

<연구논문(학술)>

중공 복합사 직물의 기공도 특성이 고감성 의류용 직물의 쾌적특성에 미치는 영향

김현아 · 김영수¹ · 김승진^{2,†}

한국패션산업연구원, ¹한국섬유개발연구원, ²영남대학교 융합섬유공학과

Effect of Porosity Characteristics of Hollow Composite Yarns to the Comfort Property of the Fabrics for the High Emotional Garment

Hyun Ah Kim, Young Soo Kim¹ and Seung Jin Kim^{2,†}

Korea Research Institute for Fashion Industry, Daegu, Korea

¹Korea Textile Development Institute, Daegu, Korea

²Department of Textile Engineering and Technology, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

(Received: August 20, 2014 / Revised: September 5, 2014 / Accepted: September 15, 2014)

Abstract: The wearing comfort of garment is governed by two kinds of characteristics such as moisture and thermal transport properties and mechanical properties of fabrics. The porosity influenced by yarn and fabric structural parameters is known as main factor for wearing comfort of garment related to the moisture and thermal transport properties. This study investigated effect of porosity of composite yarns to the moisture and thermal comfort properties of composite fabrics made of hollow composite DTY and ATY yarns. The theoretical porosity and pore size were inversely proportional to cover factor of fabric, but cover factor was not correlated with experimental pore size. The wicking property of hydrophobic PET filament fabric showed inferior result irrespective of porosity, pore size and cover factor. The drying rate was superior at composite fabrics with high pore size and low cover factor, and pore size was dominant factor for drying property. On the other hand, thermal conductivity of composite fabric was mainly influenced by cover factor and not influenced by porosity. Air permeability was influenced by both porosity and cover factor and was highly increased with increasing porosity and decreasing fabric cover factor.

Keywords: *porosity, cover factor, wicking, drying rate, thermal conductivity*

1. 서 론

직물의 기공도(porosity)는 의류의 쾌적특성에 중요한 영향을 미치는 인자이다. 특히 기공도는 공기투과도(air permeability)에는 결정적인 영향을 미치며 공기투과도는 실의 구조 및 직물의 경사와 위사의 밀도, 조직 등에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다¹⁾. 그리고 섬유특성, 실의 구조, 직물의 특성이 수분과 열의 이동특성과 같은 의류의 쾌적특성에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 수행되어 왔었다²⁻⁸⁾. 그러나 기공도는 섬유와 실의 특성 그리고 직물의

커버팩트와 같은 구조 인자 특성에 따라 다른 값을 가지며 기공도가 직물과 의류의 쾌적특성에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구는 다소 부족한 실정이다. 직물의 전 기공도(total porosity)는 두 가지 종류의 기공도로 분류 할 수 있다. 즉 실내의 섬유들 사이의 기공 정도에 의해 정의되는 micro porosity와 실과 실 사이의 공간에 의해 정의될 수 있는 macro porosity이다¹⁾. 수분의 흡수 및 수분의 모세관(capillary)현상은 micro porosity가 중요한 것으로 알려져 있고 공기투과도, UV 투과성 그리고 스크린 프린팅 등에는 macro porosity가 중요한 것으로 연구 결과가 발표되고 있다^{9,10)}. 그리고 열전도와 투습현상은 micro와 macro 현상 모두가 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 전 기공도는 직물

[†]Corresponding author: Seung Jin Kim (sjkim@ynu.ac.kr)

Tel.: +82-53-810-2771 Fax.: +82-53-812-5702

©2014 KSDF 1229-0033/2014-9/218-229

의 전체 부피에 대한 직물내의 공기 부피의 비로 정의된다. 그러나 이렇게 정의되는 기공도는 직물의 투과성에 관계되는 파라메타가 고려되지 않았기 때문에 직물의 여러 가지 투과도를 평가하기 위해서는 기공의 개수, 직경 및 그들의 분포가 필요하다. 직물의 두께와 커버팩터(cover factor)는 같다 하더라도 수분, 열, 공기 등이 통과하는 투과도에 영향을 주는 기공도는 기공의 형태, 섬유 및 실의 종류, 실의 내부 구조에 따라서 달라지게 된다. 이들 기공도에 관련된 파라미터들의 측정방법과 이들이 직물의 공기투과도에 미치는 영향에 대한 논문은 발표된바가 있다⁹⁻¹¹⁾. 그러나 이들 기공도, 기공의 직경, 커버팩터가 직물의 쾌적특성에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구는 많이 발표되고 있지 않다. 특히 최근 고감성 스포츠 의류용으로 많이 사용되는 중공섬유 특성과 이들을 사용한 다양한 복합사 직물의 쾌적특성에 대한 기공도 특성과의 상관성에 대한 연구¹²⁻¹⁴⁾는 찾아보기가 힘들다. 따라서 본 연구에서는 PET 중공섬유를 방사하여 이것과 PET hi-multi 필라멘트, 일반 PET 필라멘트와의 마찰가연과 공기가 연기에서 DTY(Draw Textured Yarns)와 ATY(Air-jet Textured Yarns) 복합사를 각각 제조하고 이들 복합사를 사용하여 직물의 밀도와 기공도를 달리한 스포츠 의류용 직물을 제조하였다. 그리고 이들의 쾌적 물성을 측정하고 이들이 복합사 구조특성 및 직물의 기공도 특성과 어떠한 상관성을 가지는지에 대한 이론과 실험적 연구를 수행하였다.

2. 실험

2.1 중공섬유와 복합가연사 제조

POY 50d/24f PET 중공섬유를 방사하였다. 방사 온도 285°C, Godet roller 속도 3120m/분, 권취속도

3100m/분으로 POY를 국내 연구기관에 설치된 방사기에서 방사하였다.

방사기에서 방사된 중공 PET POY 50d/24f를 Friction type 복합 가연기(Draw Texturing m/c, AIKI, Japan)에서 30d/24f로 가연 후 이 실과 PET hi-multi 65d/192f를 복합시켜 DTY 95d/216f 중공 hi-multi 복합 DTY를 제조하였다. 한편 중공 PET DTY 30d/24f를 core 부에, PET 45d/24f를 effect부에 투입시켜 공기 가연기(Air Jet Texturing m/c, AIKI, Japan)에서 중공 복합 ATY 75d/48f를 제조하였다. 이들 사가공 기계에서 제조한 복합 가연사의 공정조건을 Table 1에 나타내었다.

2.2 직물시료의 제조

직물시료는 PET 50d/36f 꼬임사를 경사로 사용하고 Table 1에 보인 PET 중공사, 복합 DTY, 복합 ATY를 위사로 사용한 직물 세 가지와 PET hi-multi DTY 50d/144f를 경사로 사용하고 위사를 앞의 세 가지 시료와 동일하게 사용하여 전체 시료 여섯 가지 직물을 rapier 직기에서 제직하였다. 기공도를 다르게 하기 위해 1번에서 3번 시료보다 4번에서 6번 시료의 경사와 위사의 밀도를 높여 직물의 cover factor를 변화시켰다. 그리고 경사와 위사에 사용된 실의 기공도를 다르게 하기 위해 중공섬유 복합사 DTY와 ATY를 위사에 제직하였으며 구성섬유와 실의 구조 그리고 직물 밀도만에 의한 기공도의 효과를 알아보기 위해 조직은 모두 평직으로 제직하였다. Table 2에 직물 시료 스펙을 나타내었다.

