

[Original Article]

The appearance change and heat · moisture transfer properties of knitted fabric by yarn shrinkage

Jeong-Seon Sang, Juhyun Park^{*}, Mee-Sik Lee^{**} and Kyung Wha Oh^{***†}

Industry Academic-Cooperation Foundation, Chung-Ang University, Korea
School of Chemical Engineering & Materials Science, Chung-Ang University, Korea^{*}
Dept. of Fashion Design & Marketing, Seoul Women's University, Korea^{**}
Dept. of Fashion Design, Chung-Ang University, Korea^{***}

원사의 수축에 따른 다공성 편성물의 형태변화와 열 · 수분 전달특성

상정선 · 박주현^{*} · 이미식^{**} · 오경화^{***†}

중앙대학교 산학협력단, 중앙대학교 화학신소재공학부^{*}
서울여자대학교 패션산업학과^{**}, 중앙대학교 디자인학부 패션디자인전공^{***}

Abstract

In this study, the appearance change and the heat · moisture transfer properties of knitted fabric by yarn shrinkage were examined to obtain useful data on the development of thermo-sensitive functional materials. Eleven types of knitted fabric were knitted using highly bulky acrylic-blended yarn. After shrinking the specimens using dry heat treatment, the appearance change and thickness were measured. An HEC simulator was adopted for measuring the heat · moisture transfer properties of specimens by yarn shrinkage. When holes were arranged vertically in the mesh structure, the specimens with 2,500 and 5,000 holes showed high percent change of hole area, appearance, and thickness. When holes were diagonally arranged in the mesh structure, the percent change of hole area in the specimen with 1,250 holes was larger than the one with 2,500 holes. However, the dimensional stability of the specimen with 2,500 holes was better because of its smaller appearance and thickness change. In the tuck structure, the percent change of hole area in the specimen with 625 and 416 holes was relatively large compared with the appearance and thickness change. Furthermore, the hole size in the tuck structure was smaller than that in the mesh structure but the percent change of hole area was larger. Therefore, it was proved that the tuck structure is more suitable than the mesh structure for developing thermo-sensitive functional materials. Heat · moisture transfer property test verified that the change of hole area by yarn shrinkage enabled obtaining the thermal effect due to the distinct temperature difference in the inner layer.

Keywords: appearance change(외형변화), thermo-sensitive(온도감응), heat · moisture transfer properties(열 · 수분전달특성), HEC simulator; Human-Clothing-Environment simulator(인체-의복-환경 시뮬레이터법), smart fiber(스마트 섬유)

Received November 23, 2017
Revised December 22, 2017
Accepted December 25, 2017

[†]Corresponding author
(kwhaoh@cau.ac.kr)

ORCID

Jeong Seon Sang
<http://orcid.org/0000-0002-3382-161X>
Juhyun Park
<http://orcid.org/0000-0003-1300-5743>
Mee-Sik Lee
<http://orcid.org/0000-0003-3338-4381>
Kyung Wha Oh
<http://orcid.org/0000-0002-8602-2950>

This research was financially supported by grants from the National Research Foundation of Korea (Grant No. NRF-2017R1E1A2A02023491).

I. Introduction

2000년대 초까지 가공기술에 의존했었던 기존의 기능성 섬유소재관련 연구는 최근 들어 소비자의 일생생활에서의 삶의 질 향상을 기반으로 한 기능성과 감성이 상호 융합된 새로운 기능성 섬유소재로 점차 범위가 확대되어가고 있다. 특히 인체의 생리적 기능을 보조하여 쾌적성을 유지시켜 다양한 기후변화에 대응할 수 있는 능력이 요구되는 체온조절 관련 기능성 의류소재의 연구개발이 꾸준히 진행 중인 가운데 이러한 새로운 기능은 아웃도어 스포츠웨어뿐만 아니라 미즈노의 브레스 써모(breath thermo), 벤틱스의 히터텍스(Kim, 2013), 그리고 유니클로의 히트텍(heat-tech)과 같은 체온조절 관련 기능을 가진 일반 내의류 제품들에서도 중요한 제품구매 요인으로 작용하게 되었다.

현재의 체온조절을 위한 기능성 섬유소재의 개발은 단순히 신체보호를 위한 의류 자체의 보온기능이 아닌 가변적인 외부기온을 감지하고 능동적으로 반응하여 체온조절을 통한 인체에 쾌적환경을 제공해줄 수 있는 자기감응 기능을 가지고 있는 소재(Chittenden, 2017)개발을 지향하고 있으므로 지능형 섬유(smart fiber)라고 할 수 있다. 국내외적으로 활발히 진행되고 있는 최근의 온도조절 관련 지능형 섬유의 개발의 예를 살펴보면 전도성 고분자를 이용하여 전기적 발열을 구현한 코오롱글로벌의 “Heatex”(Lee, 2015), 탄화지르코늄(ZrC)과 같은 세라믹을 혼합하여 체온 반사를 통한 보온성을 증가시킨 유니타카의 “솔라 α ”(Kim, Heo, & Kim, 2015), 폴리머 개질에 의한 흡습·발열 섬유를 이용한 동일방직의 “warmfresh”(Yang et al., 2015), 상전이 물질 혼입방사에 의한 보온 섬유인 “OUT-LAST”(Sim, 2014) 등이 있다. 위의 체온조절을 위한 기술들은 방한 혹은 방서를 위한 특정 온도 범위 내의 환경에 대응하기 위해 개발된 소재로 하나의 의류로 보온성과 통기성 기능을 함께 갖추어 더위나 추위 등 가변적 환경에 대응할 수 있는 소재에 대한 연구·개발은 부족한 실정이다.

