 필터와 PEO 나노섬유의 전자현미경 사진을 같이 비교하여 나타내었다. HEPA 필터는 직경 1 μm 전후의 다양한 굵기의 섬유들이 얽혀있는 모습을 볼 수

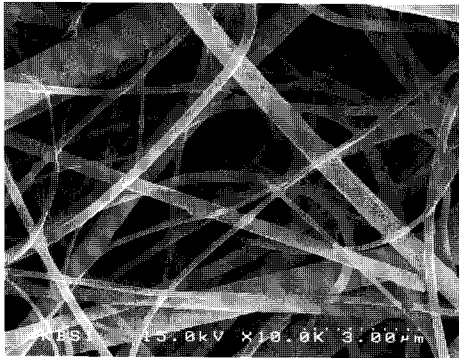


(a) 4 wt%

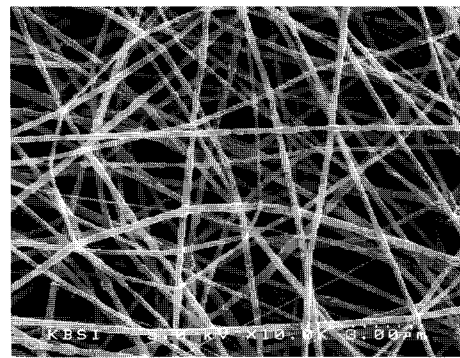


(b) 6 wt%

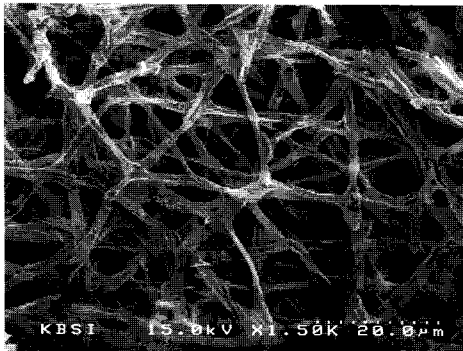
Fig. 5 Coated surfaces of nano fibers with SiO<sub>2</sub> nano particles as a function of SiO<sub>2</sub> concentration.



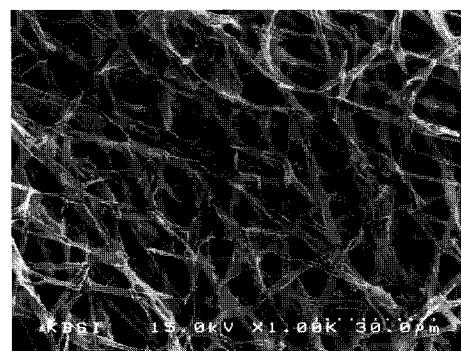
(a) HEPA filter



(b) PEO Nano fiber



(c) Nano ceramic structure fabricated at 300 °C



(d) Nano ceramic structure fabricated at 500 °C

Fig. 6 Scanning electron micrographs of the HEPA filter, the PEO nano fiber, and the nano ceramic structures.

있으며 PEO 나노섬유는 100~200 nm 정도의 비교적 균일한 섬유 모습을 볼 수 있다. 나노 세라믹 구조체는 소결 온도에 따라 300 °C와 500 °C에서 각각 제작되었는데 전구체로서 사용된 나노섬유의 굵기에 비해 상당히 증가되어 있는 것을 볼

수 있다. 그 이유는 침지법에 의한 코팅과정중에 SiO<sub>2</sub>입자를 용해 분산시키기 위해 사용된 용제와의 반응 때문에 나노섬유들간에 서로 융착이 생겨 굵기가 증가하는 현상이 발생되어 전체적으로 굵기가 증가한 것으로 판단된다. 그리고 전자현

미경 분석결과 소결 온도에 따른 영향은 거의 없는 것으로 분석되었다.

Fig. 7에는 고분자 나노 섬유가 분해되어 없어지고 주위에 코팅된 SiO<sub>2</sub> 입자들이 튜브형상으로 형성되어 있는 모습을 볼 수 있다. 이렇게 형성된 튜브상의 구조는 일반 섬유형상의 재료에 비해 강도가 떨어져 하중에 견딜수 있는 능력은 떨어지나, 넓은 비표면적을 가질 수 있으며 재질자체의 경량화를 달성할 수 있고 SiO<sub>2</sub> 입자들 대신 광촉매 특성을 가지는 TiO<sub>2</sub> 입자를 사용할 경우 매우 큰 반응성으로 유해가스를 제거할 수 있는 잠재력을 가지게 되므로 향후 다양한 분야에 적용이 가능할 것으로 예상된다.

