

직물의 표면 정지 공기층의 두께 측정

나 영 주

인하대학교 의류학과

Measurement of Thickness of Still Air Layer above Fabrics

Young Joo Na

Dept. of Clothing and Textiles, Inha University
(1997. 2. 17 접수)

Abstract

This paper describes the measurement of thickness of still air layer above fabrics and its relationship to structural properties of fabrics. Rayon fabrics — of both filament and spun — and wool nylon blended fabrics varied in terms of surface hairiness were used. Temperature and relative humidity above fabrics were measured at the various distances from the fabric surface. Increase in the thickness of fabric, fabric weight, yarn count, and crimp resulted increase in thickness of still air layer above fabric. Surface hairiness of fabrics as well as the structural properties were found to be related with the thickness of still air layer above fabrics.

I. 서 론

직물 표면의 정지 공기층은 직물의 보온성 및 투습성에 매우 중요한 영향을 미친다. 직물에서 표면의 잔털들은 주위 공기와의 마찰로 인해 공기 저항에서 구배를 형성하여 직물의 양면에서 정지 공기층을 이루며, 이는 열전달을 방해하여 무풍시에 보온에 매우 유리하나, 동시에 수분전달을 방해하므로 직물의 투습 속도는 떨어지게 된다^{1,2)}. 직물의 투습 저항은 직물의 종류에 따라 다른데, 이를 결정하는 데는 직물에 사용된 소재의 종류와 섬유 체적 등을 들 수가 있다. 직물의 섬유 체적이 낮을 때에는 천연 소재와 합성 소재의 투습성이 모두

우수하나, 섬유 체적이 높을 때에는 천연 섬유 직물의 투습성이 합성 소재보다 더 우수하다³⁾. Fourt는 직물의 투습 저항을 동일한 투습 저항을 갖는 공기의 두께로 표시하였으며 직물의 투습 저항은 직물자체의 저항뿐만 아니라 직물의 양 표면에서 수증기압의 구배를 나타내고 있는 정지 공기층의 영향을 더 많이 받는다고 하며⁴⁾, 또한 풍속이 증가함에 따라서 직물의 투습 저항치와 동일시 되는 공기의 두께는 감소한다고 하였다^{5,6)}.

Tsubouchi는 구멍난 플라스틱 판과 폴리에스터 filament사 직물의 정지 공기층의 두께를 측정하였는데, 직물표면으로부터 거리를 달리하여 온 습도를 측정하는 방법을 사용하였다. 수분의 증발율은 구멍의 크기 및 수에 따라 달랐지만, 정지 공기층 두께는 이들과 상관이 없었으며, filament사 직물의 정지 공기층의 두께는 10 mm로 플라스틱 판의 정지공기층두께와 동일한 값이

*본 연구는 인하대학교 1995년도 생활과학연구소 연구비 지원에 의해 수행되었음.

라고 하였다^{5,6)}. 그러나 이는 한정적인 실험으로서 정지 공기층 두께를 결정하리라고 여겨지는 표면 털의 유무나 직물 구조등의 변수를 전혀 고려하지 않고 필라멘트사 직물만을 대상으로 실험하였기 때문이라고 사료된다. 물질의 이동에 있어서 계면에는 표면 마찰에 의한 구배가 존재하므로 매끄러운 표면은 거친 표면보다 더 작은 표면 마찰력을 나타낸다. 또한, 직물은 표면 구조가 매우 다양하기 때문에 직물표면에서의 정지 공기층의 두께는 직물마다 다를 것으로 예측되나, 이에 대한 연구가 매우 부족한 형편이다. 즉, 직물 표면의 정지 공기층의 두께를 결정하는 데에는 어떠한 요인들이 있는지 조사하는 연구가 필요하다고 사료된다. 그러므로 본 연구의 목적은 직물 표면에서 거리에 따른 상대습도를 측정하여 직물 표면의 정지 공기층 두께를 조사하며, 또한 직물의 구조적 특성, 즉, 방적사/filament사, 직물 두께, 무게, crimp을 등과 어떠한 상관을 갖고 있는지 살펴보고자 하였다.