최근 외기온에 따라 가역적 수축이 가능한 형상기억소재에 대한 연구(Balk, Behl, Nöchel, & Nendlein, 2012; Bothe, Emmerling, & Pretsch, 2013; Ebara, Uto, Idota, Hoffman, & Aoyagi, 2012; Hu, Zhu,

Huang, & Lu, 2012)가 활발해지면서 효과적인 기공의 개폐와 형태 변화에 따른 함기성 변화가 가능하여 추위와 더위에 대응할 수 있는 기능성 원단 개발에 대한 기초연구가 요구되고 있다. 특히 우수한 신축성과 통기성, 보온성 및 착용감 등으로 기능성 의류에 많이 사용되고 있는 편성물은 조직에 따라 외형이 달라지며 원사의 수축정도에 따라서도 용도에 맞는 다양한 형태와 물성을 구현할 수 있다(Sang, Lee, & Park, 2015). 편성조직은 편성방법에 따라 다양한 종류가 있는데, 이중 3가지 편성원리인 plain(knit), miss, tuck을 기본으로 한 위편성은 직물이나 경편성에 비해 유연성, 신축성, 착용감이 우수하며 편성원리의 조합으로 다양한 응용조직을 구현해낼 수 있다(Sang & Park, 2013). 플레인(plain) 조직에서 루프(loop)를 인접한 바늘의 루프로 이동시키면 빈 곳에 레이스 스티치(lace stitch)라고 하는 넓은 기공이 생기며, 바늘을 벗어나지 못한 기존의 루프(held loop)와 중첩된 턱 루프(tuck loop)에 의해서도 기공이 생기며 턱 스티치(tuck stitch)라고 한다(Spencer, 2001). 이러한 스티치에 의해 생기는 기공들을 편성물에 넓게 분포시키면 다공성 조직을 얻을 수 있다. 다공성 조직은 우수한 통기성으로 비교적 활동성이 많이 요구되는 스포츠용이나 여름용 의류에 많이 활용되고 있는데, 이러한 기공의 크기를 가역적으로 조절할 수 있다면 여름용 의류뿐만 아니라, 보온성이 요구되는 겨울용 의류로도 활용할 수 있어 사계절 착용할 수 있는 의류개발이 가능할 것이다.

따라서 본 연구에서는 외기온도에 감응하여 계절에 관계없이 체온조절이 가능한 기능성 의류개발을 위한 기초자료를 제공하기 위해, 원사의 수축 정도에 따른 다공성 편성물의 구조적 변화를 알아보고 의복쾌적성의 중요한 인자인 열과 수분 전달특성을 파악하여 형태변화를 최소화하면서 효율적인 통기성과 보온성을 부여할 수 있는 편성조직에 대한 연구를 수행하고자 하였다. 이를 위하여 기공의 크기, 밀도, 배열을 달리하여 다공성 조직인 매쉬(M, mesh) 조직과 턱(T, tuck) 조직을 편성하여 수축에 따른 외형변화(course 방향, wale 방향, 두께)와 기공의 면적 변화를 살펴보았다. 또한 인체-의복-환경 시뮬레이터(HCE simulator)법을 이용하여 수축에 따른 다공성 편성조직의 열·수분 전달특성을 살펴보았다.

II. Experiment

1. Appearance change

1) Yarn and condition of shrinkage for specimens

본 실험에 사용할 시험편 제작을 위한 원사는 일반 아크릴사와 비교하여 섬유간 공간이 넓어 열과 수분의 변화에 따라 비교적 유동적 변형이 쉬운 High bulky 가공된 아크릴(Kadolph, 2011)을 사용한 국내 기계 편사 전문업체 H사의 High bulky acrylic 50%/Wool 50%, 1ply, 2/30Nm 방적사를 사용하였다. 수축실험 조건을 찾기 위해 원사를 30cm씩 자른 후 각각 80℃와 100℃의 건열기에 5분, 10분, 15분, 20분 동안 건열처리한 후 꺼내어 상온에서 1일 방치하였다. 5회 반복 후 수축률의 평균값을 계산한 결과, 각 건열온도에서 처리시간 10분일 때 가장 큰 수축변화를 보여 본 실험을 위한 수축조건으로 채택하였다(Table 1).

2) Knitting and shrinking process for specimens

시험편 편성을 위해 Shima Seiki(Japan)사의 12 gauge Computerized flat knitting machine(SSG 122SV)을 사용하여 루프크기 46(stitch value)의 조건으로 총 10종류의 조직(매쉬 6종, 텍 4종)을 30cm×30cm 크기로 시험편을 편성하였다. 편성한 시료는 <Table 1>과 같이 고수축처리 시료와 저수축처리 시료의 건열처리 조건하에서 수축시켰다.

3) Principles of knitting structure and image of specimens

각 시험편의 조직도는 <Table 2>와 같으며 편성원리는 다음과 같다.

- M1_1A, 1B, 1C, 1D, 1E: 매쉬조직 생성 시 루프

를 왼쪽에 인접한 루프로 옮겨 증첩시켜 루프가 빈 곳에 기공을 생성시키며 단위 면적당 기공수에 따라 A, B, C, D, E로 표시하였다.