2.3 원사 및 직물시료의 물성 측정

2.3.1 원사 물성 측정

(1) 인장특성

KS K 0416 필라멘트사의 강도 및 신도 시험 방

Table 1. Process condition of composite yarn specimens

| Yarn specimens | Composition | Process conditions |
|------------------------|--|---|
| PET hollow DTY 30d/24f | PET hollow POY 50d/24f | · draw ratio : 1.67 · velocity ratio : 1.43 · yarn speed : 500m/min |
| DTY 95d/216f | PET hollow DTY 30d/24f + PET hi-multi 65d/192f | · heater temp : 180°C · velocity ratio : 1.43 · yarn speed : 500m/min |
| ATY 75d/48f | PET hollow DTY 30d/24f + PET 45d/24f | · yarn speed : 300m/min · nozzle angle : 85° · air pressure : 7bar |

Table 2. Specification of fabric specimens

| Specimen no. | Yarn | | Fabric density | | Weave pattern |
|--------------|------------------------------|--------------------|----------------|--------------|---------------|
| | Wp | Wf | Wp(ends/in) | Wf(picks/in) | |
| 1 | | PET hollow 30d/24f | 124 | 120 | plain |
| 2 | PET twisted SD 50d/36f | DTY 95d/216f | 124 | 108 | |
| 3 | | ATY 75d/48f | 124 | 115 | |
| 4 | | PET hollow 30d/24f | 240 | 202 | |
| 5 | PET DTY hi-multi 50d/144f | DTY 95d/216f | 240 | 182 | |
| 6 | | ATY 75d/48f | 240 | 190 | |

*note; SD : Semi-dull

법에 의거하여 Testometric Co.(UK) Model MICRO 350 을 이용하여 시료 길이 100mm, 인장속도 100mm/min의 조건으로 절단강도, 절단신도, 초기탄성률을 10회 실험하여 평균치를 사용하였다.

(2) SEM 측정

원사의 측면은 FE-SEM(S-4100, Hitachi Co., Japan) 을 사용하여 측정하였다.

2.3.2 직물 물성 측정

(1) 직물 구조인자 측정

직물의 기공도와 cover factor 등을 계산하기 위해 직물두께(KS K 0506), 직물무게(KS K 0514), 직물 경사와 위사의 밀도(KS K 0511), 경사와 위사의 실의 선밀도(KS K ISO 2060)를 측정하였다. 직물의 단면 형상은 FE-SEM(S-4100, Hitachi Co., Japan) 을 사용하여 측정하였다.

(2) Wicking성

Wicking 특성은 Bireck method(KS K 0815)에 의해 실험하였다. 20cm x 2.5cm 스트립 시료를 준비하여 시료의 한쪽 끝단을 27±2℃의 증류수가 담겨 있는 수조에 두어 10분 후의 wicking된 길이(mm)를 측정하였다.

(3) 건조특성

KS K 0815A 법에 의해 측정하였다. 27±2℃ 증류수가 담겨있는 수조에 40cm x 40cm 시료를 침지시켜 충분히 흡수시켰다가 꺼내어 물방울이 더 이상 떨어지지 않을 때 측정장치에 시료를 걸고 표준 상태에서 자연건조 될 때까지 시간(min)을 건조율(drying rate)로 측정하였다.

(4) 공기투과도

공기투과도(air permeability, R, cm³/sec/cm²)는 KS K ISO 9237법에 의해 Fx 3300(TEXTTEST, Swiss) 계측기를 사용하여 시료크기 30cm x 30cm를 5개 준비하여 시험하였다. 공기압력 100 pa.을 공기투과면적 20cm²에 가한 후 아래 식(1)에 의해 공기투과도 R을 측정하였다.

$$\text{Air permeability}(R) = \frac{Q}{A} \times 167 \dots\dots\dots (1)$$

where, Q : arithmetic average of air flow(cm³/min)

A : area of specimen(cm²)

167 : conversion constant

(5) 열전도 특성

KES-F7(Thermolabo II, Kato Tech. Co., Ltd., Japan) 을 이용하여 열전도도를 측정하였으며 항온항습실(실내온도 22±1℃, 70±5% RH)에서 측정하였다. 5cm x 5cm 크기의 직물시료를 3개 준비하여 정상 상태에서의 열손실을 측정하여 아래 식(2)에 의해 열전도도(thermal conductivity, K, W/cm℃)를 측정하였다.

$$\text{Thermal conductivity}(K) = \frac{W \cdot D}{\Delta T} \dots\dots\dots (2)$$

where, W : heat loss(W/cm²)

D : thickness of specimen(cm)

ΔT : temperature difference(℃)

(6) 직물의 기공 크기 특성

직물시료의 기공 크기(D, μm)는 Capillary Flow Porometer(CFP-1200AE, PMI Co., USA)를 사용하여 아래의 식(3)으로 계산하였다. 아래에서 얻어지는 유량과 압력 그래프에서 중간값을 평균기공의 크기로 계산하여 시료의 기공도로 하였다.

$$\text{Measured porosity}(D) = \frac{c\tau}{p} \dots\dots\dots (3)$$

where, c : constant
 τ : surface tension of liquor(dyne/cm)
 p : pressure(lb/(in)²)

3. 결과 및 고찰

3.1 중공 복합 가연사의 구조와 물성 분석

Table 3에 방사한 중공 PET 가연사와 이 실과 PET hi-multi 65d/192f와의 복합 DTY 그리고 중공 PET와 PET 45d/24f와의 중공 ATY 등 세 가지 실의 역학 물성을 보였다. Table 3에서 볼 수 있듯이 중공 PET 1번 시료의 절단강도와 인장 모듈러스가 이들과의 복합사인 2번과 3번 시료보다 높은 값을 가짐을 알 수 있으며 절단신도는 약간 낮은 값을 보인다. 2번 복합 DTY 시료와 3번 복합 ATY 시료의 절단강도는 비슷한 값을 보이나 절단신도는 크립프 특성이 우수한 DTY 복합사가 큰 값을 보인다. 인장 모듈러스는 반대로 ATY 복합사가 더 큰 값을 나타내어 ATY 복합사가 다소 stiff 함을 알 수 있다.

Figure 1에 PET hollow 50d/24f 중공사(중공율 10%)의 SEM 단면사진과 중공 DTY와 두 가지 복합사의 측면 SEM 사진을 보였다. Figure 1에서 볼

수 있듯이 사의 벌키성은 ATY 복합사가 좋으나 길이 방향의 크립프 특성은 중공 DTY사가 우수함을 알 수 있다. 이것이 DTY의 절단신도가 ATY보다 더 큰 값을 보여주는 원인으로 보여지며 ATY의 벌키성이 좋은 것은 실 내부의 엉킴성이 커져 DTY보다 더 큰 모듈러스를 보인다고 사료된다.

