

## 고성능 멜트블로운 부직포 복합필터 개발

<sup>1</sup>이재달 · 홍영기\* · 배기서\*\*

혜전대학 패션섬유계열

\* (주)선진인더스트리

\*\* 충남대학교 공과대학 섬유공학과

## Development of composite filter with high performance meltblown non-woven

<sup>1</sup>Jae-Dal Lee, Young-Ki Hong\* and Kie-Seo Bae\*\*

Dept. of Fashion Textile, Hyejeon College, Hongsung, Korea

\*Sun Jin, Inc., 496 Sapo-Ri, Yeunsan-Myeon, Nonsan-Si, Chungnam, Korea

\*\*Dept. of Textile Eng., Chungnam National Univ., Daejeon, Korea

(Received January 19, 2005/Accepted March 4, 2005)

**Abstract**—Electret filter is good enough to protect health and environment from air pollution. The reason why is gathering particles not only by mechanical mechanism but also by electrostatic attraction. Especially this filter is shown lower pressure drop than general mechanical filters as glass fiber.

For making electret filter media using polypropylene meltblown(M/B) nonwoven, the nonwoven is charged with corona which was supplied high voltage DC, AC, and pulse with DC power. The electret filter media is tested with 0.3 $\mu$ m sodium chloride and dioctyl phthalate(DOP) aerosol.

Results revealed that filtration performance of electret filter media increased as corona was applied with higher voltage and with AC power rather than DC, and fiber diameter was fine and uniform.

**Keywords** : Polypropylene, Meltblown, Nonwoven, Electret filter, Corona discharging

### 1. 서 론

폴리프로필렌 meltblown(M/B) 부직포는 구성 섬유의 직경이 3~10 $\mu$ m인 초극세사로 무배향 적층이 가능하고 화학적 안정성과 고속생산성, 낮은 생산 단가 등으로 인하여 여과재를 비롯한 다양한 용도로 활용되고 있다. 특히, 폴리프로필렌은 다른 고분자 물질에 비해서 표면장력이 낮고 가스나 증기의 투과에 필요한 에너지<sup>1)</sup>가 낮기 때문에 기체나 액체의 물질 분리시 압력손실(pressure drop)이 적다. 그러나, 적용 온도 범위가 좁고 섬도의 균일성과 형태안정성이 적기 때문에 공정조건 최적화 및 표면 개질 등이 필요하다.

일반적으로 HEPA나 ULPA와 같은 고성능 에어필터는 주로 극세 유리섬유를 소재로 하여 제조되고 있으며, 이들은 주로 기계적인 포집 메커니즘(차단효과, 관성충돌, 중력강하, 확산포집 등)의 포집 특성을 갖는다. 그러나, 공기중에 분포하는 0.1~10 $\mu$ m의 크기의 미세먼지(dust)나 오일 미스트(oily mist), 흄(fume) 등과 같이 인체에 유해한 가스상 분진의 포집에 있어서는 고도의 분리효율(filtration efficiency) 뿐만 아니라 흡기저항을 나타내는 압력손실(pressure drop)이 적은 에어필터를 요구한다. 즉, 일반적인 방진 마스크(respirators)에서 요구되는 압력손실은 기존의 HEPA와 ULPA가 갖는 25~50mmH<sub>2</sub>O 보다도 적은 10mmH<sub>2</sub>O(유량이 45LPM 일때) 이하가 필요하다.

최근에는 스모그나 황사 등의 공기중에 부유하

<sup>1</sup>Corresponding author. Tel. : +82-41-630-5218; Fax. : +82-41-631-4405; e-mail : jdlee@hyejeon.ac.kr

는 미세먼지와 용접시에 발생하는 용접흄, 산업장의 절삭유나 윤활유 등에서 발생하는 오일 미스트 등이 인체에 진폐증이나 호흡기 계통의 암을 유발하는 것으로 알려지면서 선진국을 중심으로 압력 손실이 적은 마스크용 고성능 에어필터의 개발이 활발히 진행되고 있다.

