

투습도 측정방법에 따른 스포츠웨어용 투습직물의 투습특성

김현아[†] · 김승진¹⁾

한국패션산업연구원 연구개발본부
¹⁾영남대학교 파이버시스템공학과

Breathability of Breathable Fabrics for Sportswear according to Measuring Method

Hyun-Ah Kim[†] and Seung-Jin Kim¹⁾

Korea Research Institute for Fashion Industry; Daegu, Korea
¹⁾Dept. of Fiber System Engineering, Yeungnam University; Gyeongsan, Korea

Abstract : This study investigated water vapor permeability of the 73 breathable fabrics for sports-wear according to the materials, finishing methods and fabric structural parameters. The water vapor permeability by KS K 0594 method of PET breathable fabric was superior than that of nylon one, in addition, water vapor permeability of coated or laminated breathable fabrics were higher than those of hot melt or dot laminated fabrics. The water vapor permeability of breathable fabric was dependent on the thickness, weight and density, which was consistent with measuring method. However, water vapor permeability according to materials and finishing method showed different results according to measuring method. The correlation coefficient of WVP of PET breathable fabrics between ISO and KS K measuring methods was -0.83 and the correlation coefficient of WVP of coated breathable fabrics was -0.72 and -0.71 for KS K and ASTM and -0.72 for KS K and ISO in hot melt laminated breathable fabrics. According to regression analysis, WVP of PET breathable fabric by both KSK and ISO measuring methods was highly dependent upon on the density and weight. In addition, WVP of hot melt laminated breathable fabric was highly dependent upon thickness, weight and density. Therefore, relevant measuring method for WVP of breathable fabrics has to be adopted to measure precise breathability.

Key words : water vapor permeability (투습도), evaporative resistance (수분저항), breathable fabric (투습직물), hot melt (핫멜트) laminate (라미네이트), inverted cup method (인버티드컵 방법)

1. 서 론

의류 착용과정에서 땀 증기 이동 특성은 의류착용 쾌적성에 대단히 중요한 특성이다. 중노동 혹은, 높은 열에 노출된 상태에서 착용하는 의류의 땀증기 이동특성은 작업자의 작업효율에 큰 영향을 미치게 된다. 특히, 최근 스포츠웨어용 직물의 경우 다기능성을 요구하며 신축성과 흡한속건성 등과 함께 높은 투습성을 가진 라미네이팅 직물들이 등산복과 조깅복 등에 사용되고 있다. 이들 스포츠웨어용 직물의 투습성은 소재특성과 가공방법에 따라 큰 차이를 보이고 있으며 또한 투습성 측정방법에 따라 투습도에 차이를 보이고 있다는 것이 지금까지의 많은 연구(Congalton, 1999; Dolhan, 1987; Gibson, 1993; Gibson

et al., 1995; 1997; Grettlon, 1996; Huang, 2006; 2007; Huang & Qian, 2008; Lomax, 1990; McCullough et al., 2003)에서 밝혀져 왔다. 투습도 측정방법은 크게 수증기투과도(Water Vapor Transmission Rate, WVTR) 측정방법과 수증기 증발 저항(evaporative resistance, Ret) 측정방법으로 구분되며 전자는 ASTM E 96(upright and inverted cup tests), JIS L 1099(desiccant inverted cup test), new ASTM F 2298(Dynamic Moisture Permeation Cell, DMPC) 등이 있으며 후자는 ISO 11092(sweating hot plate test) 방법이 현재까지 사용되고 있다.

Huang and Qian(2008)은 기존의 5가지 투습도 측정방법과 새로운 투습도 측정법(DMPC)으로 6가지 직물시료에 대해 투습도를 측정하여 실험방법에 따라 높은 상관성을 보인다고 발표하였다. McCullough et al.(2003)은 26가지의 방수, 방풍 그리고 투습직물 등을 사용하여 5가지 투습도 측정방법에 따른 투습도의 상관성을 연구하여 측정방법 사이의 상관계수는 0.9 이상의 높은 상관성을 보인다는 결과를 발표하였다. Huang (2006)은 ISO 11902 측정방법에서 투습도에 영향을 미치는 인자, 즉 공기 흐름속도, 흐름방향 등 여러 인자들이 투습저항에 미치는 영향을 분석하고 기존의 수증기투과도 방법과 비교하여

[†]Corresponding author; Hyun-Ah Kim
Tel. +82-53-721-7459 Fax. +82-53-986-6341
E-mail: ktufl@krifi.re.kr

© 2017 (by) the authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

보완되어야 할 기술적인 내용을 연구하였다. 또한 본인의 다른 논문(Huang & Qian, 2008)에서 직물의 수증기 이동특성의 측정방법에 관한 여러 가지 기술적 특성을 정리하였다.

한편, 일찍이 Congalton(1999)은 미세다공성 폴리우레탄 직물의 투습저항을 Hohenstein 스킨모델을 사용하여 ISO 11902 법과 BS 7209 방법으로 측정하여 두 가지 방법 사이의 상관성이 매우 높다는 것을 확인하였다. Gibson(1993)은 소수성과 친수성 멤브레인 라미네이팅 직물을 사용하여 sweating guarded hot plate법과 upright cup 방법 사이의 투습도를 분석한 결과, 낮은 상관성을 보인다는 연구결과를 발표하였다. Grettlon et al. (1996)은 Gore modified desiccant method에 의한 투습저항과 BS7209법에서 측정된 water vapor permeability index 간에 선형적인 상관성을 보였으나 같은 화학적인 조성을 가진 폴리머로 코팅 혹은 라미네이팅된 직물에서만 가능하다는 연구결과를 발표하였다.

Gibson et al.(1995)은 투습도 측정장치로 DMPC를 개발하여 ISO11902 측정법과 비교하여 높은 상관성을 가진다는 결과를 발표하였다. 또한 이 방법과 inverted cup 방법과 비교하여 역

시 높은 상관성을 보임을 확인하였다.

Dolhan(1987)은 ASTM E 96 upright cup 방법과 Canadian control dish 방법과의 상관성을 조사하였고, Lomax(1990)는 ISO 11902와 BS 7209 방법 사이에는 역상관의 관계를 보인다는 연구를 수행하였다. 지금까지의 연구에서 보는 바와 같이 직물의 투습도 결과는 측정방법에 따라 다를 뿐만 아니라 코팅 및 라미네이팅된 폴리머 종류 및 가공방법 그리고 직물의 소재 특성에 따라서도 상반된 결과를 보임을 알 수 있다.

