

<연구논문(학술)>

활성탄 함유 부직포의 소취성 평가

정동석 · 천태일[†]

동의대학교 패션디자인학과

Deodorization of Non-woven Fabrics Bonded with Activated Carbon

Dong-Seok Jeong and Tae-Il Chun[†]

Department of Fashion Design, Dong-eui University, Busan, Korea

(Received: January 30, 2015 / Revised: February 13, 2015 / Accepted: March 11, 2015)

Abstract: The merits of activated carbon for removal of organic compounds have been well known in the various industrial fields. Fixing methods with activated carbon in the non-woven fabric have the advantages of fast adsorption and ease of handling when compared with bonding and coating methods. In this study, we have examined deodorization of non-woven fabrics fixed with activated carbon. We have been tested the deodorization of various kinds activated carbon and non-woven fabric structures. The effective mixing ratio of activated carbon was 5% on the weight of fabrics, which are closely related to the fabric structure. The activated carbon with higher mesh size show the better deodorization effect.

Keywords: activated carbon(AC), non-woven fabrics, deodorization, mesh size, low melting fiber(LM), adsorption

1. 서 론

활성탄은 금세기 초부터 공업적으로 생산되고 있는 대표적인 흡착제로 식품, 의약, 화학공업 등의 근대 산업 모든 분야에서 중요한 지위를 차지하고 있다. 활성탄은 목재, 갈탄, 무연탄 및 야자껍질 등을 원료로 제조되는 미세 세공이 잘 발달된 무정형 탄소의 집합체로서 활성화 과정에서 분자 크기 정도의 미세 세공이 잘 형성되어 큰 내부표면적을 가지게 되는 흡착제이다.

원료 중 식물계로는 목재, 야자각 등을 주로 사용하고 광물계로는 갈탄, 유연탄, 역청탄, 무연탄 등을 주로 사용하는데 이러한 물질들은 무정형탄소를 이루고 있다. 이것들을 탄화와 활성화 과정에서 분자 크기 정도로 미세공을 발달시켜 흡착능력을 배가시킨 것으로 pore의 내부면적이 활성탄 1g당 1,000m² 이상이 된다. 표면에 존재하는 탄소원자의 관능기와 주위의 액체 또는 기체의 인력이 작용하여 피흡착질의 분자를 흡착한다. 활성탄은 물리적

형상에 따라 분말 활성탄(수처리 규격: 200mesh, 90% 이상), 입상 활성탄, 섬유상 활성탄, 허니콤상 활성탄으로 구분될 수 있는데, 입상 활성탄은 다시 형상과 크기가 불규칙한 파쇄 활성탄과 일정한 모양을 가진 기둥형 조립 활성탄, 구형 조립 활성탄으로 나누어진다^{1,2)}. 그리고 출발 원료에 따라 식물질(목재, 톱밥, 목탄, 야자 열매탄, 소회 등), 석탄질(이탄(泥炭), 아탄(Lignite), 갈탄, 역청탄, 무연탄), 석유질(석유 cockes, 황산 sludge, Oil carbon), 폐기 물질(합성수지, pulp, 유기질), 동물질로 나누어진다.

활성화 방법에 따라서는 가스 활성화탄(수증기, 이산화탄소, 공기 등을 분사), 약품 활성화탄(염화아연, 인산, 황산 등 탈수성 무기약품을 첨가) 등으로 나눌 수 있고, 용도에 따라 기상 흡착용(특히 마이크로 세공이 잘 발달됨), 액상 흡착용, 촉매용 등으로 구분된다. 마지막으로 흡착 방법에 따라 구분할 수 있는데 침착탄(添着炭, Impregnatd activated carbon)과 미침착탄이 있다^{3,4)}.

이러한 활성탄은 독특한 물리적 특성과 표면의 다양한 화학적 기능기로 인한 흡착성능은 오염물질의 제거나 가스분리를 위한 다양한 공정에 응용가능하다⁵⁻¹⁶⁾.

[†]Corresponding author: Tae-Il Chun (tichun@deu.ac.kr)

Tel.: +82-51-890-1600 Fax.: +82-51-890-1579

©2015 KSDF 1229-0033/2015-3/50-61

신발의 안창 소재로 주로 사용되는 폴리우레탄 수지(PU) 및 초산비닐수지(EVA)는 편한 착용감과 안락함은 부여할 수 있으나 스펀지의 구조적인 문제로 인해 공기가 통과할 수 있는 기공이 없어 통기성 및 흡한 성능이 낮아 쾌적성 및 위생성에 문제가 발생하고 있다. 그리고 오랜 시간 착용하면 발 냄새 또는 땀의 배출이 제대로 이루어지지 않아 곰팡이가 쉽게 번식하여 위생적이지 못하다.

근래에는 소취 및 위생 기능이 부여된 고기능성 안창소재가 제조되고 있는데 활성탄이나 바이오세라믹 등과 같은 물질을 넣어 만든 신발 안창이 그 좋은 예이다. 그러나 위와 같은 소재도 활성탄 등의 분말을 접착제로 접착하거나 코팅하는 방식으로 부착하고 있기 때문에 악취를 흡수 제거하기 위한 소취율이 나쁘다는 단점이 있다. 활성탄을 접착제를 사용하여 신발 안창에 부착하면 활성탄이 기공을 막고 내부 조직을 손상시키기 때문에 냄새 제거 기능이 떨어지게 되는 것이다^{17,18)}.

본 연구에서는 기존의 접착하거나 코팅하는 공정이 아닌 활성탄의 탈리를 최소화하여 부직포에 고착시키는 공정으로¹⁹⁾, 신발 내부의 불결함이나 악취의 원인이 되는 세균, 박테리아 및 냄새 물질을 활성탄 함유 부직포에 의해 제거되는 소취성을 평가하고자 하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 재료

여러 종류별 부직포((주)Kolon 원사 한영산업, Korea)를 이용하였으며 기타 시약재료는 시판품을 사용하였다. 활성탄은 100mesh, 350mesh 크기의 야자계 활성탄 및 하이옥시카본(Hioxy-Carbon) 활성탄((주)무림화학, Korea)을 사용하였다.