- M4_4B2, 4D2: 매쉬조직 생성 시 루프를 인접한 루프로 옮겨 증첩시키되 왼쪽과 오른쪽으로 번갈아가며 옮겨졌으며, 이때 생성되는 기공이 대각선 방향으로 인접하여 생성되게 배치하였다.

- T4_W1, W2, W3, W4: 텍 생성 시 웨일(wale) 방향으로 인접한 4개의 루프를 증첩시켜 하나의 루프를 생성시켰다. 이때 맨 아랫쪽의 루프가 웨일 방향으로 4로우(row)만큼 끌어올리지면서 루프의 크기가 커져 기공이 생기는데, 텍조직의 밀도에 따라 W1, W2, W3, W4로 표시하였다.

시험편 조직의 각 건열 처리조건에 의한 수축 전과 후의 이미지는 <Table 3>과 같다.

4) Appearance change measurement

원사의 수축률에 따른 시료의 외형변화 측정은 11종의 니트시료를 각각 Standard(수축처리 전 시료), LST(저수축 처리 시료), HST(고수축 처리 시료) 3개씩 준비하여 편성시료 중앙부분의 동일한 위치에서 100 stitches × 100 rows 만큼 표시한 후 코스(course) 방향과 웨일(wale) 방향의 길이를 측정하였으며, 후도계를 이용하여 시료의 두께를 측정하였다. 시료별 기공의 면적변화 측정은 광원이 위에서 시료를 비추고 반사되는 빛으로 이미지를 관찰하는 원리를 이용한 Stereo microscopy(Discovery V.8, Carl zeiss)를 이용하였는데, 샘플 이미지를 5배 확대한 다음 Image processing software(AxioVision Rel. 4.8)의 tool을 이용하여 기공의 외곽선을 따라 그린 후 자동으로 측정되는 기공면적을 도출하였다(Fig. 1). M1_1A, 1B, 1C, 1D, 1E, M4_4B2은 샘플 왼쪽과 하단에서 각각 5cm 떨어진 곳에서부터의 동일한 위치에 있는 기공 20개의 면적을 측정한 후 평균값을 도출하였으며, M4_4D2는 같은 방법으로 기공 21개의 면적의 평균값을 도출하였다. 텍조직의 경우에는 루프가 웨일방향으로 끌어올리지면서 상하좌우로 여러 개의 기공이 생기므로 텍으로 인해 생기는 마름모 모양 내에 있는 기공 모두를 합산하여 1개의 기공으로 간주하였는데, 샘플 왼쪽과 하단에서 각각 1cm 떨어진 곳에서부터의 동

<Table 1> Condition of yarn shrinkage

Shrinkage (%)	Oven temp. (°C)	Drying time (min.)
LST* (1.87)	80	10
HST** (12.73)	100	

* LST: Low Shrinkage Treatment specimen.

** HST: High Shrinkage Treatment specimen.

일한 위치에 있는 기공 20개의 면적을 측정한 후 평균 값을 도출하였다.

경 시뮬레이터(HEC simulator; Human-Clothing-Environment simulator)법(Hur, Yoo, & Kim, 1996; Kim & Yoo, 2004)을 이용하였다.

2. Heat · moisture transfer properties

의복의 쾌적성과 밀접한 연관이 있는 열과 수분 전달특성을 알아보기 위해 시험에 필요한 시료의 크기가 작고 비교적 단시간에 측정이 가능한 인체-의복-환

1) Specimens

원사의 견열수축처리 정도에 따른 편성물의 구조적 변화를 측정할 시료들 중에서 비교적 외형변화는

<Table 2> Notations of knitted specimens

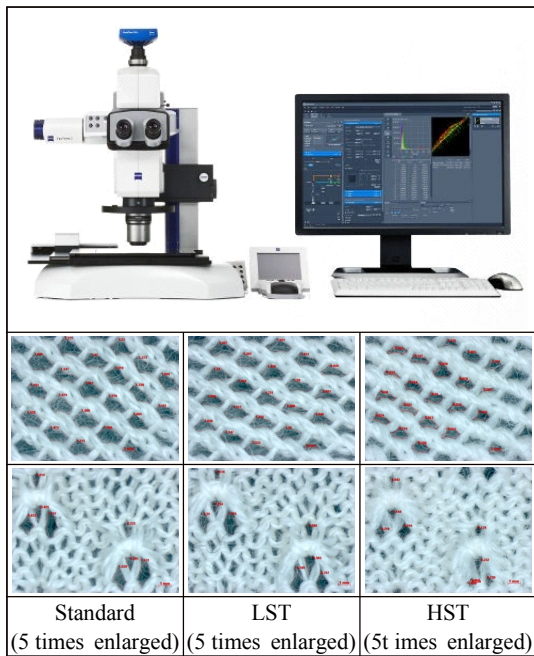
Mark (hole no*)	M1_1A (0)	M1_1B (5,000)	M1_1C (2,500)	M1_1D (1,111)	M1_1E (625)
Notation					
Mark (hole no*)	M4_4B2 (2,500)			M4_4D2 (1,250)	
Notation					
Mark (pattern no**)	T4_W1 (1,250)	T4_W2 (625)	T4_W3 (416)	T4_W4 (312)	
Notation					

* Hole no.: no. of hole/100 stitches × 100 rows, ** Pattern no.: no. of tuck pattern.

