

〈연구논문(학술)〉

코로나 방전에 의한 방진/의료용 마스크 여과재의 기능화 가공

홍영기

건양대학교 패션디자인산업학과

Functional Finishing of Nonwoven Filter for Dust-proof/Medical Masks by Corona Discharging Treatment

Young-ki Hong

Department of Fashion Design and Apparel Industry, Konyang University, Nonsan, Korea

(Received: May 24, 2013 / Revised: June 25, 2013 / Accepted: August 9, 2013)

Abstract: In this study, 25gsm melt-blown polypropylene nonwoven for dust-proof/medical masks was finished by the corona discharging treatment. The influence of corona discharging parameters on the filtration efficiency was investigated. Several parameters such as discharging voltage, discharging speed, distance to discharging wire and configuration of discharging system had an effect on filtration efficiency, while the parameters had no effect on breathing resistance. Optimum corona discharging conditions are as follows: Wires were installed on the upper part of the nonwoven and paper pipe was installed on the lower part of the nonwoven having a distance of 5cm. The sequence of wire voltages was +60 kV, +60 kV, 0, -60 kV, and -60 kV. The discharging voltage and speed were 60 kV and 30m/min respectively. The nonwoven treated by corona discharging at the optimum condition showed a filtration efficiency of 80% or more, which is suitable for dust-proof/medical masks.

Keywords: nonwoven, corona discharging, dust-proof/medical masks, filtration efficiency, breathing resistance

1. 서 론

코로나 현상은 대전된 얇은 전선이나 침에 물체를 가까이 하여 높은 에너지 전자기장을 형성시키는 것으로, 이온화가 동시에 발생되며, 상대적으로 낮은 온도의 대기압에서 더욱 잘 발생된다.

이온화된 영역에서 이온, 라디칼, 전자, 여기 상태의 분자 등이 존재하며, 이 활성종들이 표면개질 작용을 하며, 일반적으로 표면산화가 수반된다. 이러한 특성을 이용하여 코로나 처리를 할 수 있으며, 코로나 발생 장치는 전자기장 발생장치, 얇은 선 또는 침, 그리고 표면 위를 스쳐지나가는 특정 간격으로 구성^{1,2)}된다.

코로나 방전을 이용하여 섬유를 가공하는 많은 연구³⁻⁸⁾가 보고되고 있다. 특히 여과재에 정전 전하를 부여하면 포집효율이 증가되는데, 이는 대전된

여과재와 반대 전하의 먼지 입자가 전기적 인력에 의해 포집되는 현상⁹⁻¹²⁾으로 보고되고 있다. 또한 코로나 가공시 인가전압 세기, 전하분포 등에 의하여 필터의 포집효율이 결정되는 연구^{13,14)}도 보고되고 있다.

한편, 방진마스크는 종류에 따라 분리식과 안면부 여과식으로 나뉘고 분리식은 다시 격리식과 직결식으로 나뉘는데, 분리식은 여과재를 자유롭게 교환할 수 있지만 안면부 여과식은 여과재를 교환할 수 없는 특징¹⁵⁻¹⁸⁾이 있다. 방진마스크와 같은 공조용 여과재는 단순히 기공크기 차이로 걸러주는 부직포 소재가 주종을 이루고 있으며, 낮은 포집효율과 기공 막힘현상, 높은 압력손실 등의 단점이 있다. 우수한 여과재는 높은 포집 효율과 낮은 압력손실을 갖는 소재가 필요하다. 최근 이를 극복하기 위해 정전처리가 실용화 되고 있으나 정전처리 시스템은 공개되지 않는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 높은 포집 효율과 낮은 압

†Corresponding author: Young-Ki Hong (ymhong@konyang.ac.kr)
Tel.: +82-41-730-5436 Fax.: +82-41-733-7186
©2013 KSDF 1229-0033/2013-09/232-239

력손실을 갖는 여과재를 제조하기 위하여 폴리프로필렌 멜트블로운 부직포에 코로나 가공 인가전압, 가공속도, 와이어와의 거리, 배열이 포집효율과 흡기저항에 미치는 영향을 알아보고, 방진/의료용 마스크 여과재에 대하여 산업현장에서 적용 가능한 최적의 코로나 가공 조건을 설정하는데 연구의 목적을 두고 있다.

