

액체유출법에 의한 폴리에스테르 직물의 기공 크기 및 분포 측정

이 동 화 · 여 숙 영 · 김 은 애

연세대학교 생활과학대학 의류환경학과

Pore Size and Distribution of Polyester Fabrics Determined by Liquid Extraction Method

Dong Hwa Lee · Sook Young Yeo · Eun Ae Kim

Dept. of Clothing and Textiles, Yonsei University

(1996. 8. 29 접수)

Abstract

The purpose of this study was to determine the pore size distributions (PSDs) of polyester woven fabrics by using liquid extraction method. Three types of PSDs—percent PSD, PSD per unit area of sample and PSD per unit weight of sample—were evaluated. Plain, twill and satin polyester fabrics with various fabric counts were used as specimens.

Results showed that the interyarn PSDs reflected the fabric characteristics such as the fabric count and the weave type and the intrayarn PSDs reflected the thread characteristics such as the number of fibers, the fiber diameter, the thread diameter and the thread twist. Of three types of PSDs, the PSD per unit area of sample best reflect fabric and thread characteristics. As the fabric count decreased, r_c increased and interyarn pore volume increased. The PSDs were skewed to the small pore sizes and the pore volumes decreased in the order of plain>twill>satin. As the number of fibers, the fiber diameter and the thread twist decreased, the intrayarn pore volumes were increased.

I. 서 론

인체에서 발생한 땀은 의복의 개구부와 직물의 기공을 통해서 외부로 이동되므로, 특히 직물 기공을 통한

수분전달은 쾌적감의 평가면에서 중요하다. 직물은 실과 실사이, 섬유와 섬유사이에 기공이 존재하고, 기공의 구조는 크기와 분포로 규명하고 있다. 크기에 따른 정의는 기공의 크기가 20 Å 이하인 것은 마이크로포어, 기공의 크기가 20~500 Å 인 것은 메조포어, 500 Å 이상인 것은 매크로포어라고 한다¹⁾. 직물의 경우 섬유와 섬유사이, 실과 실사이의 기공은 매크로포어에 속한다. 기공은 모양이 일정하지 않고 한면에서 다른 면으로 통

감사의 글: 본 연구는 1993년 교육부 신소재분야 학술연구비 조성에 의하여 수행된 연구의 일부임.

로가 있는 것, 입구보다 내부의 크기가 큰 것, 내부에 감추어진 것 등 다양한 모양을 가지고 있다^{2,3)}. 지금까지 기공도를 측정하는 방법인 기공도(%)⁴⁻⁷⁾, 평면기공율^{4,6,8)}, 공기투과도^{4-6,9)} 등은 각각의 장단점이 있고, 전체적인 기공도를 나타내 주지만 다양한 크기와 모양을 지닌 직물의 기공을 설명하기에 충분하지 않다. 기공의 크기 및 분포는 직물의 기공의 크기와 체적을 직접적으로 나타낼 수 있어^{3,10-15)}, 기공과 관련된 직물의 특성들을 효과적으로 설명할 수 있을 것으로 생각된다.

기공의 크기나 분포를 밝히는 접근방법에 대한 연구들은 이미 오래전부터 고분자 분야에서 이루어져 왔고, 광학현미경이나 전자현미경법¹⁶⁾, X선 산란법(X-ray scattering)¹⁷⁾, 기체흡착법(gas-adsorption)¹⁸⁻²³⁾, 수은투입법(mercury intrusion) 및 유출법(extrusion) 등^{11,12)}이 있다. 또 섬유과학분야에서는 최소기포압력법(minimum bubble pressure)¹³⁾, 액체유출법(liquid extrusion) 등^{10,24)}이 개발되어 사용되고 있다. 그러나 광학현미경이나 전자현미경법, X선 산란법은 직접적인 방법으로 기공의 크기만을 측정할 수 있고⁵⁾, 최소기포압력법은 기공의 협류의 크기나 빈도분포를 구하는 방법이다¹³⁾. 기체흡착법, 수은투입 및 유출법, 액체투입 및 유출법과 같이 유체를 이용하는 경우 기공의 크기 분포를 도출할 수 있으나, 기체흡착법은 10~100 Å 크기의 작은 기공에 적합하고¹⁸⁾, 수은투입 및 유출법은 수은 투입시 높은 압력이 주어지므로 기공이 뒤틀어질 염려가 있다^{2,10)}. 액체유출법은 기공을 통한 액체의 자발적인 흐름을 이용한 것으로 기공의 구조가 보존된 상태에서 기공의 크기 및 분포를 구할 수 있어 직물과 같이 단단하지 못한 구조에 유용하다¹⁰⁾. 지금까지 기공의 분포는 백분율의 분포, 단위면적당 분포, 단위무게당 분포 등 세가지 유형으로 제시되었고, 각각은 산출방법상의 차이를 가지고 있으므로, 직물이나 실의 구조적인 특성에 따른 기공의 구조를 반영하는 방법도 다를 것으로 생각된다. 본 연구에서는 기공의 크기 및 분포를 측정하는 방법중 액체유출법을 이용하여 폴리에스테르 직물의 조직 및 밀도에 따른 실과 실사이의 기공의 크기 분포와 섬유의 지름, 섬유의 수, 실의 꼬임등에 따른 섬유와 섬유사이의 기공의 분포의 차이를 세가지 유형의 분포를 통해 비교하였다.

II. 실험

1. 시 료

시료는 시판중인 멀티 필라멘트사 폴리에스테르 직물을 사용하였으며, 시료의 특성은 Table 1과 같다.

2. 시료의 특성

1) 기공도

섬유 비중과 직물 비중과의 차이값을 섬유비중으로 나누어 백분율을 산출하였다²⁵⁾.

섬유의 비중은 KS K 0816-1986에서 제시한 값(1.38)을 사용하였다.

2) 평면기공율

나미회²⁶⁾와 동일한 방법으로 직물의 면적에 대한 기공의 면적을 백분율로 산출하였다.

3) 겉보기 표면 기공 크기

마이크로미터를 부착한 광학 현미경(CHK-213, Olympus Optical Co.)를 사용하여 400 X와 600 X의 배율에서 시료당 10군데의 기공의 직경을 측정하여 최대 및 최소값의 범위로 나타내었다.