한편 국내에서도 수출 등의 상거래나 소비자와의 품질보증 측면에서 사용되는 측정 방법은 KS K 0594와 ASTM 방법이 사용되어 왔으나 최근 유럽의 ISO 11092 방법이 특히 유럽으로 수출되는 스포츠웨어용 투습직물에 바이어들의 요구가 많아지면서 국내에서 사용되어오던 측정방법과의 상관성 분석이 필요하며 특히 소재와 코팅 및 라미네이팅 가공방법에 따라서 어떤 상관성을 가지는가에 대한 연구의 필요성이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 스포츠웨어 의류에 많이 사용되는 투습직물 73가지를 사용하며 이들의 투습도를 수증기 투과 측정방법 두 가지와 투습저항 방법인 ISO 11092 방법으로 측정

Table 1. Specimens according to materials and finishing method

Specimen group	Materials	No. of specimens	Specimen group	Finishing method	No. of specimens
1	Nylon/spandex woven fabric	24	1	Laminating	39
2	Nylon/spandex mixed woven Fabric	6	2	Coating	14
3	PET/spandex woven fabric	13	3	Dot-laminate	11
4	Nylon densely woven fabric	8	4	Hot-melt	6
5	Others	22	5	Others	3
Total			73		

Table 2. Structural parameters and finishing method of specimens

Finishing method	Fabric structural parameters				Finishing method	Fabric structural parameters			
	Thickness (mm)	Weight (g/cm ²)	Warp density (ends/inch)	Weft density (picks/inch)		Thickness (mm)	Weight (g/cm ²)	Warp density (ends/inch)	Weft density (picks/inch)
1	0.125	55	290	150	38	0.759	21.64	92	67
2	0.439	248	88	130	39	0.427	22.935	128	84
3	0.276	117	125	80	40	0.391	15.67	160	56
4	0.317	149	120	80	41	0.276	14.18	125	80
5	0.305	165	120	80	42	0.544	20.435	150	73
6	0.31	16.9	120	80	43	0.366	15.74	125	72
7	0.327	16.465	120	80	44	0.32	15.095	125	71
8	0.344	16.1	165	65	45	0.349	20.675	120	79
9	0.305	15.02	100	75	46	0.398	19.755	110	85
10	0.19	9.695	220	120	47	0.337	16.6	150	96
11	0.178	9.475	180	130	48	0.212	10.94	135	97
12	0.413	19.16	80	56	49	0.154	10.51	133	125
13	0.305	14.18	130	80	50	0.251	13.375	140	85
14	0.313	14.45	130	80	51	0.359	17.285	163	67
15	0.3	14.505	170	90	52	0.486	23.81	132	75
16	0.298	13.24	155	75	53	0.359	19.445	156	90

Table 2. Structural parameters and finishing method of specimens (continued)

17		0.144	8.255	210	140	54		0.166	8.275	140	105
18		0.12	6.01	210	130	55		0.173	9.33	105	84
19		0.137	6.455	136	144	56		0.178	9.38	103	76
20		0.125	5.985	205	136	57		0.193	9.335	105	82
21		0.139	5.03	165	210	58		0.181	9.235	170	92
22		0.129	5.15	220	170	59	D	0.413	16.35	154	57
23		0.12	5.915	320	200	60		0.254	12.445	150	110
24		0.149	7.395	208	205	61		0.327	15.36	155	93
25		0.251	8.79	88	88	62		0.41	14.845	150	95
26		0.122	5.335	240	175	63		0.376	15.34	130	93
27	L	0.137	5.67	225	190	64		0.405	16.565	100	60
28		0.222	10.38	190	128	65		0.349	13.43	210	72
29		0.198	11.505	165	120	66		0.381	16.35	122	57
30		0.298	13.64	151	80	67		0.281	13.095	156	125
31		0.378	16.87	112	88	68	H	0.291	14.77	87	72
32		0.552	17.56	152	88	69		0.386	14.49	120	76
33		0.525	23.105	170	140	70		0.183	9.33	173	89
34		0.461	18.44	155	112	71		0.186	8.875	108	78
35		0.305	10.455	285	220	72	N	0.176	8.035	127	96
36		0.327	13.79	180	150	73		0.227	9.175	103	85
37		0.442	18.375	152	115						

Note : L: laminate, C: coating, D: dot laminating, H: hot melt, N: non-coating

한 후 소재특성과 투습저항 시험방법에 따라 투습도의 차이를 분석하여 스포츠웨어용 투습직물의 생산현장과 소비자들의 품질보증에 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 시료

본 연구의 실험을 위해서 73개의 투습직물을 준비하였다. 소재는 나일론과 폴리에스터 직물 그리고 기타 소재로 만든 직물 소재를 준비하였고 표면가공은 코팅과 라미네이팅 그리고 핫멜팅 방법으로 가공된 시료를 준비하였다. Table 1에 이들 시료

를 소재별, 가공 방법별로 분류하였다. Table 2에 직물의 구조 파라메타를 보여준다.

2.2. 투습도 측정

투습도 측정은 KS K 0594, ASTM과 ISO 11092방법 등 3가지 방법을 선택하였으며 본 연구에서 측정한 각 실험방법은 다음과 같다.

2.2.1. 투습컵 증기 투과도 측정법

투습컵 증기 투과도 측정법(KS K 0594)은 BS 7209와 ASTM E96-66(upright cup method)과 유사한 방법으로, Fig.

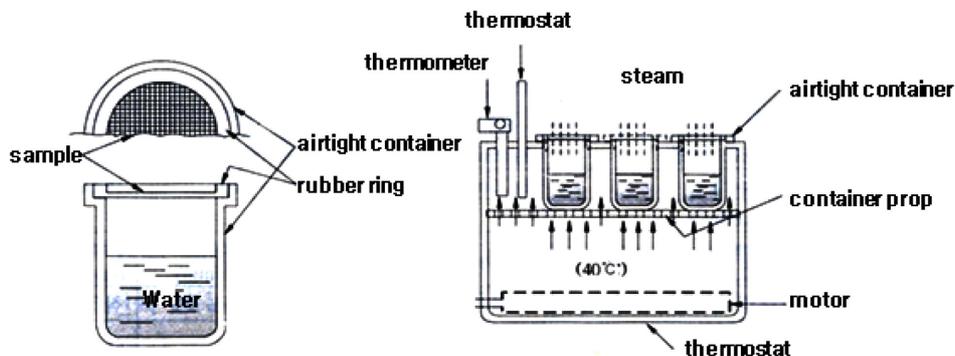


Fig. 1. Water method (KS K 0594).

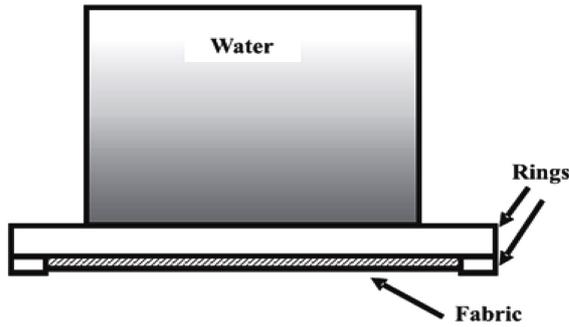


Fig. 2. Inverted cup test(McCullough et al., 2003).