2. 실험

2.1 재료

방진/의료용 마스크 여과재로 사용된 멜트블로운 부직포¹⁹⁾의 원료로는 멜트블로운 방사용 폴리프로필렌 수지에 2,5-Dimethyl-2,5-di-(tertbutylperoxy)-hexane을 사용하여 용융 지수(MFR : melt flow rate)를 1,500으로 조절한 초고유동성 isotatic 폴리프로필렌 수지를 사용하였다. 멜트블로운 시스템(J&M Labs., USA)에 의해 25g/m²의 평량으로 제조된 부직포를 사용하였다.

2.2 코로나 가공

실험에 사용된 코로나 가공장치의 개략도를 Figure 1에 나타내었다. 핀타입에 비하여 아크 발생 빈도가 적고, 광폭의 원단에서도 균일하게 대전처리가 되는 와이어타입으로, 전기전도도가 높은 텅스텐 와이어를 사용하였다.

코로나 가공 시스템은 상부 슬롯과 하부 슬롯 각각 5개로 구성되어, 양전하가 인가된 와이어(+), 음전하가 인가된 와이어(-), paper pipe(p) 또는 비어있는 상태(0)로 변경 가능하도록 설계 제작되었다.

Figure 1에서는 와이어의 구성을 상부에 +, +, 0, -, -로 구성하고 하부에는 p, p, 0, p, p로 구성된 상태를 나타내었다. 공급원단은 자동장력 조절장치에 의해 겹치거나 주름지지 않은 상태로 공급되도록 유지되었으며, 코로나 가공 구간을 거쳐 일정속도로 가공이 이루어진 후 에어나이프에 의해 제품 규격에 알맞은 폭으로 절단되어 권취되는 일괄처리 방식으로 설계 제작되었다. 인가전압, 가공속도, 와이어와 원단과의 거리, 슬롯에 장착되는 와이어 배열방법을 변수로 코로나 가공을 실시하였다. 와이어에 인가되는 전압의 부호는 양, 음 또는 미설치로 구분된다.

2.3 성능평가 방법

여과효율 측정기(Automated Filter Tester TSI 8130, Trust Science Innovation, USA)를 사용하여 흡기저항(breathing resistance)과 포집효율(filtering efficiency)을 측정하였다. 여과효율 측정기는 2% NaCl 수용액이 Aerosol generator에 의해 0.3 μ m크기의 입자크기로 32 lpm의 유량(Nominal Filter Flow)으로 성능이 평가되었다. Figure 2와 Figure 3에 여과효율 측정기의 원리와 사진을 나타내었다.

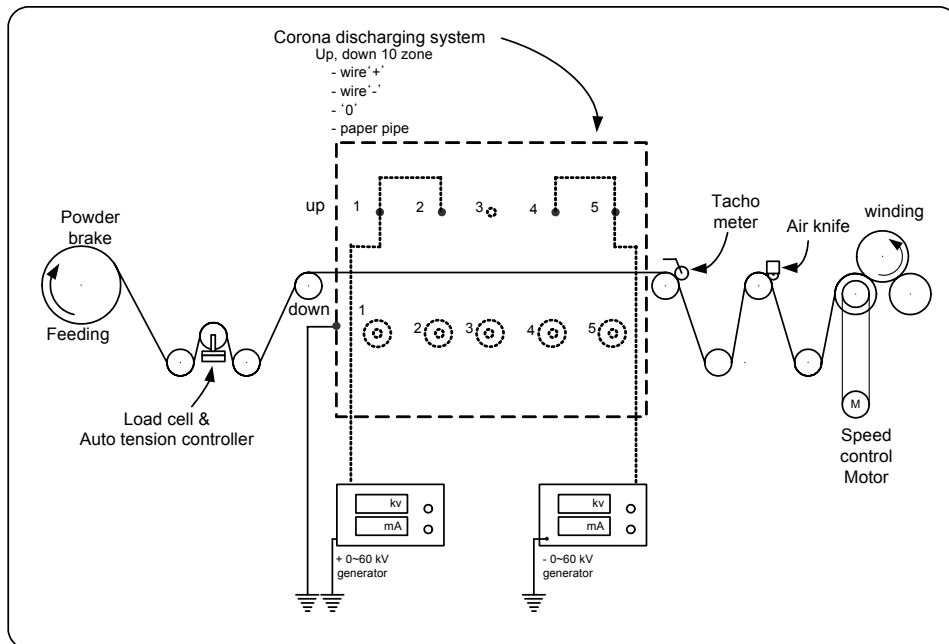


Figure 1. Schematic diagram of corona discharging system. ([up] +, +, 0, -, - / [down] p, p, 0, p, p)

