

## 전기방사를 통해 제조된 정전기 보유 필터의 표면전위 및 대전량에 따른 성능특성 분석

김길태, 안영철<sup>\*†</sup>, 이재근<sup>\*\*</sup>

대한주택공사 주택도시연구원, <sup>\*</sup>부산대학교 건축학부, <sup>\*\*</sup>부산대학교 기계공학부

### Characteristic Analysis of Electret Filters made by Electrospinning

Gil-Tae Kim, Young-Chull Ahn<sup>\*†</sup>, Jae-Keun Lee<sup>\*\*</sup>

*Housing and Urban Research Institute, Korea National Housing Corporation, Kyunggi, 463-704, Korea*

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

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

*(Received September 22, 2008; revision received November 6, 2008)*

**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, the electret filter is made by electrospinning process using Polystyrene which is dissolved by 5:5 of Tetrahydrofuran (THF) and Dimethylformamide (DMF). Also the electrical properties and the filtration performances 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. The surface charge potential and the surface charge density of electrospun PS filters are increased with increasing applied voltage and saturated at 30 kV of applied voltage. Also collection efficiency of electrospun filters is increased with increasing surface charge potential and surface charge density. But the surface charge potential is decreased by natural decay and it causes deterioration of particle collection efficiency.

**Key words:** Electrospinning(전기방사), Electret filter(정전기필터), Filtration efficiency(여과효율), Charge density(대전전하밀도), Charge potential(대전전위)

#### 1. 서 론

대기 중에는 여러 가지 화학물질로 이루어진 기

체분자 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  $\mu\text{m}$  크기로부터 수 백  $\mu\text{m}$  크기로 구성되어 있다. 그러

<sup>†</sup> Corresponding author

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

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

나 최근 환경 문제가 크게 부각됨에 따라 문제의 대상이 되고 있는 입자 크기는 약  $0.01 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$  정도이며 이러한 입자상 크기를 가지는 오염 물질을 제거하는 여과용 필터류가 주목을 받기 시작했고, 이 필터기능의 고성능화 및 응용에 대한 연구가 매우 활발하게 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.<sup>(1-3)</sup>

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 압력 손실은 증가하지 않는 특성을 보여준다.<sup>(4)</sup>

그래서 본 연구에서는 전기방사로 제조된 정전 필터의 전하충전량이 여과재의 포집효율에 미치는 영향과 코로나 강제 대전을 하였을 경우 정전 필터의 성능이 어떻게 변하는지 살펴봄으로써 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

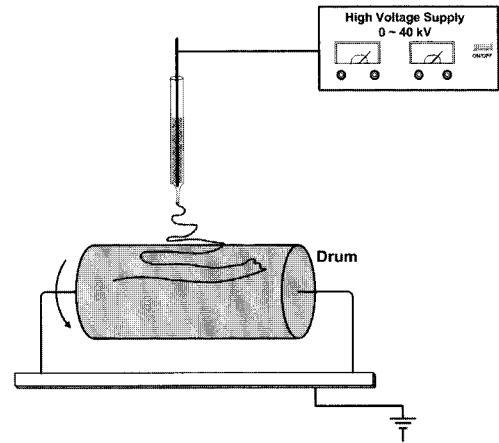


Fig. 1 Schematic diagram of electrospinning equipment.

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 첨점을 가진 금속 막대를 전면에 설치하여 그 막대에 고전압을 인가하여 코로나 방전을 일으켜 강제로 이온을 필터 미디어에 인가하였다. 방전부 구조는, 방전바늘부에서는 안정적인 방전이 유지되고 또한 방전부에서 강한 전기장이 형성되도록 하기 위해 길이 200 mm의 바늘을 포집통 50 mm 떨어진 거리에 설치하였고, 직류 고전압 발생장치는 양극(+)성 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 무화시켜 발생시키는 아토마이저(Atomizer)와 확산건조기(Diffusion Dryer) 및 대전중화기(Neutralizer, Kr-85)로 구성되어 있으며, 입자발생기에서 수분을 함유한 미세입자들이 발생되고 확산건조기를 통과하면서 입자주위의 수분이 제거되며 대전중화기에서 인위적으로 대전된 입자가 전기적으로 중화되어 공급되어진다. 공급되는 입자의 최대 농도는 2만개/cm<sup>3</sup> 정도로 본 필터 성능평가에 충분하였다. 실험을 위한