3.2 사 및 직물의 구조특성과 기공도 특성과의 상관성

전 기공도(total porosity, ε)는 직물의 전체 부피(V_{fabric})에 대한 직물내 공기 부피의 비(V_{pores})로 정의되며 유체가 흐르는 기공의 직경을 하이드로릭 직경(hydraulic diameter, D_h)이라고 명명하며 식(4)와 식(5)로 정의¹⁾된다.

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{V_{pores}}{V_{fabric}} \times 100 = \left(1 - \frac{\rho_{fabric}}{\rho_{fibre}}\right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{M_{fabric}}{T_{fabric} \cdot 1000 \cdot \rho_{fibre}}\right) \times 100 \end{aligned} \dots\dots (4)$$

where, ρ_{fabric} : fabric density(g/cm³)
 ρ_{fibre} : fibre density(g/cm³)
 T_{fabric} : fabric thickness(mm)
 M_{fabric} : fabric weight(g/cm²)

$$D_h = \frac{4A_{pores}}{P_{pores}} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b} \dots\dots\dots (5)$$

where, A_{pores} : pore cross-sectional area(cm²)
 P_{pores} : the wetted perimeter of the cross-section(cm)
 d : yarn diameter(cm)

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{\text{warp density}} - d_{\text{warp yarn}} \\ b &= \frac{1}{\text{weft density}} - d_{\text{weft yarn}} \end{aligned}$$

Table 3. Mechanical properties of yarn specimens

| Specimen no. | Yarn name | Composition | Tensile property | | |
|--------------|-----------------|--|------------------|---------------------|-----------------------|
| | | | Tenacity (g/d) | Breaking strain (%) | Initial modulus (g/d) |
| 1 | PET DTY 30d/24f | PET hollow POY 50d/24f | 4.36 | 3.75 | 114.4 |
| 2 | DTY 95d/216f | PET hollow DTY 30d/24f + PET hi-multi 65d/192f | 3.59 | 5.84 | 68.7 |
| 3 | ATY 75d/48f | PET hollow DTY 30d/24f + PET 45d/24f | 3.71 | 4.86 | 82.4 |

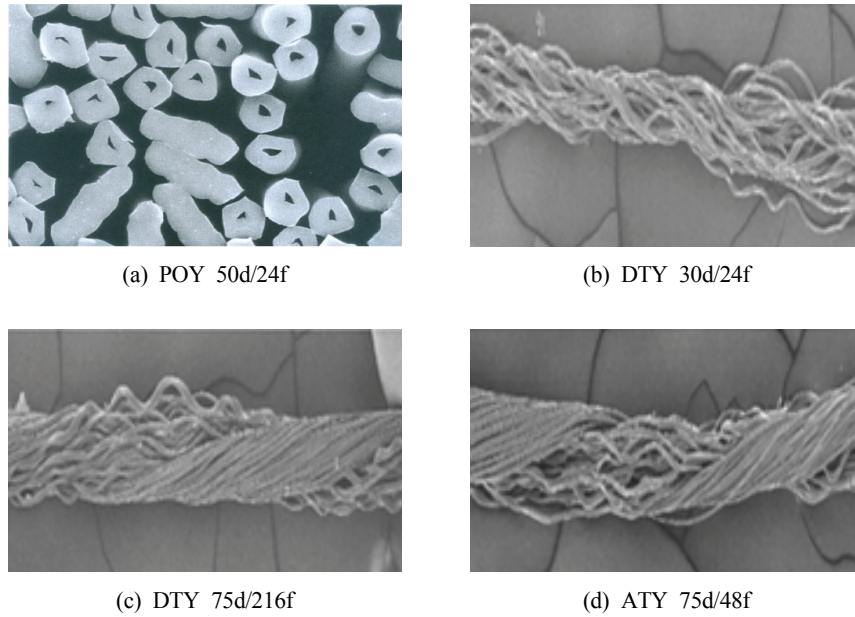


Figure 1. Scanning electron microscope of yarn specimens.
(a) ×2000, (b) ×100, (c) ×100, (d) ×100

한편 Ž. Zupin 등¹⁾은 직물의 부피기공도(volume porosity, P_v)를 식(6)로 정의하고 이론과 실험치를 비교하였다. 그리고 직물의 cover factor(C_f)는 일반적으로 식(7)로 정의되며 직물 평면상태에서의 실의 피복의 정도로써 피복도라고 불려진다.

$$P_v = 100(1 - \frac{Md^2\pi}{4TL}) \dots\dots\dots (6)$$

- where, M : fabric mass(g/m²)
- d : diameter of thread(mm)
- T : fabric thickness(mm)
- L : linear density of thread(tex)

$$C_f = (D_1d_1 + D_2d_2 - D_1d_1D_2d_2) \dots\dots\dots (7)$$

- where, D_1 : warp density in threads/cm
- D_2 : weft density in threads/cm
- d_1 : warp yarn diameter in cm
- d_2 : weft yarn diameter in cm

여섯 가지 직물 시료의 기공도와 기공의 직경 그리고 cover factor를 계산하기 위해 Table 4에 보인 경사와 위사의 실측 변수에서 직경 d를 계산하였으며, 직물의 경사와 위사의 밀도($D_{1,2}$), 실의 선

밀도(L), 그리고 직물의 두께(T), 무게(M) 등을 측정하여 식(1)에서 식(7)을 이용하여 직물시료의 기공도(ϵ, P_v), 기공의 크기(D_h), 그리고 cover factor(C_f)를 계산하였다. 이들 계산값을 측정기공도(measured porosity)와 비교하였으며, 그 값을 Table 4에 보였다.

Figure 2에 여섯 가지 직물시료의 전 기공도(ϵ)와 부피 기공도(P_v)의 관계를 보이며, Figure 3에 여섯 가지 시료의 기공도와 cover factor와 hydraulic diameter의 관계를 도시하였다. Figure 2에서 볼 수 있듯이 전 기공도가 부피 기공도 보다 더 큰 값을 가짐을 알 수 있으며 이것은 전 기공도는 직물의

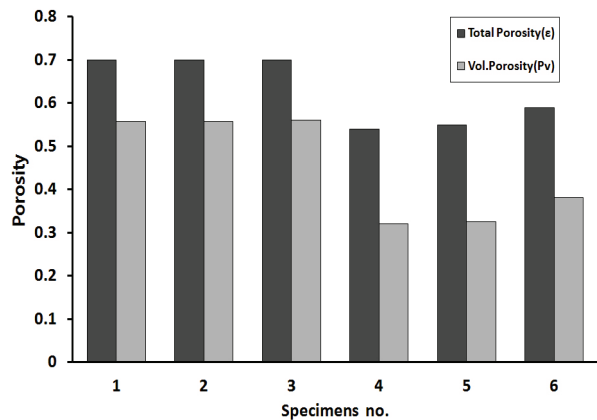


Figure 2. Calculated total porosity(ϵ) and volume porosity(P_v) of fabric specimens.