2.2 활성탄 함유 부직포의 제조

활성탄 부직포 신발 안창은 4층 구조로 되어 있는데 활성탄 부직포를 안창의 중간층으로 하고 상층은 재생 소프트(soft) 부직포와 스티치(stitch) 부직포를, 하층은 재생 하드(hard) 부직포를 니들 펀칭하여 아이론 열처리를 한다. 중간층에 들어갈 활성탄 부직포를 제조하기 위해서 우선 PET staple fiber 6d 80%와 저용융점 섬유(low melting fiber, 이하 LM) 20%를 혼섬시켜 부직포 생지를 만들고 물에

활성탄 5%를 희석시킨 후 소량의 소프트 바인더(UT-552(Acrylic type 혼합액), (주)유니테크, Korea)을 충분히 교반시킨 혼합액을 만든다. 위의 부직포 생지를 혼합액에 처리한 후, 180°C의 텐타 가공 공정을 거치면 저용융점 섬유가 용융됨에 따라 활성탄이 부직포 생지에 고착된다. 이렇게 만들어진 활성탄 부직포에 재생 소프트 부직포(HY foam)를 니들 펀칭(needle punching)으로 합포시키고 하드 부직포 대체해서 소프트 바인더 단면 코팅 1회를 거치게 된다. 상층 재생 스티치 부직포를 적층하기 위해 Nano silver fiber 6d를 20% 혼섬시킨 HY200 HMT 재생 스티치 부직포를 200°C에서 카렌더 압박 처리를 한다. 이와 같은 과정을 거쳐 얻은 활성탄 부직포 적층물을 용도에 맞게 제단하여 사용하거나 혹은 성형 몰드에서 180°C의 온도로 3분간 가압한 후 냉각시켜서 성형한다.

Figure 1에 활성탄 부직포 sheet 측면을 나타내었다.

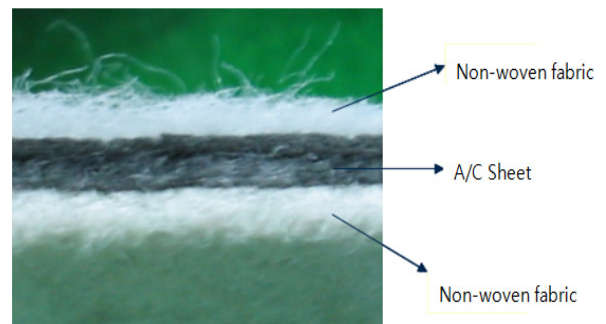


Figure 1. Cross-section of non-woven fabric bonded with activated carbon.

2.3 소취성 평가

활성탄 부직포 복합 시트의 소취테스트를 하기 위해서 암모니아에 의한 가스검지관법을 실시하였다. 시험편을 넣지 않은 쪽의 농도를 C₁로 하고 시험편을 넣은 쪽의 농도 C₂로 아래 공식(1)에 의해서 백분율로 환산된 소취율이 계산된다.

$$\text{Deodorization rates(\%)} = (C_2 - C_1)/C_2 \times 100 \dots (1)$$

C₁ : Concentration of sample flask(ppm)

C₂ : Concentration of blank flask(ppm)

제조된 활성탄 부직포에 소취율을 알아보기 위해 가스 검지관법을 이용하여 소취 테스트를 실시하였다. 시험가스는 암모니아(NH₃)를 사용했다.

2.4 인장강도, 마모강도, 세탁견뢰도

인장강도는 KS K 0520, 마모강도는 KS K 0540에 의한 방법으로 시험하였다. 세탁견뢰도 시험 규격 KS K ISO 105 C01에 의한 방법으로 행하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에 사용한 소취성의 평가로 사용한 암모니아에 의한 가스 검지관법의 순서는 다음과 같다. 100ml 삼각플라스크 2개를 준비하고 한쪽에는 시험편을 넣고 다른 한쪽에는 시험편을 넣지 않는다. 그리고 마이크로피펫을 이용하여 2개의 삼각플라스크에 각각 2ml의 암모니아를 넣은 후 검지관이 꽂혀있는 고무마개로 입구를 막은 다음 실온에서 30분간 기화를 시킨다. 30분이 경과하면 가스채취기를 이용

하여 삼각플라스크 내부 농도를 잰다. 시험편을 넣지 않은 쪽을 초기농도로 하여 시험편을 넣은 쪽의 농도를 계산한 후 백분율로 환산하여 나타내었다.

암모니아법에 의한 본 시험 시료의 소취성 평가 결과의 예를 Figure 2에 나타낸 것이다. 시험시간 30분 경과 후 초기농도(Blank)는 500ppm이고, 측정 농도가 50ppm으로 소취율을 계산한 결과 95%를 얻었으며, 이와 같은 방식으로 시험시간을 30분 단위로 총 120분까지의 소취율을 계산한 결과 95% - 99% 범위의 결과가 나타났다.

비교 시료로 사용한 신발 내피용으로 많이 사용되고 있는 EVA 인솔을 두께별로 나누어서 각각 4T, 6T에 대한 기본 특성(두께, 중량)과 인장강도, 마모강도, 세탁견뢰도, 소취테스트 등을 측정된 결과는 Table 1과 같다.



(a) EVA cupsole
[Deodorization rate : 18%]

(b) A/C non-woven fabric
[Deodorization rate : 99%]

Figure 2. Deodorization rates of non-woven fabric bonded with activated carbon.