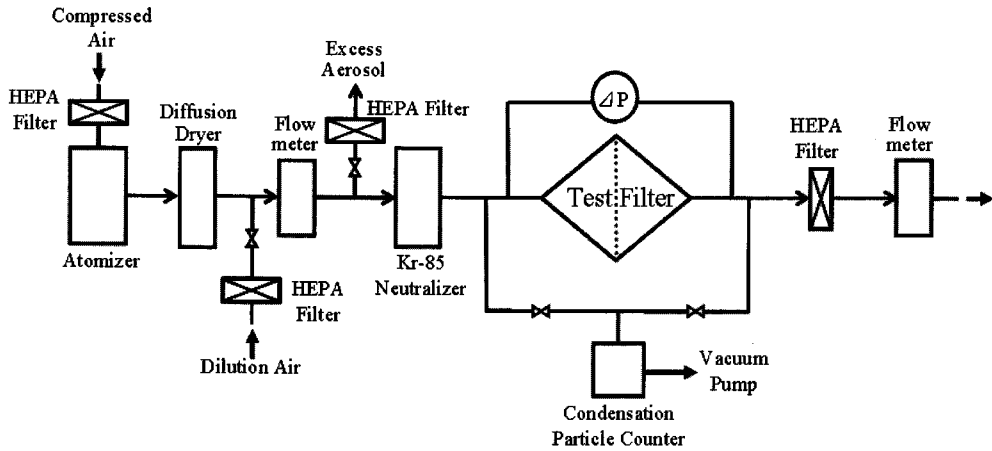


Fig. 2 Schematic diagram of filter test system.

필터의 고정을 위해서 상용화된 직경 47 mm 필터 홀더(Filter Holder)를 이용하였고, 입자의 관손실 및 마찰대전을 방지하기 위해 타이건 튜브(Tygon Tube)를 이용하여 각 부분을 연결하였다. 실험용 필터의 상·하류에 입자의 개수를 계측하기 위한 입자계수기(CPC, ondensation Particle Counter, TSI-3010)를 설치하여 여과효율을 측정하였으며, 필터의 압력손실을 측정하기 위해 필터 상·하류에 마이크로마노미터(Furness사, FCO510)를 이용하여 압력손실을 측정하였다.

2.3 전기적 특성 성능평가장치

대전량 측정을 위해서는 직접 측정방법인 페라데이 케이지(Faraday Cage)법을 이용하였으며 이는 외부와 완벽하게 전기적으로 절연이 되어있는

페라데이 케이지 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 취부 된 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

본 실험에서는 폴리스티렌(PS, Polystyrene)을 이용하여 섬유필터를 제조하였다. Sigma사에서 제조된 분자량 350,000의 폴리스티렌을 용매 THF(Tetrahydrofuran)와 DMF(Dimethylformamide)를 5 : 5로 혼합한 용매에 용해시켜 용액을 제조하였다. 이 때 농도는 비드(Bead)의 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 폴리스티렌 섬유필터의 전자현미경 사진을 나타내었으며,

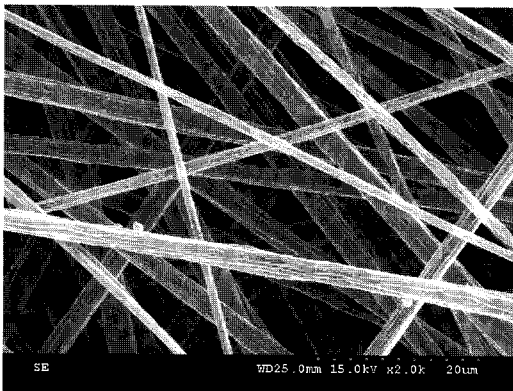


Fig. 3 Photograph of electrospun PS fibers.