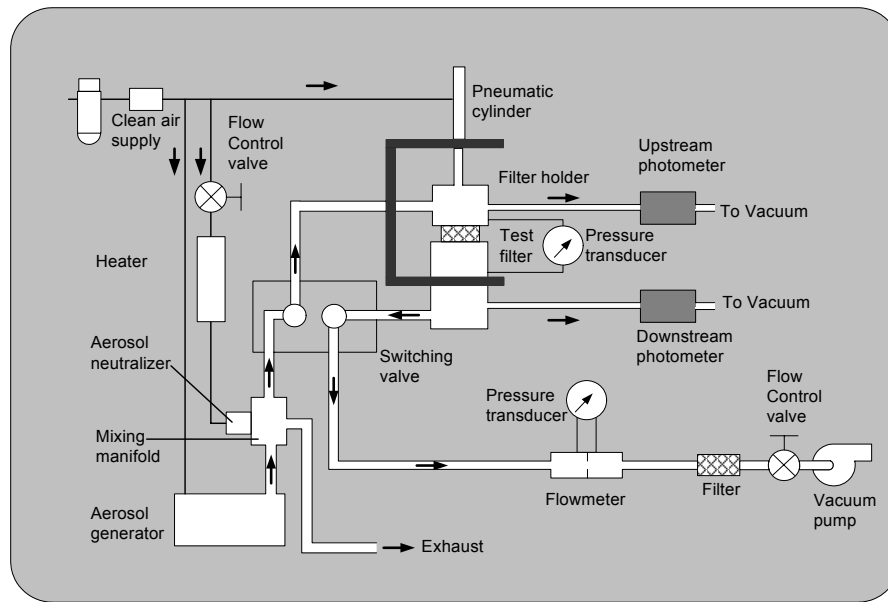


Figure 2. Schematic diagram of TSI 8130 automated filter tester.



Figure 3. Photograph of TSI 8130 automated filter tester.

기공도 측정기(perme-porometer PMI APP-200AE, Porous Material Inc., USA)를 사용하여 코로나 가공에 의한 방진/의료용 마스크 여과재의 기공 특성 변화를 평가하는데 사용되었다. 기공도 측정시 dry-up/wet-up 방법으로 측정용액은 표면장력이 16.0dyne/cm인 Porewick®(Porous Material Inc.,)이 사용되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 코로나 가공 인가전압의 영향

코로나 가공 인가전압이 흡기저항과 포집효율에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위해 Table 1의 시료 01~04와 같이 와이어와 원단거리 15cm, 가공속도 5m/min로 설정하고, 인가전압의 세기를 ± 30 kV, ± 35 kV, ± 40 kV, ± 50 kV로 변경시켜 보았다. 시료 01의 경우 코로나 가공 인가 와이어의 배열을 원단의 이동경로 순서대로 나열하면, 상부에 -30 kV, +30 kV, -30 kV, +30 kV, '0' 으로 와이어에 전압이 인가되었으며, 원단이 지나가는 하부에는 첫 번째에서 네 번째 슬롯까지 종이 파이프가 각각 설치되었다. '0'으로 표기된 상부의 다섯 번째 슬롯과 하부의 다섯 번째 슬롯에는 와이어나 종이파이프를 설치되지 않은 상태로 실험하였다. 02번, 03번, 04번 시료도 동일한 배열 방법으로 각각 전극의 부호는 동일하고 인가 전압의 세기만 변화시켰다.

코로나 가공 인가전압이 흡기저항과 포집효율에 주는 영향을 Figure 4에 나타내었다. 실험결과 Figure 4에서 나타난 바와 같이 코로나 가공 인가전압을 증가시켰을 때 흡기저항에는 큰 변화가 없었으나 포집효율은 증가하는 경향을 나타내었다. 코로나 가공 인가전압이 높으면 정전처리 가공시 전자기장의 세기가 강해져서 더 많은 여과재내의 분자를 여기상태의 활성종으로 변화시켰기 때문인 것으로 생