Table 1. Physical properties data of EVA midsoles

	Thickness (mm)	Weight (g/m ²)	Tensile strength (kgf/2.54cm)	Abrasion strength (cycle)	Washfastness (grade)	Deodorization rate(%)
4T	4.4	305	14.7	300	4	18.1
6T	6.2	377	15.5	310	4	18.3

Table 2. Sample names with A/C types

Sample names		Mixture
Palm A/C	100mesh	AC100 x Non-woven fiber + Palm A/C 100mesh(x%)
	325mesh	AC325 x Non-woven fiber + Palm A/C 325mesh(x%)
Hioxy A/C	100mesh	HC100 x Non-woven fiber + Hioxy A/C 100mesh(x%)
	325mesh	HC325 x Non-woven fiber + Hioxy A/C 325mesh(x%)

EVA 4T, 6T 모두 인장강도, 마모강도 등은 신발 내피소재로써 손색이 없을 정도로 매우 우수하나 소취테스트는 평균 18%로 매우 낮게 나타났다. EVA 안창은 편안함과 강도 면에서는 인솔 소재로 이상이 없으나 통기성이 전혀 없기 때문에 발 냄새와 같은 소취 기능이 떨어져서 위생상 문제가 있는 것이다.

3.1 활성탄 종류에 따른 영향

일반 PET staple fiber 6d 80%와 LM 6d 20%를 혼섬하여 만든 생지에 물에 희석시킨 활성탄 분말 용액을 dipping하고, 그 표면에 활성탄 분말을 고착

시킨 다음, 텐터 가공 처리하여 활성탄 부직포를 만든다.

활성탄의 종류는 야자수 활성탄(100mesh, 325mesh), 하이옥시 활성탄(100mesh, 325mesh)을 사용하였다. 각각의 시료명은 Table 2에 나타내었다. 야자수 활성탄 325mesh와 하이옥시 활성탄 325mesh의 비표면적과 세공용적을 Table 3에 나타내었다.

3.1.1 활성탄의 종류와 비율에 따른 영향

각각의 활성탄에 대해서 혼합 비율을 다르게 했을 때 소취 효과를 극대화 할 수 있는지 알아보고자 각 시료에 대하여 5회 시험을 행하여 Table 4

Table 3. Specific surface area and pore volume of AC 325 and HC 325

	Specific surface area(BET)(m ² /g)	Pore volume(cc/g)
AC325	915	0.39
HC325	1060	0.62

Table 4. Deodorization with mixture rates of A/C(unit:%)

	Mixture rates of A/C	Samples					Means
		sample 01	sample 02	sample 03	sample 04	sample 05	
AC100	2%	93	93	94	92	93	93.0
	3%	93	93	95	95	94	94.0
	5%	95	96	95	94	95	95.0
	10%	96	95	94	96	94	95.0
AC325	2%	93	92	94	94	92	93.0
	3%	94	95	96	94	96	95.0
	5%	97	95	95	95	93	95.0
	10%	96	96	95	97	96	96.0
HC100	2%	94	96	95	95	94	94.8
	3%	97	98	97	96	97	97.0
	5%	97	95	98	97	98	97.0
	10%	96	99	99	98	98	98.0
HC325	2%	96	96	97	96	97	96.4
	3%	97	97	96	98	97	97.0
	5%	96	97	97	98	99	97.4
	10%	99	98	99	99	99	98.8

에 나타내었다. 이들의 평균값을 Figure 3에 나타내었다. 활성탄의 혼합비를 2%, 3%, 5%, 10%의 비율로 해서 활성탄 부직포를 제조한다. 소취 테스트는 역시 암모니아에 의한 가스 검지관법을 사용하였다.

Figure 3에서 보는바와 같이 활성탄 종류에 따른 소취 효율은 하이옥시 활성탄의 소취효율이 평균적으로 높게 나왔다. 일반적인 활성탄 탄화 및 활성화 공정이 아닌 열분해에 의한 활성화 공정에 의해 만들어지기 때문에 일반 활성탄보다 많은 공극과 비표면적을 가지게 되서 소취 효과가 더 뛰어난 것으로 생각된다. 같은 종류의 활성탄의 경우 mesh가 클수록, 활성탄 혼합 비율을 높일수록 소취 효율은 높게 나왔다.

그러나 활성탄의 혼합 비율을 계속 높여도 10%를 혼합한 결과는 5%를 혼합했을 때와 비교해 봤을 때 큰 차이가 없었다. 5%의 혼합 비율에서 이미 충분한 소취효과를 나타내고 있다고 볼 수 있다. 즉 활성탄 분말 희석액으로 물 10kg당 활성탄 분말 0.4~0.5kg을 혼합한 액이다. 소취 효율에 있어 활성탄의 혼합비의 영향보다는 활성탄의 종류와 mesh의 크기가 더 큰 비중을 차지하는 것을 알 수 있다. 즉 활성탄의 종류에 따른 활성탄 혼합비를 증가시켰을 경우 소취 효율이 증가하는 것보다는 활성탄의 종류에 의한 소취 효율이 크게 나타나기 때문이다.

즉 소취테스트 결과 하이옥시 활성탄 325mesh가 가장 소취율이 높았고, 하이옥시 활성탄 100mesh > 야자수 활성탄 325mesh ≥ 야자수 활성탄 100mesh 순으로 결과값이 높게 나왔다. 같은 종류의 활성탄에서는 mesh가 큰 활성탄일수록 소취 효율이 더 높아짐을 알 수 있다. mesh는 체의 구멍이나 입자의 크기를 나타내는 단위로 타일러 표준체(Tyler Standard Sieve)에서는 1인치 길이 안에 들어있는 눈금의 수를 나타낸다.

활성탄의 크기에 따른 선택적 흡착정도를 살펴보면 입자의 크기가 작을수록 높은 흡착력을 보임을 알 수 있다. 325mesh 활성탄이 100mesh 활성탄보다 소취 효과가 높은 이유는 325mesh 활성탄이 더 입자 크기가 작으므로 비표면적과 기공이 잘 발달되어 있을 뿐만 아니라 부직포와의 혼합이 용이하기 때문이다.

3.1.2 활성탄 종류에 따른 물성 평가

활성탄이 혼합된 부직포는 활성탄의 종류에 따라 물성에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여 시료마다 각각 5개의 샘플을 가지고 인장 강도, 세탁 견뢰도 및 마모 강도 테스트를 하였다. 5개 샘플의 물성 평균치는 Table 5에 나타내었다.

