

전기방사를 통한 정전필터제조 및 특성분석

안영철[†], 김길태*, 김승곤**, 이재근***, 김종원,
 부산대학교 건축학부, *대한주택공사 주택도시연구원, **현대중공업, ***부산대학교 기계공학과

Characteristic Analysis of Electret Filters made by Electrospinning

Young-Chull Ahn[†], Gil-Tae Kim*, Seong-Kon Kim**, Jae-Keun Lee***, Jong-Won Kim
School of Architecture, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
**Housing & Urban Research Institute, Korea National Housing Corporation, Kyunggi, 463-704, Korea*
***Hyundai Heavy Industry, Ulsan, 682-792, Korea*
****Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea*

ABSTRACT: Electret filter media are used in general ventilation filters, disposable respirators, vehicle cabin filters, vacuum cleaners and room air cleaners. There are basic mechanisms of interception, inertial impaction, diffusion, gravitational settling, electrostatic attraction by which an aerosol particle can be deposited onto a fiber in a filter. The ability of fine particle removal strongly depends on the electrostatic forces between particles and polarized fibers. Thus, the stability of the fiber polarization is a major factor in the reliability of electret filters. In this study, electrical properties and filtration performance of electrospun filter media are quantitatively investigated. Electrical properties of electrospun filters have been studied on surface charge potential and surface charge density. Also the filtration performance of the electret filters are evaluated on collection efficiency. Electrospun filters show same collection efficiency with low pressure drop compare to commercialized HEPA filters. Surface charge potential and surface charge density of electrospun filters are increased with increasing applied voltage. Also collection efficiency of electrospun filters is increased with increasing surface charge potential and surface charge density.

Key words: Electrospinning(전기방사), Electret filter(정전필터), Pressure drop(압력손실), Charge density(대전전하밀도), Charge potential(대전전위)

1. 서 론

대기 중에는 여러 가지 화학물질로 이루어진 기체분자 또는 입자들이 부유 상태로 공기 중에 존재하고 있다. 이러한 물질들은 육안으로 볼 수 있는 것들과 볼 수 없는 아주 작은 크기의 것들이 있으며, 인체에 해로운 미생물, 방사능 입자, 담배연기, 중금속 및 작업분진으로부터 자연

현상의 안개, 아지랑이 및 이슬비 등의 약 0.001 μm 크기로부터 수 백 μm 크기로 구성되어 있다. 그러나 최근 문제의 대상이 되고 있는 입자 크기는 약 0.01 μm ~10 μm 정도이며, 대기분진중 크기와 질량 면에서는 5 μm 이상이 약 91 wt%를 차지하고, Submicron 크기의 입자는 3 wt%에 불과하지만 수량적으로는 Submicron 입자가 거의 100%를 차지하고 있다¹⁾.

최근 환경 문제가 크게 부각됨에 따라 이러한 입자상 크기를 가지는 오염 물질을 제거하는 여과용 부직포가 주목을 받기 시작했으며, 이 필터 기능의 고성능화 및 응용에 대한 연구가 매우 활

[†] Corresponding author

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

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

발하게 진행되고 있다. 현재 광범위하게 사용되고 있는 에어필터 및 백필터의 최근동향은 정전처리화(Electret) 되어가는 추세이다. 정전 물질을 제조하기 위한 근본적인 방법은 극성분자 또는 무극성 분자들에 외부의 에너지를 인가하여 전기쌍극자를 형성하고, 이 전기쌍극자를 물질의 표면에 정배열시키는 원리를 이용하는 것이며, 열을 이용하는 방법, 빛을 이용하는 방법, 방사선을 이용하는 방법, 그리고 코로나 방전을 이용하는 방법 등이 있다^{2,3,4}.

일반적인 섬유 필터에 사용되는 섬유 여재는 높은 여과 효율과 낮은 공기저항 특성 등의 장점이 있다. 이러한 섬유 여재를 전기적 방법으로 대전시켰을 경우, 먼지입자와 섬유 여재사이의 정전기적 인력이 작용하여 입자 제거효율은 크게 향상되면서도 공기저항으로 인한 섬유 필터의 압력손실은 증가하지 않는 특성을 보여준다⁵.