4) 공기투과도

KS K 0570에 준하여 Frazier법에 준하여 측정하였다.

3. 기공의 크기 및 분포의 측정

1) 장치의 제작

Miller 등^{10,15)}과 같은 방법으로 액체유출법에 준한 측정장치를 제작하였다. 장치는 여과 깔대기, 수은챔버, 수조 및 수조내 액체의 무게 변화를 측정하는 장치로 되어 있고, 수조내 액체상에는 액체의 증발을 막기 위해 헥사데칸을 첨가했다. 시료의 습윤성을 증가시키기 위하여 0.1 % Triton X-100(Duksan Pharmaceutical Co., Ltd) 계면활성제 수용액(30 dyne/cm)을 다량 제조하여 사용하였다. 미세기공막으로는 0.2 μm (Millipore Co. Ltd) 친수성 막을 사용하였다.

2) 측정원리^{10,24)}

직물의 기공에 액체가 전진하는 힘은 La place의 법칙에 따른 모세관력과 반대방향의 중력의 효과의 차이로 나타낼 수 있다.

Table 1. Characteristics of Fabrics

Sample	Filber type	Weave type	Yarn Size(Denier) (W×F)	Fabric Count (W×F/5×5cm ²)	Thickness (mm)	Weight (g/m ²)
PP1	Polyester 100%	Plain	150×150	272×98	0.43	172
PP2	Polyester 100%	Plain	150×150	348×122	0.34	184
PP3	Polyester 100%	Plain	150×150	276×118	0.38	180
PT1	Polyester 100%	Twill(2/2)	150×150	368×154	0.44	180
PT2	Polyester 100%	Twill(2/2)	150×150	305×187	0.45	180
PT3	Polyester 100%	Twill(2/2)	150×150	295×189	0.48	220
PT4	Polyester 100%	Twill(2/2)	150×150	295×157	0.46	164
PS1	Polyester 100%	Satin(5H)	150×150	374×146	0.51	192
PS2	Polyester 100%	Satin(5H)	150×150	295×138	0.38	144
PS3	Polyester 100%	Satin(5H)	150×150	295×189	0.40	204

$$P = \frac{2\gamma\cos\theta}{r} - \rho gh \quad (1)$$

γ : liquid surface tension
 r : pore size
 θ : receding contact angle
 ρ : liquid density
 g : acceleration due to gravity
 h : height

정수압일 경우 영수압이 될 때까지 직물의 기공내에 액체가 전진하게 되지만, 음수압일 경우 영수압이 될때까지 직물내의 기공으로부터 액체가 자발적인(spontaneous) 흐름으로 후진하여 빠져나오게 된다. 본 연구에서 제작한 장치는 여과깔대기내 다공판의 높이를 수조의 위치에 맞춘 후 점차적으로 들어올림으로써, 영수압으로부터 음수압으로 압력이 변환에 따라 자발적으로 흐르는 액체의 무게를 측정하도록 되어 있다.

3) 측정방법

Miller등¹⁰⁾의 방법에 준하여 직물로부터 유출되어 나오는 액체의 양을 측정하였다.

4) 기공의 크기 분포 함수^{10,11,14,15)}

음수압에 따른 액체의 유출량은 액체가 시료내 임계 기공 r_c 보다 큰 기공부터 빠져나가게 되므로 기공의 크기는 다음 식에 의하여 산출하였다.

$$r_c = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho gH} = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho gH} \quad (2)$$

r_c : critical pore size
 γ : surface tension

ρ : liquid density
 g : acceleration due to gravity
 H : height

음수압에 따른 액체유출량(V)을 나타낸 것이 기공의 누적분포 곡선이 되고, 누적분포 곡선상의 각 점의 순간적인 기울기 변화율 함수로 나타낼 수 있고, 이를 기공의 크기분포 함수, D(r)이라 한다. D(r)은 다음의 식에 의하여 산출하였다.

$$D(r) = \frac{p}{r} \frac{dV}{dp} \quad (3)$$

D(r): distribution function for pore size

$\frac{dV}{dp}$: slope of pressuring curve at the pressure P

세가지 기공의 크기분포 곡선은 식(3)의 기공의 분포 함수를 이용하여 다음과 같이 산출하였다.

(1) 백분율의 분포 :

$$D(r) = \frac{dv}{V} \times \frac{p}{r} \frac{1}{dp} \times 100 \quad (4)$$

(2) 단위면적 1m² 당 기공의 분포 :

$$D(r) = \left(dV \times \frac{1}{s} \right) \times \frac{p}{r} \frac{1}{dp} \quad (5)$$

s: sample size(m²)

(3) 단위무게 1g 당 기공의 분포 :

$$D(r) = \left(dV \times \frac{1}{w} \right) \times \frac{p}{r} \frac{1}{dp} \quad (6)$$

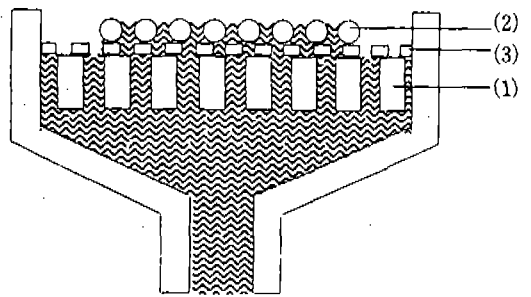
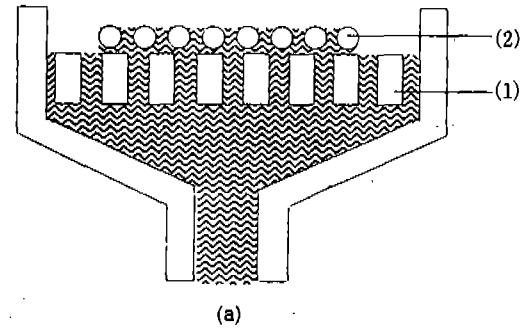
w: weight of sample (g)