Table 1. Corona discharging condition

Sample No.	Corona discharging voltage [kV]	Discharging speed [m/min]	Distance to discharging wire[cm]	Configuration of discharging wire*									
				up					down				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
01	30	5	15	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
02	35	5	15	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
03	40	5	15	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
04	50	5	15	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
05	40	10	15	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
06	40	30	15	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
07	40	40	15	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
08	40	5	3	+	-	+	-	-	p	p	p	p	p
09	40	5	5	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
10	40	5	10	-	+	-	+	0	p	p	p	p	0
11	60	5	5	p	0	0	0	-	+	0	0	0	p
12	60	5	5	p	0	0	0	+	-	0	0	0	p
13	60	5	5	0	0	0	0	-	0	0	0	0	p
14	60	5	5	0	0	0	+	+	0	0	0	p	p
15	60	5	5	0	0	0	-	-	0	0	0	p	p
16	60	5	5	+	0	0	0	+	p	0	0	0	p
17	60	5	5	-	0	0	0	-	p	0	0	0	p
18	60	5	5	+	0	0	0	-	p	0	0	0	p
19	60	5	5	+	+	0	-	-	p	p	0	p	p
20	60	5	5	+	0	0	-	-	p	0	0	p	p
21	60	10	5	+	0	0	-	-	p	0	0	p	p
22	60	20	5	+	0	0	-	-	p	0	0	p	p
23	60	30	5	+	0	0	0	-	p	0	0	0	p
24	60	40	5	+	0	0	-	-	p	0	0	p	p
25	60	10	5	+	+	0	-	-	p	p	0	p	p
26	60	20	5	+	+	0	-	-	p	p	0	p	p
27	60	30	5	+	+	0	-	-	p	p	0	p	p
28	60	40	5	+	+	0	-	-	p	p	0	p	p
29	60	10	5	+	0	0	-	-	p	0	0	p	p
30	60	20	5	+	0	0	-	-	p	0	0	p	p
31	60	30	5	+	0	0	-	-	p	0	0	p	p
32	60	40	5	+	0	0	-	-	p	0	0	p	p

*Configuration of discharging wire : '0' means empty slot, 'p' means paper pipe

각된다. 따라서 개질된 여과재 표면이 외부 이물질과 더 쉽게 반응하여 결과적으로 포집효율이 향상되는 것으로 생각된다. 이러한 현상은 인가전압의 세기가 전하밀도의 세기를 높여준다는 연구^{13,14)}와도 일치하는 경향이다.

3.2 가공속도의 영향

Table 1의 03, 05, 06, 07번 시료는 가공속도의 변화가 주는 영향을 알아보기 위한 실험 조건으로, 가공속도를 각각 5, 10, 30, 40m/min로 변화시켰다. 가공속도 변화가 흡기저항과 포집효율에 미치는 영향

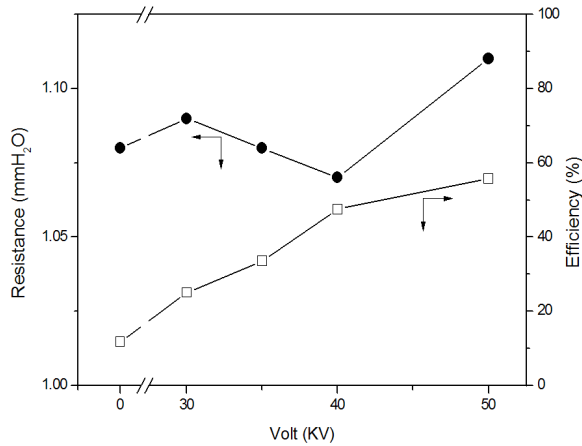


Figure 4. Effect of discharging voltage on the resistance and efficiency.(distance to discharging wire 15cm, discharging speed 5m/min, configuration of discharging wire [up] -, +, -, +, 0 / [down] p, p, p, p, 0)

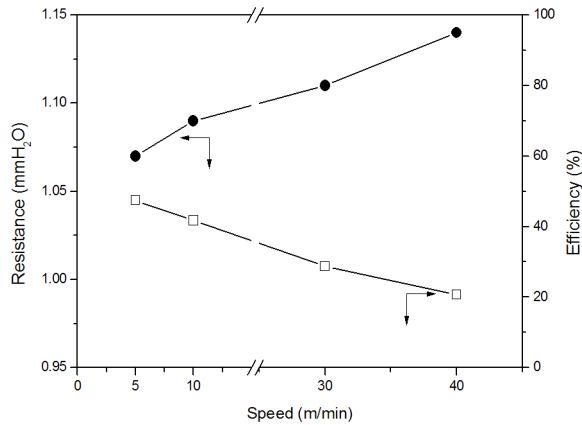


Figure 5. Effect of discharging speed on the resistance and efficiency.(distance to discharging wire 15cm, discharging voltage 40 kV configuration of discharging wire [up] -, +, -, +, 0 / [down] p, p, p, p, 0)

을 Figure 5에 나타내었다.