Table 5에서 보는 바와 같이 활성탄 종류 및 mesh에 따라 인장 강도의 값에는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 단 mesh가 높은 하이옥시 활성탄의

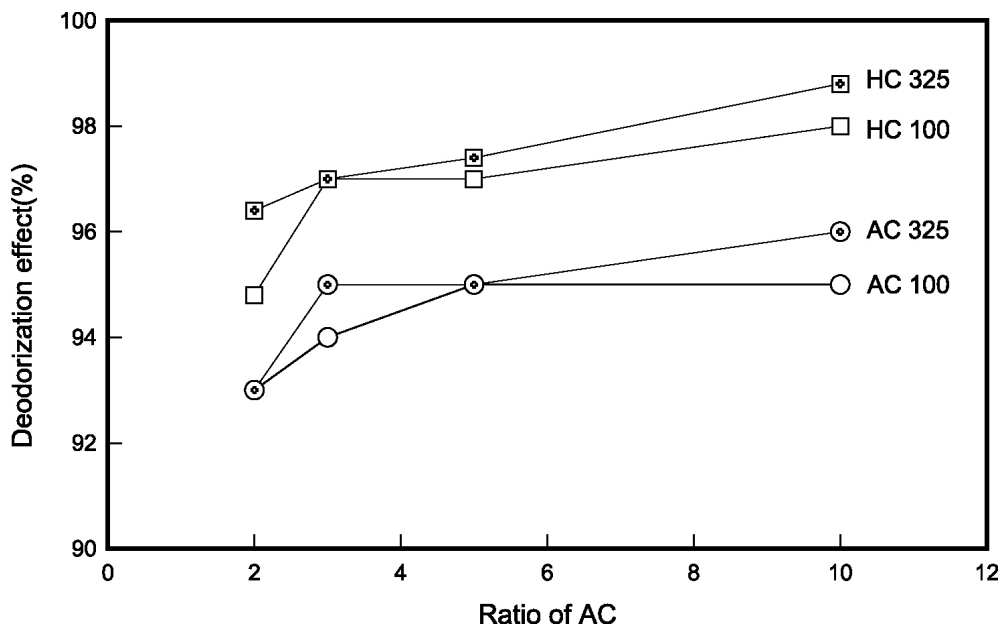


Figure 3. Means of deodorization with A/C types(unit:%).

Table 5. Physical properties data with mixture rates of A/C(Means)

	Weight (g/m ²)	Tensile strength (kgf/2.54cm)	Washfastness (grade)	Abrasion strength (cycles)
AC100 05	290	11.5	4	320
AC325 05	292	11.8	4.5	310
HC100 05	295	11.5	5	330
HC325 05	295	12.5	5	330

Table 6. Sample names of A/C non-woven fabrics with LM types

	Sample names	Ratio of LM and A/C
LM Fiber	LM4D 4110	PET 6D + LM 4D 51mm(110℃, 90%) + A/C(10%)
	LM4D 4130	PET 6D + LM 4D 51mm(130℃, 90%) + A/C(10%)
	LM4D 4170	PET 6D + LM 4D 51mm(170℃, 90%) + A/C(10%)
	LM4D 4200	PET 6D + LM 4D 51mm(200℃, 90%) + A/C(10%)
BICO	BICO4D 4130	PET 6D + BICO 4D 51mm(130℃, 90%) + A/C(10%)
Polypropylene	PP4D 4167	PET 6D + PP 4D 51mm(167℃, 90%) + A/C(10%)

*LM Fiber : Polyester staple fiber low melting fiber, Length 38-51mm, Luster SD black, Melting point from 110 to 200℃

*BICO : Polyester low melting fiber, mp 130℃, Partner Chem. Int., Poland

경우 다른 활성탄에 비해서 인장 강도 값이 다소 높게 나왔는데 이것은 활성탄에 의한 영향보다도 활성탄 부직포의 두께, 중량 및 밀도 등이 높아서 인장 강도에 더 영향을 주었다고 볼 수 있다. 활성탄의 입자를 부직포에 고착시키는 수지 처리 과정에서 부직포 조직 내로 침투하면서 더 견고하게 만드는 역할을 하지만 활성탄 부직포의 물성을 크게 바꿀 정도로 영향은 크지 않았다.

세탁견뢰도는 4급 이상으로 나타났는데, 하이옥시 활성탄이 포함된 부직포에서 야자수 활성탄 부직포에 비해서 세탁 견뢰도가 좀 더 높게 나왔다. 그 이유는 하이옥시 카본은 일반 야자수 활성탄에 비해서 공극이 길고 깊게 형성되어 있어서 한번 흡착된 물질의 포집력이 우수하고 텐터 가공 공정을 거치면서 재탈착되는 경우가 거의 없기 때문이다.

활성탄 종류에 따라 마모 강도는 전체적으로 큰 차이가 없었지만, 하이옥시 활성탄으로 제조된 활성탄 부직포에서 마모 강도가 약간 높게 나왔는데 하이옥시 활성탄의 결정 조직이 텐터 가공 공정에

서 열용융에 의해 고착되는 과정에서 부직포 시트를 더 견고하게 만들어지기 때문이다.

3.2 LM 종류의 비율에 대한 영향

활성탄 부직포에 적정 강도를 부여하고 흡착력을 강화시켜 활성탄에 의한 소취 효과를 극대화하기 위해서 LM을 사용하였는데, 이것은 텐터 가공 공정(Ironing 공정; 약 180℃)에서 LM을 녹임으로써 활성탄을 섬유에 고착시켜서 부직포의 접합 강도를 높여준다. 기존의 접착제인 아크릴 수지 대응으로 다양한 제품에 활용될 수 있으며 친환경적인 소재이다. 용점이 기존의 PET의 용점보다 낮기 때문에 수지 가공 시에 적정 온도로 가열함으로써 충분히 접착력을 높일 수 있을 뿐 아니라 에너지의 낭비도 줄일 수 있다.