1에 측정장치를 나타내었다. 직경 8cm의 시험편 3매를 준비한 후 Fig. 1처럼 시료를 투습컵에 세팅한다. 세팅 전에 40°C로 전처리한 투습컵 내에 물을 42mm 높이로 넣고 시료 아래면과 채워진 물 수면과의 거리를 10mm로 한다. 시험편의 표면을 흡습제 방향으로 거리가 3mm가 되도록 한 후 투습컵을 온도 40±2°C, 상대습도 50±5%의 항온항습기에 넣은 후 1시간 후 시료 무게(m₁)를 측정 후 다시 온도 20±1°C, 습도 65±5% 항온항습하에서 시료무게(m₂)를 측정 후 식(1)에 의해 투습도(P, g/m²·24h)를 계산하였다.

$$P = 10 \times (m_1 - m_2) / S \quad (1)$$

P : water vapor transmission rate(g/m²·24h)
 m₁ - m₂ : change of specimen weight(mg)
 S : specimen area(cm²)

2.2.2. 인버티드 컵 증기투과도 측정법

직경 7.4cm 원형 시험편 6개를 준비하여 155ml 용량의 알루미늄 컵 위에 세팅시킨다. 이때 시료컵이 뒤집은 상태로 놓여질 때 물이 직물시료를 적시는 것을 막기 위해 소수성 PTFE 멤브레인을 컵의 입구에 덮은 후 실링(sealing) 시킨 뒤에 시료를 세팅하며 Fig. 2에 준비된 시료를 나타내었다.

준비된 시료는 챔버내 공기 온도가 23±0.5°C, 이슬점온도 12±1°C 상대습도 50%의 조건에서 공기속도 2.8±0.25m/sec하에서 인버티드컵의 무게를 3시간 간격으로 8번 측정하여 식(2)에 의해 계산하였다.

$$WVTR = G / (t \cdot A) \quad (2)$$

WVTR : rate of water vapor transmission(g·m²/h)
 G/t : slope of the straight line(weight loss per unit time, g/h)
 A : test area(m²)

식(2)에 의해 계산된 결과치의 평균값을 g/24h/m²의 단위로 환산하였다.

2.2.3. 수증기 증발 저항 측정법

이 방법은 챔버 내에 sweating guarded hot plate를 설치하여

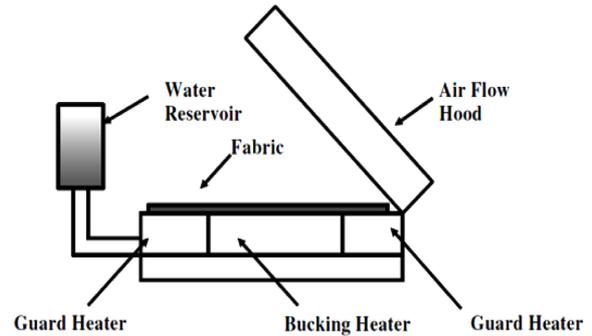


Fig. 3. Sweating hot plate(McCullough et al., 2003).

실험을 실시하며 이 측정기기의 외관을 Fig. 3에 나타내었다.

히터 콘트롤러와 여러 가지 센서장치 등이 sweating guarded hot plate 챔버와는 별도 캐비닛에 설치되어 있다. 챔버 내의 공기 및 핫플레이트의 온도는 35±0.5°C로 조정되었으며 등온 조건으로 유지하며 상대습도 40%를 유지하기 위해 이슬점 온도를 19°C로 유지하였다. 50.8cm×50.8cm 크기의 직물시료를 준비하였으며 핫플레이트 표면의 기공메탈을 통해 공급되는 물이 직물을 젖게하는 것을 막기 위해 핫플레이트 표면에 PTFE 필름을 부착하고 그 위에 준비된 직물시료를 얹고 1시간 정도의 평형상태에 도달하기 위한 과도기 상태 시간을 지난 후 실험 데이터는 45분정도 시간 경과 후 기기에 부착된 컴퓨터에 의해 얻어졌다.

즉 플레이트의 표면온도(T_s), 공기온도(T_a) 그리고 공기 이슬점 온도(T_{dp}) 그리고 전압치와 전류치에 의한 power(W) 값이 계측기에서 얻어졌고 이들 값을 사용하여 식(3)과 식(4)에 의해 직물의 증기투과 저항치를 계산하였다.

$$R_{e,t} = \frac{(P_s - P_a)A}{H} \quad (3)$$

R_{e,t} : total resistance to evaporative heat transfer provided by the fabric system and air layer(m²PaW⁻¹)

A : area of the plate test section(m²)

P_s : water vapor pressure at the plate surface(Pa)

P_a : water vapor pressure in the air(Pa)

H : power input(W)

$$R_{e,f} = R_{e,t} - R_{e,a} \quad (4)$$

R_{e,f} : resistance to evaporative heat transfer provided by the fabric

R_{e,a} : resistance value measured for the air layer and liquid barrier

3. 결과 및 논의

3.1. 투습컵 증기 투과도(KSK 0594) 측정방법에 의한 투습도 특성

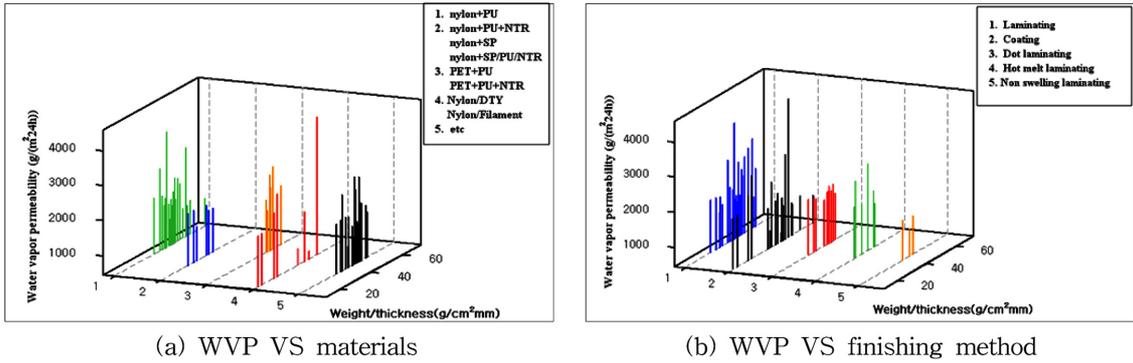


Fig. 4. Water vapor permeability according to materials and finishing method.

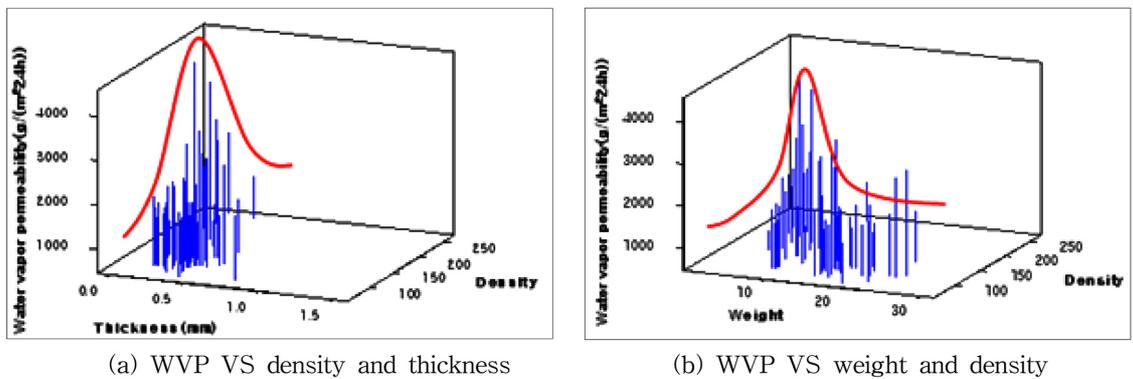


Fig. 5. Water vapor permeability according to fabric structural parameters.