II. 실험

1. 시 료

국내에서 시판중인 레이온(방적사/필라멘트사), 모 혼방 등 9종을 사용하였으며, 다양한 길이의 표면 털을 포함하도록 선별하였다. <표 1>에 시료의 구체적인 특징이 제시되어 있다.

2. 실험 방법

본 실험은 정밀한 측정을 위하여 작은 실험실내에서 실험하였는데 실내의 조건은 온도 $31 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대 습도 $56 \pm 2\%$ 의 불감기류($5 \sim 10 \text{ cm/sec}$)였다. 모직물 4장을 물(상온에서 방치된)에 적서 깔고 수틀로 직물을 고정하였다. 수증기가 고습의 수틀 내부로부터 직물을 통과하여 저습의 외부로 이동하며, 이 때 직물 표면으로부터의 거리에 따른 습도를 측정하기 위하여 습도 센서 4를 약간씩 어긋나게 포개서 직물의 표면 위에 자연스럽게 얹어 놓았다. 높이가 다른 4개의 습도, 온도 센서로부터 동시에 상대 습도와 온도를 얻을 수 있었다. 온습도 짐복 장치로는 고정밀도 Thermistor data logger K730을 사용하였으며, 습도 센서는 온·습도 변환용 thermistor로서 THP-B100 평형으로서 두께는 6 mm 이었다. 직물과 직접 접촉하는 맨 밑의 센서는 두께가 3 mm인 초박형 센서였다. 따라서, 최저 위치의 센서는 직물표면으로부터 불과 1 mm 위라고 할 수 있으며, 그 위층의 간격은 센서간의 간격인 6 mm가 되었다. 센서 묶음의 위치는 수틀의 중앙에 오도록 하였다. data는 10초마다 자동 기록이 되도록 하였는데 10분 동안 측정된 상대습도와 온도를 보면 4~5분 뒤부터는 일정해져서 거의 변화가 없을 때를 기준으로 온 습도 측정치를 구하였다.

<표 1> The characteristics of fabric samples

	Yarn type	Fabric thickness ^{a)} (mm)	Yarn density ^{b)} (threads/inch)	Crimp (w/f) ^{c)} (%)	Fabric weight ^{d)} (g/m ²)	Yarn denier (yarn count) ^{e)}	Fabric ^{f)} thickness (at the pressure of 0.5 g/cm ²)
rs-rose	rayon spun	0.229	112/84	7.13/ 9.22	124	35/29 (153/177)	0.435
rs-check	rayon spun	0.262	118/87	8.83/11.10	128	29/24 (185/222)	0.525
rs-black	rayon spun	0.297	84/77	8.27/ 9.03	160	42/37 (125/145)	0.559
rf-red	r filament	0.104	116/91	0.95/ 4.40	68	79/31 (67/169)	0.208
rf-gray	r filament	0.133	96/70	2.04/ 1.54	78	48/96 (109/55)	0.241
w/n dblue	w/n spun	1.527	36/29	10.65/12.77	500	303/31 (18/20)	2.182
w/n herringbon	w/n spun	1.514	20/18	11.88/15.28	258	372/327 (14/16)	2.561
w/n brown	w/n spun	1.081	55/35	11.63/ 9.22	290	64/246 (83/22)	1.582
w/n pbrown	w/n spun	1.356	46/51	11.44/15.68	214	66/71 (80/75)	2.396

a) KS K 0506(직물의 두께 측정법)

c) KS K 0418(합연사의 연축률 측정법)

e) KS K 0415(겉보기 번수 측정법)

b) KS K 0511(직물의 밀도 측정법)

d) KS K 0514(직물의 무게 측정법 - 작은 시험편법)

f) KES-F3(두께-압축특성 측정기-0.5 g/cm² 하중에서)

III. 결과 및 고찰

레이온과 모직물의 다양한 9종의 직물 표면으로부터 거리에 따라 온도와 상대 습도를 측정된 결과 다음과 같았다.