III. 결과 및 고찰

1. 다공판과 미세기공막

실험장치의 신뢰도는 여과 깔대기(chamber)내 시료에 음수압이 풀고루 작용하여 시료의 기공내에 있던 물이 적절히 빠져나오는 것에 달려있고, 미세기공막(microporous membrane)과 다공판(rigid porous plate)의 역할이 매우 중요하다. 다공판대신 두께가 얇은 망사망을 사용하였을 경우, 3cm 높이에서는 깔대기내에 있던 물이 다 빠져나와 튜브 아래로 물기둥이 보이기 시작하였다. 이는 높이 증가에 따라 깔대기내에 주어지는 압력을 망사망이 지탱하지 못하기 때문이므로, 다공판은 깔대기내에 주어지는 압력을 풀고루 받쳐주는 역할을 하는 것이다. 다음 미세기공막을 제거하고 다공판위에 시료를 얹고 깔대기의 높이를 올렸을 경우, 위의 망사망을 사용한 경우 보다는 미약하지만, 시료가 함유하고 있는 물의 양보다 다소 많은 양의 물이 빠져나오기 시작하여, 7cm 높이에서는 역시 깔대기내에 있던 물이 다 빠지고 튜브아래로 물기둥이 보이기 시작했다. Fig. 1 (a)는 시료내의 기공과 다공 판에 있는 기공이 아래 위로 연결되어 있는 것을 도식화한 것으로, 압력이 가해지면 시료내의 기공과 다공판내의 기공에 있던 물이 같이 빠져나오게 되는 것을 나타낸다. 7cm 높이는 기공의 임계반경이 87 μm 에 해당하는 크기로서, 이 높이에서 다량의 물이 빠져나오는 것은 다공판의 기공이 87 μm 크기에서 가장 많은 빈도를 가지기 때문으로 해석된다. Fig. 1 (b)는 시료와 다공판사이에 기공의 크기가 0.2 μm 정도 되는 미세기공막을 둔 경우로서, 이들 기공사이의 연결을 도식화한 것이다. 본실험에서는 수은첵버의 높이가 너무 높은 경우 첵버의 흔들림에 의한 측정상의 오차가 발생하여 직물 기공 크기를 0.5 μm 이상으로 한계를 두었는데, 본 실험에서 적용하는 기공의 크기보다 미세기공막의 기공의 크기가 작으므로, 미세기공막내에 존재하는 기공은 시료, 미세기공막, 다공판의 연결된 기공의 구조에서 기공의 종류의 역할을 하게 된다. 따라서 압력이 가해지면 험류 상반부의 큰 기공, 즉 시료내의 물만이 미세기공막과 다공판의 기공을 통해 빠져 나오는 것을 생각할 수 있다.

Fig. 2는 미세기공막의 기공의 크기분포곡선이다. Millipore사가 제조한 0.2 μm 이하 크기의 기공으로



(1) rigid porous plate (2) fabric
 (3) microporous membrane
 a) Pores of fabric and rigid porous plate
 b) Pores of fabric, microporous membrane and rigid porous plate

Fig. 1. Schematic Diagram of Connection of Pores (Porous plates, microporous mambrane and fabric)

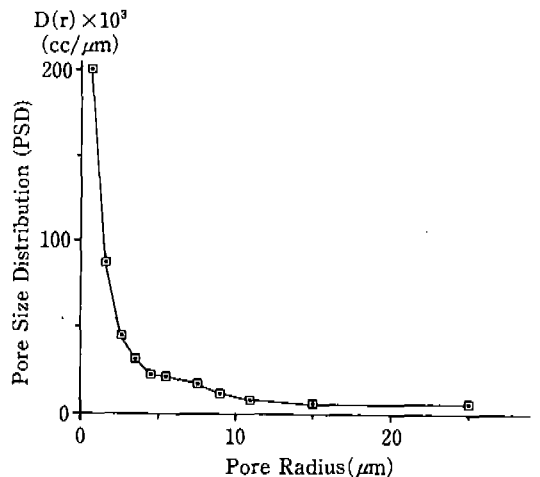


Fig. 2. Absolute Pore Size Distribution of Microporous Membrane

된 막으로서, 실제 실험결과 4.5 μm 까지 분포곡선의 변화가 거의 없다가 3.5 μm 이후 곡선의 기울기가 급격히 증가하여, 0.5 μm 까지 정점을 나타내지 않고 계속 증가하는 추세를 나타내고 있어, 정점은 그 이후 작은 기공에서 나타날 것으로 기대되었다.

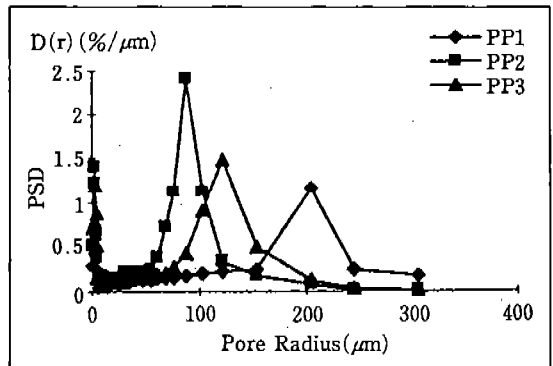
이러한 원리에 따라 제작한 실험장치는, 본 실험에서 기공의 크기분포를 반복실험하였을때, 실험편차가 작아서 장치의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