제조된 활성탄 부직포의 LM 구성 성분과 각각의 함량을 Table 6에 나타내었다. 사용한 섬유는 LM(110℃, 130℃, 170℃, 200℃) 이외에 BICO(130℃), Polypropylene(167℃)을 사용하였으며, 이들의

물성테스트를 통하여 가장 적합한 LM과 활성탄과의 혼합 비율을 검토하였다. LM 종류가 활성탄 부직포에 미치는 영향을 알아보기 위해 제작한 것과 동일한 일반 PET Staple fiber 6d에 여러 가지 LM을 사용하여 부직포 생지를 만들고, 물에 희석시킨 활성탄 분말을 dipping 가공 처리하여 활성탄을 고착시킴으로써 활성탄 부직포를 제조하였다. LM Fiber, BICO 및 Polypropylene 등의 LM 혼합 비율을 달리하여 시료를 제작하였다. 각각의 시료명 및 혼합율은 Table 6에 표시하였다. 이들의 간략적 스펙은 Table 7에 나타내었다.

3.2.1 LM 종류에 따른 영향

3.2.1.1 소취성 시험

LM의 종류가 활성탄 부직포의 소취성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Table 5에 나타난 시료의 샘플을 5개씩 채취하여 소취 테스트를 실시하였다. 소취 테스트는 암모니아에 의한 가스 검지관법으로 하였으며, 그 결과를 Table 8에 나타내었다.

LM 4D 110°C 활성탄 부직포와 BICO 130°C의 활성탄 부직포는 물성에서는 큰 차이가 없었으나, 소취 테스트 결과가 다소 낮게 나타났다. 이는 용융점이 낮기 때문에 180°C에서의 텐터 공정을 거치는 동안에 LM이 완전히 녹기 때문에 활성탄과 압착상태가 되어 활성탄의 미세공 구조 및 모세관들을 부분적으로 파괴되어 내부표면적이 손상되고 흡착능력이 떨어지기 때문이라 생각한다. 즉 부분적으로 파괴된 활성탄의 세공 구조에 피흡착질 분자

가 축적되는 것이 감소되어 소취효과가 떨어지게 되는 것이다.

LM 4D 130°C와 170°C의 경우 다른 LM 시료와 비교해서 소취효과가 우수한 것으로 나타났다. 이는 적절한 용융점 온도로 텐터 가공 공정을 거쳤을 때 활성탄과의 접착 상태가 양호하기 때문에 표면적이 손상되는 일이 거의 없고 활성탄분말의 기공이 보존되었기 때문이다.

LM 4D 200°C의 시료의 경우는 이와 반대로 180°C 텐터 가공을 통과하는 동안 완전히 용융되지 않기 때문에 활성탄 입자들을 완전히 고착시키지 못하고 탈리되는 현상이 발생하여 소취율이 떨어지는 것으로 여겨진다. Polypropylene은 적절한 용융점 온도로 활성탄과의 접착 상태는 좋은 편이지만 다른 LM과 비교하였을 때 활성탄을 접착시키는 흡착력이 떨어져 소취율이 낮게 나타났다.

결과적으로 130°C 또는 170°C의 저용융점 온도에서 용융되는 섬유로 제조된 부직포를 dipping하여 활성탄을 부착시키는 제조 공정이 양호한 접착 상태를 유지시켜 줌으로써 활성탄 입자의 소취 기능을 많이 향상시킬 수 있는 기공을 최대한 보존시켜주기 때문에 소취 효과를 극대화시킬 수 있다.

3.2.1.2 인장강도와 마모강도 시험

LM 종류에 따라 활성탄 부직포의 인장 강도에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위하여 Table 6에 나타난 시료마다 각각 5개의 샘플을 채취하여 인장 강도 테스트를 하였으며, 그 결과를 Table 9에 나타내었다.

BICO 섬유로 제조된 활성탄 부직포에서 인장 강

Table 7. Sample names with mixture rates(x:y) of LM and A/C

	Bonded contents	Sample names with mixture rates(x:y) of LM and A/C			
		90:10	95:5	97:3	98:2
LM Fiber	PET 6D + LM 4D 51mm(110°C, x%) + A/C(y%)	LM4D 1100	LM4D 1155	LM4D 1173	LM4D 1182
	PET 6D + LM 4D 51mm(130°C, x%) + A/C(y%)	LM4D 1300	LM4D 1355	LM4D 1373	LM4D 1382
	PET 6D + LM 4D 51mm(170°C, x%) + A/C(y%)	LM4D 1700	LM4D 1755	LM4D 1773	LM4D 1782
	PET 6D + LM 4D 51mm(200°C, x%) + A/C(y%)	LM4D 2000	LM4D 2055	LM4D 2073	LM4D 2082
BICO	PET 6D + BICO 4D 51mm(130°C, x%) + A/C(y%)	BICO4D 1300	BICO4D 1355	BICO4D 1373	BICO4D 1382
Polypropylene	PET 6D + PP 4D 51mm(167°C, x%) + A/C(y%)	PP4D 1670	PP4D 1675	PP4D 1673	PP4D 1672

Table 8. Deodorization with types of LM(unit:%)

	Samples					Means
	01	02	03	04	05	
LM4D 4110	94	96	96	94	95	95.0
LM4D 4130	98	96	96	98	97	97.0
LM4D 4170	96	97	98	97	97	97.0
LM4D 4200	95	94	95	93	94	94.2
BICO4D 4130	93	93	92	94	94	93.0
PP4D 4167	91	93	92	94	92	92.4

Table 9. Tensile strength with types of LM(unit:kg/2.54cm)

	Samples					Means
	01	02	03	04	05	
LM4D 4110	10.9	10.5	10.4	11.0	10.7	10.7
LM4D 4130	10.9	11.5	11.0	11.2	11.9	11.1
LM4D 4170	11.7	11.9	12.5	10.9	12.0	11.8
LM4D 4200	10.9	10.7	10.5	11.4	10.5	10.8
BICO4D 4130	11.8	12.0	13.5	11.4	11.3	12.0
PP4D 4167	10.6	10.9	9.9	11.4	10.7	10.7

도가 가장 높게 나옴을 알 수 있다. BICO는 융점이 낮은 Polypropylene fiber를 겉면에, 융점이 더 높은 Polypropylene fiber를 중심에 가지는 이성분 혼합 섬유이다. 두 가지 성분의 섬유들이 열에 의해 녹으면서 접착제 역할을 하게 되며, 이로 인해 웹의 결속력이 강화되어 인장 강도가 증가되는 것으로 생각된다. 즉 180°C의 텐터 가공 공정을 거쳤을 때 적절한 온도에서 용융되면서 웹의 조직 구조를 단단하게 엮어매주기 때문이다.