Fig. 4는 KS K 0594에 의해 측정된 73개 투습직물의 투습도를 직물특성과 투습직물 가공방법에 따라 도시한 것이다. Fig. 4(a)에서 볼 수 있듯이 2번과 3번 시료군을 비교하면 나일론보다 폴리에스터 직물군의 투습도가 더 높은 값을 보여, 더 우수한 결과를 보였다. 나일론 스트레치 투습직물군인 2번 시료군의 투습도가 균제함을 보이며 이는 스트레치 투습직물군의 투습도 특성이라고 보여진다. 반면에 나일론 투습직물군인 1번 시료군에서 시료에 따라 투습도에 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 이러한 사실은 Fig. 4(b)에서 볼 수 있듯이 투습직물의 가공방법 중 1번과 2번 가공방법인 라미네이팅과 코팅 가공방법에 의한 투습직물의 투습도가 3번과 4번 가공방법인 도트 라미네이팅(dot laminating), 핫멜팅 라미네이팅(hot melt laminating) 투습직물에 비해 높은 투습도를 보임을 알 수 있다. 따라서 Fig. 4(a)의 나일론 투습직물군인 1번 시료군의 투습도의 차이는 직물의 두께와 무게 그리고 가공방법에 따른 차이로 보여진다. 이러한 사실은 Fig. 4(b)에서 라미네이팅(1번군)과 코팅(2번군) 시료군들이 직물 구조인자인 두께당 무게에 따라 투습도의 분포를 보이며 이는 도트 라미네이팅과(3번군) 핫멜팅 라미네이팅법(4번군)에 의한 투습직물은 직물 구조인자인 무게/두께에 따른 투습도의 분포를 크게 보이지 않은 것과 좋은 대조를 보임

을 알 수 있다.

Fig. 5는 이들 투습직물의 투습도를 직물밀도, 두께, 무게에 따라 도시한 것이다. Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이 직물의 밀도 증가에 따라 투습도가 증가하다가 감소하며 Fig. 5(b)에서도 볼 수 있듯이 직물의 두께와 무게가 증가할 때 투습도는 역시 증가하다가 감소함을 알 수 있다. 이는 밀도의 증가는 직물내의 기공도를 감소시켜 기공내의 공기층이 감소하여 수분 증기의 투과를 증가시켜 투습도가 증가하다가 밀도가 고밀도로 증가하면 수분증기가 통과할 수 있는 기공이 감소함으로써 투습도는 낮아지는 것으로 사료된다. 이는 두께와 무게증가와 함께 투습도가 증가하다가 두께와 무게가 더욱 증가하면 고밀도에 따른 투습도가 감소하는 원리와 동일하게 감소하는 것으로 사료된다.

3.2. 수증기 증발 저항 (ISO 11092) 측정 방법에 의한 투습도 특성

Fig. 6은 ISO 11092에 의한 투습직물의 투습저항치(R_{et})를 도시한 것이다. Fig. 6(a)에서 볼 수 있듯이 코팅 혹은 라미네이팅된 나일론 투습직물 군(1, 2번 시료군)의 투습저항이 폴리에스터 직물군(3번 시료군)보다 더 높은 값을 보여, 투습성이 나쁜 결과를 보였다. 이는 KS K 0594 측정결과와 같은 경향

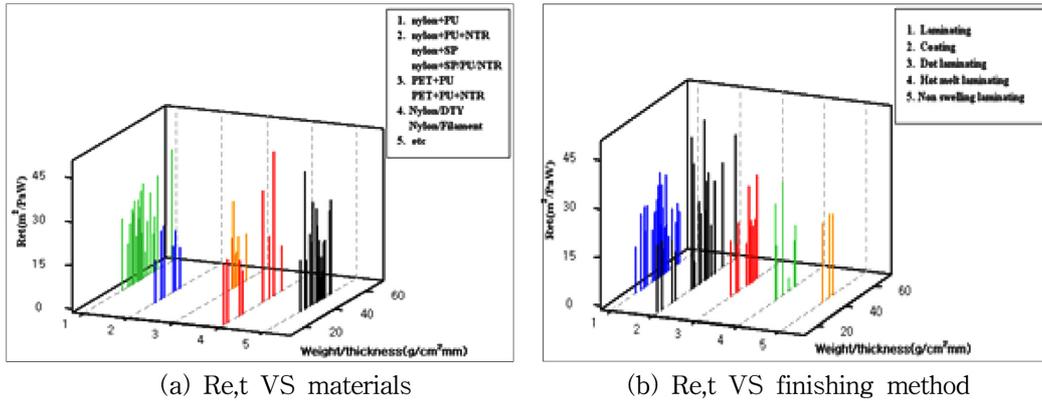


Fig. 6. Water vapor resistance according to materials and finishing method.

성을 보임을 알 수 있다.

나일론 고밀도 투습 직물군(4번 시료군)과 기타 투습 직물군(5번 시료군)의 투습저항치들의 분포는 나일론 코팅 혹은 라미네이팅 투습직물군(1번 시료군)들의 투습저항과 비슷한 값을 분포를 보이고 있다. Fig. 6(b)는 가공방법에 따른 투습저항을 보인다. Fig. 6(b)에서 볼 수 있듯이 라미네이팅과 코팅방법으로 가공된 직물군(1번과 2번 시료군)의 투습저항이 도트 라미네이팅군(3번 시료군)과 핫멜팅 라미네이팅군(4번 시료군) 보다 더 큰 값을 가져, 투습성이 나쁜 결과를 보였다. 이 결과는 KS K 0594 측정결과와는 다른 경향을 보이며 이들 결과에 대한 상관성 분석의 필요성이 요구된다. Fig. 7은 ISO 11092 방법에 의한 투습저항과 직물구조 인자인 밀도와 두께 그리고 무게와의 관계를 도기한 것이다. Fig. 5에서 보인 KS K 0594에 의한 투습도 결과와 그래프의 형태가 반대의 현상을 보였다. 즉 두께, 밀도, 그리고 무게의 증가와 함께 투습저항은 감소하다가 다시 증가하는 현상을 보였으며, 이는 KS K 0594 투습도 측정방법과 ISO 11092 투습저항 측정방법과의 관계가 역상관성을 보여주는 결과로서 직물구조 인자에 따른 ISO와 KSK 투습도 측정방법간에는 일치하는 결과로 보여진다.

3.3. 인버티드 컵 증기투과도(ASTM) 측정 방법에 의한 투습도 특성

Fig. 8은 ASTM법에 의한 투습도(Water Vapor Transmission, WVT)를 도기한 것이다. Fig. 8(a)에서 볼 수 있듯이 나일론 투습 직물군(1, 2군)과 폴리에스터 투습 직물군(3군)의 투습도에 큰 차이를 보이지 않고 있으며, Fig. 8(b)에서는 라미네이팅과 코팅 가공법(1, 2군)에 의한 투습직물의 투습도가 도트 그리고 핫멜팅 라미네이트(3, 4군) 투습 직물군에 비해 더 높은 투습도를 보이고 있다. 즉, ASTM법에 의한 투습도 결과에서 소재에 따른 투습도는 나일론과 폴리에스터 소재 사이에 큰 차이를 보이지 않으므로서 ASTM법은 KS K 0594방법과 ISO 11092 방법과는 어떠한 상관성을 보이지 않은 다른 결과를 보여주었다. 가공방법에 따른 투습도 결과는 KS K 0594와 정(+)의 상관을 보여주었고 ISO 11092방법과는 역(-)의 상관을 보여준 결과로 사료된다.