<Table 3> Structure image of knitted specimens

Mark (hole no [*])	M1_1A (0)	M1_1B (5,000)	M1_1C (2,500)	M1_1D (1,111)	M1_1E (625)
Standard					
LST					
HST					
Mark (hole no [*])	M4_4B2 (2,500)	M4_4D2 (1,250)			
Standard					
LST					
HST					
Mark (pattern no ^{**})	T4_W1 (1,250)	T4_W2 (625)	T4_W3 (416)	T4_W4 (312)	
Standard					
LSY					
HSY					

* Hole no.: no. of hole/100 stitches × 100 rows, ** pattern no.: no. of tuck pattern.



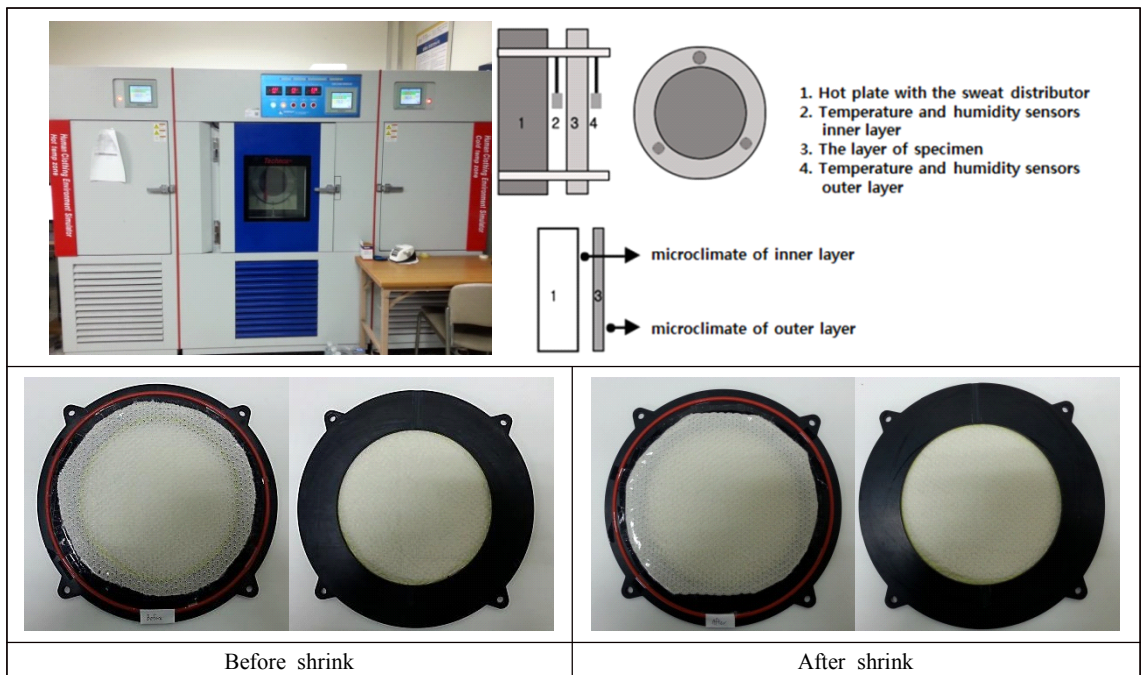
<Fig. 1> Stereo microscopy & measuring hole area of specimen

하면서 효율적인 통기성과 보온성을 부여할 수 있는 편성조직이라고 판단되는 시료 1종(T4_W3)을 선정하여 건열처리 전 편성물과 100℃에서 10분간 건열처리한 후의 편성물의 열과 수분 전달정도를 측정하였다(Fig. 2).

2) Equipment

시험을 위한 HEC simulator의 챔버(chamber) 조건은 고온에서 상온으로 변화시키는 warm temperature (30℃→20℃)와 상온에서 저온으로 변화시키는 cold temperature(20℃→10℃) 2가지 온도변화 조건으로 시험하였다. 테스트 영역이 직경 20cm가 되도록 시료를 원형 프레임에 고정시켜 vertical skin model에 장착시킨 후 각 온도조건의 높은 온도로 설정되어있는 챔버에서 30분간 노출시킨 다음 낮은 온도로 설정되어 있는 챔버로 옮겨 30분간 노출시켰다. 모든 온도에서 습도는 50±5%로 고정시켰으며 33℃를 유지하고 있는 hot plate와 시료 layer 사이 즉 inner layer의 미세기후와 시료 layer와 챔버에 설정되어 있는 외부환경 사이 즉 outer layer에서의 시간의 경과에 따른 온도와 습도의 변화를 측정하였다(Fig. 2, Table 4).

적으면서 기공면적의 변화는 커서 형태변화는 최소화



<Fig. 2> Human-Clothing-Environment simulator, schematic diagram of the vertical skin model & specimens

<Table 4> Test condition of HCE simulator

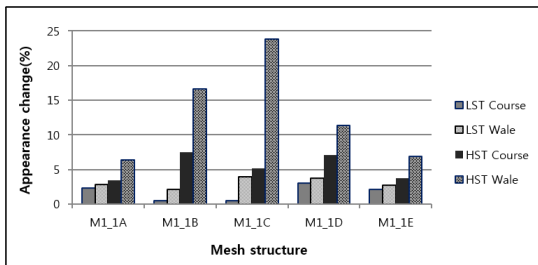
Chamber condition	Temperature (℃)	Humidity (%)	Operating time (min.)
Warm temperature	30℃ → 20℃	50±5%	30 min.
Cold temperature	20℃ → 10℃	50±5%	30 min.