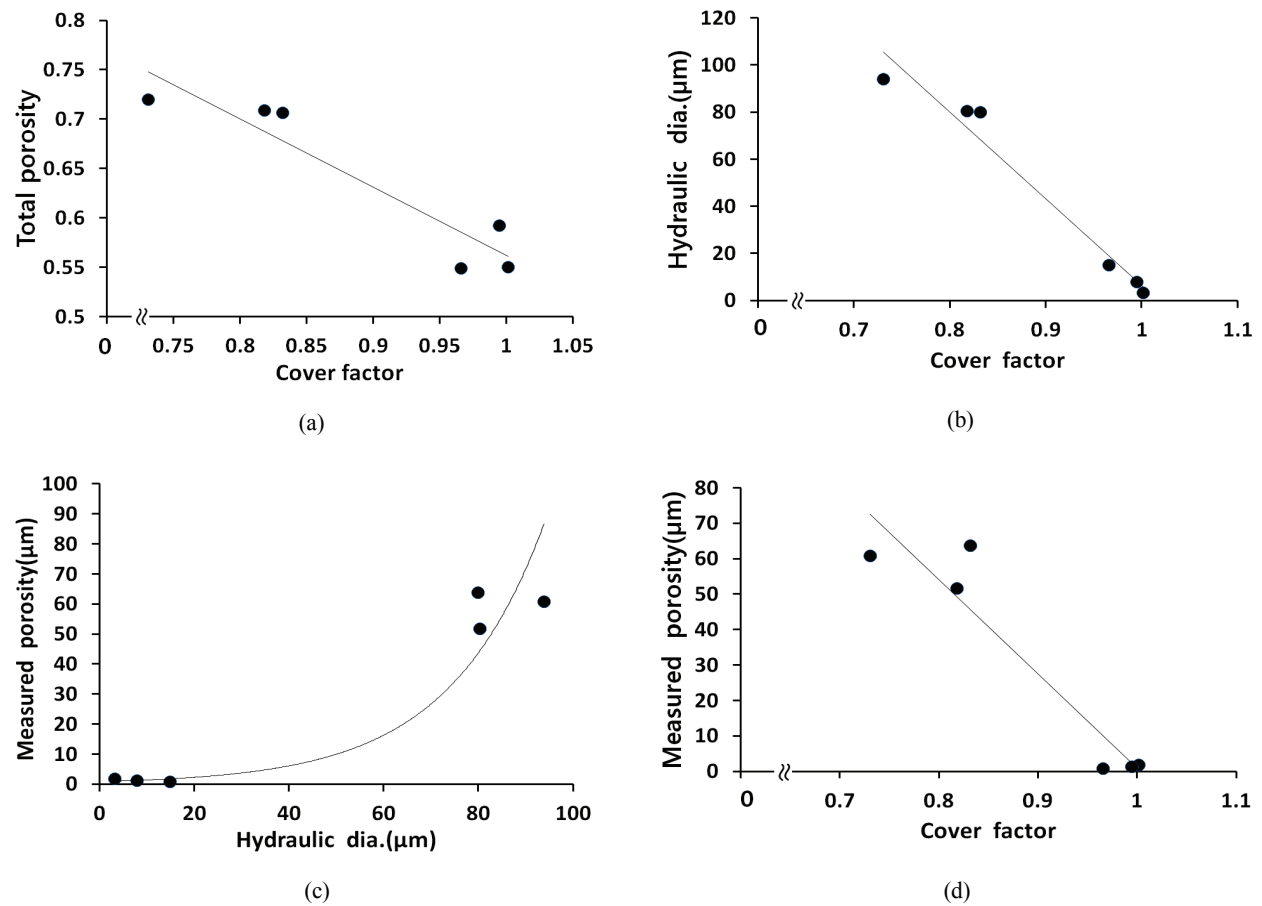


Figure 3. Diagram between porosity and cover factor of fabric specimens.

무게와 두께로 계산된 값이지만 부피기공도는 직물의 무게, 두께 이외에 측정된 실의 직경과 변수를 고려한 값이기 때문에 기공의 부피가 더 작은 값을 가지는 것으로 판단된다. 그러나 1, 2, 3번 시료와

4, 5, 6번 시료에 각각 사용된 위사는 중공사, 중공 복합 DTY, 중공복합 ATY 이지만 이론상의 두 가지 방법의 porosity에는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

Table 4. Calculated and measured structural parameters of fabric specimens

| Specimen no. | Measured yarn linear density(tex) | | Yam diameter (cm) | | Measured fabric density | | Cover factor (Cf) | Fabric thickness (mm) | Fabric weight (g/m ²) | Total poro-sity (ε) | Vol. poro-sity (Pv) | Hyd raulic -dia. (μm) | Meas-ured poro-sity (μm) |
|--------------|-----------------------------------|-------|-------------------|--------|-------------------------|------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| | Wp | Wf | Wp | Wf | Wp | Wf | | | | | | | |
| | | | | | (ends/cm) | (picks/cm) | | | | | | | |
| 1 | 8.04 | 3.30 | 0.0106 | 0.0068 | 54.30 | 53.71 | 0.7310 | 0.14 | 54.1 | 0.720 | 0.557 | 93.90 | 60.81 |
| 2 | 8.04 | 11.26 | 0.0106 | 0.0125 | 54.30 | 48.33 | 0.8320 | 0.18 | 73.1 | 0.706 | 0.557 | 79.95 | 63.69 |
| 3 | 8.04 | 8.77 | 0.0106 | 0.0111 | 54.30 | 51.47 | 0.8181 | 0.18 | 72.1 | 0.709 | 0.560 | 80.40 | 51.65 |
| 4 | 5.69 | 3.30 | 0.0089 | 0.0068 | 102.36 | 90.37 | 0.9658 | 0.14 | 87.0 | 0.549 | 0.321 | 14.88 | 0.95 |
| 5 | 5.69 | 11.26 | 0.0089 | 0.0125 | 102.36 | 81.46 | 1.0016 | 0.18 | 111.6 | 0.550 | 0.325 | 3.27 | 1.72 |
| 6 | 5.69 | 8.77 | 0.0089 | 0.0111 | 102.36 | 85.04 | 0.9950 | 0.19 | 107.0 | 0.592 | 0.382 | 7.88 | 1.24 |

한편, Figure 3(a)에서 볼 수 있듯이 total porosity (ϵ) 이론치와 cover factor는 반비례 관계를 볼 수 있고, Figure 3(b)에서 hydraulic diameter(D_h) 이론치와 cover factor와도 반비례의 관계를 보였다. 이는 직물의 cover factor와 유체가 통과하는 기공 size는 cover factor가 클수록 기공도가 낮고 기공의 크기가 작은 것을 보여준다. 그리고 Table 4에 보인 measured porosity(μm)는 hydraulic diameter(D_h)와 비교 할 수 있는 값으로서 기공의 크기를 나타낸다. Figure 3(c)에서 볼 수 있듯이 측정치와 이론치는 분명한 비례관계를 보이지 않고 있으며 이론치와 실험치와의 상관성에 다소의 오차를 보여주었다. 그리고 Figure 3(d)에서 볼 수 있듯이 직물의 cover factor와 measured porosity(μm)의 관계에서도 Figure 3(a), (b)에서 보인 이론 porosity 만큼 분명한 반비례의 관계를 보이지 않았다. 이러한 현상은 cover factor와 유체가 통과하는 기공 size의 이론식이 실의 직경과 직물의 밀도에서 계산되므로 직물을 평면구조로 가정하였기 때문에 서로 상관성이 높은 것으로 나타났으나 실제 측정된 porosity에서는 중공섬유내의 기공과 중공 DTY 및 ATY 복합사 내의 기공 등이 직물의 두께와 부피 방향으로 입체적으로 고려되어 측정됨으로서 실측한 porosity에서 다소 오차를 보였다고 사료된다.