그래서 본 연구에서는 전기방사로 제조된 정전필터의 전하충전량이 여과재의 포집효율에 미치는 영향과 코로나 강제 대전을 하였을 경우 정전필터의 성능이 어떻게 변하는지 살펴봄으로서 전기방사로 제조된 정전필터의 정량적인 포집효율 특성에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험방법 및 실험장치

2.1 정전필터 제조 장치

Fig. 1에는 본 연구에서 사용한 코로나 방전부를 설치한 전기방사장치의 모습을 나타내었다. 코로나 방전에 의한 필터의 정전처리에서 필터는 방전부 내부에 있어야 하고, 이때 코로나 방전에 의한 다량의 전하들을 생성함과 동시에 강한 전기장이 형성되어 생성된 전하들을 필터 내부로 침투시키고 침투된 전하들을 정배열 할 수 있는 구조가 되어야 한다. 이와 같은 조건을 만족하기 위해서는 코로나 방전부의 기하학적 형상이 중요한 설계 변수로 되며, 가장 단순한 형상이 평판과 평판 또는 원통형의 구조를 가지는 방전부이다. 한편 코로나 방전이 발생되기 위한 기하학적 조건은 전극과 전극 사이에 강한 불평등 전기장이 형성되어야 하며, 이와 같은 형상은 다양하게 설계되어 질 수 있다. 본 연구는 기존의 전기방사 장치에 코로나 방전을 일으킬 수 있는 침점을

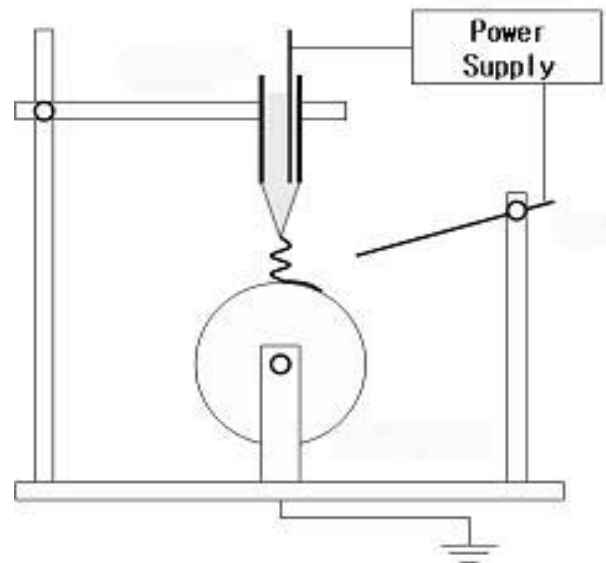


Fig. 1. Schematic diagram of electrospinning equipment with a corona discharger

가진 금속 막대를 전면부에 설치하여 그 막대에 고전압을 인가하여 코로나 방전을 일으켜 강제 이온을 필터 미디어에 인가하였다. 방전부 구조는, needle부에서는 안정적인 방전이 유지되고 또한 방전부에서 강한 전기장이 형성되도록 하기 위해 길이 200 mm의 needle을 포집통 50 mm 떨어진 거리에 설치하였고, DC 고전압 발생장치는 양극성 고전압 발생장치를 사용하였는데, 전압 0 ~ 50 kV, 전류 10 mA의 범위를 갖는다.

2.2 정전필터 성능평가장치

정전필터의 여과특성 분석을 위해 Fig. 2와 같은 공조용 필터의 여과성능 평가 장치를 구성하였다. 여과성능평가 장치는 크게 입자 발생부, 필터부, 계측부분으로 크게 나눌 수 있다. 입자 발생부는 입자를 발생시키는 Atomizer와 Diffusion Dryer 및 Neutralizer(Kr-85)로 구성이 되어 있으며, Atomizer에서 수분을 함유한 미세입자들이 발생되고 Diffusion Dryer를 통과하면서 입자 주위의 수분이 제거되며 Neutralizer에서 대전된 입자가 중화되어 공급되어진다. 공급되는 입자의 최대 농도는 수만개/cm³로 본 필터 성능평가에 충분하였다. Test filter의 고정을 위해 상용화된 47 mm filter holder를 이용하였고, 입자의 관손실 및 마찰대전을 방지하기 위해 tygon tube를