Fig. 9는 ASTM법에 의한 투습도와 직물구조 인자인 두께, 무게, 밀도와의 상관성을 도기한 것이다.

Fig. 9(a)와 (b)에서 볼 수 있듯이 두께, 무게, 밀도 증가와 함께 투습도가 증가하다가 감소하는 현상을 보였다. 이는 KS

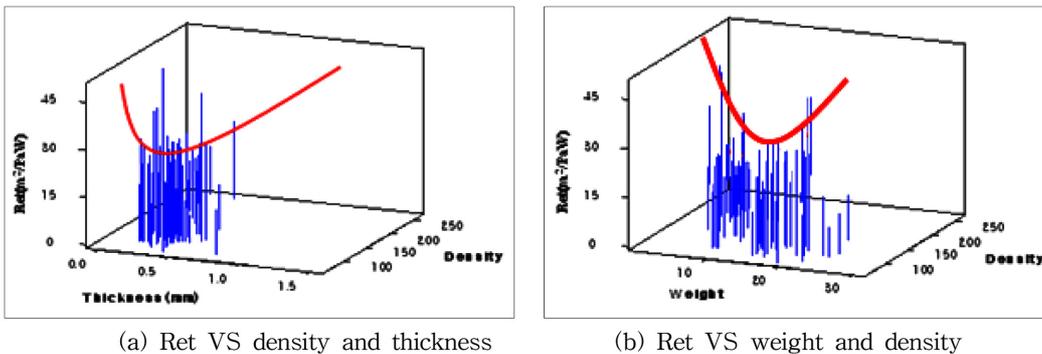


Fig. 7. Water vapor resistance according to fabric structural parameters.

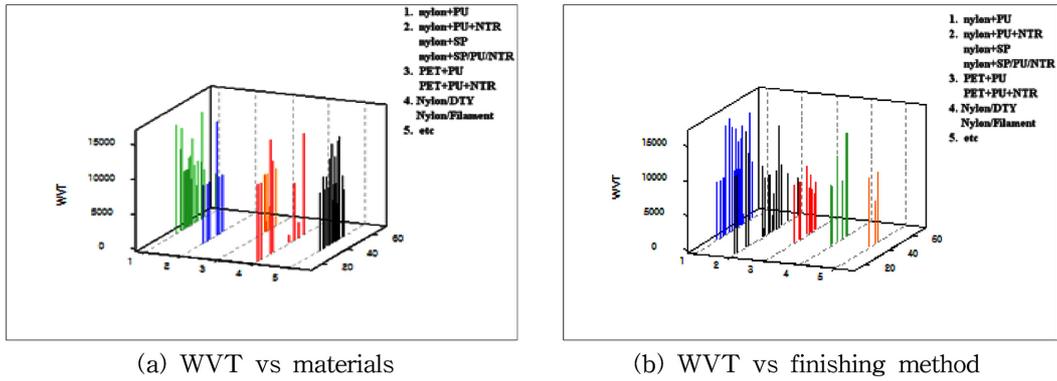


Fig. 8. Water vapor transmission according to materials and finishing method.

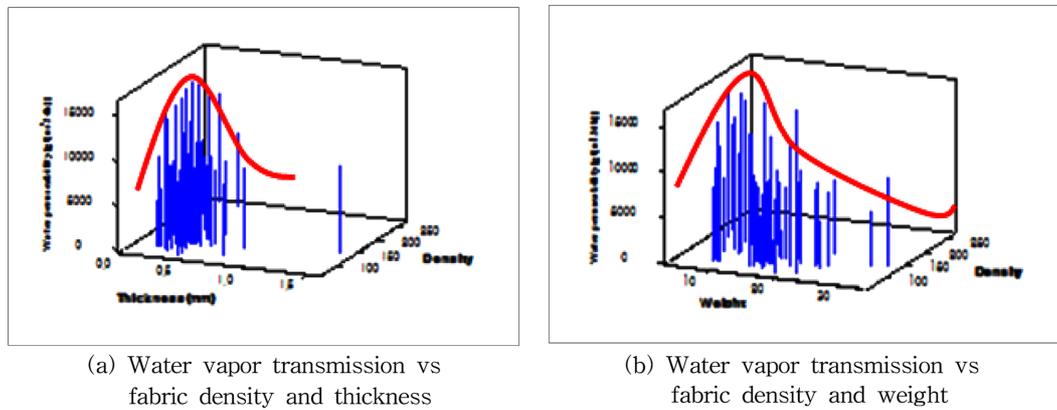


Fig. 9. Water vapor transmission according to fabric structural parameters.

K 0594 결과와 유사한 결과를 보이며 ISO 11092 방법인 투습저항 결과와는 그래프 형태는 반대의 결과를 보였으나 투습특성은 유사한 결과를 보여 주었다고 사료된다. 지금까지의 투습도 측정방법간의 소재특성과 가공방법 및 직물구조 인자에 따른 전체적인 경향성을 분석하였으나 이들에 대한 구체적인 관련성을 알아보기 위해 통계적 방법을 이용하여 상관 및 회귀

분석을 실시하였다.

3.4. 투습도 측정방법 사이의 상관성 분석

Huang and Qian(2008)의 연구에서는 2가지 일반 직물과 4가지 라미네이팅 투습직물을 사용하여 투습도 시험방법 사이의 상관분석을 한 결과 ISO 11092법과 upright cup 방법(ASM

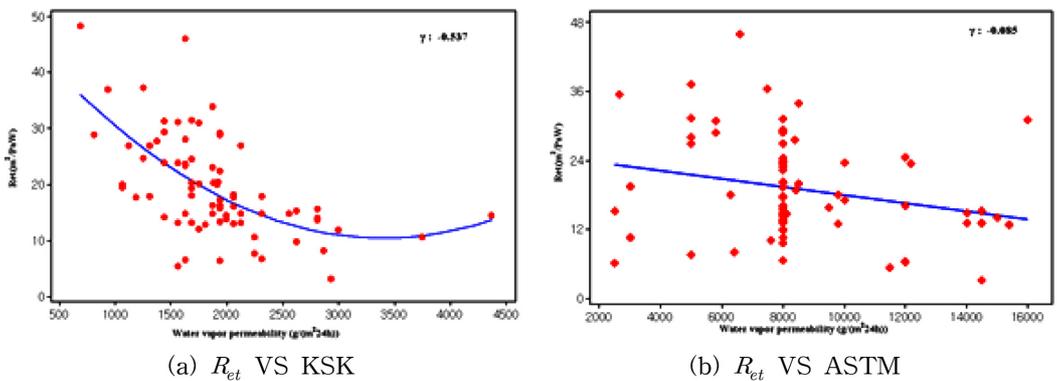


Fig. 10. Diagram on correlation between water vapor permeability and resistance according to measuring method.