가공속도를 증가시켰을 때 흡기저항에는 큰 변화가 없었으나 포집효율은 감소하는 경향을 나타내었다. 이렇게 가공속도를 증가시킬수록 포집효율이 감소하는 현상은 코로나 가공시 단위면적당 가공시간이 감소하게 되어 여과재내 여기상태의 활성종의 수가 감소한데서 기인한 것으로 생각된다. 5m/min의 가공속도의 경우 가장 높은 포집효율을 나타냈지만, 지나치게 낮은 가공속도는 생산성에 영향을 미치므로 현장적용이 가능한 속도는 30m/min 정도가 적합한 속도라고 생각된다. 따라서 다른 조건들의 최적 조건을 찾아내어 포집효율을 향상시켜야만 실제 현장에 적용이 가능할 것으로 생각된다.

3.3 와이어와의 거리에 대한 영향

Table 1의 03, 08, 09, 10번 시료는 원단과 전압이 인가된 코로나 처리용 와이어와의 거리가 흡기저항과 포집효율에 주는 영향을 알아보기 위한 실험조건으로, 와이어와의 거리를 각각 3, 5, 10, 15cm로 각각 변경시켰다. 상부에 설치된 와이어에 인가전압은 -40 kV, +40 kV, -40 kV, +40 kV, '0'으로 설정하고 하부에서 와이어 아래에는 종이 파이프를 설치하여 5m/min의 속도로 가공하였다.

코로나 가공시 인가 와이어와 원단과의 거리가 흡기저항 및 포집효율에 주는 영향을 Figure 6에 나타내었다. 실험결과 와이어와의 거리변화에 따라 흡기저항은 큰 변화가 없었으나, 와이어와의 거리가 가까워질수록 더 높은 포집효율을 나타내었다. 이러한 현상은 가공시 와이어를 중심으로 전자기장의 띠가 형성되는데, 와이어와 거리가 멀어질수록 전자기장의 세기가 약해져서 여과재내 여기상태의 활성종의 수가 감소하여 발생하는 현상이라고 생각되며 이와 유사한 경향이 나타나는 연구^{13,14}가 보고되고 있다.

3.4 인가 전압의 배열에 따른 영향

코로나 가공 인가 와이어를 Table 1의 11~20번과 같이 인가전압의 부호, 세기를 변화시키며 상부 및 하부슬롯에 배열하였다. 와이어가 상부 또는 하부에 설치된 경우에는 그와 대응되는 하부 또는 상부에 'p'로 표시하여 종이파이프를 설치하였고, 상부나 하부에 와이어가 설치되어 있지 않은 경우 '0'으로 표시하여 빈 슬롯임을 나타내고 있다.

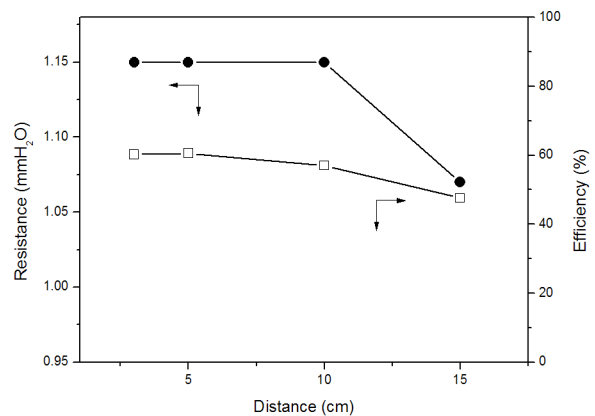


Figure 6. Effect of distance between nonwoven and wire on resistance and efficiency.(discharging speed 5m/min, discharging voltage ±40 kV, configuration of discharging wire [up] -, +, -, +, 0 / [down] p, p, p, p, 0)

Figure 7은 코로나 가공 인가 전압의 배열이 포집효율에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 19번 시료에서 가장 높은 포집효율을 나타내고 있다. 11~20번 시료의 결과로부터 50% 이상의 포집효율을 나타낸 11번, 18~20번 시료의 공통점으로는 상부 또는 하부에서 1번, 2번 슬롯에 양의 전하를 인가시키고, 하부 또는 상부의 3번, 4번 슬롯에 음의 전하를 인가시켰다는 공통점이 있다. 반대로 50% 이하의 포집효율을 나타낸 12~17번 시료의 경우 음의 전하가 먼저 인가된 후 양의 전하가 인가되었거나, 음의 전하 또는 양의 전하가 단독 또는 쌍으로 배열되어 있음을 확인할 수 있다.