3.3 수분이동 특성과 직물의 기공도 특성과의 상관성

Table 5에 여섯 가지 직물시료의 쾌적특성에 관계하는 물성치를 보였다. 여섯 가지 직물시료의 wicking 특성치는 시료에 따라서 큰 차이를 볼 수 없었다. 이는 소수성인 PET 소재를 사용하여 고밀

도 직물시료가 됨으로써 수분이 이동할 수 있는 모세관이 없으므로 인해 wicking성이 거의 나타나지 않는 것으로 사료된다. 그리고 porosity가 큰 1, 2, 3번 시료는 건조시간이 짧고 porosity가 낮은 4, 5, 6번 시료는 건조시간이 큰 값을 가졌다. 그리고 기공도와 기공크기가 클수록 건조시간이 짧은 것을 알 수 있다. 이는 기공이 클수록 흡수된 수분이 많이 빠져나감으로서 건조시간이 짧은 것으로 사료된다. 그리고 중공 DTY를 위사로 사용한 1번 시료가 중공 복합 DTY와 ATY 복합사를 위사로 사용한 2번과 3번 시료보다 건조시간이 짧으며 또한 중공 DTY 섬유를 위사로 사용한 4번 시료도 중공 복합 DTY와 ATY 복합사를 위사로 사용한 5번과 6번 직물 시료보다 건조시간이 짧음으로서 건조특성이 더 우수함을 알 수 있었다. 이는 흡수된 수분이 증발에 의해 빠져 나갈 때는 cover factor가 낮을수록 (중공사 직물) 증기압에 의한 수분의 이동이 저항을 적게 받아서 건조시간이 짧게 걸리는 것으로 사료된다.

한편 Figure 4에 여섯 가지 복합직물 시료의 건조특성과 cover factor 그리고 기공도 특성과의 관계를 도시하였다. Figure 4(a)에서 볼 수 있듯이 cover factor가 높은 시료일수록(DTY, ATY 복합사 직물) 건조율이 큰 값을 가짐으로서 건조시간이 많이 걸리며 건조특성이 나쁜 결과를 보였다. Figure 4(b)에서 볼 수 있듯이 이론적인 porosity가 큰 값일수록 건조율이 짧음을 알 수 있다. 이는 porosity가 큰 값을 가질수록 cover factor는 낮은 값을 나타내므로 두 결과가 적합하게 일치함을 볼 수 있다. 그리고 Figure 4(c)와 (d)에서 볼 수 있듯이 이론 기공

Table 5. Moisture and thermal comfort properties of fabric specimens

| Specimen no. | Wicking(mm/min) | | Drying rate (min) | Air permeability ($\text{cm}^3/\text{sec}/\text{cm}^2$) | Thermal conductivity ($\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$) |
|--------------|-----------------|----|----------------------|--|---|
| | Wp | Wf | | | |
| 1 | 1 | 1 | 25 | 10860 | 0.028 |
| 2 | 1 | 1 | 30 | 9900 | 0.038 |
| 3 | 1 | 1 | 30 | 9504 | 0.040 |
| 4 | 1 | 1 | 60 | 33 | 0.032 |
| 5 | 2 | 2 | 65 | 58 | 0.045 |
| 6 | 2 | 2 | 65 | 54 | 0.046 |

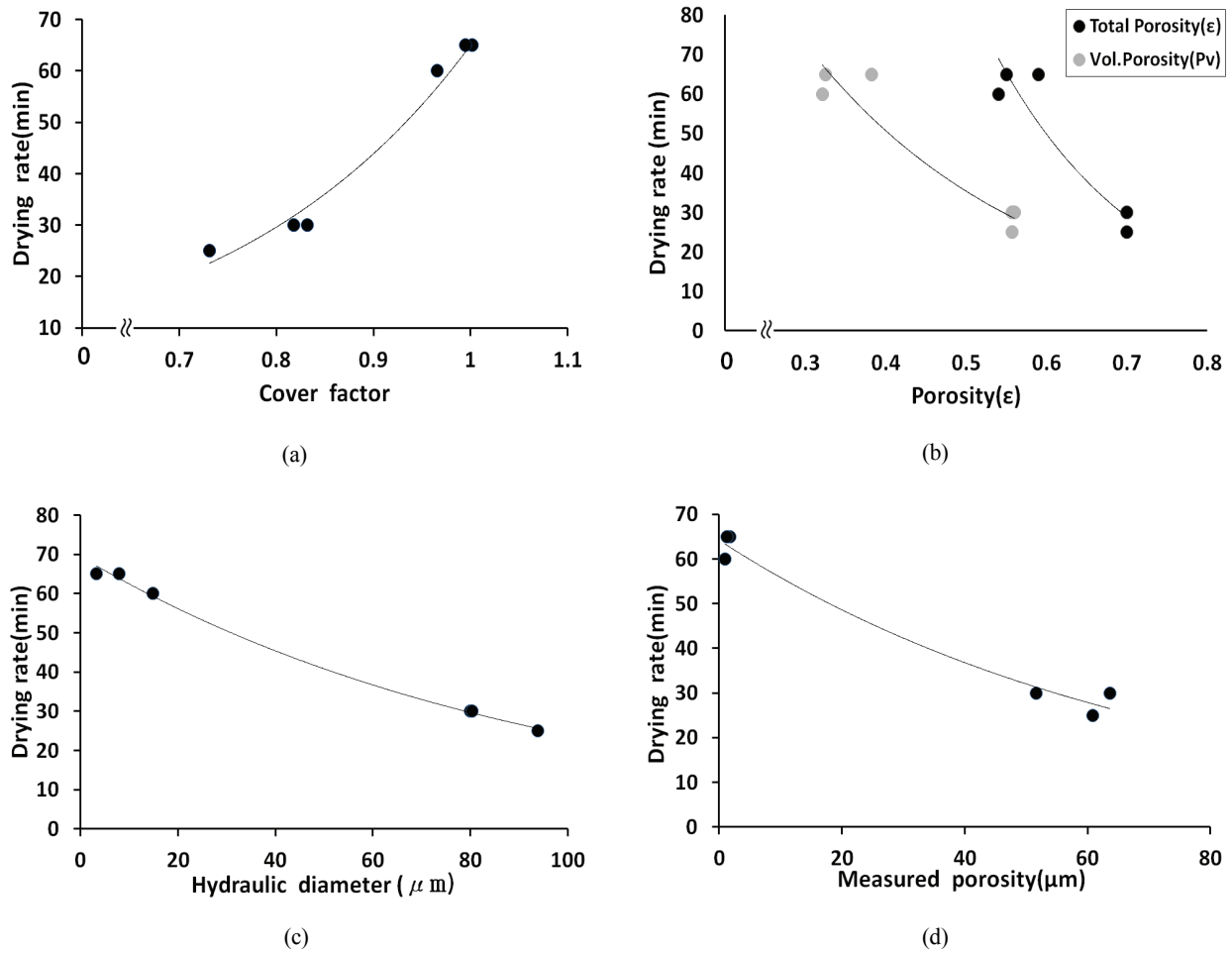


Figure 4. Diagram between drying rate and structural parameters of fabric specimens.