1. 온도 구배

모직물에 적신 물의 온도가 실내의 온도와 비슷하여 시간에 따라, 혹은 직물표면으로부터의 거리에 따라 온도에서 큰 차이는 없었다. 즉, 전 실험을 통해서 직물 바로 위의 온도가 다른 위치의 온도보다 0.5~1°C가 낮을 뿐 직물 위의 거의 모든 위치에서 실내의 온도와 같았다. 직물 바로 위의 온도가 약간 낮은 이유는 물이 상온(31±1°C)에 오래 방치되었다 하더라도 정확히 상온과 같아지지 않는다고 상온보다 1°C 정도 낮았기 때문에 이러한 결과가 나왔다고 사료된다.

2. 상대 습도 구배 및 정지 공기층의 두께의 설정

직물표면에서 거리에 따른 온도의 구배가 없으므로 수증기압 대신에 상대습도 구배로서 정지 공기층의 두께를 설정하였다. [그림 1]에서 보듯이 직물 표면 위 1 mm에서의 습도가 가장 높았으며, 직물 표면에서 거리가 멀어질수록 습도는 감소하여 실내의 습도수준인 56%로 접근하고 있었다. 예비실험으로부터 직물위로 4 지점의 측정으로서도 정지 공기층의 두께를 설정할 수 있음을 알았으며, 또한 동시에 측정하기에 센서의 수량에 한계가 있었으므로 더 먼 거리의 지점은 측정하지 않았다.

[그림 1]에서 상대습도의 구배에는 3가지 유형이 있음을 볼 수 있었다. 즉, 직물 바로 위에서 고습이었다가 거리의 증가에 따라 갑자기 습도가 떨어지는 레이온 필라멘트 직물과 습도가 서서히 감소하는 레이온 스펀 직물, 그리고 이보다는 저습으로 시작하여 서서히 감소하는 모호방 직물의 뚜렷한 구분을 볼 수 있었다. 얇은 직물들은 직물 표면 바로 위에서 습도가 매우 높으며, 반면에 두꺼운 직물들의 표면 바로 위에서는 습도가 그처럼 높지는 않았다. 이는 사용된 물의 온도에 따르는 것으로 이해되며, 사실 물의 온도를 80~90°C로 해서 실험해 본 경우와 정반대의 결과이었다. 즉 저온의 물

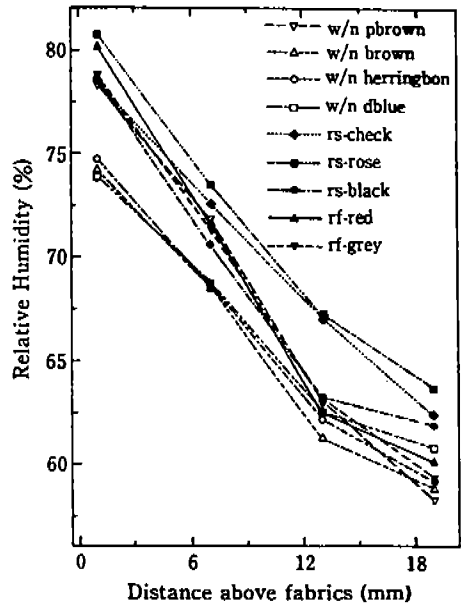


Fig. 1. Relative humidity according to the distance from the fabric surface

의 수증기는 활동에너지가 작아서 그리 많은 양이 직물을 투과되어 밖으로 나오지 않으므로, 직물의 두께에 영향을 많이 받는 것으로 사료된다. 센서를 직물 위에 올려놓자마자 습도는 증가하기 시작하여 4~5분이면 거의 일정한 습도를 나타내기 시작하여 10분 정도가 지나면 최하층에서의 습도가 0.1%/20 sec의 속도로 미세하게나마 증가하였으며, 다른 위치에서는 이보다도 더 천천히 증가하였다. 그러므로 센서 설치 후 10분을 기준으로 하여 정지공기층의 두께를 측정하고자 하였다.