LM 4D 130°C와 LM 4D 170°C 시료의 인장 강도 또한 높게 나타났는데, 이러한 결과도 적절한 용융점 온도에 의해 섬유의 결속 상태가 강화됨에 기인하는 것으로 생각된다. 폴리프로필렌도 낮은 용융점을 가지고 있고 분자구조가 규칙적이며 결정이 발달되어 있어 부직포 제조 공정 시 용융 접합되어

강도의 증가를 가져온다. 일반 저용융점 섬유에 비해 인장 강도는 약간 떨어졌으나 신발 안창 소재로써 갖춰야할 기본적인 강도는 가지고 있음을 알 수 있다.

LM 종류에 따라 활성탄 부직포의 마모 강도에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위하여 Table 3에 나타낸 시료마다 각각 5개의 샘플을 가지고 마모 강도 테스트를 실시하여 그 결과를 Table 10에 나타내었다. 마모강도도 LM의 종류에 따라 조금씩 다른 결과를 보였으나 인장 강도의 결과와 비슷한 경향을 보였다.

LM 4D 130°C, LM 4D 170°C, BICO 130°C 및 Polypropylene 저용융점 섬유 활성탄 부직포의 마모 강도가 다소 높게 나타났으나, 반대로 LM 4D 110°C와 LM 4D 200°C의 저용융점 섬유 활성탄 부직포의

Table 10. Abrasion strength with types of LM(unit:cycle)

	Samples					Means
	01	02	03	04	05	
LM4D 4110	300	310	300	300	290	300.0
LM4D 4130	320	330	330	340	330	330.0
LM4D 4170	350	320	320	330	330	330.0
LM4D 4200	310	310	310	300	320	310.0
BICO4D 4130	320	330	330	310	310	320.0
PP4D 4167	280	280	270	280	290	280.0

Table 11. Deodorization with LM types and A/C rates(unit:%)

Sample names	LM type and A/C rates	Deodorization(%)			
		90:10	95:5	97:3	98:2
LM Fiber	LM4D 4110	96	95	93	92
	LM4D 4130	98	97	96	96
	LM4D 4170	97	98	95	95
	LM4D 4200	94	92	93	92
BICO	BICO4D 4130	93	93	92	92
Polypropylene	PP4D 4167	93	92	90	89

마모 강도는 다른 시료에 비해 다소 낮게 나타났다.

LM 4D 110℃의 경우 용점이 매우 낮기 때문에 활성탄 부직포가 텐터 가공 공정을 거치면서 먼저 녹은 덩어리가 발생하여 딱딱한 응어리가 발생하게 된다. 따라서 LM 조직의 손상에 의한 Bonding 기능의 감소가 야기되어 내마모성이 떨어진다고 볼 수 있다.

LM 4D 200℃의 경우는 이와 반대로 180℃ 온도의 텐터 가공기를 통과하는 동안 완전히 용융되지 않기 때문에 활성탄뿐만 아니라 섬유와의 결속이 제대로 이루어지지 않아서 마모 강도가 낮아지게 된다. 따라서 내마모성을 높이기 위해서는 130℃ 또는 170℃의 저용융점 섬유를 사용하는 것이 바람직하다고 생각한다.

3.2.2 LM 종류와 활성탄 비율에 대한 영향

LM과 활성탄의 비율에 따른 활성탄 부직포 물

성의 변화를 알아보기 위해 소취 효율, 인장 강도 및 마모 강도 테스트하여 그 결과를 각각 나타내었다.

3.2.2.1 소취성 시험

130℃와 170℃의 LM을 혼성한 활성탄 부직포의 소취성은 뛰어난 것으로 나타났다. 이번에는 활성탄의 함량비를 조정해서 저용융점 섬유와 활성탄의 혼합 비율을 달리하여 최대의 소취 효과를 얻을 수 있는 조건을 알아보려고 한다. 실험 방법은 LM을 혼성하여 제조된 부직포의 텐터 가공 공정에서 LM과 활성탄의 혼합비를 각각 90:10, 95:5, 97:3 및 98:2의 비율로 활성탄 부직포를 제조하여 이들 시료를 암모니아 가스 검지관법에 의한 소취 성능 테스트하였다.

LM 비율이 활성탄 부직포에 미치는 영향을 알아보기 위해 Table 5에 나타난 시료를 각각 5개의 샘플 채취하여 소취 테스트를 실시하여 Table 11에

나타내었다. LM 종류에 대한 소취 테스트 결과 그래프에서 이미 확인한 것과 같이 LM 130°C와 170°C에 활성탄을 혼합했을 경우 평균적으로 소취율이 가장 높게 나왔다. LM에 혼합된 활성탄 함량에 따라 소취 효과가 다르게 나타났는데, LM과 활성탄의 혼합 비율이 LM 4D 98%, 활성탄 2%의 경우를 제외하고는 전체적으로 소취율이 높게 나왔다. LM 98%와 활성탄 2%의 비율로 혼합시킨 경우는 활성탄의 비율이 너무 낮아서 소취 효과를 떨어지는 것으로 생각할 수도 있지만, LM의 비율이 높아짐에 따라 접착력이 강화되고 높은 비율의 LM에 의해 활성탄의 기공이 막히고, 미세공 구조가 손상되기 때문에 흡착능력이 오히려 감소되기 때문에 소취 효율이 낮아진다고 여겨진다.