2. 기공의 크기 및 분포

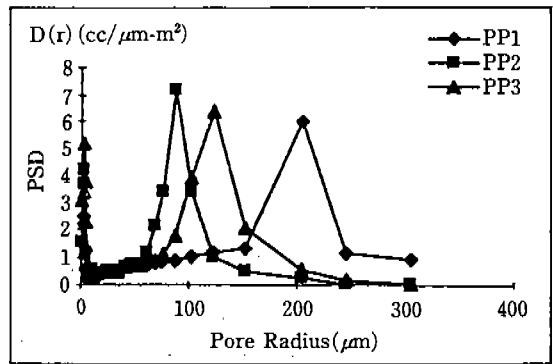
1) 직물의 밀도와 조직에 따른 실과 실사이의 기공의 크기 및 분포

Fig. 3은 폴리에스테르 평직, Fig. 4는 폴리에스테르 능직, Fig. 5는 폴리에스테르 수자직의 기공의 크기분포 곡선으로, (a)는 백분율의 분포곡선, (b)는 단위면적 1 m^2 당 분포곡선, (c)는 단위무게 1g당 분포곡선이다. 각 직물의 기공의 크기분포 곡선은 두개의 정점을 나타내고 있는데, 기공의 크기가 작은 쪽의 분포가 섬유와 섬유사이의 분포이고, 기공의 크기가 큰쪽의 분포가 실과 실사이의 분포에 해당한다. 두 분포사이에서 분포곡선이 감소하다가 다시 증가하기 시작하는 지점이 경계점에 해당한다. 세가지 분포곡선은 실제 유출된 양을 이용하여 산출방법을 달리한 것이므로, 정점을 나타내는 기공의 크기는 같고, 평직1(204 μm)>평직3, 능직4, 수자직2(122 μm)>능직2, 능직3, 수자직3(102 μm)>평직2, 수자직1(87 μm)>능직1(55 μm)의 순으로 나타났다. 이론적으로 기공의 크기분포는 기공의 단면이 원형이라는 가정을 하는데, 광학현미경으로 보면 실제 기공의 겉보기 모양은 네변이 같지 않은 직사각형이나 타원에 가깝다. Table 2는 광학현미경으로 측정된 직사각형이나 타원형 기공의 긴축과 짧은 축의 크기다. 정점의 기공의 크기는 사각형이나 타원의 긴축과 짧은 축의 중간정도에 위치하는 것을 알 수 있다.

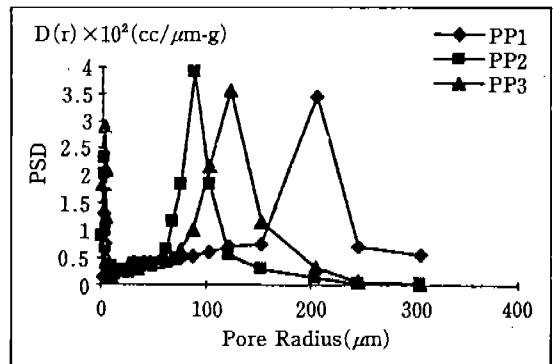
직물밀도에 따른 세가지 유형의 기공의 크기 및 분포곡선에서 정점의 기공의 크기는 평직의 경우 직물밀도는 평직2>평직3>평직1의 순으로 조밀하므로, 정점의 기공의 크기는 평직1>평직3>평직2의 순으로, 직물밀도가 작을수록 분포곡선상의 정점의 크기는 큰 것을 알 수 있다. 능직의 경우, 직물 밀도는 능직1>능직2>능직3>능직4의 순이었고, 정점의 기공의 크기는 능직4>능직2, 3>능직1의 순이었으며, 수자직의 경우, 직물 밀



(a)



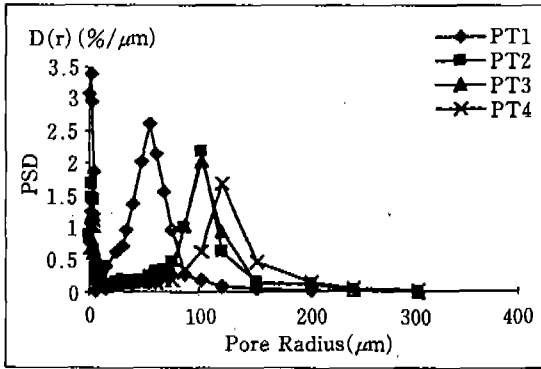
(b)



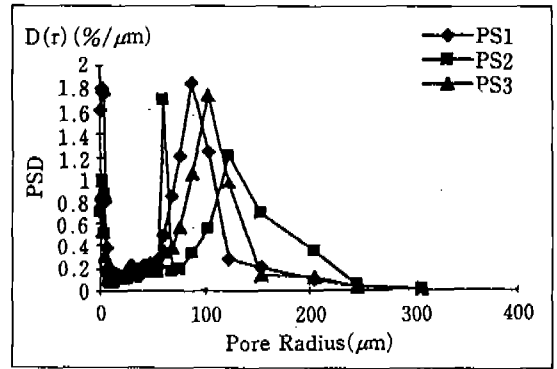
(c)

- a) Percent Pore Size Distributions
- b) Pore Size Distributions per Unit Area
- c) Pore Size Distributions per Unit Weight

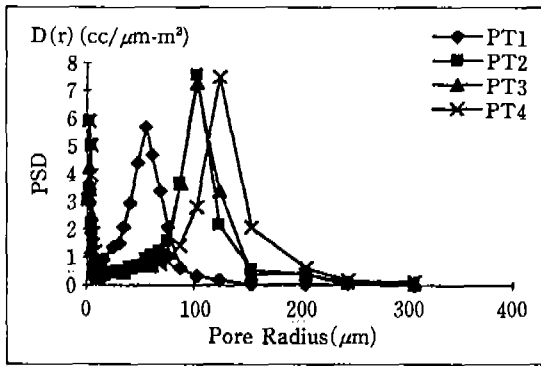
Fig. 3. Pore Size Distributions of Polyester Plain Fabrics



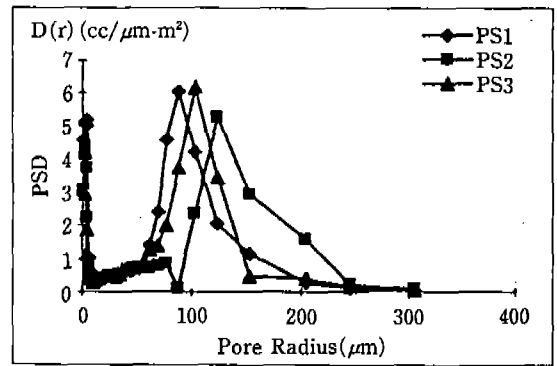
(a)