정지 공기층의 설정에는 두 가지 방법을 사용하였다. 직물 바로 위의 습도와 실내 습도의 차이의 반에 해당하는 습도가 될 때까지의 거리는 어디인가를 구했으며 ($t_{1/2}$), 직물 바로 위 습도와 두 번째의 습도를 직선으로 잇고 그 연장선이 56% 실내습도 ($y=56$) 수평직선에 닿을 때의 거리가 얼마인지를 구하였다(tangent line method)⁸⁾. [그림 2]를 보면 이 두 가지 방법에 의해서 얻어진 정지 공기층의 두께는 서로 정적인 상관($r=0.73^{**}$)을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 전자의 방법이 후자의 방법보다 절반의 값을 나타내므로 얇은 정지 공기층을 나타낸다고 할 수 있다.

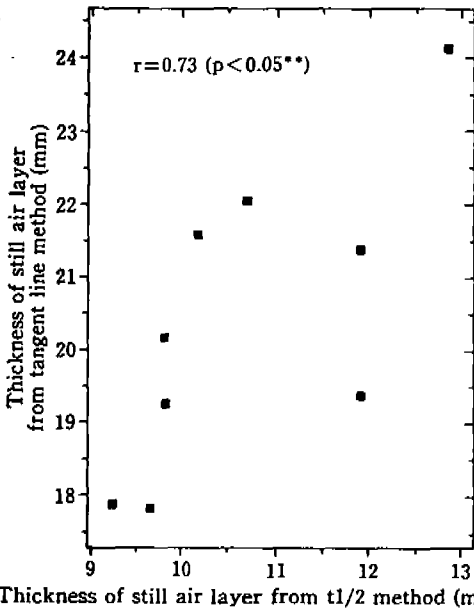


Fig. 2. Relationship between two methods establishing the thickness of still air layer

<표 2>를 보면 $t_{1/2}$ 법에 의해서 구한 정지 공기층의 두께는 레이온의 경우 9.25~12.85 mm의 범위에 있었는데 표면의 섬유 수와 길이에 따라 달라지는 것을 볼 수 있다. 즉, 레이온 스펀 직물의 정지 공기층의 두께는 9.66~12.85 mm로서 레이온 필라멘트 직물의 9.25~9.83 mm보다 더 두꺼운 것을 알 수 있다. 반면에 모 혼방의 정지 공기층의 두께는 9.82~11.92 mm의 범위였다. 따라서 섬유의 종류가 무엇이든 간에 표면의 모수가 많고 질수록 정지 공기층의 두께는 두꺼워진다는

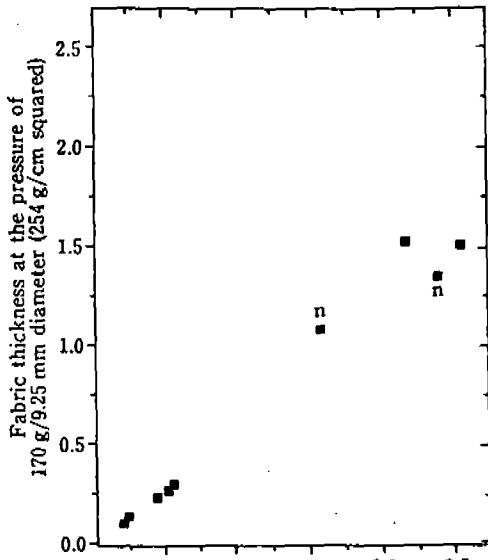
것을 알 수 있었다. 즉, 레이온 필라멘트 직물의 경우 가장 얇은 정지 공기층을 나타내었으므로, 섬유의 길이(장/단섬유)가 정지 공기층의 두께에 중요한 변수임을 확실히 해주었다. 정지 공기층의 두께는 모 혼방이 레이온 직물보다 두꺼운 경향이었으나 레이온 직물이라도 스펀 직물이어서 표면에 hair가 많으면 그 영향으로 정지 공기층은 두껍게 나타났다. 또한 모의 기모 가공에 의해 정지 공기층의 두께가 기모 가공하지 않은 모직물보다 두꺼울 것으로 예측하였으나 그렇지 못하였다. 그 이유로는 습도 센서를 직물 위에 자연스럽게 얹어 놓고 측정을 하였는데 기모에 의해서 센서의 위치가 다른 직물들과는 달리 약간 들떠서 있었다는 점을 들 수 있겠다.