이러한 연구는 유전체인 고분자 물질에 영구적인 전기 쌍극자(electric dipole)를 부여하여 정전물질(electret)을 만들고 이물질로 제조된 에어필터는 기계적인 포집 메커니즘 뿐만 아니라 정전기력(coulombic force) 포집 메커니즘을 포함하게 된다. 이 electret filter는 기존의 고성능 유리섬유 필터와 동일한 분리효율을 갖는 조건에서도 낮은 압력손실을 나타낸다<sup>2-3)</sup>. 특히, 분진 입자의 크기가 1 $\mu$ m 이하에서는 기계적인 포집효율이 급격히 감소하지만 정전기적인 포집효율은 급격히 증가하기 때문에 다양한 입자 분포에 대한 상호보완적인 분리성능을 갖게 한다.

Electret filter의 제조에는 정전처리 방법에 따라 마찰 대전법(tribocharging)<sup>4)</sup>, 전기방사법(electrostatic spinning)<sup>5)</sup>, 코로나 방전법(corona discharging)<sup>6)</sup> 등이 사용되고 있으나, M/B 부직포의 처리에는 코로나 방전법이 가장 유용하다<sup>7)</sup>. 또한, 코로나 방전법에는 전압의 인가방법에 따라 직류(DC)식, 교류(AC)식, 보정 직류(pulsed DC)식 등이 사용되고 있다. 일반적으로 electret filter의 정전효과는 온습도 증가, 휘발성 유기화합물의 흡착, 섬유표면의 물리적 변화, 장기간 보관 등에 의하여 감소하는 것으로 알려져 있다.

M/B 부직포와 유리섬유와 같이 극세사로 구성된 필터는 분리기체 내의 고형분진(solid particle)에 의하여 케이크(cake)를 형성하기 때문에 분리시간에 따라 분리효율이 감소하지만<sup>8)</sup>, 오일 미스트와 같이 높은 유전상수를 갖는 물질은 섬유의 표면에 흡착되기 때문에 좋은 분리성능을 나타낸다<sup>9)</sup>. 즉, 정전처리된 M/B 부직포 electret filter는 기존의 유리섬유 필터에 비해서 월등히 낮은 압력손실을 유지하면서 분진이나 용접흄 뿐만 아니라, 기계적 메커니즘 만으로는 포집이 어려운 오일 미스트와 같은 유전체 물질을 분리하는 데에 매우 좋은 특성을 나타낸다.

따라서 본 연구에서는 기존에 건식 및 습식여과재로 사용되는 M/B 부직포를 이용하여 방진 마스크용 등에 사용되는 정전여과재의 설계 및 M/B 생산공정의 최적조건 설정, 코로나 방전법 등에 따른 분리성능을 시험하여 영구적인 분극특성을

갖는 정전여과재의 제조가능성을 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1 M/B 부직포 여과재의 제조

실험에 사용된 폴리프로필렌은 2,5-dimethyl-2,5-di(t-butylperoxy)hexane을 사용하여 MFR(melt flow rate)이 900으로 조절된 isotatic 폴리프로필렌 수지를 사용하였고, M/B 부직포의 제조는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 meltblown system (JM Labs., USA)으로 생산되었다.

정전 여과재를 위한 M/B 부직포의 기본 생산조건은 Table 1에 나타내었으며, 상기의 폴리프로필렌 수지로부터 생산된 M/B 부직포의 표면 SEM 사진은 Fig. 2에 나타내었다. 사진에서처럼 M/B 부직포는 비교적 불균일한 섬유분포를 갖는 것으로 나타났으나, 이는 폴리프로필렌 수지의 MFR 값의 상승과 균제화 및 생산조건 최적화 설정으로 개선될 수 있을 것으로 판단된다.

### 2.2 Corona 정전처리

코로나 정전처리는 Fig. 3에서와 같은 정전기 부가장치를 제작하여 시험하였다. 정전기 부가장치의

Table 1. Some process conditions of meltblown system

Factors	Process condition
Fabric weight	20, 30g/m <sup>2</sup>
Die-tip temperature	265 °C
Hot air pressure	5.0 psi
Amount of production	0.8 cc/min/hole
DCD (Distance of collector to die)	30cm

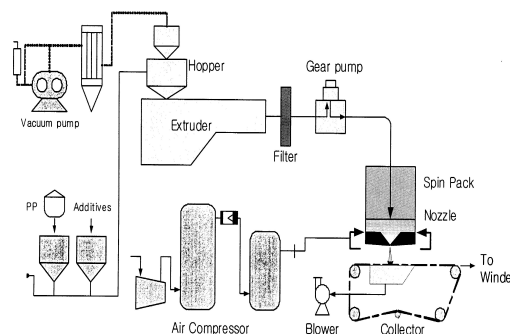


Fig. 1. An apparatus of meltblown nonwoven fabric.