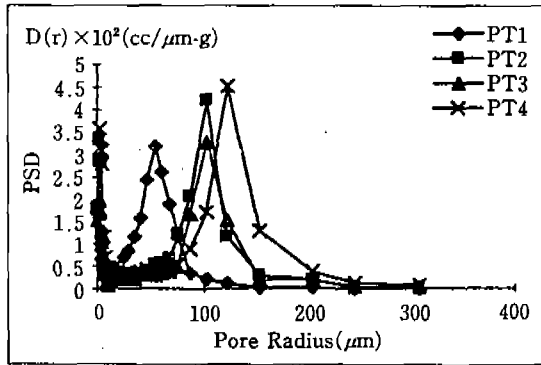
(a)



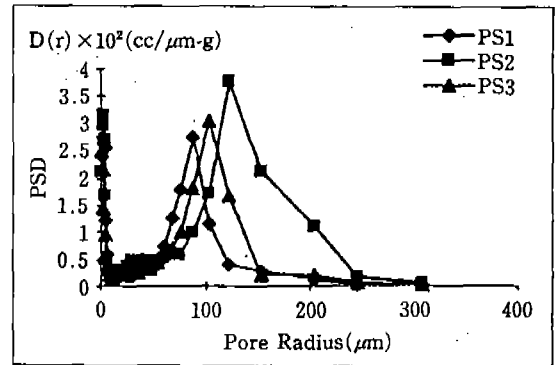
(b)



(b)



(c)



(c)

- a) Percent Pore Size Distributions
- b) Pore Size Distributions per Unit Area
- c) Pore Size Distributions per Unit Weight

- a) Percent Pore Size Distributions
- b) Pore Size Distributions per Unit Area
- c) Pore Size Distributions per Unit Weight

Fig. 4. Pore Size Distributions of Polyester Twill Fabrics

Fig. 5. Pore Size Distributions of Polyester Satin Fabrics

Table 2. Pore Radii Determined by Optical Microscopic Method

Sample	Pore Radius(μm)
PP1	75-100
PP2	50-130
PP3	100-170
PT1	25- 60
PT2	50-120
PT3	70-130
PT4	75-150
PS1	100-130
PS2	130-200
PS3	70-100

도는 수자직1>수자직3>수자직2의 순이었으며, 정점의 기공의 크기는 수자직2>수자직3>수자직1의 순이었다.

Table 3은 섬유와 섬유사이의 기공의 체적과 실과 실사이의 기공의 체적, 전체기공의 체적을 나타낸 것이다. 세가지 분포곡선은 단위, 정점의 높이 및 분포의 넓이가 다르므로, 기공의 체적이 다르게 된다. 직물밀도에 따른 기공의 체적은 백분율의 분포에서는 전체기공을 100에서 섬유사이의 기공을 뺀 값이 실과 실사이의 기공이 되는데, 직물밀도에 따른 기공의 체적이 일정하지 않다. 단위면적당 분포에서는 직물밀도가 작을수록 기공의 체적이 큰 것으로 나타났다. 평직의 경우 기공의 체적은 평직1>평직3>평직2의 순이었고, 능

직의 경우 능직4>능직3>능직2>능직1의 순이었으며, 수자직의 경우 수자직2>수자직3>수자직1의 순이었다. 단위무게당 분포에서는 직물밀도 이외에 직물의 무게의 영향을 받아서 무게가 가벼울수록 기공의 체적이 크게 나타났다. 이러한 현상은 같은 조직내 다른 직물보다 무게가 특히 가벼운 능직3에서 뚜렷이 나타나서, Fig. 4, Table 3에서 단위면적당 기공의 분포에서는 전체기공의 체적이 능직4>능직3>능직2>능직1의 순이었지만, 단위무게당 기공의 분포에서는 능직4>능직2>능직3>능직1의 순이었다.

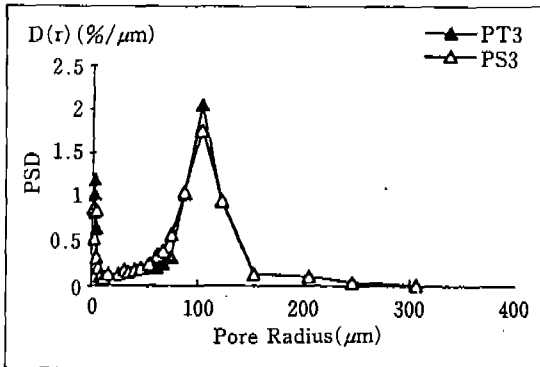
직물의 조직의 영향만을 살펴보기 위해 직물의 밀도, 두께, 무게등이 같거나 비슷하고 조직만 다른 능직3과 수자직3의 기공의 분포곡선을 비교해 보았다. Table 3에서 두 직물의 기공의 체적의 차이는 거의 없고, Fig. 6에서 정점의 기공의 크기는 같으나, 능직에 비해 수자직이 정점의 높이가 낮고 작은 기공쪽으로 다소 치우쳐 나타났다.

Table 4는 지금까지 직물의 전체 기공도를 나타내는 지표였던 기공도(%), 공기투과도, 평면기공율등과 기공의 크기분포를 통해 구한 기공의 체적을 비교한 것이다. 기공의 체적과 가장 유사한 경향을 나타내는 것은 평면기공율이었고, 기공도는 기공의 체적과 다소 차이가 있었다. 공기투과도는 실과 실사이의 겉보기 기공도의 제곱에 비례하므로²⁶⁾, 기공의 체적에 비해 증가폭이 크게 나타났다.