3. 정지 공기층의 두께와 직물의 구조적인 특성과의 관계

정지 공기층의 두께를 직물의 구조적 특성들과 어떠한 상관이 있는지 그래프로 나타내 보았으며 SAS를 사용하여 비모수상관의 spearman 순위상관을 구하였다. [그림 3]은 직물의 두께를 두 가지 방법으로 측정했을 때의 상관정도를 나타낸다. 즉, 직물에 부여하는 압력을 변화시켜 측정한 직물의 두께이다. 254 gf/cm²의 높은 하중 하에서 측정한 직물의 두께는 낮은 압력하(0.5 gf/cm²)에서 측정한 두께와 직선적인 상관이 있으나, 그 두께가 절반으로 작게 나오고 있음을 알 수 있다. 또한 직물이 두꺼워질수록, 고압력하에서 측정한 두께는 그 변화 폭이 커지고 있음을 알 수 있다. 이것은 기모 가공(n표시)으로 인한 표면의 털 등의 영향인 것으로 사료된다.

<표 2> Thickness of still air layer of rayon and wool blend fabrics

	fiber type	hairs (with the naked eye)	thickness of still air layer ($t_{1/2}$) (mm)	thickness of still air layer (tangent line method) (mm)
rs-rose	rayon spun	many, middle	11.90	21.38
rs-check	rayon spun	many, long	12.85	24.17
rs-black	rayon spun	few, short	9.66	17.81
rf-red	r filament	none	9.25	17.88
rf-gray	r filament	none	9.83	19.24
w/n dbblue	wool blend	many, long	10.70	22.06
w/n herringbon	wool blend	many, long	11.92	19.39
w/n brown	wool blend	naping finished	9.82	20.16
w/n pbrown	wool blend	naping finished	10.18	21.58



Fabric thickness at the pressure of 0.5 g/cm squared
 Fig. 3. Relationship between two methods measuring fabric thickness

[그림 4]는 직물의 두께(고 압력하의 두께)와 정지 공기층의 관계를 나타낸 그래프이다. 정지 공기층의 두께와 직물의 두께는 서로 정적인 관계($r=0.86^{**}$)가 있다고 볼 수 있다. 직물의 두께는 얇지만 표면에 털이 많은 레이온 방적사 직물의 경우에 표면에 길게 노출된 섬유 때문에 정지 공기층의 두께가 두껍게 나타났다고 할 수 있다. 예를 들어 rs-check, rs-rose의 두 직물은 얇지만 정지 공기층이 두꺼워서 주된 직선적인 경향에서 이탈되어 있다. 따라서 모든 상관계수를 구할때에는 이 두점을 제외시켰다. 그러나 오히려 모흔방들을 분리하고 레이온만 보면 레이온 직물에서 직물이 두꺼워질수록 정지 공기층의 두께도 증가하는 것으로 볼 수도 있다.