따라서 활성탄의 표면적을 손상시키지 않고 소취율을 향상시키기 위해서는 평균적으로 소취율이 높게 나온 130°C 및 170°C의 저용융점 섬유를 사용

하되 저용융점 섬유와 활성탄의 비율은 90:10 또는 95:5 비율로 혼합하는 것이 가장 효과적인 결과를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

3.2.2.2 인장강도와 마모강도 시험

LM 비율에 따른 활성탄 부직포의 영향을 알아보기 위해 Table 6에 나타낸 시료를 각각 5개의 샘플을 채취하여 인장 강도 테스트를 실시하여 그 결과를 Table 12에 나타내었다. Table 12에 나타낸 것과 같이 LM의 비율이 높을수록 즉 활성탄의 비율이 낮을수록 인장 강도가 높게 나타났다. 이러한 결과는 LM가 기존의 접착제인 아크릴 수지를 대용할 수 있을 정도로 우수한 접착력을 가지기 때문에 함량이 많아질수록 조직을 더욱 견고하게 만들기 때문에 나타난다. 사실 활성탄도 인장 강도에 영향을 미치지만 그 영향력은 극히 미미한 수준이고 인장 강도에 미치는 영향은 LM의 영향이 더 크므로

Table 12. Tensile strength with LM types and A/C rates(unit:kg/2.54cm)

Sample names	LM type and A/C rates	Tensile strength(kgf/2.54cm)			
		90:10	95:5	97:3	98:2
LM Fiber	LM4D 4100	10.6	10.6	11.0	10.9
	LM4D 4130	11.4	11.4	11.8	11.7
	LM4D 4170	11.7	11.8	11.8	12.0
	LM4D 4200	10.7	10.7	11.0	11.0
BICO	BICO4D 4130	12.0	12.3	12.9	12.9
Polypropylene	PP4D 4167	10.5	10.9	11.2	11.3

Table 13. Abrasion strength with LM types and A/C rates(unit:cycle)

Sample names	LM type and A/C rates	Abrasion strength(cycle)			
		90:10	95:5	97:3	98:2
LM Fiber	LM4D 4100	310	310	320	330
	LM4D 4130	330	330	330	340
	LM4D 4170	330	340	350	340
	LM4D 4200	310	320	320	320
BICO	BICO4D 4130	320	320	340	340
Polypropylene	PP4D 4167	280	300	300	320

LM의 혼합 비율이 높아질수록 인장 강도가 높게 나타나는 것이다. 그러나 이 증가폭 또한 그리 크지 않음을 알 수 있다.

BICO 섬유로 제조된 활성탄 부직포에서 인장 강도 평균값이 가장 높게 나왔다. BICO 섬유는 저용융점의 겉면에 융점이 더 높은 Polyethylene fiber가 중심에 위치하는 이성분 혼합섬유로 두 가지 성분이 열에 의해 녹으면서 조직의 결합력을 높여 지므로 함유량이 많을수록 결정 구조를 단단하게 엮어매주기 때문에 인장 강도의 증가폭이 다른 LM보다 더 커지게 된다. 그러나 BICO 섬유의 활성탄 부직포는 소취 효율이 떨어지기 때문에 적합하지 않다. 그리고 활성탄 부직포마다 차이는 있지만 전체적으로 기준치 이상의 강도를 가지고 있음을 알 수 있다.

따라서 LM 130°C와 170°C에 대해서 각각 활성탄과의 비율은 90:10 또는 95:5로 하여 활성탄 부직포를 제조하는 것이 바람직하다고 판단된다. 일반적으로 부직포의 두께가 두껍고 인장 강도가 높을수록 마모 강도도 높아진다고 알려져 있다. 이러한 결과가 활성탄 부직포에도 이와 같은 사실을 확인해보고 LM과 활성탄의 최적의 혼합 비율을 알아보기 위해 LM과 활성탄의 혼합 비율을 각각 90:10, 95:5, 97:3, 98:2로 하여 활성탄 부직포를 제조하여 마모 강도를 측정하여 그 결과를 Table 13에 나타내었다. 각 시료에서 샘플을 5개씩 채취하여 마모 강도를 측정하였다.

Table 13에서 보는 바와 같이 LM의 종류의 영향을 마모강도도 인장 강도와 동일한 경향을 나타내었다. 즉 LM 종류에 따라 다소 차이가 나타나지만 130°C, 170°C LM의 활성탄 부직포와 130°C BICO의 활성탄 부직포에서 마모 강도는 비율에 상관없이 모두 기준치 이상으로 높게 나왔다. 전반적으로 LM의 혼합 비율이 높을수록 마모 강도가 증가함을 알 수 있다. 이는 저용융점 섬유가 비율이 높아질수록 적정 온도의 열에 의해 용융되면서 웹 조직의 결속력을 강화되고 견뢰도를 향상시키기 때문에 내마모성 또한 향상됨에 기인한다. 따라서 활성탄 부직포의 소취 효과를 극대화시키면서 강도를 유지하기 위해서는 130°C, 170°C의 저용융점 섬유를 사용하여 LM과 활성탄의 비율을 90:10 또는 95:5의 비율로 활성탄 부직포를 제조하는 것이 바람직하다고 생각된다.

4. 결 론

활성탄 종류와 비율에 따라 활성탄 부직포의 물성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 야자계 활성탄과 하이옥시 활성탄을 각각 100mesh, 325mesh를 사용하였고, 활성탄의 혼합 비율은 2%, 3%, 5%, 10%로 늘려가면서 시험하여 소취성 평가를 하였다. 또한 활성탄 부직포에 적정 강도부여와 흡착력 강화를 위한 LM을 사용하여 이들과 활성탄에 따라 소취성도 평가하였다.