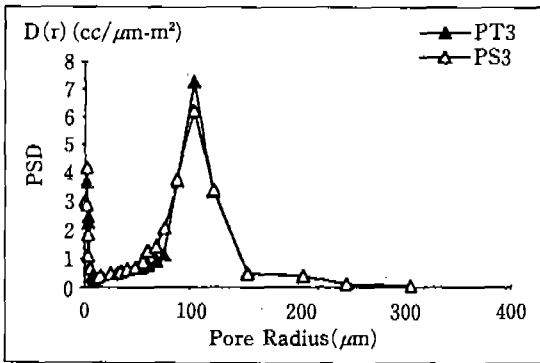
이상에서 단위면적당 기공의 크기 및 분포는 직물밀

Table 3. Volumes of Inrayarn, Interyarn and Total Pore

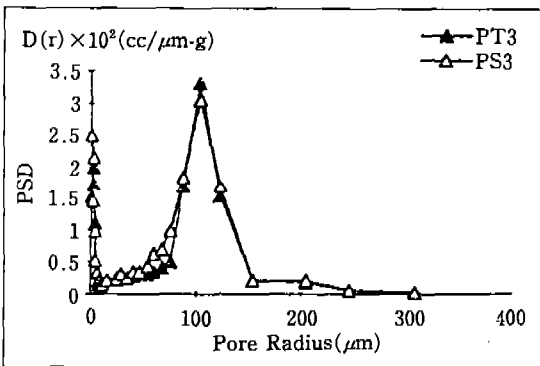
Sample	%			cc/m ²			cc/g		
	Inrayarn	Interyarn	Total	Inrayarn	Interyarn	Total	Inrayarn	Interyarn	Total
PP1	1.0	99.1	100	5.1	507.5	512.6	0.030	2.946	2.976
PP2	2.7	97.3	100	8.2	292.0	300.1	0.045	1.589	1.634
PP3	3.1	96.9	100	13.2	416.3	429.6	0.074	2.326	2.400
PT1	4.0	96.0	100	8.7	207.9	216.6	0.049	1.158	1.207
PT2	5.0	95.0	100	16.3	330.2	346.5	0.097	1.908	2.005
PT3	3.3	96.7	100	11.7	346.4	358.1	0.054	1.592	1.482
PT4	4.6	95.4	100	20.4	423.9	444.3	0.125	2.584	2.709
PS1	5.5	94.5	100	15.8	271.6	287.4	0.083	1.413	1.496
PS2	3.0	97.0	100	13.2	427.9	441.2	0.095	3.055	3.150
PS	2.7	97.3	100	9.7	349.6	359.2	0.049	1.719	1.768



(a)



(b)



(c)

- a) Percent Pore Size Distributions
- b) Pore Size Distributions per Unit Area
- c) Pore Size Distributions per Unit Weight

Fig. 6. Pore Size Distributions according to Weave Types of Polyester Fabrics (PT3, PS3)

Table 4. Total Pore Volume(cc/m)², Porosity, Air Permeability, and Open Free Area of Polyester Fabrics

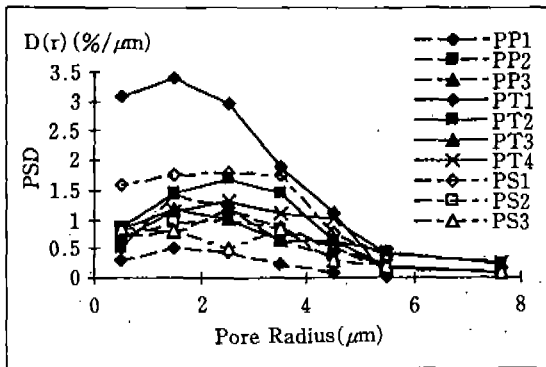
Sample	Total Pore Volume (cc/m ²)	Porosity (%)	Air Permeability	Open Free Area(%)
PP1	512.6	74.7	338.4	17.5
PP2	300.1	65.8	76.5	10.5
PP3	429.6	70.0	131.2	15.4
PT1	216.6	74.1	48.6	6.9
PT2	346.5	74.7	83.8	9.6
PT3	358.1	70.9	99.6	7.3
PT4	444.3	77.8	143.3	12.7
PS1	287.4	76.4	112.5	5.5
PS2	441.2	76.8	194.0	15.2
PS3	359.2	68.4	93.6	8.3

도, 조직등의 직물의 구조적인 특성을 반영하고, 단위 무게당 기공의 크기 및 분포는 직물밀도, 조직이외에 직물의 무게의 변인을 포함하였다. 또 이들 분포를 통해 구한 기공의 체적은 구조적인 특성에 따른 기공도를 나타내주는 지표로서 사용가능함을 알았다.

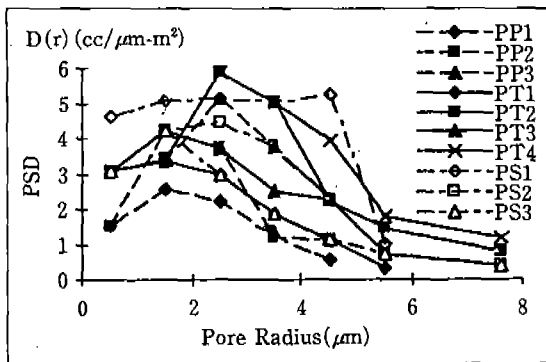
2) 실의 구조적 특성에 따른 섬유와 섬유사이의 기공의 크기 및 분포

Fig. 7은 세가지 유형의 섬유와 섬유사이의 기공의 분포곡선을 확대하여 제시한 것이다. 세가지 분포곡선은 기공의 분포함수를 이용하고 산출방법이 다르므로, 실과 실사이의 분포곡선과 마찬가지로 정점의 기공의 크기는 일치하여, 평직3, 능직2, 능직4, 수자직1, 2(2.5 μm) > 평직1, 평직2, 능직1, 능직3, 수자직3(1.5 μm)의 순이었다.

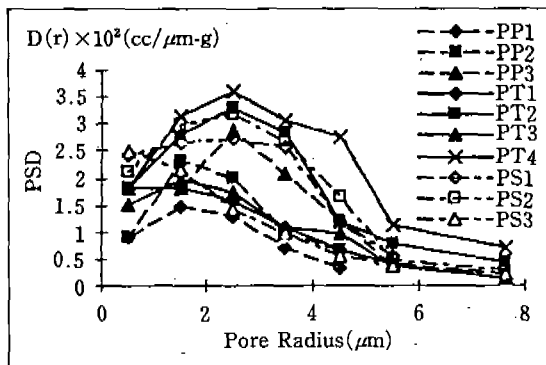
실의 구조적인 특성인 섬유의 수, 섬유의 굵기, 실의 꼬임, 실의 지름등은 Table 5와 같다. 실의 구조적 특성에 따른 기공의 체적을 살펴보면, 먼저 백분율의 분포의 경우 전체기공의 영향을 받아서 전체기공의 체적의 절대값이 클수록 섬유사이의 기공의 백분율은 작아지므로, 실의 구조적인 특성을 설명하기에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. 단위면적당 기공의 체적은 실의 구조적인 특성중 어떤 한 요인의 영향만으로 설명하기 어렵고, 전체적인 요인이 복합적으로 작용하였다. 능직4, 능직2, 수자직1은 섬유의 수가 48로 다른 폴리에스테르 직물보다 작아서 기공의 체적이 크게 나타났다. 이들의 실의 꼬임은 수자직1 > 능직2 > 능직4의 순이었