직경은 약  $2\ \mu\text{m}$ 이며 평균 기공 크기는 약  $3.5\ \mu\text{m}$ 를 가지는 것으로 분석되었다.

### 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.

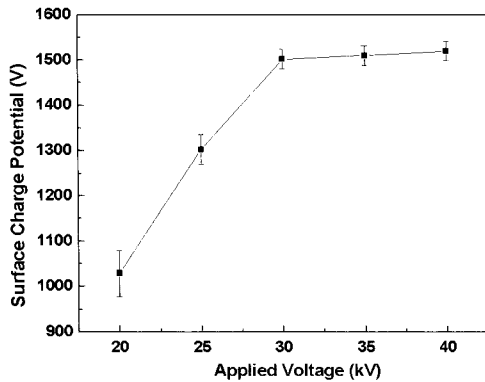


Fig. 4 Surface charge potential of electrospun filter media as a function of applied voltage.

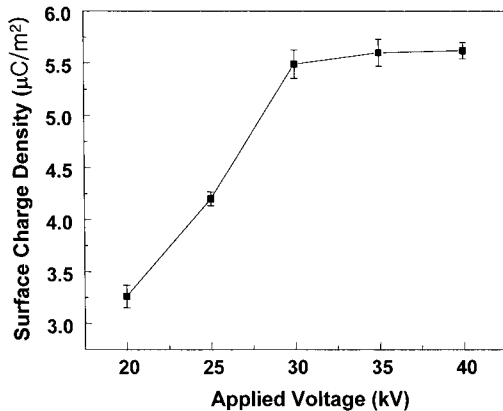


Fig. 5 Surface charge density of electrospun filter media as a function of applied voltage.

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. 이 결과로부터 섬유필터를 제조할 때 인가전압이 증가하게 되면 표면전위가 증가함을 알 수 있다. 하지만 인가전압이 30 kV 이상 일 때는 필터의 표면전위가 1,500 V에서 한계를 나타내며 더 이상 증가하지 않음을 볼 수 있는데, 이것은 선행연구<sup>(5)</sup>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  $3.3\ \mu\text{C}/\text{m}^2$ 에서  $5.6\ \mu\text{C}/\text{m}^2$ 로 급격히 증가함을 볼 수 있었지만, 인가전압이 30 kV 이상에서는 더 이상 증가하지 않음을 알 수 있었다. 이것은 표면전위가 더 이상 증가하지 않는 것과 마찬가지로 소재 자체의 전하 축적 성능특성에 의한 영향으로 분석할 수 있다.

Fig. 6은 전기방사시의 인가전압에 따른 필터의 초기 표면 전위값에 대한 시간 변화를 나타낸 그래프이다. 필터의 제작 후 즉시 측정된 표면 전위값은 인가전압에 따라 매우 큰 차이가 나타났으나 시간이 경과함에 따라 약 85시간 경과시까지는 급격한 전위의 감소를 나타내었으며 100시간 이후에는 모든 필터들이 약 200 V 정도의 표면 전위값으로 수렴하였다. 이는 공기중에는 무수

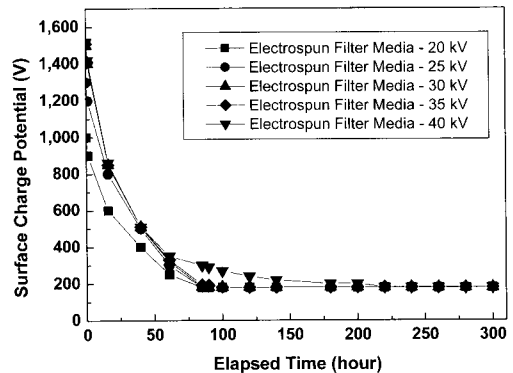


Fig. 6 Chronological surface charge decay of the electrospun filters.