활성탄의 종류에 대한 소취 효율은 하이옥시 활성탄 325mesh > 하이옥시 활성탄 100mesh > 야자수 활성탄 325mesh > 야자수 활성탄 100mesh 순으로 결과 값이 나왔다. 하이옥시 활성탄이 야자수 활성탄보다 소취율이 높은 이유는 생성 공정을 봤을 때 일반적인 활성탄 탄화 및 활성화 공정이 아닌 열분해에 의한 활성화가 이루어지므로 월등히 많은 공극과 비표면적을 가지기 때문인 것으로 mesh가 높을수록 입자의 크기는 더 작아지기 때문에 미세공이 발달되고 내부표면적이 커지므로 그만큼 흡착 유효 면적이 넓어지게 되어서 소취 효과가 더 높아지기 때문이다. 활성탄의 혼합 비율에 따라서는 활성탄의 함량이 많을수록 소취 효율은 높았으나 5%와 10%의 함량에 대한 값의 차이는 거의 없었다. 5%의 함량에서 충분히 소취 효과를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

LM의 종류에 따른 부직포의 소취성은 130°C와 170°C의 저용점 부직포가 활성탄 입자의 소취기능을 향상시킬 수 있는 기공을 최대한 보존시켜주기 때문에 소취효과를 극대화시킬 수 있다. LM과 활성탄의 비율도 90:10 또는 95:5 비율로 혼합하는 것이 가장 효과적인 결과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2014학년 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(2014AA306).

본 실험에 도움을 주신 (주)한영산업에 감사드립니다.

References

1. M. Suzuki, Activated Carbon Fiber : Fundamental and Application, *Carbon*, **32**(4), 577(1994).
2. J. H. Kim, H. S. Lee, P. K. Pak, G. R. Jheong,

- and G. J. Kim, Preparation and Analysis of Activated Carbon Fiber from PAN Precursor(I), *Textile Coloration and Finishing*, **4**(4), 90(1992).
3. J. H. Kim, J. Y. Choi, P. K. Pak, G. R. Jheong, and G. J. Kim, Preparation and Analysis of Activated Carbon Fiber from PAN Precursor(II), *Textile Coloration and Finishing*, **4**(4), 97(1992).
 4. P. L. Walker and P. A. Thrower, "Chemistry and Physics of Carbon(Vol.8)", Marcel Dekker Inc., New York, pp.232-234, 1973.
 5. A. B. Fuertes, G. Marban, and D. M. Nevskaja, Adsorption of Volatiles Organic Compounds by Means of Activated Carbon Fiber Based Monoliths, *Carbon*, **41**(1), 87(2003).
 6. A. Netzer and D. E. Hughes, Adsorption of Copper, Lead and Cobalt by Activated Carbon, *Water Research*, **16**(8), 927(1984).
 7. T. C. Tan and W. K. Teo, Combined Effect of Carbon Dosage and Initial Adsorbate Concentration on the Adsorption Isotherm of Heavy Metals on Activated Carbon, *Water Research*, **21**(10), 1183(1987).
 8. B. E. Reed and S. Arunachalam, Use of Granular Activated Carbon Columns for Lead Removal, *J. of Environmental Engineering*, **120**(2), 416(1994).
 9. H. S. Kim, H. S. Chang, B. B. Park, Y. S. Park, and B. M. Min, Adsorption Characteristics of Aromatic Volatile Organic Compounds on Adsorbents, *J. of Korean Society of Environmental Engineers*, **21**(3), 481(1999).
 10. G. H. Baek, J. S. Kim, H. T. Jang, H. W. Kim, H. J. Kim, and W. S. Cha, Adsorption/desorption Properties of VOCs on Activated Carbon Fiber, *J. of the Korea Academia-industrial Cooperation Society*, **12**(5), 2439(2011).
 11. S. J. Park, J. S. Shin, K. E. Choi, H. Y. Kim, and D. R. Lee, Influence of γ -ray Exposure on Ammonia Removal of Activated Carbon Fibers, *J. of Korean Fiber Society*, **39**(6), 654(2002).
 12. S. J. Park, J. S. Shin, H. Y. Kim, and D. R. Lee, No Reduction Mechanism of Cu-electroplated Activated Carbon Fibers, *J. of Korean Fiber Society*, **40**(5), 440(2003).
 13. S. J. Park, J. S. Shin, H. Y. Kim, and D. R. Lee, Influence of Silver Treatments on Ammonia Removal and Antibacterial Activities of Activated Carbons, *J. of Korean Fiber Society*, **41**(4), 298(2004).
 14. S. J. Park, G. H. Shim, and H. Y. Kim, Heavy Metal Adsorption of Activated Carbon Fibers with Chelating Groups, *J. of Korean Fiber Society*, **42**(2), 129(2005).
 15. B. K. Choi, L. K. Kwac, K. E. Yoon, M. K. Seo, and S. J. Park, Preparation and Characterization of Coal-tar Pitch-based Activated Carbon Fiber(I), *J. of Korean Fiber Society*, **51**(4), 174(2014).
 16. M. H. Han and M. W. Huh, Characteristics of the Wastewater Treatment Processes for the Removal of Dyes in Aqueous Solution(2) -Ozonation or ACF Adsorption Treatment of Reactive Dyes-, *Textile Coloration and Finishing*, **19**(3), 146(2007).
 17. C. C. Park, Effect of Hardness and Thickness of Midsole on the Bending Properties of Footwear, *Elastomer*, **41**(2), 125(2006).
 18. C. C. Park and C. Y. Park, The Effect of Low Temperature Plasma Treatment Condition on the Peel Strength of EVA Foam for Shoe Mid-sole, *Elastomer*, **35**(4), 296(2000).
 19. J. H. Hwang, C. N. Kim, J. S. Ma, H. S. Oh, and N. S. Yoon, Dyeability of Low-melting Hybrid Polyester at Low Temperature, *Textile Coloration and Finishing*, **24**(2), 113(2012).