직경(D_h , μm)과 측정 기공도(μm)가 증가할 때 건조 시간이 선형적으로 감소함으로써 건조성이 우수함을 볼 수 있다. 이는 기공이 클수록 수분이 많이 빠져 나갈 뿐 아니라 수분의 이동에 따른 저항도 적어져서 건조시간이 짧음을 알 수 있다. 그리고 이론 기공도(ϵ , P_0)를 나타낸 Figure 4(b)의 그래프와 비교할 때 기공직경을 나타낸 Figure 4(c)와 (d)가 건조율과의 경향성이 우수함으로써 기공도보다 기공의 직경 크기가 건조특성을 더 잘 설명해준다는 것을 말해 준다고 보여진다.

3.4 열/공기 유동특성과 직물의 기공도 특성과의 상관성

Figure 5는 측정 기공도(μm)와 직물 cover factor와 열전도도와의 관계를 도시화 한 것이다. Figure 5(a)에서 볼 수 있듯이 측정 기공도와 열전도도는 경향성을 보이지 않으나 Figure 5(b)에서는 cover factor가 증가할 때 열전도도가 증가하는 경향을 볼

수 있다. 이는 cover factor가 증가함에 따라 실과 실, 섬유와 섬유 사이의 접촉점이 증가하게 되며 이는 직물의 열전도도의 증가를 가져오게 됨을 유추할 수 있다. 중공섬유를 위사로 사용한 1번과 4번 시료가 DTY와 ATY 복합사를 위사로 사용한 2번, 3번, 그리고 5번, 6번 시료보다 열전도도가 낮은 값을 보임으로서 중공섬유의 기공이 열의 이동을 차단함으로써 낮은 열전도도를 보임을 확인하였다.

Figure 6은 공기투과도와 실측 porosity와 직물의 cover factor와의 관계를 도시 한 것이다. Figure 6(a)에서 볼 수 있듯이 실측 porosity의 pore size가 공기투과도와와의 상관성에 크게 기여함을 알 수 있다. 기공 size가 큰 1, 2, 3번 시료의 공기투과도가 기공 size가 작은 4, 5, 6번 시료의 공기투과도 보다 훨씬 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 Figure 6(b)에서 볼 수 있듯이 직물 cover factor가 0.8에서 1로

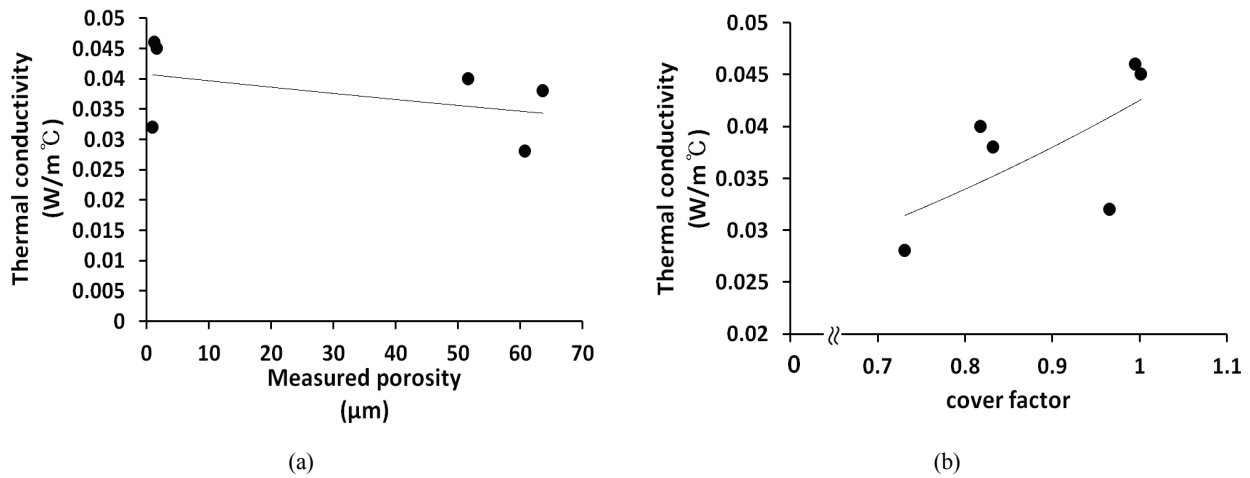


Figure 5. Diagram between thermal conductivity and structural parameters of fabric specimens.

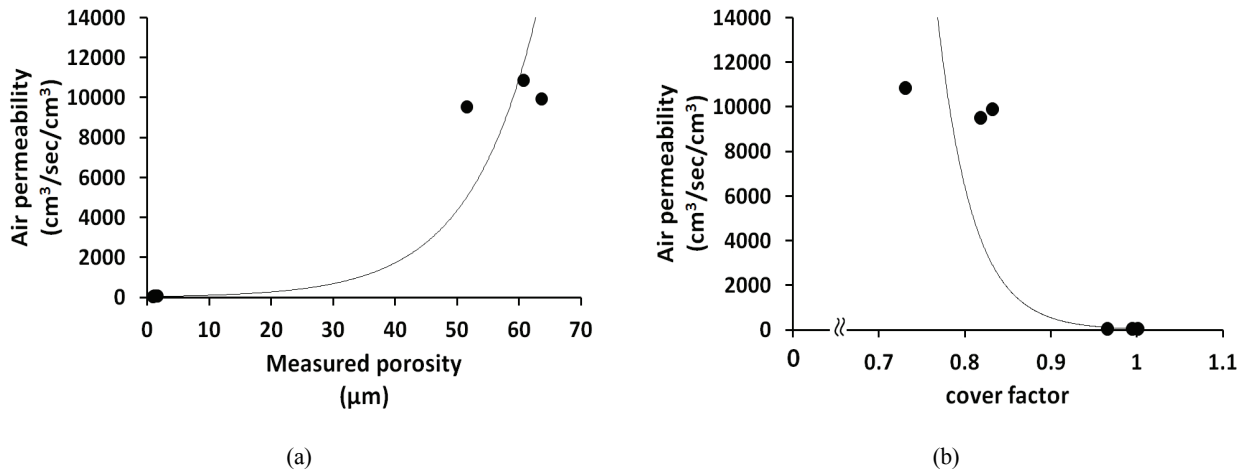


Figure 6. Diagram between air permeability and structural parameters of fabric specimens.