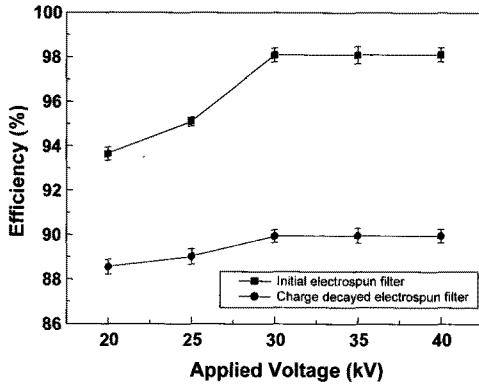


Fig. 7 Particle collection efficiency of an electrospun filter as a function of electrospinning voltage.

히 많은 이온들이 떠돌아다니고 있는데 이러한 이온들이 필터의 표면에 불안정 하게 존재하는 전하들과 결합하여 중성화함으로써 전위가 감소되는 것으로 판단된다. 이러한 필터의 표면전위 값이 높은 상태로 오랜시간 유지될 때 강력한 정전기력을 유지하여 입자의 포집에 매우 유리한 특성을 발휘하게 되므로 정전필터의 제조시 표면전위를 높게, 오랫동안 유지하도록 하는 것이 중요하다.

Fig. 7은 정전필터의 표면전위값이 감소되기 전 후에 대한 필터의 입자 포집효율을 나타낸 것이다. 필터 미디어의 압력손실은 7.5 mmAq, 유속은 5 cm/s이며 0.3  $\mu$ m 크기의 입자에 대한 효율을 나타내었으며, 초기 정전필터의 경우 인가전압이 20 kV에서 30 kV로 증가할 때 약 4% 포인트 정도의 포집효율이 증가하는 것으로 분석되었으나 표면전위의 자연감쇠가 있는 후에는 약 1.5% 포인트 이내에서 소량 증가하는 것으로 분석되었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 전기방사를 이용한 섬유필터의 대전 특성에 따른 성능 평가를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) THF와 DMF의 혼합비 5:5인 조건에서 전기방사법으로 제작된 폴리스티렌 섬유필터는 인가전압이 증가함으로 인해 표면전위와 대전량이 증가하는 경향을 보이고 있다. 하지만 인가전압이 30 kV 이상에서는 표면전위와 대전량이 더 이

상 증가하지 않고 일정한 값을 보이고 있다. 이것은 필터 소재 자체가 보유할 수 있는 전하 보유량의 한계로 전하의 축적이 더 이상 이루어지지 않기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 전기방사법으로 제작된 섬유필터는 시간이 경과함에 따라 초기의 표면 전위값이 상당히 감소하다가 일정시간 이후 수렴하는 특성을 가지며 본 연구에서는 200 V의 표면 전위값으로 수렴하는 것으로 분석되었다.

(3) 전기방사시의 인가전압이 증가함에 따라 포집효율이 증가하는 경향을 보였지만 30 kV 이상에서는 소재 자체의 전하 축적성능의 한계로 인하여 더 이상 증가하지 않음을 알 수 있으며 표면전위의 자연감쇠가 일어난 후에는 감쇠가 일어나기 전과 비교하여 약 6~10% 가량의 포집효율이 감소하였다. 그러므로 표면전위값을 높게 유지할수록 더욱 높은 포집효율을 유지할 수 있음을 확인하였다.

#### 후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년과제)에 의하여 연구되었습니다.

#### 참고문헌

1. Moshkin, A. A. and Moshkina, S. A., 1997, Electrical Filters made of Polymer Materials, *Journal of Electrostatics*, Vol. 40, No. 41, pp. 681-685.
2. 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.
3. 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.
4. Turnhout, J. V., 1980, Electret filters for High Efficiency Air Cleaning, *Journal of Electrostatics*, pp. 369-379.
5. Horenstein, M. N., 1995, Surface Charging Limit for a Woven Fabric on a Ground Plane, *Journal of Electrostatics*, Vol. 35, pp. 31-40.