E 96-B)와의 상관계수가 -0.867, 그리고 ISO 11092법과 inverted cup 방법(ASTM E96-BW)와의 상관성은 -0.661을 나타내어 투습저항과 inverted cup 방법간의 상관성이 upright cup 방법과의 상관계수보다 더 낮은 값을 보인다고 발표하였다.

한편, McCullough et al.(2003)은 100% 나일론과 폴리에스터 평직 26가지 WWB(waterproof, windproof, and breathable) 셸(shell)직물을 사용하여 투습도 측정방법 사이의 상관분석에서 ISO 11092법의 투습저항과 upright cup 방법과의 상관계수는 -0.59, inverted cup 방법과의 상관계수는 0.1의 낮은 상관계수를 보인다는 결과를 발표하였다. 이는 앞의 Huang and Qian(2008)의 연구결과와 비교한다면 투습직물의 소재특성과 시료수 등에 따라 시험방법들 사이의 상관성이 다르다는 것을 알 수 있다. 또한 Gorjanc et al.(2012)은 면직물과 면스트레치 일반직물 8가지를 사용하여 water cup방법(Jaksic, 1988)과 Permetest방법(Hes, 2005)에 의한 투습저항과의 상관성을 분석한 결과 0.9 이상의 높은 값을 보였다고 보고하였다.

본 연구에서도 3가지 투습도 측정방법 사이의 상관성을 분석하였다. Fig. 10은 투습저항법(R_{et})과 upright cup방법(WVP)과의 상관성과 투습저항법(R_{et})과 inverted cup 방법(WVT)과의 상관성을 도시한 것이다.

Fig. 10에서 볼 수 있듯이 R_{et} 와 KS K 0594과의 상관계수는 -0.54이며 R_{et} 와 ASTM E96과의 상관계수는 -0.09로서 상관계수가 매우 낮은 값을 보였다. 이 결과는 McCullough et al.(2003)이 연구한 26가지의 나일론과 폴리에스터 투습직물시료들의 두 측정 방법간의 상관계수가 각각 -0.59와 0.1을 보인 결과와 유사한 결과를 보였다. 그러나 이 결과는 Huang and Qian(2008)의 연구에서 일반직물과 라미네이팅 투습직물의 경우 이들 상관계수가 각각 -0.867과 -0.661의 비교적 높은 결과를 보인 연구와 Gorjanc et al.(2012)의 연구에서도 면직물 시료의 투습도 경우 R_{et} 와 WVP간의 상관계수가 0.9의 높은 값을 보인 결과와는 다소 상반된 결과를 보였다. 이 결과로 볼 때 직물시료군, 즉 투습직물의 소재에 따라 투습도 측정방법 간의 상관성이 다른 결과를 보여 줌으로써 본 연구에서 사용된 73개 시료군을 소재별로 nylon, 폴리에스터, 기타 소재군으로 3개 그룹으로 그룹화를 하고 가공방법에 따른 그룹을 라미네이팅, 코팅, 도트 라미네이팅, 그리고 핫멜팅 등 4개 그룹으로 나누어 투습도 실험방법에 따른 소재와 가공방법에 따른 기여를 분석하였다.

Table 3은 전체 시료 73개의 소재별로 투습도 실험방법들 사이의 상관계수를 나타내었다. Table 3에서 볼 수 있듯이 폴리에스터 직물의 경우, KS K 0594와 ISO 11092 방법간에 상관계수가 -0.833으로 가장 높은 상관성을 보여 주었으며 나일론 직물의 경우 -0.616 그리고 이들 두 직물 외 천연소재와의 교직물 등의 시료의 경우는 -0.384의 비교적 낮은 상관관계를 보였다. KS K 0594와 ASTM 방법 그리고 ASTM법과 ISO 11092 방법 사이의 상관계수는 모두 0.2 이하의 낮은 상관계수를 보였다. KS K와 ISO 방법 사이의 폴리에스터 직물(-0.833)

Table 3. Correlation coefficients between measuring methods according to the materials

	KS K/ISO	KS K/ASTM	ASTM/ISO
Total specimens	-0.537	-0.104	0.021
PET	-0.833	-0.064	-0.002
Nylon	-0.616	-0.183	-0.063
Etc.	-0.384	0.132	0.112
Remarks	McCullough et al.(2003) 0.1 ¹⁾ -0.59 ^{1)*}	Huang & Qian (2008) 0.867 ²⁾ -0.661 ^{2)*}	Gorjanc et al.(2012) 0.9 ³⁾

Note
 1) for nylon breathable fabrics
 1)* for PET breathable fabrics
 2) for regular fabrics
 2)* for laminated fabrics
 3) for cotton fabrics

Table 4. Correlation coefficient between measuring methods according to the finishing method.

	KS K/ISO	KS K/ASTM	ASTM/ISO
Total specimens	-0.537	-0.104	0.021
Laminating	-0.437	0.024	0.032
Coating	-0.715	-0.325	0.276
Dot-laminating	-0.258	-0.268	-0.478
Hot melt	-0.717	-0.71	0.138

과 나일론 직물(-0.616)의 결과는 Huang and Qian(2008)의 연구결과와 비슷한 상관성을 보여 주었으며 전체 시료의 경우 KS K/ISO간의 상관계수 -0.537과 ISO/ASTM간은 0.021로서 McCullough et al.(2003)의 연구결과와 유사한 상관계수를 보였다. 한편 Table 4는 가공 방법별로 투습도 실험방법들 간의 상관계수를 나타내었다. Table 4에서 볼 수 있듯이 코팅시료의 경우 KS K/ISO 간의 상관계수가 -0.715, 핫멜팅 라미네이팅 시료의 경우 KS K/ISO의 경우 -0.717 그리고 KS K/ASTM 간의 상관계수가 -0.710의 비교적 높은 상관계수를 보였으나 나머지 가공 시료들은 모두 실험방법 사이의 상관성을 보여 주지 않았다. 이러한 상관분석 결과를 보면 실험방법에 따라 투습도에 따른 투습성의 결과를 다르게 해석할 수 있으며, 투습성의 평가는 소재와 가공방법에 따라 적절한 시험방법을 선택할 필요성이 있다고 사료된다.

3.5. 투습도에 영향을 미치는 소재와 직물구조 인자와의 회귀분석

Lee and Obendorf(2012)의 연구에 의하면 면, 나일론66, 폴리에스터, 폴리프로필렌, 그리고 라이오셀 등의 소재를 사용한 15가지 직·편물의 투습도를 ASTM E-96의 upright cup 방법을 사용하여 측정하고 이들에 영향을 미치는 소재와 직물구조 인자의 영향을 회귀분석을 통해서 연구하였다. 직물두께, 그리고 커버팩터와 함께 가공 사이즈 등이 투습도에 영향을 미치는 가장 큰 인자이며 섬유 흡수도와 고유 섬유특성 등도 큰 기여도를 보여주는 인자로서 이들 인자들과 투습도의 회귀분석에서 결정계