III. Results and Discussion

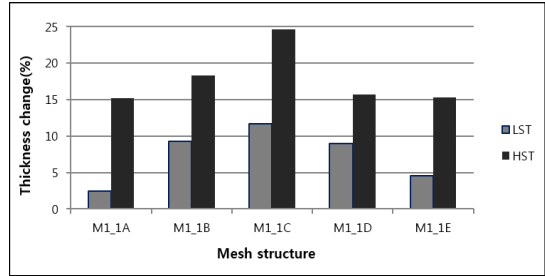
1. Appearance change

1) Appearance change of mesh structure by no. of hole placed in vertical direction

기공을 수직배치하였을 때 매쉬조직 편성물의 형태변화(Fig. 3, Fig. 4)에서는 플레인(plain) 조직 대비 웨일방향에서의 외형변화율이 코스방향에서보다 더 크게 나타났다. 밀도차(기공 개수)에 따른 외형변화 비교에서는 기공의 개수 2,500개 일 때 코스와 웨일 양 방향 간의 외형 변화가 가장 컸으며, 다음이 5,000개, 1,111개, 625개 순이었는데, 이는 편성 시 일어나는 편성물의 왜곡(distortion) 정도의 순서와 일치하는 것으로 보아, 매쉬조직 편성물의 기공 배치와 개수는 편성 시 발생하는 왜곡현상의 요인이 되며, 이는 양방향 외형변화에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 기공의 과밀한 배치는 기공형성을 위해 중첩된 루프 간의 과도한 구속으로 인해 오히려 외형변화를 감소의 원인이 되는 것으로 판단된다. 원사수축에 따른 외형변화 비교에서는 고수축처리 시료일 때 편성물 양 방향의 외형 및 두께 변화가 크게 나타났다. 두께 변화 역시 외형변화와 같은 경향을 보여 편성시료의 기공의 크기 변화가 코스와 웨일방향의 변화뿐 만 아니라, 두께에 의해서도 영향을 받는 것으로 생각된다.

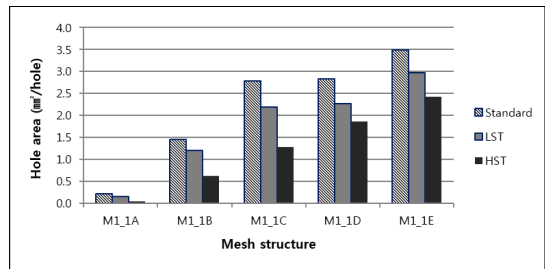


<Fig. 3> Appearance change by number of hole placed in vertical direction (mesh structure)

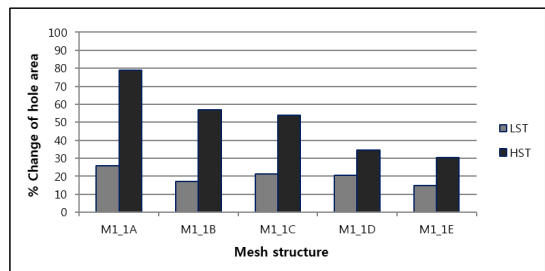


<Fig. 4> Thickness change by number of hole placed in vertical direction (mesh structure)

밀도차에 따른 기공의 크기변화(Fig. 5, Fig. 6)에서는 기공의 밀도가 커지면 편성 시 구조적으로 인접한 루프간 영향을 많이 받아 기공의 크기는 오히려 작아졌다. 원사수축별 비교에서는 저수축처리 시료일 때



<Fig. 5> Hole area by number of hole placed in vertical direction (mesh structure)



<Fig. 6> % Change of hole area by number of hole placed in vertical direction (mesh structure)

보다 고수축처리 시료일 때 기공의 크기가 더 작았으며 크기 변화의 경향도 더 뚜렷하였는데, 기공 크기가 클수록 축소율은 낮아졌다.

2) Appearance change of mesh structure by no. of hole placed in diagonal direction

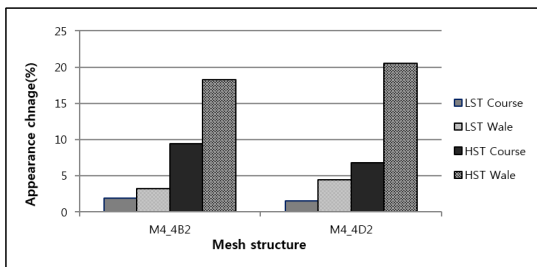
기공을 대각선 방향으로 배치하였을 때 기공의 수직배치 시 편성 후 발생하였던 왜곡은 일어나지 않았는데, 이는 매 행(혹은 row)마다 기공을 형성하기 위해 이동하는 루프의 방향이 바뀌어 구조적으로 평형을 유지하기 때문으로 생각된다. 밀도차(기공 개수)에 따른 매쉬조직 편성물의 형태변화(Fig. 7, Fig. 8)를 살펴보면, 수직배치 때와 마찬가지로 고수축처리 시료일 때 편성물의 양 방향 외형 변화율이 컸으며, 방향 별 비교 역시 플레인조직 대비 웨일방향에서의 외형 변화율이 코스방향에서보다 컸다. 기공의 개수 2,500개(M4_4B2)일 때보다 1,250개(M4_4D2)일 때 코스방향의 변화율은 감소하였으나, 웨일방향의 변화율은 오히려 상승하였으며, 저수축처리나 고수축처리 시료일 때 모두 같은 경향을 나타내었다. 두께는 기공의 개수 2,500개가 1,250개일 때보다 두꺼웠으며, 변화율

또한 커서 외형 변화율과 같은 경향을 나타내었다.