[그림 5]를 보면 직물의 무게와 정지 공기층의 두께 간에는 어느 정도 정적인 상관($r=0.79^{**}$)이 있다고 할 수 있다. 여기서도 마찬가지로 가볍지만 표면의 털 때문에 정지 공기층의 두께가 두꺼운 두 직물(rs-check, rs-rose)이 주된 흐름에서 이탈되어 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 이 두 직물을 제외하면 직물의 무게와 정지공기층의 두께는 상관이 높게 나타났다.

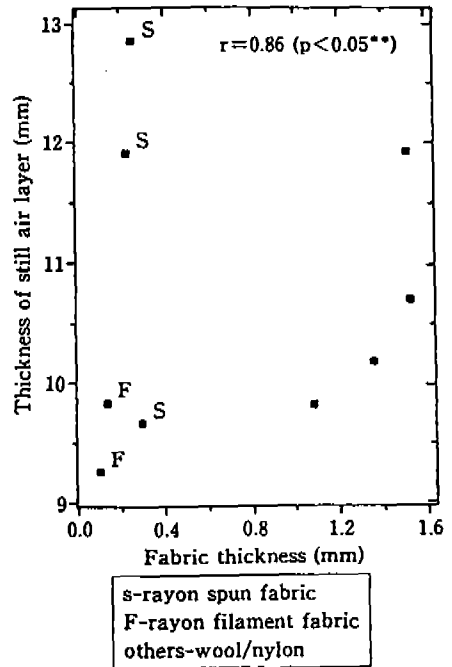


Fig. 4. Relationship between thickness of still air layer and fabric thickness

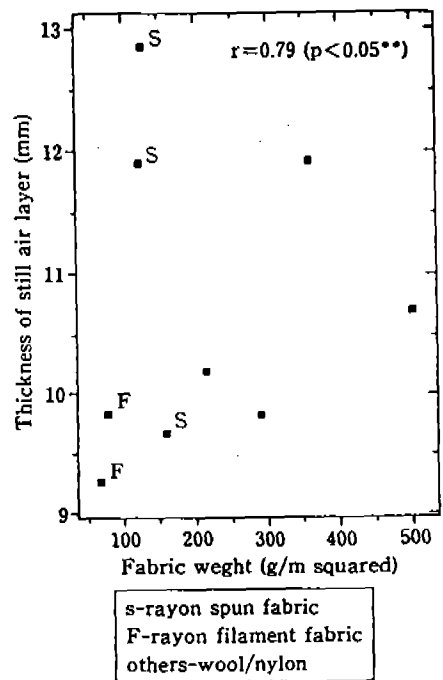


Fig. 5. Relationship between thickness of still air layer and fabric weight

[그림 6]의 정지 공기층의 두께를 사 밀도와 관계에서 보면 정지 공기층의 두께와 사 밀도는 부적인 상관($r = -0.89^{***}$)이 있음을 알 수 있다. 경사와 위사가 비슷하였으므로 경사만을 표시하였다. 이는 사 밀도가 큰 직물일수록 실이 가느다랗고 촘촘한 치밀한 조직이고, 이러한 직물은 주로 레이온직물이므로, 따라서 정지 공기층의 두께가 얇게 나타났기 때문이라 사료된다. 또한 [그림 7]도 역시 같은 결과인데 경사 denier가 증가할수록 주로 성글고 엉성한 직물이 되며, 이에 따라 정지 공기층이 두꺼워지는 경향($r = 0.61$ n.s.)과 일맥상통하는 결과이다. 즉, 조직이 치밀하고 실이 가느다란 filament사 직물은 표면이 평활하여 정지 공기층이 얇은 것으로 나타났다. 또한 레이온직물을 제외한 모혼방에서만도 마찬가지로의 결과를 얻을 수 있다. 사 밀도가 낮을수록 혹은 경사가 굵을수록 정지 공기층의 두께는 증가하였다. [그림 6]과 [그림 7]에서도 [그림 4] 또는 [그림 5]와 마찬가지로 레이온 스펀직물 중 표면에 털이 많은 rs-check와 rs-rose 두 직물은 주된 흐름에서 이탈하고 볼 수 있다. 즉 직물구조로서 정지 공기층의 두께