(a)



(b)



(c)

- a) Percent Pore Size Distributions
- b) Pore Size Distributions per Unit Area
- c) Pore Size Distributions per Unit Weight

Fig. 7. Intrayarn Pore Size Distributions of Polyester Fabrics

고, 기공의 체적은 꼬임에 반비례하여 능직4>능직2>수자직1의 순으로 나타났다. 능직1은 능직3보다 섬유 수의 수는 작으나 실의 꼬임이 많고, 섬유의 지름도 얇아 기공의 체적이 작았다. 또 평직2와 평직3은 섬유의 수가 같고 평직2의 섬유의 굵기가 작지만 평직3은 실의 꼬임이 작아서, 평직3의 기공의 체적이 크게 나타났다. 수자직2와 수자직3은 섬유의 수, 실의 지름은 같으나 수자직2가 실의 꼬임이 약간 작고 섬유의 지름도 가늘어 기공의 체적이 큰 것을 알 수 있었다. 평직1은 섬유의 가닥수도 많고 실의 꼬임도 많아서 기공의 체적이 가장 작았다. 따라서 폴리에스테르 직물의 섬유사이의 기공의 체적은 능직4>능직2>수자직1>수자직2, 평직3>능직3>수자직3>능직1>평직2>평직1등의 순으로 나타났다. 또 단위무게당 기공의 분포에서는 직물의 전체 무게가 가벼울수록 섬유사이의 기공의 체적이 큰 것으로 나타나므로, 전체기공의 체적에 비해 아주 작은 양인 섬유사이의 체적을 설명하는 것이 부적합한 것을 알 수 있다.

Table 6에서는 Yoon등²⁰⁾이 제시한 방법에 따라 실의 선밀도와 팩킹밀도를 구하여 제시하였는데, 팩킹밀도는 단위면적당 섬유사이의 기공의 체적과 반비례하는 것으로 나타났다. 팩킹밀도는 실의 선밀도, 실의 단면적, 섬유의 밀도등의 영향을 받고, 실의 선밀도와 단면적은 실의 꼬임, 섬유의 수, 섬유의 지름, 섬유의 길이 방향의 표면 특성, 섬유의 길이등의 영향을 받는다. 섬유의 수가 많고 꼬임수가 많으면, 실의 선밀도가 크고

Table 5. Characteristics of Threads

Sample	Number of Fiber		Twist per Meter		Diameter of Fiber (μm)	Diameter of Thread (μm)
	Warp	Filling	Warp	Filling		
PP1	96	96	1969	1969	18	140
PP2	76	76	1350	1350	13	122
PP3	76	76	878	878	20	140
PT1	76	76	1264	1079	22	130
PT2	48	48	642	595	25	131
PT3	96	96	728	728	15	143
PT4	48	48	618	520	25	131
PS1	48	48	1382	1139	28	121
PS2	96	96	992	1095	15	140
PS3	96	96	1138	1138	15	140

Table 6. Linear Density and Packing Density of Threads

Sample	Linear Density (g/cm ³ × 10 ⁶)		Packing Density		
	Warp	Filling	Warp	Filling	Total
PP1	24.3	24.3	1.143	1.114	1.129
PP2	17.3	17.3	1.073	1.073	1.073
PP3	21.3	21.3	1.002	1.002	1.002
PT1	22.5	21.9	1.443	1.017	1.230
PT2	17.3	17.3	0.930	0.864	0.897
PT3	19.8	19.8	0.893	0.919	0.906
PT4	16.4	16.4	0.882	0.772	0.827
PS1	18.3	17.8	1.154	0.804	0.979
PS2	21.6	21.6	1.016	1.016	1.016
PS3	23.1	23.1	1.087	1.087	1.087

팩킹밀도는 높으며 섬유사이의 기공의 체적은 작지만, 실의 지름이 크면 팩킹밀도는 낮고 섬유사이의 기공의 체적은 크게 된다.

이상에서 세가지 기공의 분포중 단위면적당 기공의 분포가 섬유의 수, 섬유의 지름, 실의 꼬임등 실의 구조적인 특성에 따른 차이를 가장 잘 나타내 주고, 기공의 체적은 섬유사이의 기공도를 나타내는 지표로 사용할 수 있는 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 제언

액체유출법에 준하여 세가지 유형의 직물의 기공의 크기 및 분포를 측정하고, 직물과 실의 구조적 특성에 따른 분포의 차이와 기공의 체적의 변화를 분석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 직물의 구조적 특성에 따른 실과 실사이의 기공의 분포는 백분율의 분포의 경우 직물의 구조적 특성에 따라 실과 실사이의 기공의 체적이 일관된 현상을 나타내지는 않았다. 단위면적당 분포의 경우 직물의 밀도가 작을수록 정점의 기공의 크기가 크고, 분포의 넓이가 넓으며, 따라서 기공의 체적도 크다. 직물의 밀도가 같고 조직만 다른 경우, 정점의 기공의 크기는 같으나, 평직, 능직, 수자적으로 갈수록 작은 기공쪽으로 분포가 치우치고 기공의 체적도 다소 작아지는 것으로 나타났다. 단위무게당 기공의 분포에서는 무게가 가벼운 직물일수록 기공의 체적이 큰 것으로 나타났다.