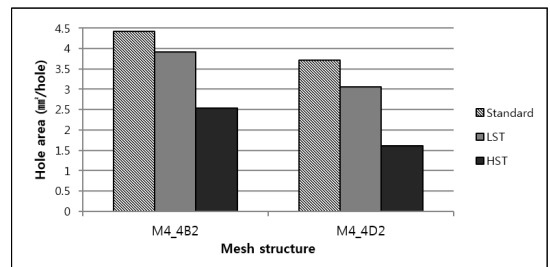
<Fig. 9>와 <Fig. 10>은 대각선 방향으로 기공배치 시 밀도차(기공 개수)에 따른 기공의 크기 변화를 나타낸 것이다. 기공의 수직배치 때와는 달리 기공의 밀도가 클 때 기공크기 또한 컸으나 크기변화율은 밀도가 작을 때 보다 오히려 작게 나타났다. 원사수축 별 기공변화 비교결과는 수직배치 때와 같은 경향을 보였으며, 기공 개수가 2,500개로 같은 M1_1C와 M4_4B2를 비교했을 때 대각선 배치 시의 기공면적이 다소 컸는데, 이는 편성 시 인접한 루프 간의 영향을 상대적으로 적게 받아 기공의 크기가 커진 것으로 판단된다. 원사수축별 비교에서는 고수축처리 시료일 때 기공의 크기는 작았으나 크기변화율은 더 크게 나타났다.

2. Appearance change of tuck structure by no. of tuck pattern

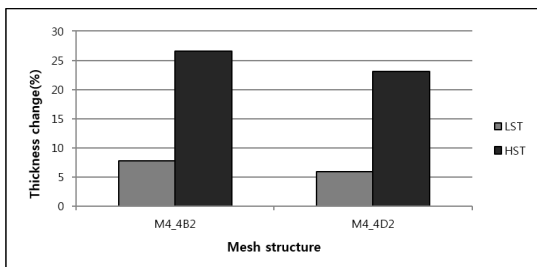
밀도차(턱 패턴 수)에 따른 턱조직 편성물의 형태변화(Fig. 11, Fig. 12)에서는, 고수축처리 시료일 때 편성물의 양 방향 외형 변화율이 컸으며, 플레인조직 대비 코스방향에서보다 웨일방향에서의 외형 변화율이 크게 나타났다. 또한 대체로 밀도차(턱 패턴 수)가 클



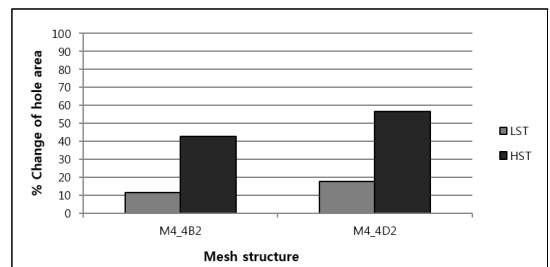
<Fig. 7> Appearance change by number of hole placed in diagonal direction (mesh structure)



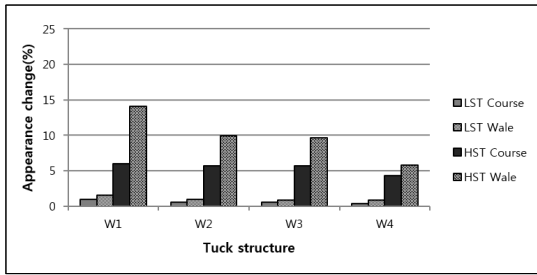
<Fig. 9> Hole area by number of hole placed in vertical direction (mesh structure)



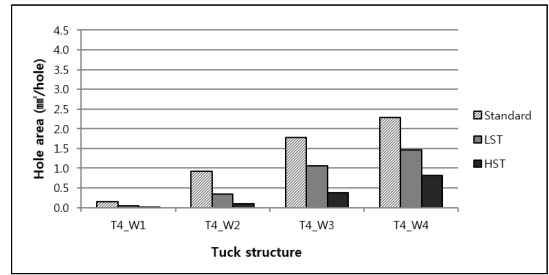
<Fig. 8> Thickness change by number of hole placed in diagonal direction (mesh structure)



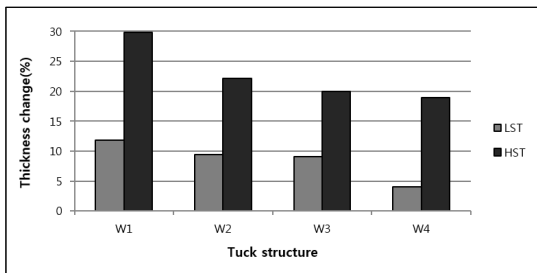
<Fig. 10> % Change of hole area by number of hole placed in vertical direction (mesh structure)