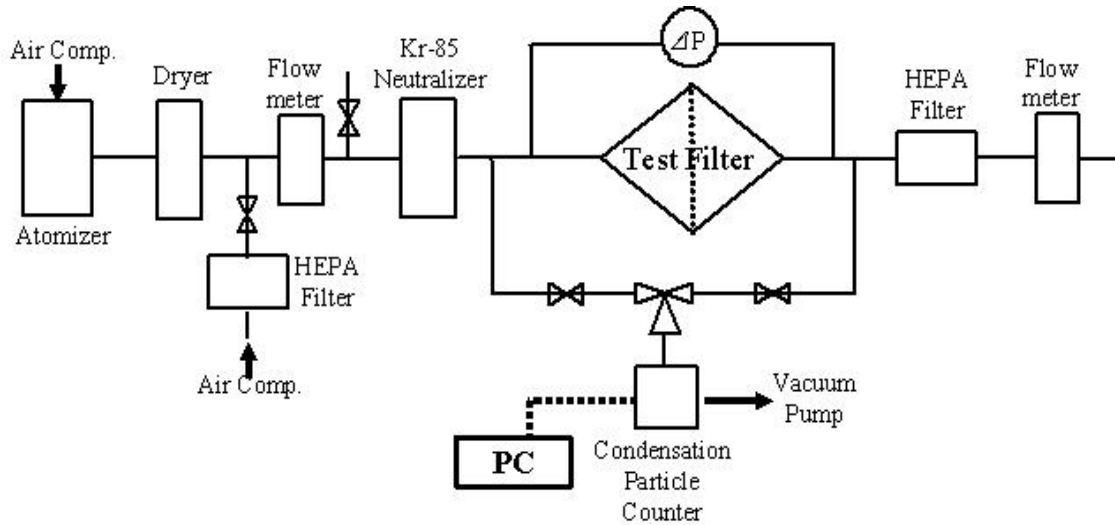


Fig. 2. Schematic diagram of filter test system.

이용하여 각 부분을 연결하였다. Test filter 상·하류에 입자를 카운트하기 위해 입자계수기 (CPC, Condensation Particle Counter, TSI-3010) 를 설치하여 상류와 하류의 입자의 개수를 측정하여 여과효율을 측정하였다. 그리고 정전필터의 압력손실을 측정하기 위해 test filter 상·하류에 마이크로마노미터(Furness사, FCO510)를 이용하여 압력손실을 측정하였다.

2.3 전기적 특성 성능평가장치

대전량 측정을 위해서는 직접 측정방법인 Faraday Cage법을 이용하였으며 이는 외부와 완벽하게 전기적으로 절연이 되어있는 Faraday Cage 내부에 대전되어 있는 필터의 샘플을 투입하면 대전량에 비례하여 주위가 유도대전되게되며 이때 유도대전된 전하량을 전류계로 측정하여 전체 대전량을 알아내는 방법이다.

표면전위 측정은 대전물체의 전면에 플러그를 두고 플러그에 취부된 검출전극에 유기되는 전위를 읽음으로써 측정된다. 이것은 유기전위가 검출전극 근방의 전계에 비례하고, 그 전계가 대전물체의 표면전극 위에 비례하기 때문에 원리적으로 전계의 측정에 의해 표면전위가 측정된다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전기방사를 통한 필터의 제조

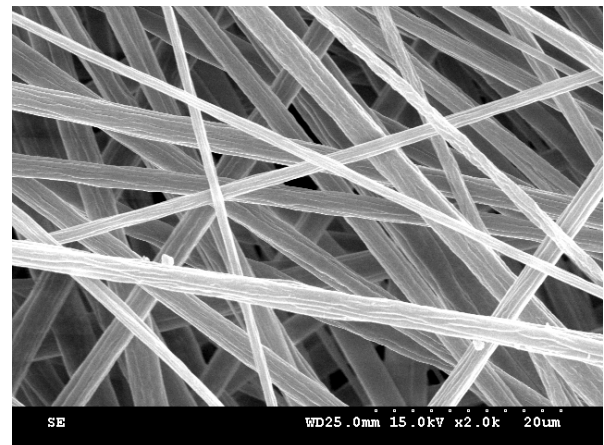


Fig. 3. SEM of electrospun PS fibers.