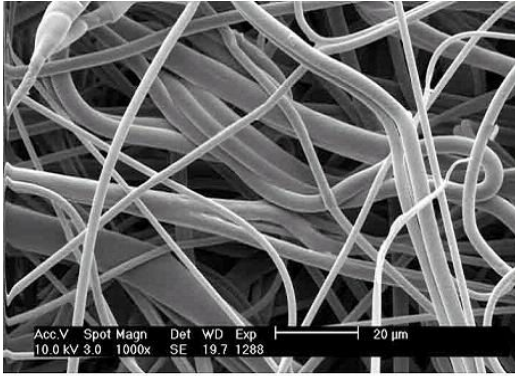


Fig. 2. SEM photograph of M/B nonwoven fabrics.

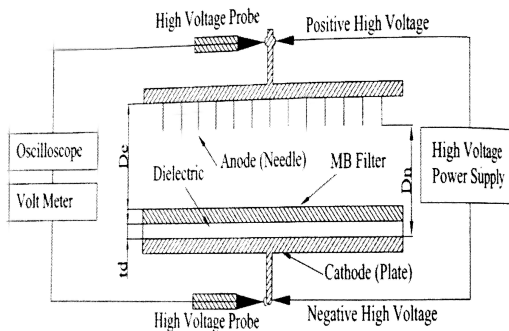


Fig. 3. An apparatus of corona charging.

방전부는 처리효과에 중요한 영향을 미치는 부분으로써 본 실험에서는 호형의 침상전극의 형태로 침의 길이, 밀도, 침간 거리 등을 고려하여 제작하였다. 또한, 실험 장치는 인가전압을 8~12kV(DC)와 5~6kV(AC) 및 pulse 전압을 사용할 수 있도록 하였고, 전압계와 오실로스코프를 이용하여 계측하였다.

한편, 실험에서 인가전압이 높을수록 정전처리 효과는 증가하는 것으로 나타났으나, 스파크의 발생빈도가 높아지는 단점이 발생하였다. 이는 부직포의 특성상 섬유 밀도분포가 일정하지 못하기 때문으로 판단되며 음전극(cathode)의 표면에 유전체 필름을 코팅함으로써 적용 가능한 인가전압 범위를 상승시킬 수 있었다.

2.3 Electret filter의 성능실험

제작된 electret filter의 성능실험은 Fig. 4에 나타난 시험조건을 기준으로 여과성능시험기 model 8130(TSI사, USA)을 이용하여 NaCl과 DOP(dioctyl phthalate) aerosol test 법을 사용하였으며, 실험에 사용된 기본적인 여과성능 시험조건은 Table 2에 나타내었다.

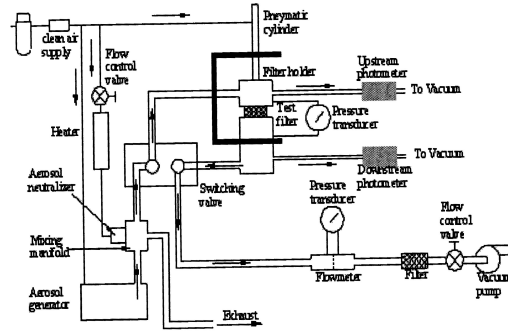


Fig. 4. Schematic diagram of model 8130 filter tester.

Table 2. Summary of test conditions used

Test condition	NaCl test	DOP test
Filter diameter	85mm	45mm
Aerosol property	solid	Oily liquid
Aerosol flow rate	95 L/min	95 L/min
Aerosol face velocity	16.7 cm/sec	27.9 cm/sec
Aerosol particle size (X dia. m)	0.3 μm	0.3 μm