이 중 가장 높은 포집효율을 나타낸 19번 시료의 경우 상부의 1번, 2번 슬롯에서 양의 전하를 와이어에 인가시키고 상부의 4번, 5번 슬롯에 음의 전하를 와이어에 인가시킨 배열이 가장 효과적인 배열방법임을 확인할 수 있었다. 이는 먼저 1번, 2번 슬롯에서 양의 전하를 띤 와이어에 의해 여과재의 상부가 음의 전하로 대전되었다가, 4번, 5번 슬롯에서 음의 전하를 띤 와이어에 의해 여과재의 상부가 양의 전하로 대전된 것으로 생각되는데, 이 때 대전된 여과재와 반대 전하의 먼지 입자가 전기적 인력에 의해 더 높은 포집효율을 나타내는데 이에 대한 더 구체적인 메카니즘을 밝혀내기 위해서는 더욱 심도 있는 연구가 필요하다고 생각된다.

Figure 8은 코로나 가공 인가 전압의 배열이 흡기저항에 미치는 영향을 나타낸 것으로, 배열방법 또한 흡기저항에 영향을 주지 않았다. 이는 이전의 실험 결과와 같은 경향으로 코로나 가공이 기공도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 이러한 현상은 기공도 측정 결과에서도 같은 경향이 나타났다.

Figure 9는 코로나 가공 전·후의 여과재의 기공크기 분포와 평균 기공크기를 나타낸 것으로, 코로나 가공이 기공의 특성에는 영향을 주지 않는다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다. 코로나 가공이 아닌 일반적인 여과재에서와는 다른 현상으로 보통의 여과재에서는 기공의 크기가 작아진다거나 하는 변화가 있어야 포집효율에 영향을 미치는 것이 일반적이거나 코로나 가공에 있어서는 기공의 크기가 변하지 않았음에도 불구하고 포집효율이 향상되는 것은 여과재내에서 여기상태의 활성종 때문에 포집효율에 영향을 준다고 생각된다.

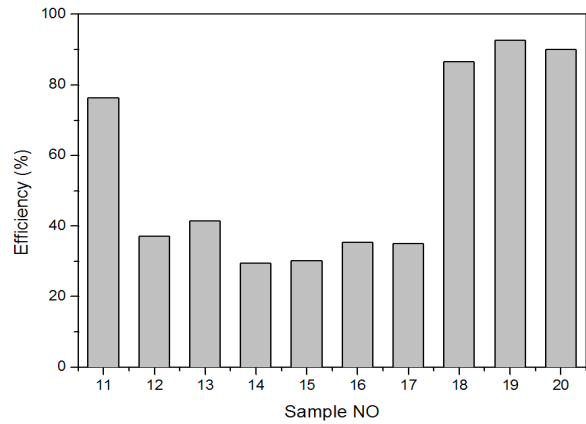


Figure 7. Effect of configuration of discharging wire on efficiency.

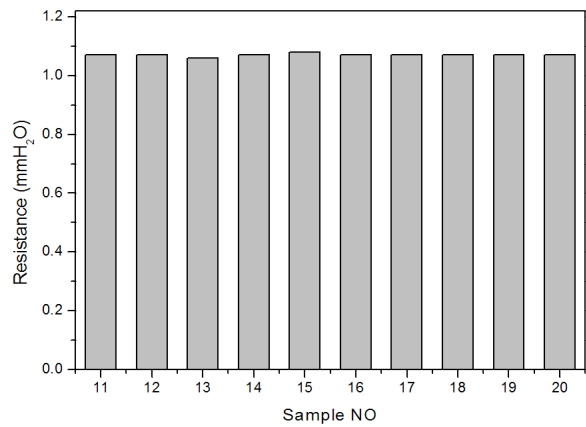


Figure 8. Effect of configuration of discharging wire on resistance.

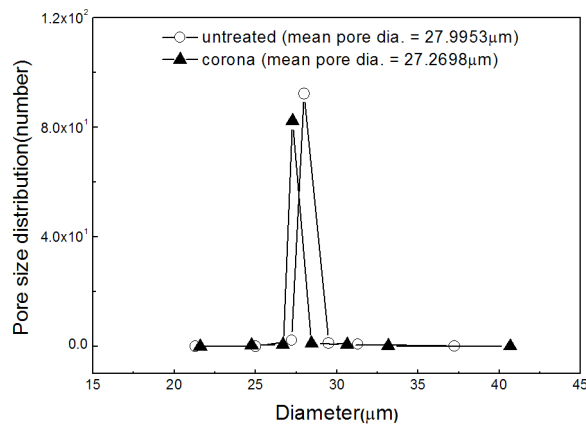


Figure 9. Effect of corona discharging on pore size distribution.