2) 실의 구조적 요인에 따른 섬유와 섬유사이의 기공

의 분포의 변화는 단위면적당 기공의 분포에서 가장 잘 나타났다. 섬유의 지름, 섬유의 수, 실의 꼬임등이 작을수록, 실의 지름이 클수록 기공의 체적은 크게 나타났다. 백분율의 분포에서는 전체 기공의 체적의 절대량이 작을수록, 섬유사이의 기공의 체적의 백분율이 작았고, 단위무게당 기공의 분포에서는 직물의 전체의 무게의 영향으로 인해 실의 구조적 특성에 따른 변화가 잘 나타나지 않았다.

이와 같은 연구 결과를 바탕으로 앞으로는 수분전달 특성을 분석하는데 있어 기공의 크기 및 분포에 따른 액체 및 기체상태 수분전달을 분석한다면 수분전달 메카니즘의 규명 및 쾌적성능 관련 평가가 좀더 정량적으로 이루어 질 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 1) Gregg, S.J. and Sing, K.S.W., *Adsorption Surface Area and Porosity*, pp. 1-2, 21-23, 25-26, 111-115, Academic Press, 1982.
- 2) Richard, G.Q., "Internal Volume in Fibers", *Textile Res. J.*, 33, pp. 21-34, 1963.
- 3) Portsmouth, R.L. and Gladden, L.F., "Determination of Pore Connectivity by Mercury Porosimetry", *Chem. Eng. Sci.*, 46(12), pp. 3023-3036, 1991.
- 4) 허운숙, "직물의 친수성, 구조관련특성, 공기층의 두께 및 기류가 투습완충 능력에 미치는 영향", 연세대학교 의류환경학과 박사학위논문, 1994.
- 5) 강수마, 김은애, "직물의 소수및 친수화처리가 피부 잔류수분량 및 쾌적감에 미치는 영향", 한국의류학회지, 17(1), 151-161, 1993.
- 6) 나미희, 김은애, "섬유의 종류와 조합에 따른 직물의 수분전달특성에 관한 연구", 한국의류학회지, 14(3), 229-240, 1990.
- 7) 유희숙, "편성물의 특성과 의복 개구요인이평판형 차의모형의 의복내 미세기후에 미치는 영향", 연세대학교 의류환경학과 박사학위논문, 1995.
- 8) 지동선, "직물의 투습성에 관한 연구(1) — 직물의 기공적경 및 평면기공률의 투습저항과의 관계 —", 한국섬유공학회지, 26(6), 1-8, 1989.
- 9) 이순원, 유효선, 최현수, "시판 내의류소재의 수분특성 및 착용감에 관한 연구(I) — 시판 내의류 소재의 수분특성 —", 대한가정학회지, 26(4), 1-13, 1988.
- 10) Miller, B. and Tyomkin, I., "An Extended Range Liquid Extrusion Method for Determining Pore Size Distributions", *Textile Res. J.*, 56, pp. 35-40,

- 1986.
- 11) Litter, H.L. and Drake, L.C., "Pore-Size Distribution in Porous Materials. Pressure Porosimeter and Determination of Complete Macropore-Size Distributions", *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, **17**(12), pp. 782-786, 1945.
 - 12) Drake, L.C. and Ritter, H.L., "Macropore-Size Distribution in Some Typical Porous Substances", *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.*, **17**(12), pp. 787-791, 1945.
 - 13) Heilweil, H.G., "Determining Number Distributions of Pore Throat Size in Fibrous Structure", *Note on Research, No. 385*, Textile Research Institute Ed., 1986.
 - 14) Maegima, M., "Applying Capillarity to Estimation of Space Structure of Fabrics", *Textile Res. J.*, **53**, pp. 427-434, 1983.
 - 15) Miller, B. and Tyomkin, I., "Liquid Porosimetry: New Methodology and Applications", *J. Colloid and Interface Sci.*, **162**, pp. 163-170, 1994.
 - 16) Godwin, R.W. and Kunkel, R.K., "Porous Silica Beads for Gel Permeation Chromatography", *Appl. Polymer Symposia*, **16**, pp. 165-170, 1971.
 - 17) Longman, G.W., Wignall, G.D., Hemming, M. and Dawkins, J.V., "Studies of Pore Diameter in Porous Silica by Small Angle X-ray Scattering and Gel Permeation Chromatography", *Colloid and Polymer Science*, **252**(4), pp. 298-305, 1974.
 - 18) Mikhail, R. SH., Brunauer, S. and Bodor, E.E., "Investigation of a Complete Pore Structure Analysis; Part I: Analysis of Micropores", *J. Colloid and Interface Sci.*, **26**, pp. 45-53, 1967.
 - 19) Dollimore, D. and Heal, G. Ry, "Pore-Size Distribution in Typical Adsorbent System", *J. Colloid and Interface Sci.*, **33**(4), pp. 508-519, 1970.
 - 20) Julius Hagymassy, JR. and Mikhail, R. SH., "Pore Structure By Water Vapor Adsorption, Part I: t-Curves for Water Vapor", *J. Colloid and Interface Sci.*, **29**(3), pp. 485-491, 1969.
 - 21) Mikhail, R. SH. and Shebl, F.A., Adsorption in Relation to Pore Structure of Silicas, Part I: Organic Vapor Adsorption on Microporous Silica Gel", *J. Colloid and Interface Sci.*, **32**(3), pp. 505-517, 1970.
 - 22) Mikhail, R. SH. and Shebl, F.A., "Adsorption in Relation to Pore Structure of Silicas, Part II: Water Vapor Adsorption on Wide-Pore and Micropore Silica Gels", *J. Colloid and Interface Sci.*, **34**(1), pp. 65-75, 1970.
 - 23) Brunauer, S., Mikhail, R. SH. and Bodor, E. E., "Pore Structure Analysis without a Pore Shape Model", *J. Colloid and Interface Sci.*, **24**, pp. 451-463, 1967.
 - 24) Miller, B. and Tyomkin, I., "Spontaneous Transplanar Uptake of Liquids by Fabrics". *Textile Res. J.*, **54**, pp. 706-712, 1984.
 - 25) 김태훈, 섬유학실험, 서울: 형설출판사, 1982.
 - 26) Yoon, H.N. and Buckley A., "Improved Comfort Polyester, Part I: Transport Properties and Thermal Comfort of Polyester/ Cotton Blend Fabrics", *Textile Res. J.*, **54**, pp. 289-298, 1984.