증가함에 따라 공기투과도는 크게 감소함을 볼 수 있다. 그러나 중공섬유와 중공 복합사 직물의 경우 cover factor만으로 공기투과도를 설명하는 것은 오차가 발생할 수 있으며 실측 기공도와 기공크기로 더 잘 설명이 가능함을 알 수 있다.

3.5 직물의 SEM 사진 분석

Figure 7과 8에 경사와 위사방향 SEM 사진과 직물 표면 사진을 보였다.

Figure 7에서 볼 수 있듯이 경사와 위사 방향 모두 1, 2, 3번 시료가 4, 5, 6번 시료보다 loose하며 porosity가 높음을 볼 수 있으며 1, 2, 3번 시료 중에서는 1번, 그리고 4, 5, 6번 시료 중에서는 4번 시료가 porosity가 높은 것으로 보여진다. 이러한

visual한 기공도는 Table 4에 계산된 hydraulic diameter가 1번과 4번 시료가 가장 큰 값을 가지는 것과 일치하며 계산된 cover factor치가 역시 1번과 4번 시료가 가장 작은 값을 가지는 것과 일치한다. 그러나 계산된 이론 total porosity(ε)에서는 1번과 6번 시료가 가장 큰 값을 가지며 이론 volume porosity(Pv)에서도 1번과 6번 시료가 가장 큰 값을 가진다. 반면, 측정 기공도(measured porosity)에서는 2번 시료와 5번 시료에서 가장 큰 값을 가져서 visual한 기공도와 다소의 차이를 보인다.

Figure 8에 보인 직물 표면사진에서도 볼 수 있듯이 4, 5, 6번 시료보다 1, 2, 3번 시료의 기공(macro pore)이 더 큰 것을 확인 할 수 있으나 micro pore는 측정치로 유추할 수밖에 없다.

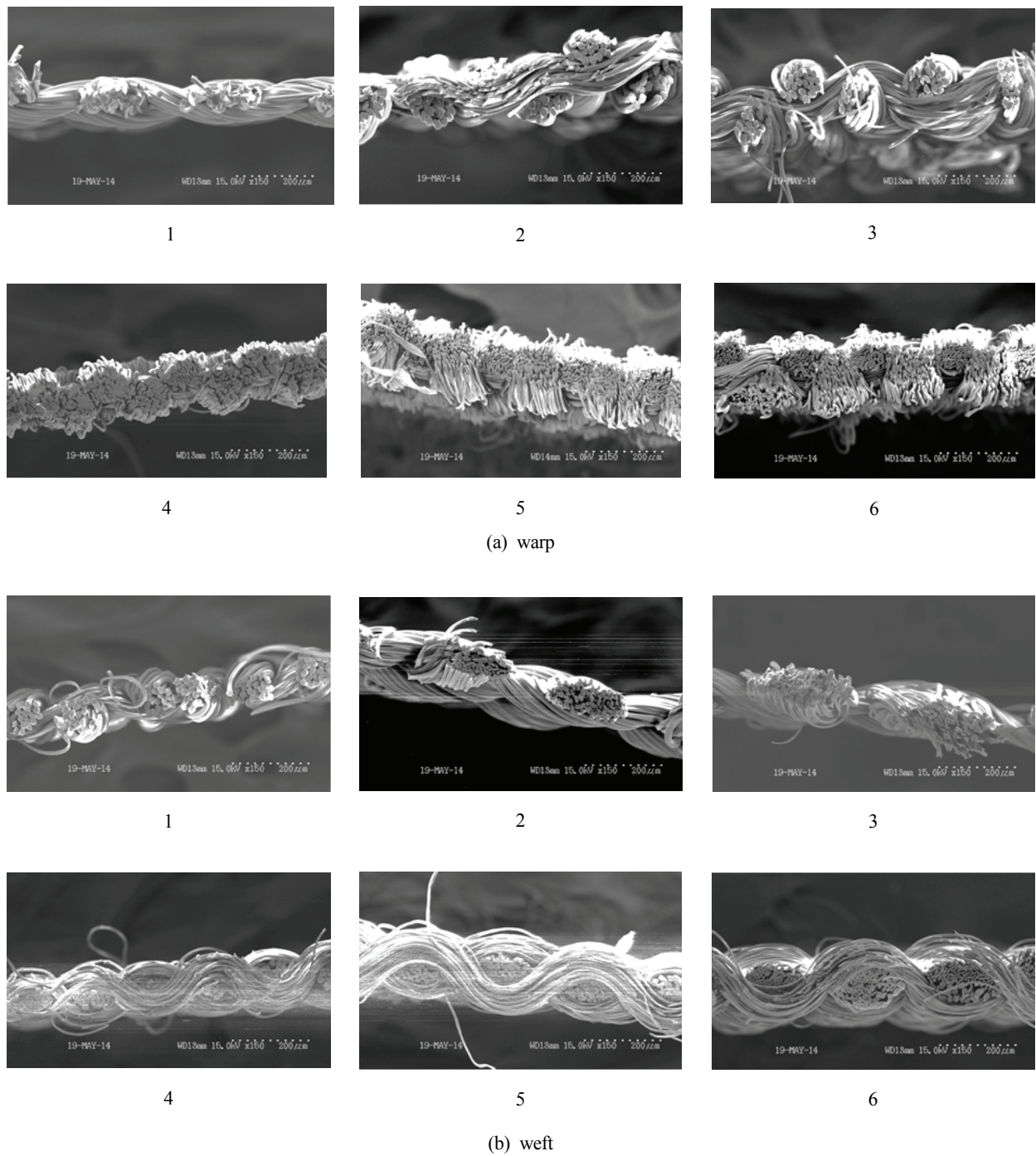


Figure 7. Scanning electron microscope of the warp and weft sections of fabric specimens.

4. 결 론

PET 중공섬유를 방사하고 이들의 DTY와 ATY 복합사 및 직물의 기공도와 밀도를 달리한 스포츠 의류용 직물의 쾌적물성을 측정하여 이들의 실험결과를 이론과 관련시켜 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 중공사, 중공복합사 DTY와 ATY로 제작된 직물의 계산된 전 기공도는 부피기공도 보다 더 큰 값을 가지며 직물의 cover factor와는 반비례의 관계를 보였다. 그리고 이론적인 기공의 크기와 cover factor도 반비례 관계를 보였으나 측정 기공도(μm)와 이론치 그리고 측정 기공도(μm)와