3. 결과 및 고찰

3.1 M/B 생산조건에 따른 여과성능

고성능 에어필터에 필요한 최적의 M/B 부직포 생산조건은 주요 생산인자에 따른 여과성능시험 후 분리성능을 검토하여 설정하였다. 시험결과 주요인자별 최적의 생산조건은 Table 2에 나타낸 바와 같이 die-tip 온도와 열풍 온도는 265℃로 나타났고, DCD는 20~25cm로 나타났으나 외기온도 변화에 의한 성능 편차가 증가하는 것으로 나타나 안정성이 높은 30cm로 고정하였다. 또한 Fig. 5는 열풍에어의 압력 변화에 따른 분리효율과 압력손실을 나타낸 것으로 그림에서 알 수 있는 바와 같이 M/B 부직포 여과재의 제조공정에서 가장 중요한 공정인자로 열풍에어 압력의 증가는 여과재의 분리효율과 압력손실을 증가시킬 수 있다. 이것은 일반적으로 M/B 부직포 여과재의 제조시에 열풍에어 압력의 증가로 인한 여과재를 구성하는 섬유의 원활한 연신으로 섬유의 직경이 작아지기 때문이다. 즉 동일한 체적의 여과재에서 섬유의 직경이 작아지면 상대적인 여과 표면적의 증가로 인한 분리효율과 압력손실은 증가하게 된다.

따라서 열풍에어 압력의 증가율에 따른 여과재의

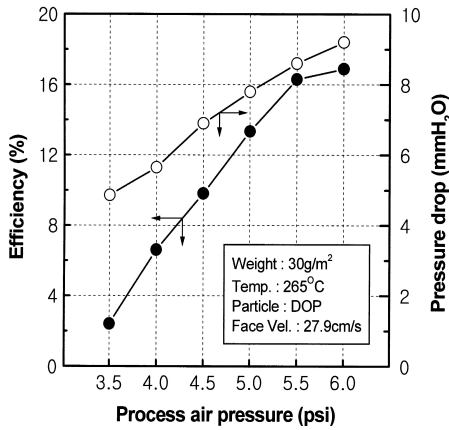


Fig. 5. Filtration properties of untreated filter according to process air pressure.

분리효율 증가율 특성과 상대적인 압력손실 특성을 고려할 때 5.0~5.5psi 구간에서 가장 좋은 여과성능이 나타남을 알 수 있다. 그러므로 M/B 여과재 생산 조건에서 열풍에어 압력은 5.0psi를 기준으로 하였다

3.2 Corona 정전 특성평가

3.2.1 인가전압에 따른 분리성능

일반적으로 코로나 정전 처리시 인가된 전압이 높을수록 더 높은 정전 특성을 얻을 수 있다. Fig. 6은 M/B 부직포 여과재의 코로나 정전처리시에 방전부 인가전압의 크기가 정전처리 효과에 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 중량 20g/m<sup>2</sup>인 M/B 부직포 여과재에 방전부 인가전압을 DC 3kV에서 8kV까지 1kV 씩 증가시킨 후 측정된 분리효율을 나타낸 것이다. 그림에서 분리효율은 인가전압의 크기가 약 5kV 이상에서부터 급격하게 증가됨을 알 수 있다

이것은 M/B 부직포 여과재에 코로나 정전처리시 코로나가 방전부의 인가전압이 약 5kV 이상에서부터 발생하는 현상이므로 이보다 낮은 인가전압에서는 코로나가 발생되지 않으며 5kV 미만에서는 매우 낮은 방전전류가 발생하기 때문에 M/B 부직포 여과재에 정전기가 부가되지 않은 것으로 사료된다.

3.2.2 정전처리 유무에 따른 분리성능 비교

Fig. 7은 M/B 부직포 여과재의 동일한 생산조건에서 여과재의 중량변화에 따른 M/B 부직포 여과재에 대하여 정전기를 부가한 경우와 부가하지 않은 경우 각각의 여과재의 분리성능 변화를 비교 실험한 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 M/B 부직포 여과

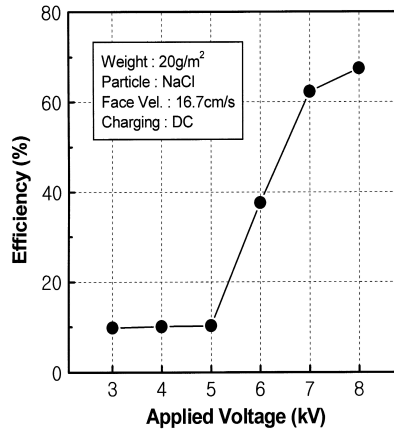


Fig. 6. Filtration efficiency curve according to voltage applied corona charging.