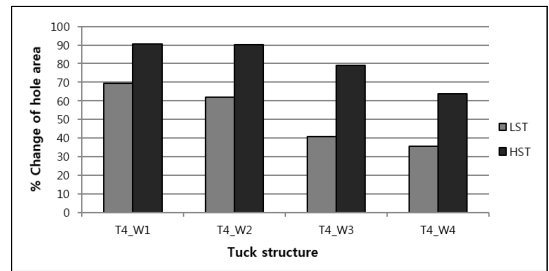
<Fig. 11> Appearance change by the types of tuck structure



<Fig. 13> Hole area by the types of tuck structure



<Fig. 12> Thickness change by the types of tuck structure



<Fig. 14> % change of hole area by the types of tuck structure

수축 양 방향 외형 변화율이 큰 경향을 보여 매쉬조직과 같은 결과를 나타냈다. 두께 변화율도 외형변화율과 같은 결과를 보였는데, 특히 웨일방향의 변화율과 거의 비슷한 거동을 보여 텍조직의 두께변화는 웨일방향의 외형 변화에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

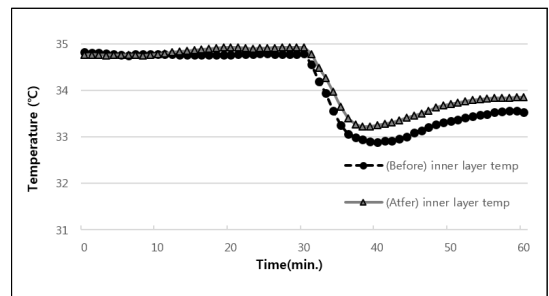
텍조직의 밀도차(텍 패턴 수)에 따른 기공의 크기 변화(Fig. 13, Fig. 14)에서는, 측정대상이 되는 기공(개수, 위치)선택의 변별력은 다소 이전의 여지가 있지만, 본 실험으로 얻은 데이터를 가지고 비교했을 때 매쉬조직의 기공 크기보다 텍조직의 기공 크기가 작았으며, 면적변화율은 더 크게 나타나 텍을 이용한 편성조직이 형태변화를 최소화하면서 효율적인 통기성과 보온성을 부여할 수 있는 편성소재가 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 밀도차(텍 패턴 수)가 클수록 기공의 면적은 작으나 기공 면적 변화율은 더 컸으며, 원사수축 별 비교에서는 고수축처리 시료일 때 같은 경향을 보였다.

3. Heat · moisture transfer properties

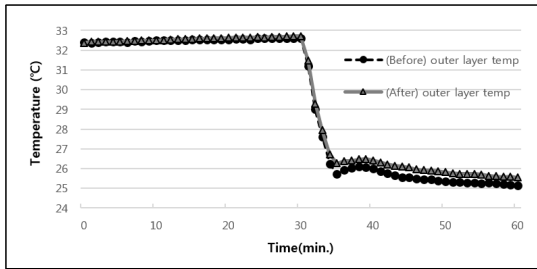
1) Warm temperature condition

텍조직인 T4_W3의 고수축처리 전과 후 시료를 각

각 고온 챔버(30℃, 50±5%)에 30분간 노출시켰다가 상온 챔버(20℃, 50±5%)로 이동하여 30분간 노출시켰을 때의 시간별 inner layer의 온도변화를 살펴보면 (Fig. 15, Fig. 16), 처음 약 10분 동안에는 고수축처리 전과 후 시료간의 온도 차이가 거의 없었으나, 점차 고수축처리한 시료쪽의 온도가 근소하게 높게 나타났다. 이러한 현상은 30분까지 이어지다 외부환경의 변화와 함께 2℃ 정도 급격히 떨어졌으나, 점차 온도가 완만하게 상승하여 1℃의 상승회복하는 현상을 보였는데, 이는 체온에 의해 inner layer의 공기층이 데워져서 보온효과를 상승시키는 것으로 보인다. 반면,



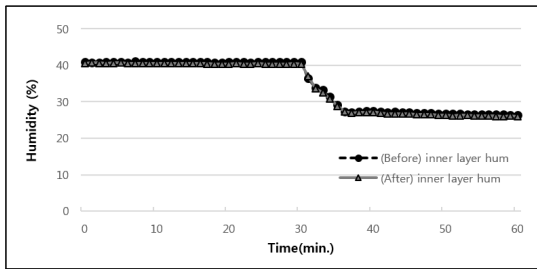
<Fig. 15> Temperature change in inner layer over time under the warm temperature condition



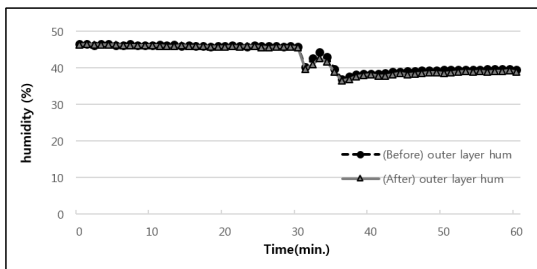
<Fig. 16> Temperature change in outer layer over time under the warm temperature condition

outer layer의 온도는 고온 챔버에서는 1°C 범위 내에서 완만하고 미비하게 상승하였으며 고수축처리 전과 후의 온도차는 거의 없었다. 하지만 상온 챔버로 이동한 직후에는 온도가 7°C 정도 급격히 떨어졌으며, 잠시 온도가 올라가는 듯 하다 다시 완만한 형태로 떨어지는 경향을 보였다.