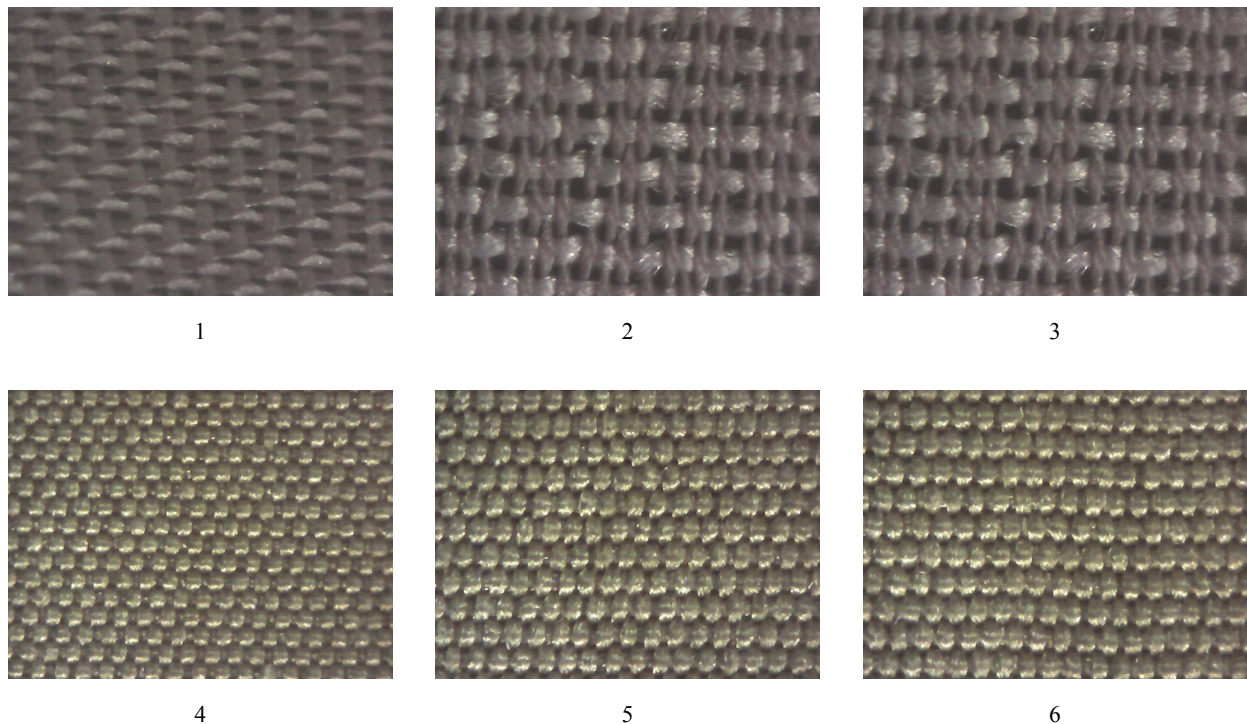


Figure 8. Scanning electron microscope of the surface of fabric specimens.

- cover factor는 상관성이 부족하였다.
2. 소수성인 PET 중공복합 필라멘트 직물의 wicking 성은 porosity와 기공의 크기와는 관계없이 낮은 값을 보였다. 반면, 건조특성은 porosity가 클수록 pore size가 클수록 우수함을 보였다. 그리고 cover factor가 큰 DTY, ATY 중공 복합사 직물보다 cover factor가 낮은 중공섬유 직물이 건조특성이 우수하였다. 그리고 기공도 및 기공의 크기가 증가할 때 건조시간은 선형적으로 감소하므로써 건조성이 우수하였다. 그러나 건조특성을 설명하는데는 기공도 보다 기공의 직경 크기가 더 우수함을 확인하였다.
 3. PET 중공, PET 중공 복합사 직물의 열전도도는 실측 porosity, pore size에 크게 영향이 없으며 cover factor 증가와 함께 열전도도가 증가하는 현상을 보임으로서 cover factor가 열전도도에 더 큰 영향을 미쳤다.
 4. 공기투과도는 porosity와 pore size와 큰 상관성을 보였으며 pore size, porosity 증가와 함께 크게 증가하였다. 반면 cover factor 증가와 함께 공기투과도는 감소하나 중공 PET, 중공 복합사 직물의 경우 cover factor만으로 공기투과도를 설명하는 것은 오차가 발생 할 수 있음을 확인하

였다.

5. 중공복합사 직물의 SEM 사진에 의한 visual한 기공특성은 이론 기공직경(D_h)과 cover factor 값으로 설명될 수 있으며 이론 porosity(ϵ , P_h)와 측정기공도는 경향성이 떨어짐을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 대경광역경제권 선도사업 “인텔리전트 온도제어형 섬유제품 개발”의 연구결과의 일부로서 관계기관에 감사드립니다.

References

1. Ž. Zupin, A. Hladnik, and K. Dimitrovski, Prediction of One-layer Woven Fabrics Air Permeability using Porosity Parameters, *Textile Research J.*, **82**(2), 117(2012).
2. R. K. Varshney, V. K. Kothari, and S. Dhamija, A Study on Thermophysiological Comfort Properties of Fabrics in Relation to Constituent Fibrefineness and Cross-sectional Shapes, *J. of the Textile Institute*, **101**(6), 495(2010).
3. A. B. Nyoni and D. Brook, Wicking Mechanisms in Yams -The Key to Fabric Wicking Performance-,

- J. of the Textile Institute*, **97**(2), 119(2006).
4. U. J. Partil, C. D. Kane, and P. Ramesh, Wickability Behaviour of Single-knit Structure, *J. of the Textile Institute*, **100**(5), 457(2009).
 5. M. K. Ozturk, B. Nergis, and C. Candam, A Study of Wicking Properties of Cotton-acrylic Yarns and Knitted Fabrics, *Textile Research J.*, **81**(3), 324(2011).
 6. M. Yanilmaz and F. Kalaoglu, Investigation of Wicking, Wetting and Drying Properties of Acrylic Knitted Fabrics, *Textile Research J.*, **82**(8), 820(2012).
 7. D. S. Gorjanc, K. Dimitrovski, and M. Bizjak, Thermal and Water Vapor Resistance of the Elastic and Conventional Cotton Fabrics, *Textile Research J.*, **82**(14), 1498(2012).
 8. L. M. Sztandera, A. V. Cardello, C. Winterhalter, and H. Schutz, Identification of the Most Significant Comfort Factors for Textiles from Processing Mechanical, Hand Feel, Fabric Construction, and Perceived Tactile Comfort Data, *Textile Research J.*, **83**(1), 34(2013).
 9. P. D. Dubroski, Volume Porosity of Woven Fabric, *Textile Research J.*, **70**(10), 915(2000).
 10. P. D. Dubroski and M. Bregonik, Using Genetic Programming to Predict the Macroporosity of Woven Cotton Fabrics, *Textile Research J.*, **72**(3), 187(2002).
 11. M. Matsudaira and Y. Kondo, The Effect of a Grooved Hollow Fibre on Fabric Moisture-and heat-transport Properties, *J. of the Textile Institute*, **87**(3), 409(1996).
 12. I. S. Cubric, Z. Skenderi, and G. Havenith, Impact of Raw Material, Yarn and Fabric Parameters, and Finishing on Water Vapor Resistance, *Textile Research J.*, **83**(12), 1215(2013).
 13. H. I. Kim, C. H. Jeong, and M. H. Min, Accelerating Effect of Organic Acid Treatment on Weight Reduction Characteristics of Sea-island Type, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **24**(1), 45(2012).
 14. S. Y. Lee, J. J. Yoo, O. G. Choi, S. W. Lee, and S. G. Lee, Effect of Air-jet Texturing Conditions on the Physical Properties of Low Melting Polyester/tencel Composite Yarn, *Textile Coloration and Finishing(J. of Korea Soc. Dyers and Finishers)*, **25**(1), 47(2013).