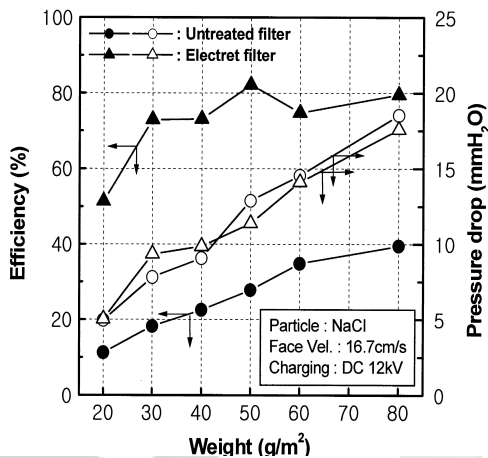


Fig. 7. Filtration properties of untreated and electret filter according to fabric weight.

가 정전처리하지 않은 여과재에 비하여 약 2~4배 정도 상승하였음을 알 수 있다. 또한 M/B 부직포 여과재의 단위 면적당 중량이 작을수록 정전처리로 인한 분리효율의 상승폭은 상대적으로 더욱 크게 나타남을 알 수 있는데 이것은 결국 M/B 부직포 여과재의 정전처리는 작은 중량의 얇은 여과재의 사용으로도 낮은 압력손실과 분리효율의 고성능 필터가 가능함을 예측할 수 있다.

한편, M/B 부직포 여과재의 분리성능에서 압력손실은 정전처리 한 경우와 정전처리하지 않은 경우 크게 차이가 나지 않음을 볼 수 있는데, 이것은 정전처리로 인한 분리효율의 증가는 압력손실의 상승을 동반하지 않음을 알 수 있다. 재의 분리효율은 정전기 부가, 즉 Electret화 한 경우

3.2.3 정전 여과재의 적층 효과

부직포 여과재의 겹 수의 증가에 대한 분리성능의 경향은 복합층의 여과재 사용시 매우 유용한 정보가 될 수 있다.

Fig. 8은 중량 20g/m<sup>2</sup>의 M/B 부직포 여과재를 정전처리한 경우와 정전처리하지 않은 경우 각각에 대하여 적층수의 증가에 따른 분리성능 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보인바와 같이 정전처리하지 않은 M/B 부직포 여과재의 경우 적층수의 증가에 따라 분리효율은 완만한 상승을 보이나, 정전 처리한 M/B 부직포 여과재의 경우에는 매우 급격하게 증가함을 볼 수 있다. 이것은 M/B 부직포 여과재의 정전처리 결과로 요구되는 분리효율을 나타내기 위하여 필요한 여과재의 겹수는 줄어들게 되어 고성능화를 달성함과 동시에 경제적인 측면에서도 매우 유리함을 알 수 있다.

한편 분리효율은 급격한 증가에도 불구하고, 전기력에 의한 입자의 부착으로 인하여 압력손실의 증가는 크지 않음을 알 수 있다.

따라서 본 기초실험에 의해 제조된 M/B 부직포 여과재의 정전처리는 매우 높은 분리성능을 가짐을 예측할 수 있고, 이 기초실험의 결과는 분리성능이 극대화된 M/B 부직포 정전여과재의 가능성을 나타낸다

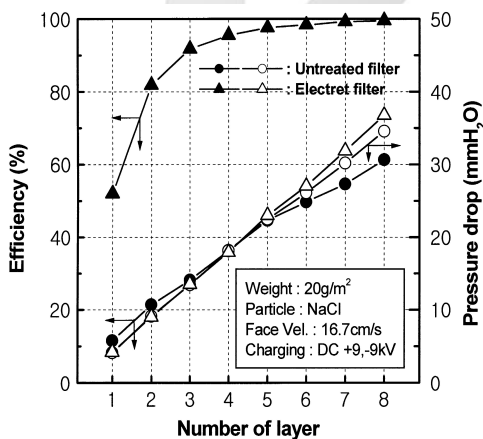


Fig. 8. Filtration properties of untreated and electret filter according to layer.

3.2.4 전압인가 방식에 따른 분리성능

코로나와 같은 고전압 인가방식에서는 방전부 내에서 공기중의 습도나 기체에 영향을 미쳐 오존이나 기타 이온화합물이 생성된다. 이러한 결과는 정상적인 정전처리를 어렵게 하고 방전부의 침식 및 스파크에 의한 섬유 손상을 야기한다. 이러한

단점을 극복하기 위하여 최근에는 AC나 pulsed DC와 같은 다양한 전압인가 방식이 개발되고 있다.