Fig. 8에는 나노 세라믹 구조체의 공기투과성을 측정하여 통과 유속에 따른 압력손실을 상용 HEPA 필터와 비교하여 나타내었다. 나노 세라믹 구조체의 압력손실 값이 HEPA 필터와 비교하

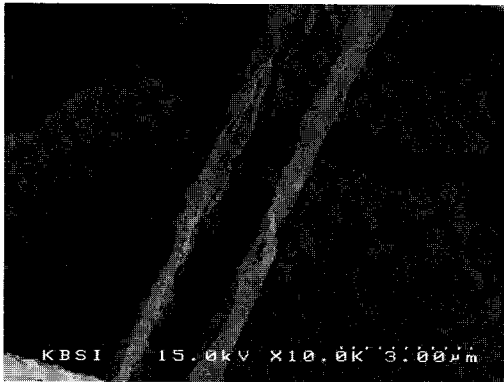


Fig. 7. Scanning electron micrograph of the nano SiO<sub>2</sub> tube.

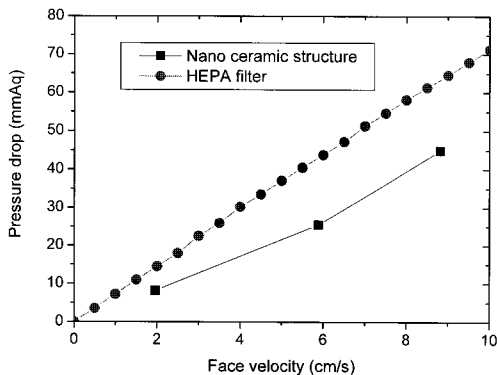


Fig. 8 Pressure drop of nano ceramic structure.

여 낮게 측정되었으며 이는 분진포집능력은 HEPA 필터에 비해 다소 낮을 수 있으나 공기의 통과성능은 우수함을 나타낸다. 그리고 KS F 2607<sup>(6)</sup>의 “건축재료의 투습성 측정방법”에 의해 투습계수를 측정하여 결과 3.6 g/m<sup>2</sup>·h·mmHg로 측정되었으며 선행연구<sup>(7)</sup>에서 제시한 한지의 투습계수 2.4~3.2 g/m<sup>2</sup>·h·mmHg에 비해 다소 높은 값을 알 수 있다. 이는 소재 자체가 다소 높은 통기성능을 가지기 때문에 이를 통한 수분의 전달도 비교적 크게 일어난다고 볼 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 HEPA 필터형 습취는 벽체의 부재를 구성할 나노 세라믹 구조체를 개발하기 위한 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) PEO 재질을 이용하여 고분자 나노 섬유를 전기방사법으로 제조하였으며 농도 10 wt%, 전계강도 2 kV/cm의 조건에서 100~200 nm의 굵기를 가지는 균일한 나노섬유를 제조하였다.

(2) 침지법 등을 통해 SiO<sub>2</sub> 나노 입자를 이용, 고분자 나노섬유의 표면을 코팅하는 기술을 도출하였다.

(3) SiO<sub>2</sub> 나노 입자가 코팅된 고분자 나노섬유를 소결처리하여 다공성 나노 세라믹 구조체를 제작하였으며 압력손실은 2.0, 5.9, 8.8 cm/s의 유속에서 각각 8.2, 25.5, 44.9 mmAq로 나타났고 투습계수는 3.6 g/m<sup>2</sup>·h·mmHg로 측정되어 습취는 벽체를 구성할 재료로서의 활용 가능성을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. Jang, Y. S. and Park, H. S., 2004, A study on thermal performance analysis of the sustainable clayed hollow block wall, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 4, No. 3, pp. 65-70.
2. Yoon, S. and Hoyano, A., 1998, Passive ventilation system that incorporates a pitched roof constructed of breathing walls for use in a passive solar house, Solar Energy, Vol. 64, No. 4-6, pp. 189-195.
3. Imbabi, M. S., 2006, Full-scale evaluation of energy use and emissions reduction of a dy-

- namic breathing building, WREC-IX(World Renewable Energy Congress) Invited paper.
4. Jo, S. M., Lee, W. S., and Chun, S. W., 2002, Nanofiber technology and applications, Fiber Technology and Industry Vol. 6.
  5. Lee, S. G., Choi, S. S., and Joo, C. W., 2002, Nanofiber formation of polyetherimide under various electrospinning conditions, Journal of the Korean Fiber Society Vol. 39.
  6. KS, F., 2007, Measuring method of water vapor permeability for building materials, Korean Standard.
  7. Lee, J. W. and Lim, J. M., 2004, The Experimental study on an effect of Korean Paper(Hanji) on indoor humidity control, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 599-607.