본 실험에서는 PS(Polystyrene)를 이용하여 섬유필터를 제조하였다. Sigma사에서 제조된 분자량 350,000의 PS를 THF와 DMF의 5:5의 혼합용매에 용해시켜 용액을 제조하였다. 이 때 농도는 비드의 생성이 거의 없는 16 wt%에서 실험을 수행하였으며, 모세관 끝과 포집부 사이의 거리를 10 cm로 고정시킨 후 전압을 20 kV에서 40 kV까지 변화시켜 가며 섬유필터를 제조하였으나 인가전압 20 kV 이상에서는 섬유 직경의 변화가 거의 없었기 때문에 20 kV를 기준으로 하여 샘플을 제조하였다.

Fig. 3은 인가전압 20 kV에서 제조한 PS 섬유필터의 전자현미경 사진을 나타내었으며, 직경이 약 2 μm인 섬유들로 이루어져 있음을 알 수 있다.

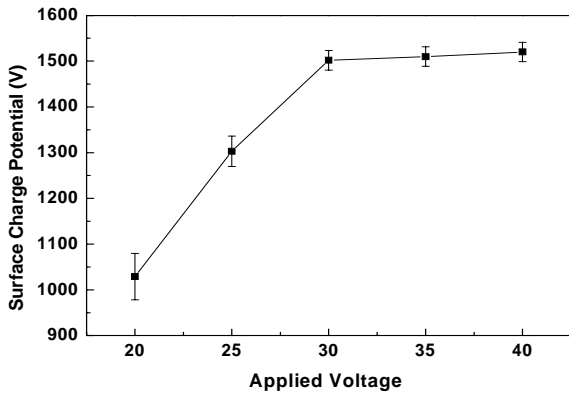


Fig. 4. Surface charge potential of electrospun filter media as a function of applied voltage.

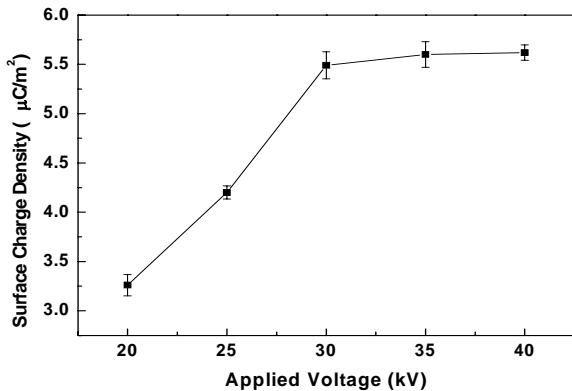


Fig. 5. Surface charge density of electrospun filter media as a function of applied voltage.

3.2 전기방사된 필터의 특성 분석

전기방사에 의해 제조된 필터의 정전기적 특성을 살펴보기 위하여 인가전압에 따른 표면전위와 대전량을 분석하였다. 섬유 필터에 양전하 및 음전하로 대전된 섬유가 무작위적으로 분포되어 있을 때, 표면전위의 절대값과 필터의 여과효율의 상관관계는 매우 중요하다. 필터 표면의 표면전위와 대전량이 증가하면 대전된 입자를 제거하는데 큰 효과를 볼 수가 있게 된다.

Fig. 4는 인가전압에 따른 표면전위의 변화를 보여주는 그래프이다. 인가전압 20 kV에서 방사된 섬유필터의 표면전위는 1,000 V이고, 인가전압이 25, 30 kV일 때는 표면전위가 각각 1,300, 1,500 V의 값을 나타낸다. 이것은 섬유필터를 제조할 때 인가전압이 증가하게 되면 표면전위가