한편 코로나 방전은 방전부에 인가되는 고전압의 종류에 따라 방전형태가 달라지며, 방전형태의 차이는 결국 정전여과재 제조후의 분리성능에 영향을 크게 미치게 되므로, 이와 같은 인가전압 종류의 영향을 알아보기 위한 실험의 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

그림에서 보인바와 같이 20g/m<sup>2</sup>인 M/B 부직포 여과재의 동일한 조건에 대하여 DC 전압인 경우에 비하여 AC 고전압인 경우 및 pulsed DC 고전압인 경우의 분리성능이 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

따라서 이러한 실험의 결과는 M/B 부직포 여과재를 바탕으로 하여 전압인가 방식에 따른 고성능의 복합필터 개발에 기초적인 데이터의 활용가능성을 제시하고자한다.

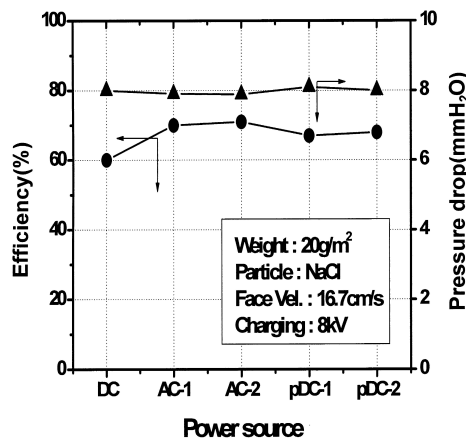


Fig. 9. Filtration properties according to type of power source.  
AC-1 : 1kHz AC , pDC-1 : pulsed DC (300Hz),  
AC-2 : 2kHz AC , pDC-2 : pulse DC (400Hz)

4. 결 론

고성능 에어필터용 복합소재로 사용하기 위한 폴리프로필렌 M/B 부직포의 electret화에 코로나 방전법을 응용하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) M/B 부직포에 코로나 정전처리를 함으로써 필터에 활용가능한 정전기적 포집 메커니즘이 추가되었고, 정전처리시 인가전압이 높을수록 성능을 향상시킬 수 있으나 스파크 발생빈도도 높아지므로 방전부의 안정화가 중요함을 확인하였다.

- (2) 코로나 정전처리시 인가전압은 DC에서는 5kV 이상이 요구되었고, 동일한 인가전압에서 여과 성능은 AC가 DC나 pulsed DC에 비해서 높게 나타났다.
- (3) 본 연구의 기초실험에 의해 제조된 M/B 부직포 여과재의 정전처리는 매우 높은 분리성능을 가짐을 예측할 수 있었고, 이러한 실험의 결과는 분리성능이 극대화된 고성능의 M/B 부직포 정전여과재의 활용가능성을 확인할 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2003년도 해전대학 교수학술연구조성비에 의하여 수행한 연구결과임.

### 참고문헌

1. H.B. Hopfenberg, Permeability of plastic films and coatings, NY: Plenum Press(1974).
2. H.P. Baumgartner and F. Loffler, The collection performance of electret filters in the particle size range 0.01  $\mu\text{m}$ -10  $\mu\text{m}$ , *J. Aerosol Sci.*, **17**, 438-445 (1986).
3. P.P. Tsai and L.C. Wadsworth, Electrostatic

- charging of meltblown webs for high-efficiency air filters, *Advances in Filtration and Separation Technology*, American Filtration and Separation Society, Vol. **9**, 473-491(1995).
4. P.A. Smith, G.C. East, R.C. Brown, and D. Wake, Generation of triboelectric charge in textile fibre mixtures and their use as air filters, *J. Electrostatics*, **21**, 81-98(1988).
  5. J. Doshi and D.H. Reneker, Electrospinning process and applications of electrospun fibers, *J. Electrostatics*, **35**, 151-160(1995).
  6. P.P. Tsai, L.C. Wadsworth, and G.W. Qin, Theory and techniques of electrostatic charging of meltblown nonwoven webs, *TAPPI J.*, **81**(1), 274 - 278(1998).
  7. P.P. Tsai, H. Schreuder-Gibson, and P. Gibson, Different electrostatic methods for making electret filters, *J. Electrostatics*, **54**, 333-341(2002).
  8. R.C. Brown, *Air Filtration*, NY: Pergamon Press, 234-236(1993).
  9. L.W. Barrett and A.D. Rousseau, Aerosol loading performance of electret filter media, *AIHA J.*, **59**, 532-539(1998).