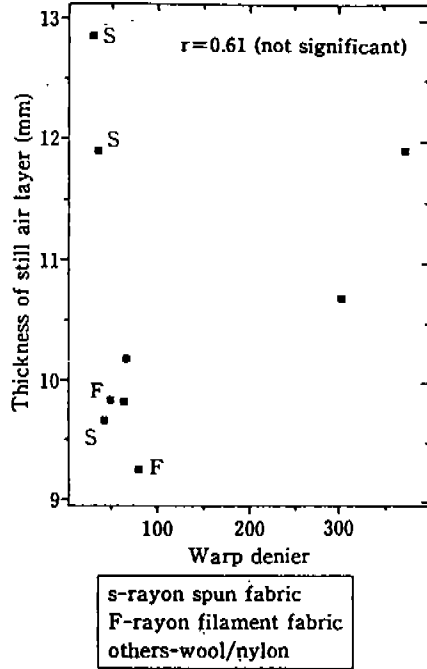


Fig. 7. Relationship between thickness of still air layer and warp denier

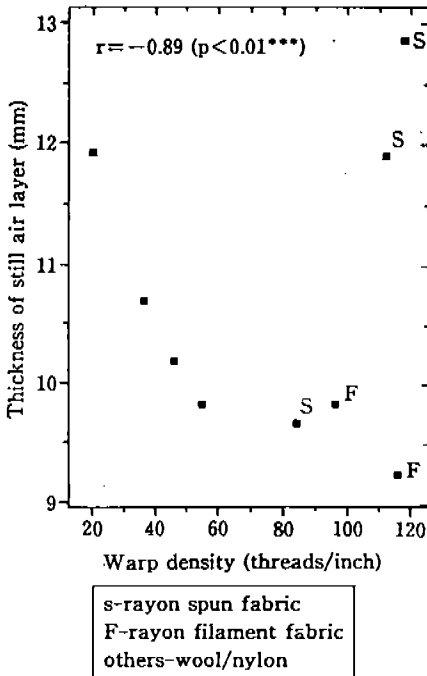


Fig. 6. Relationship between thickness of still air layer and warp density

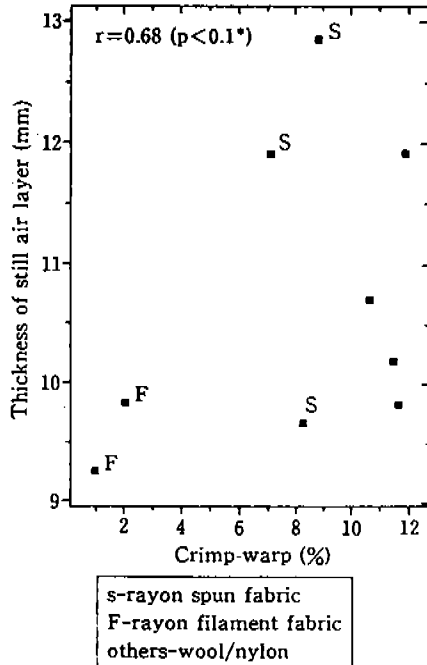


Fig. 8. Relationship between thickness of still air layer and warp crimp

폴 설명하기에는 충분하지 못하며 이에선 표면의 털의 특성, 즉, 길이 및 수가 더욱 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

[그림 8]은 경위사의 교차로 인한 실의 crimp율과 정지 공기층과의 관계이다. 실이 두꺼울수록 직물로 제직시 crimp율이 크게 되며, 울퉁불퉁한 표면이 될 것이므로 정지 공기층의 두께가 두꺼울 것이라는 예측이 잘 들어맞고 있는 결과($r=0.68^*$)를 보여주고 있다. 레이온 스펀 직물 3종류의 경우 crimp율은 모두 비슷하지만 다양한 정지 공기층의 두께를 갖고 있음을 볼 수 있다.