Table 5. Multiple regression analysis with fabric structural parameters

	Breathability(y)	Structural factor(x)	Regression equation	R ²	
PET	KS K 0594	T	$y=58963.6x^2-53250.8x+9562.7$	0.802	
		W	$y=42.6x^2-1320.4x+11533.3$	0.844	
		W/T	$y=50.5x^2+5486.7x-146199.9$	0.637	
		D	$y=4632.7(336,771.1/x)$	0.520	
	ISO11092	T	$y=648.4x^2-220.0x+31.15$	0.839	
		W	$y=0.202x^2-2.63x+18.33$	0.847	
	ASTM-E92	D	$y=-403x^2+1015.8x-55872$	0.929	
	Hot melt laminating	KS K 0594	W	$y=69.4x^2+1769.5x-8727.5$	0.640
D			$y=0.83x^2-175.8x+10927.1$	0.659	
ISO11092		T	$y=1715.1x^2-909.6x+127.1$	0.872	
		W	$y=1.21x^2-31.5x+196.0$	0.611	
		D	$y=0.002x^2+4.74x-220.4$	0.734	
ASTM-E92		W/T	$y=37.5x^2-2907.9x+65027.7$	0.663	
Remarks		1. Fabric structural parameters are more dominant factors than finishing methods to the breathability for PET, but for nylon fabrics, finishing methods are more dominant than fabric structural parameters. 2. Fabric thickness and weight of PET fabrics are the most important factors for breathability by KSK 0594 and ISO 11092 measuring method. 3. Fabric thickness of hot melt laminated fabrics is the most important factor for breathability by ISO 11092 measuring method.			

Note : T: thickness, W: weight W/T: weight/thickness, D: density

수가 0.97임을 보였다. 그러나 이들의 연구에서는 투습직물에서 가장 중요한 코팅, 라미네이팅 등의 가공처리를 하지 않은 상태의 시료를 사용하였다는 점과 시료 개수가 통계처리에 의한 분석을 하는 연구에서 다소 적었다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 73가지 시료를 소재별 그룹핑과 가공방법에 따른 그룹핑을 하여 투습도 실험 방법별로 투습도에 영향을 미치는 소재 특성과 직물구조 인자와의 2차 중회귀분석을 실시하였다. Table 5에 투습도에 영향을 미치는 직물구조 인자와의 2차 중회귀식과 회귀식의 정도를 나타내는 결정계수(R²)를 나타내었으며 결정계수가 0.6 이상의 어느 정도 높은 값을 보이는 관계식을 정리하였다.

Table 5에서 볼 수 있듯이 나일론 투습직물에 비해 폴리에스터 투습직물의 경우 투습도에 대한 직물구조 인자의 영향이 더 명확하며 투습도 측정방법 중에서 upright cup 방법인 KS K 0594 방법이 ISO 11092와 ASTM-E92 방법보다 직물구조 인

자의 영향이 더 명확히 나타났다. 즉 직물의 밀도, 무게 그리고 두께 모두 투습도에 영향을 주며 결정계수가 0.8 이상의 높은 회귀관계를 보였다. ISO 11092 방법은 두께와 무게 그리고 ASTM-E96 방법은 밀도가 투습도에 0.8 이상의 결정계수를 보여 높은 회귀관계를 보였다. 나일론 투습직물의 경우 직물구조 인자와의 회귀식에서 결정계수가 낮은 것은 투습성을 부여하는 가공방법이 나일론 투습직물의 투습성에 더 큰 기여를 하며 상대적으로 폴리에스터 투습직물은 직물구조 인자가 투습성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 예측 가능성을 보여 주었다. 또한 네 가지의 가공방법 중 핫멜팅 라미네이팅 가공을 한 투습직물만이 투습도에 대한 직물구조 인자와의 회귀관계를 보였으며 라미네이팅, 코팅, 도트 라미네이팅 투습직물들은 직물구조 인자와의 회귀관계를 보이지 않았다. 핫멜팅 투습직물에 있어서 KS K 0594 방법은 무게와 직물 밀도가 투습도에 각각 0.640, 0.66의 결정계수를 보였으며 ISO 11092 방법은 두께, 무게, 직

Table 6. Multiple linear regression analysis with fabric structural parameters

Material & finishing method	Measuring method	Regression equation	R ²
PET	KS K	$y=1863.5-116.3W-4.6W/T+13.8D$	0.887
	ISO	$y=-13.4+2.5W+0.05W/T-0.02D$	0.831
Hot melt	KS K	$y=60386.4-147757.2T+2855.1W-1116.4W/T-10.2D$	0.947
	ASTM	$y=118939+307656T-6113W+2665W/T-15.8D$	0.878
	ISO	$y=-2065.7+5016.8T-91.6W+37.6W/T+0.77D$	0.943
Dot laminating	ASTM	$y=18767-50056T+1317.5W-349.9W/T+224D$	0.712
Remarks	1. Fabric density and weight per thickness of PET breathable fabrics are the most dominant factors to breathability by KSK 0594 and ISO 11092 methods. 2. The breathability of hot melt laminated fabrics is highly dependent on the fabric structural parameters, differently from coated and laminated fabrics.		

물밀도 모두 투습도에 회귀관계를 보였다. 특히 두께가 결정계수 0.872의 높은 회귀관계를 보였다. ASTM-E92 방법에서는 두께당 무게의 직물특성이 투습도에 결정계수 0.66의 회귀관계를 보였다.

한편, Table 6은 투습도 측정방법에 따라 투습도에 영향을 미치는 직물구조 인자의 효과를 가공방법과 소재별로 구분하여 다변량 1차 회귀분석한 결과를 보여준다.

Table 6에서 볼 수 있듯이 폴리에스터 투습직물의 경우 KS K 방법에 의한 투습도에 영향을 미치는 직물구조 인자가 직물밀도, 무게, 두께당 무게 순서로 기여를 하며 결정계수가 0.887의 높은 회귀관계를 보였다. 반면, ISO 방법에 의한 투습도는 무게, 두께당 무게, 직물밀도의 순서를 보이며 결정계수가 0.831의 높은 회귀관계를 보였으나 직물구조 인자의 기여도 순서가 KS K 방법과 역순서를 보였으며 이는 KS K 방법은 투습도로 평가하나, ISO 방법은 투습저항치로 판정함으로써 역의 관계를 보임에 기인하는 것으로 추정된다. 그러나 나일론 직물은 투습도에 대한 직물구조 인자의 회귀식이 낮은 결정계수를 보임으로써 직물구조 인자의 기여보다 코팅과 라미네이팅과 같은 표면 가공의 효과가 더 큰 기여를 보인다고 사료된다. 가공방법에 따른 투습도와 직물구조 인자와의 회귀관계는 핫멜팅 가공한 투습직물의 투습도에 대한 직물의 두께, 무게, 밀도 등이 기여를 하며 회귀결정 계수가 0.88 이상의 높은 값을 보였다. 즉, 라미네이팅, 코팅, 그리고 도트 라미네이팅의 경우는 직물구조 인자와의 회귀관계를 보이지 않은 반면 핫멜팅 가공한 투습직물만이 KS K, ASTM 그리고 ISO 모든 시험방법별로 직물구조 인자와의 높은 회귀관계를 보인다는 것을 확인하였으며, 이는 핫멜팅 가공 이외의 투습직물은 투습도에 영향을 미치는 인자가 직물구조 인자보다 가공방법이 더 큰 영향을 미치며 핫멜팅 가공 투습직물은 가공방법보다 직물구조 인자에 의해 투습도가 더 큰 영향을 받음을 시사해 준다고 사료된다.