3.5 코로나 가공 최적 조건

앞의 실험으로부터 코로나 가공에 있어서 최적조건은 코로나 가공 인가전압이 높을수록, 가공속도는

느릴수록, 와이어와의 거리는 가까울수록 더 높은 포집효율을 나타내었으며, 와이어의 배열은 19번 시료와 같이 1번, 2번 슬롯에서 양의 전하를 와이어에 인가시키고 상부의 4번, 5번 슬롯에 음의 전하를 와이어에 인가시킨 배열이 가장 효과적인 배열 방법임을 확인할 수 있었다.

Table 1의 18~32번 시료의 경우 현장의 생산성을 향상시키기 위해 기초실험에서 얻은 데이터를 토대로 추가실험을 실시한 것으로, 기초 실험결과 얻어진 두가지 변수를 최적조건인 인가전압 ±60 kV, 와이어와 원단과의 거리를 5cm로 고정하여 실험을 실시하였다. 생산현장에 적용하기 위해 생산성을 고려하여 가공속도를 최대를 올리기 위해 실험을 실시한 것이다. 생산성을 고려하여 속도를 5m/min에서 10, 20, 30, 40m/min까지 증가시키고, 상부의 슬롯은 +60 kV, 0, 0, 0, -60 kV 하부의 슬롯은 p, 0, 0, 0, p로 배열하는 방법과, 상부를 +60 kV, +60 kV, 0, -60 kV, -60 kV 하부를 p, p, 0, p, p로 배열하는 방법 그리고 상부를 +60 kV, 0, 0, -60 kV, -60 kV, 하부를 p, 0, 0, 0, p로 배열하는 방법으로 추가실험을 실시하여 그 결과를 Figure 10에 나타내었다.

결과는 앞에서 실시했던 것과 같은 경향이 나타났으며, 상부 슬롯을 +60 kV, +60 kV, 0, -60 kV, -60 kV로 배열하고 하부슬롯을 p, p, 0, p, p로 배열한 경우 40m/min의 가공속도에서도 80%이상의 포집효율을 나타내고 있음을 확인할 수 있었으나, 40m /min의 속도로 가공한 경우 30m/min에서보다 약간 급한 하락곡선을 나타내고 있었다.

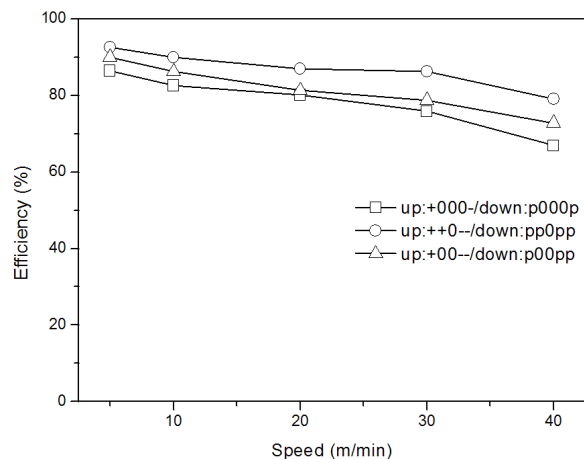


Figure 10. Effect of discharging speed and configuration on efficiency.(distance to discharging wire 5cm, discharging voltage ±60 kV)

따라서 생산성을 고려하여 현장적용 가능한 최적의 가공속도는 30m/min가 적합하다고 생각된다. 따라서 60 kV의 인가전압, 30m/min의 가공속도, 5cm의 와이어와의 거리, 상부 슬롯 +60 kV, 0, 0, 0, -60 kV, 하부 슬롯 p, p, 0, p, p로 배열하여 가공하는 것이 최적의 코로나 가공 조건으로 설정되었으며, 이 조건으로 얻어진 여과재는 고시된 안면부 흡기 저항 6.2mm H₂O이하, 포집효율 80.0%이상의 포집효율을 나타냄을 Figure 8과 Figure 10으로부터 확인할 수 있어 방진/의료용 마스크로서의 적합성을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

방진/의료용 마스크 제조를 위한 폴리프리필렌 멜트블로운 25gsm원단에 대한 코로나 가공 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 코로나 가공 시 포집효율에 영향을 주는 인자로는 인가전압과 배열, 인가 와이어와 원단과의 거리, 가공 속도였으며, 흡기저항에는 큰 변화를 주지 않았다.
2. 포집효율을 향상시키는 최적조건으로는 상부와 와이어에 +60 kV, +60 kV, 0, -60 kV, -60 kV로 하부에는 종이 파이프를 설치하는 방법이었으며, 인가와이어와 원단과의 거리는 5cm, 가공속도는 30m/min가 생산현장 적용가능한 최적의 조건임을 확인할 수 있었다.
3. 최적의 조건으로 처리된 25gsm 폴리프리필렌 멜트블로운 부직포 여과재를 이용하여 고시된 안면부 흡기저항 6.2mm H₂O이하, 포집효율 80.0%이상의 포집효율을 나타내어 방진/의료용 마스크로서의 적합성을 확인할 수 있었다.