IV. 결 론

레이온 필라멘트 직물 2종과 방적사 직물 7종(레이온 스펀과 모혼방)의 표면에서 거리에 따른 상대습도를 측정함으로써 정지 공기층의 두께를 얻었으며, 이 결과물 직물의 구조적 특성과 상관지어 살펴보았다. 레이온스펀 직물의 정지공기층의 두께는 9.66~12.85 mm, 레이온 필라멘트 직물의 경우는 9.25~9.83 mm, 모혼방 직물의 경우는 9.82~11.92 mm 였다.

필라멘트사 직물보다는 방적사 직물이 정지 공기층의 두께가 두꺼운 것으로 나타났다. 방적사 직물의 섬유 종류가 무엇이든 간에 표면에 털이 많고 길수록 정지 공기층의 두께가 두꺼움을 볼 수 있었다.

직물의 두께와 무게, 실의 crimp율과 denier 등과 정지 공기층의 두께는 정적인 상관성이 있었으며, 사 밀도와는 부적의 상관성이 있었다. 즉 직물이 두꺼울수록, 무거울수록, crimp율이 클수록, 사 번수가 높을수록 정지 공기층은 두꺼웠는데, 이는 이러한 직물일수록 직물 표면에 모수가 많은 hairy 한 구조를 이루게 되며, 이로 인해 정지 공기층의 두께가 두꺼워지기 때문인 것으로 사료된다. 또한 사 밀도가 크며, 실들이 조밀하게 많이 배열할 수 있는 필라멘트사 직물에서 정지 공기층의 두께가 얇은 것을 볼 수 있었다. 예외로 직물이 얇고 가볍고 가는 실로 구성된 레이온 스펀 직물은 표면에 모수가 많이 있는 이유로 정지 공기층은 두껍게 나타났다.

직물의 정지 공기층의 두께를 좌우하는 직물의 구조적인 요인으로는 사 밀도가 상관계수 0.89로서 가장 큰 상관성을 갖고 있음을 알 수 있었으며, 가장 상관성이 적었던 것은 사 번수로서 0.61의 상관계수를 갖고 있었다.

결론적으로, 정지 공기층의 두께는 직물의 구조적인 요인에 의해 결정되지만, 보다 근본적으로는 직물 표면의 모수의 길이 및 수, 즉, 직물을 구성하는 섬유의 길이(장섬유, 단섬유)에 따라서 변화한다고 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구를 위해서 시료를 제공해주신 삼영 모방 주식 회사에 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Fourt, L. and Hollies, N.R.S., Clothing; Comfort and Function, chap. 2. Marcel Dekker, Inc., New York, 1970.
- 2) 이종민, 이순원, "편성물의 기모 가공이 착용감에 미치는 영향", 한국의류학회지, 11, 3, 1987.
- 3) Fourt, L. and Harris, M., "Diffusion of Water Vapor through Textiles", *Textile Research Journal*, 17, p. 256, 1947.
- 4) Whelan, M.E., MacHattie, L.E., Goodings, A.G. and Turl, L.H., "The Diffusion of Water Vapor through Laminae with Particular Reference to Textile Fabrics", *Textile Research Journal*, 25, p. 197, 1955.
- 5) Tsubouchi, K., "Thickness of the Still Air layer Adhering to Perforated Plastic Plates and Fabric", *Textile Research Journal*, 58, p. 86, 1988.
- 6) Tsubouchi, K., "Water Vapor Pressure in the Still Air Layer Adhering to Perforated Plastic Plates", *Textile Research Journal*, 60, p. 767, 1990.
- 7) Harter, K.L., Spivak, S.M. and Yeh, K., "Applications of the Trace Gas Technique in Clothing Comfort", *Textile Research Journal*, 51, p. 345, 1981.
- 8) Serra, J., Image Analysis and Mathematical Morphology, vol. 1. Academic Press, p. 326, 1982.