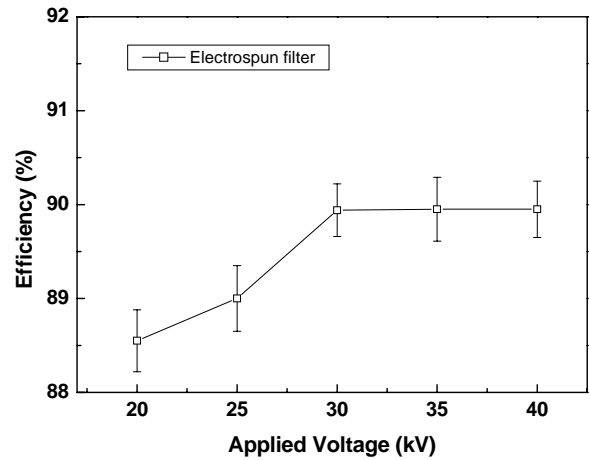


Fig. 6 Particle collection efficiency of an electrospun filter as a function of electrospinning voltage.

증가함을 알 수 있다. 하지만 인가전압이 30 kV 이상 일 때는 필터의 표면전위가 1,500 V 이상 증가하지 않음을 볼 수 있는데, 이것은 선행연구⁶⁾에서와 같이 필터 소재 자체가 보유할 수 있는 전하 보유량의 한계로 전하의 축적이 더 이상 이루어지지 않기 때문으로 생각된다.

Fig. 5는 인가전압에 따른 필터의 대전량의 변화를 보여주는 그래프이다. 필터의 대전량은 인가전압이 20 kV에서 30 kV까지 증가하였을 때 3.3 μC/m²에서 5.6 μC/m²로 급격히 증가함을 볼 수 있었지만, 인가전압이 30 kV 이상에서는 더 이상 증가하지 않음을 알 수 있었다. 이것은 표면전위가 더 이상 증가하지 않는 것과 마찬가지로 소재자체의 전하 축적에 의한 영향으로 분석할 수 있다.

Fig. 6은 전기방사 전압에 따른 전기방사 필터의 입자 포집효율을 나타낸 것이다. 필터 미디어의 압력손실은 7.5 mmAq, 유속은 5 cm/s이며 0.3 μm 크기의 입자에 대한 효율을 나타낸 것이다. 앞서의 결과와 마찬가지로 인가전압이 20 kV에서 30 kV로 증가할 때는 포집효율도 매우 증가하는 경향을 나타내었으나 그 이후에서는 거의 일정한 값을 나타내는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구는 전기방사를 이용한 섬유필터의 대전 특성에 따른 성능 평가를 수행하였으며 다음과

같은 결론을 도출하였다.

(1) Electrospinning으로 제작된 섬유필터는 인가전압이 증가함에 따라 표면전위와 대전량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 인가전압이 30 kV 이상에서는 표면전위와 대전량이 더 이상 증가하지 않고 일정한 값을 보이고 있다. 이것은 필터 소재 자체가 보유할 수 있는 전하 보유량의 한계로 전하의 축적이 더 이상 이루어지지 않기 때문인 것으로 예상된다.

(2) Electrospinning으로 제작된 섬유필터는 인가전압이 증가함에 따라 포집효율이 증가하는 경향을 보였지만 30 kV 이상에서는 더 이상 증가하지 않음을 보이고 있다. 이것은 필터의 포집효율이 표면전위와 대전량에 많은 영향을 받는 것으로 알 수가 있다.

참고문헌

1. Hinds, W. C., 1982, "Aerosol Technology", John Wiley & Sons, Inc..
2. Moshkin, A.A., and Moshkina, S.A., 1997, "Electrical Filters made of Polymer Materials", Journal of Electrostatics, Vol. 40-41, pp. 681-685.
3. Gutfinger C, Moldavsky L, Shuster K, Fichman M, and Pnueli D, 2000, "Enhancing the Efficiency of the Electrostatic Filter", J. Aerosol Sci, Vol. 31, pp. 608-609.
4. Peter P.T., Hei S.G., and Phillip G., 2002, "Different electrostatic methods for making electret filters", Journal of Electrostatics, Vol. 54, pp. 333-341.
5. Turnhout, J.V., 1980, "Electret filters for High Efficiency Air Cleaning", Journal of Electrostatics, pp. 369-379.
6. Horenstein, M.N., 1995, "Surface Charging Limit for a Woven Fabric on a Ground Plane", Journal of Electrostatics, Vol. 35, pp. 31-40.