References

1. R. S. Sigmond and M. Goldman, "Electric Breakdown and Discharges in Gases", E. E. Kunhardt and L. H. Luessen(Eds), NATO ASI Ser., 89b, Plenum, New York, pp.1-64, 1983.
2. E. Occhiello and F. Garbassi, "International Encyclopedia of Composites", S. M. Lee(Ed.), VCH, New York, pp.1-390, 1991.
3. H. W. Kim, C. Y. Kim, and P. K. Park, Modification of Polymer Surface by Corona Discharge and the Subsequent Graft Polymerization of Acry-

- lamide, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dye. and Finish.)*, **5**(1) 26(1993).
4. H. W. Kim, M. C. Lee, and P. K. Park, Study on the Gradient Surface of Carboxylic Acid Group Using Corona Discharge Treatment and Subsequent Graft Polymerization, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dye. and Finish.)*, **6**(2) 17(1994).
 5. B. O. Lee, P. K. Park, H. C. Kim, H. J. Lee, and H. S. Lee, Multi-Functional Finish of Polyester and P/C Blend Fabrics by Corona Discharge (I) -Flame-Retardant and Sanitary Finish, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dye. and Finish.)*, **9**(2), 1(1997).
 6. B. O. Lee, P. K. Park, J. H. Yeo, and H. S. Lee, Multi-Functional Finish of Polyester and P/C Blend Fabrics by Corona Discharge(II) -Multifunctional Finish, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dye. and Finish.)*, **9**(3), 1(1997).
 7. J. D. Lee, Y. K. Hong, and K. S. Bae, Development of Composite Filter with High Performance Meltblown Non-woven, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dye. and Finish.)*, **17**(2), 40(2005).
 8. E. D. Seo, Low Temperature Plasma Treatment of Linseed Oil for Immobilization of Silica as Flame-resistant Material, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dye. and Finish.)*, **24**(4), 313(2012).
 9. H. S. Shin, L. Jin, and J. H. Yoo, Effect of Manufacturing Conditions on the Properties of Oil-absorbable Melt Blown Nonwoven, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dye. and Finish.)*, **21**(6), 22(2009).
 10. A. Kravtsov, H. Brunig, and R. Beyreuther, The Electret Effect in Polypropylene Fibers Treated in a Corona Discharge, *Advances in Polymer Technology*, **19**(4), 312(2000).
 11. B. Łowkis and E. Motyl, Electret Properties of Polypropylene Fabrics, *J. Electrostatics*, **51**, 232 (2001).
 12. B. Tabti, L. Dascalescu, M. Plopeanu, A. Antoniu, and M. Mekideche, Factors that Influence the Corona Charging of Fibrous Dielectric Materials Original Research Article, *J. Electrostatics*, **67**, 193(2009).
 13. K. K. Oh, H. G. Yoon, U. S. Shol, J. M. Yoon, and J. W. Woo, A Study on the Filtration Characteristics of the Electrostatically Charged Non-woven Polypropylene Media, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **12**(4), 434(2001).
 14. A. F. Robert and M. O. Timothy, The Effect of Particle Charge on Penetration in an Electret Filter, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **24**, 4(1998).
 15. J. D. Jung, Korea Pat. 1011657630000(2012).
 16. Z. Zuo, T. H. Kuehn, and D. Y. H. Pui, Performance Evaluation of Filtering Facepiece Respirators using Virus Aerosols, *American J. Infection Control*, **41**(1), 80(2013).
 17. D. H. Han, Protection against Aerosols by Particulate Respirators and Fit Performance, *Korean J. Environmental Health*, **27**(2), 30(2001).
 18. D. H. Han, Inward Leakage Test for Particulate Filtering Respirators in Korea, *Korean J. Environmental Health*, **30**(5), 432(2004).
 19. I. H. Song, J. S. Kim, and Y. K. Hong, Manufacture and Characteristics of Sound Absorption Materials by Finishing of Meltblown Nonwovens, *Textile Coloration and Finishing (J. Korean Soc. Dye. and Finish.)*, **23**(4), 304(2011).