5. 결 론

스포츠 의류용 73가지 투습직물의 투습도 측정 방법별로 투습도를 측정하여 소재와 가공방법 그리고 직물구조 인자에 따른 투습도의 차이를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

KS K 0594법에 의한 투습직물의 투습도는 폴리에스터 소재가 나일론보다 더 우수한 값을 보였으며 라미네이팅과 코팅 투습직물의 투습도가 도트 라미네이팅 및 핫멜팅 라미네이팅 투습직물보다 우수한 투습도를 보였다. 3가지 시험방법 모두 동일한 결과를 보여준 결과로서 직물의 두께, 무게 그리고 밀도의 증가는 투습도 증가를 가져오나, 오히려 과다한 증가는 감소를 가져옴을 알 수 있었다. ISO 11092법에 의한 투습저항은 KS K 0594법에 의한 투습직물의 투습도와는 다른 결과를 보여 주었다. ASTM법에 의한 투습도는 소재에 따라서 큰 차이를 보여 주지 않았다.

투습도 측정방법에 따른 스포츠웨어용 투습직물의 투습도 간

의 상관분석결과 R_{a} 와 KS K 방법 사이의 상관계수는 -0.54였으나 폴리에스터 직물시료만의 경우 이 값이 -0.83의 매우 높은 상관성을 보여 주었다. 그러나 R_{a} 와 ASTM 방법 간에는 -0.09의 낮은 상관성을 보였다. 가공방법에 따른 투습직물의 투습도의 측정방법 사이의 상관성은 코팅 투습직물의 경우 KS K와 ISO의 상관계수는 -0.72, 핫멜팅 라미네이팅 투습직물의 경우도 KS K와 ASTM간 -0.71, KS K와 ISO간은 -0.72의 상관계수를 보였다.

투습도에 대한 중회귀분석 결과 직물구조 인자의 기여도는 폴리에스터 소재의 경우 KS K와 ISO 방법에서는 직물의 두께, 무게가 주인자이나 ASTM 방법에서는 밀도가 가장 큰 영향을 주었다. 가공방법 중에서는 핫멜팅 라미네이팅 소재의 경우 직물구조 인자와의 높은 회귀관계를 보여 주었다.

투습도에 대한 선형 다변량 회귀분석 결과 폴리에스터 소재의 경우 KS K와 ISO법에서 밀도, 무게, 두께당 무게 등이 영향을 미치며, 가공방법에 따라서는 핫멜팅 투습직물의 경우 직물의 두께, 무게, 밀도가 투습도에 높은 영향을 미침을 확인하였다.

본 연구를 통하여 소재는 폴리에스터 소재, 가공방법은 핫멜팅 가공 처리된 투습직물의 투습도에 직물구조 인자의 영향이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 투습직물의 투습도는 소재, 가공방법 및 투습실험 방법에 따라 투습도가 조금씩 다른 결과를 보여서 투습특성의 평가는 소재와 가공방법에 따라 정확도가 높은 시험방법을 선택함으로써 정확한 투습도 평가가 가능할 것으로 사료된다. 또한 본 연구의 결과를 바탕으로 투습도 측정 방법의 선택기준을 요약하면 폴리에스터와 나일론 소재의 코팅과 핫멜팅 라미네이팅 투습직물의 경우 KS K 0594 방법과 ISO 11092 방법을 선택하는 것이 바람직하다고 사료되며 제품의 연구·개발의 경우 이들 실험결과를 서로 비교하면서 연구를 수행하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 산업통상자원부의 “무기입자 함유 다기능성 친환경 경 소재 및 우수한 쾌적특성을 갖는 스포츠아웃도어용 제품 개발” 과제의 지원에 의하여 연구되었음.

References

- American Society for Testing and Material. (2009). ASTM E96 modified inverted cup test method for evaluating moisture penetration through construction materials, ASTM International.
- Congalton, D. (1999). Heat and moisture transport through textiles and clothing ensembles utilizing the Hohenstein skin model. *Journal of Coated Fabrics*, 28(1), 183-196.
- Dolhan, P. A. (1987). A comparison of apparatus used to measure water vapour resistance. *Journal of Coated Fabrics*, 17(2), 96-109. doi:10.1177/152808378701700204
- Gibson, P. W. (1993). Factors influencing steady-state heat and water

- vapor transfer measurements for clothing materials. *Textile Research Journal*, 63(12), 749-764. doi:10.1177/004051759306301208
- Gibson, P. W., Kendrick, C. E., Rivin, D., Charmchi, M., & Sicuranza, L. (1995). An automated water vapour diffusion test method for fabrics, laminates, and films. *Journal of Coated Fabrics*, 24(4), 322-345. doi:10.1177/152808379502400407
- Gibson, P. W., Kendrick, C. E., Rivin, D., & Charmchi, M. (1997). An automated dynamic water vapour permeation test method. *Performance of Protective Clothing*, 6(1273), 93-107, American Society for Testing and Materials: West conshohocken, PA. doi:10.1520/STP19896S
- Gorjanc, D. Š., Dimitrovski, K., & Bizjak, M. (2012). Thermal and water vapor resistance of the elastic and conventional cotton fabrics. *Textile Research Journal*, 82(14), 1498-1506. doi:10.1177/0040517512445337
- Grettton, J. C., Brook, D. B., Dyson, H. M., & Harlock, S. C. (1996). A correlation between test methods used to measure moisture vapor transmission through fabrics. *Journal of Coated Fabrics*, 25(4), 301-311. doi:10.1177/152808379602500407
- Hes, L. (2005). *Permetest instrument*. Sensora Instruments & Consulting. Liberec, Czech Republic.
- Huang, J. (2006). Sweating guarded hot plate test method. *Polymer Testing*, 25(5), 709-716. doi:10.1016/j.polymertesting.2006.03.002
- Huang, J. (2007). Review of test methods for measuring water vapor transfer properties of fabrics. *Cellular Polymer*, 26(3), 167-191.
- Huang, J., & Qian, X. (2008). Comparison of test methods for measuring water vapor permeability of fabrics. *Textile Research Journal*, 78(4), 342-352. doi:10.1177/0040517508090494.
- International Organization for Standardization. (2014). ISO 11092 Interlaboratory Evaluation of a New Sweating Guarded Hot Plate Test Method.
- Jakšić, D. (1988). Analytical method for determining resistance to water vapor flow through flat fabrics. *Tekstilec*, 31, 169-178.
- Korean Standards Association. (2013). KS K 0594 Test method for water vapour permeability of textiles. *Korea Agency for Technology and Standards*.
- Lee, S. S., & Obendorf, S. K. (2012). Statistical modeling of water vapor transport through woven fabrics. *Textile Research Journal*, 82(3), doi:10.1177/0040517511433145
- Lomax, G. R. (1990). Hydrophilic polyurethane coatings. *Journal of Coated Fabrics*, 20(2), 89-107. doi:10.1177/152808379002000205
- McCullough, E. A., Kwon, M., & Shim, H. (2003). A comparison of standard methods for measuring water vapour permeability of fabrics. *Measurement Science and Technology*, 14(8), 1402-1408. doi:10.1088/0957-0233/14/8/328

(Received 26 June 2017; 1st Revised 7 July 2017;
2nd Revised 13 July 2017; Accepted 15 July 2017)