고온에서 상온으로 이동했을 때의 습도변화(Fig. 17, Fig. 18)에서는, 전반적으로 고수축처리 전과 후의 습도차이는 거의 없었는데, 고온챔버에 노출되었을 때는 습도변화가 거의 없이 일정 습도를 유지하였으나 외부환경의 변화와 함께 5분 정도 급격히 떨어지면



<Fig. 17> Humidity change in inner layer over time under the warm temperature condition

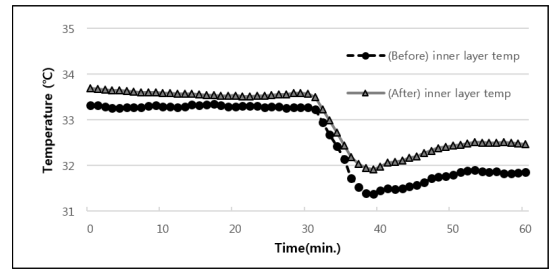


<Fig. 18> Humidity change in outer layer over time under the warm temperature condition

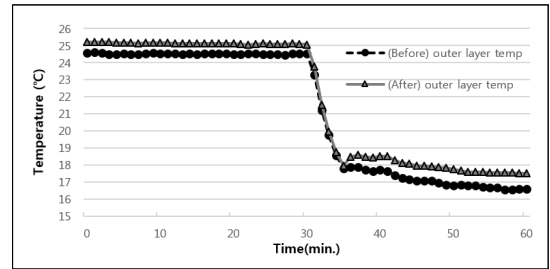
서 불안정한 변화를 보이다가 점차 일정한 습도를 유지하였다. 한편, 외부환경에 노출되어 있는 outer layer에서의 습도가 inner layer에서의 습도보다 높았는데, 이는 낮은 온도에 노출된 환경에서 수분의 응축으로 인해 습도가 높아진 것으로 판단된다. 또한 환경변화에 따른 습도의 하강폭이 outer layer에서보다 inner layer에서 더 큰 것으로 보아 체온에 의해 데워진 inner layer의 공기의 영향을 받아 상대적으로 습도가 낮은 것으로 판단된다. 하지만 수축전과 후의 차이는 거의 없어 원사의 수축에 의한 수분이동의 변화는 미비한 것으로 판단된다.

2) Cold temperature condition

상온 챔버(20°C, 50±5%)에 30분간 노출시켰다가 저온 챔버(10°C, 50±5%)로 이동하여 30분간 노출시킨 시료 별 inner layer와 outer layer에서의 온도변화는 <Fig. 19> 및 <Fig. 20>과 같다. 전반적인 온도변화는 고온 챔버에서 상온 챔버로 이동했을 때와 거의 비슷한 거동을 보였는데, warm temperature 조건보다 cold temperature 조건에서의 inner와 outer 간의 온도차이가 컸으며 inner와 outer 모두에서 고수축처리한 시



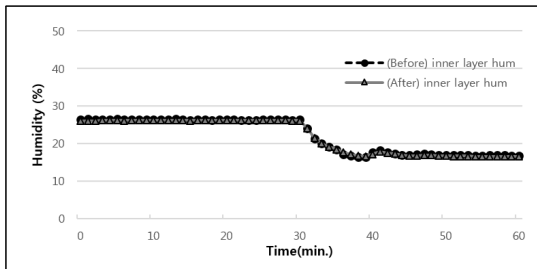
<Fig. 19> Temperature change in inner layer over time under the cold temperature condition



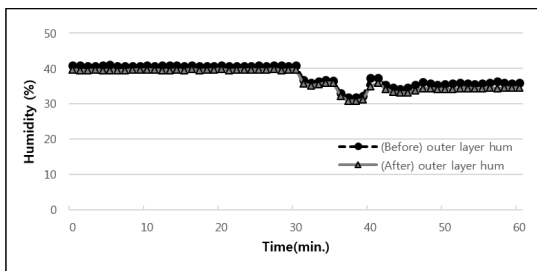
<Fig. 20> Temperature change in outer layer over time under the cold temperature condition

료의 온도가 높았다. 이는 환경변화 시 외기온이 저온으로 갈수록 원사의 수축 전과 후의 온도차가 커져 상대적으로 낮은 온도에서의 원사의 수축에 의한 보온효과가 큰 것으로 판단된다. 또한 외부환경이 바뀐 후 급격히 온도가 떨어진 다음 온도변화는 inner layer에서는 1℃ 정도의 회복과 함께 점차 안정화되는 거동을 보였으나 outer layer에서는 1℃ 정도 추가하락하며 안정화되는 경향을 나타내었다.

상온에서 저온으로 이동했을 때의 습도변화(Fig. 21, Fig. 22)를 살펴보면, 우선 고온 챔버에서 상온 챔버로 이동했을 때보다 inner와 outer layer 모두에서의 습도차이는 다소 적었으며, inner layer에서의 환경변화에 따른 습도차이가 outer layer에서보다 크게 나타났다. 이 또한 체온에 의해 데워진 inner layer의 공기의 영향을 받아 상대적으로 습도가 낮아진 것으로 판단된다. 저온에서 outer layer의 습도는 환경변화 시점에서는 불안정한 거동을 보였지만 점차 안정화되면서 일정한 습도를 나타냈는데 상온과 저온에서의 습도차가 5% 미만으로 미약한 차이를 보여 결과적으로 외기온이 저온으로 갈수록 원사의 수축에 의한 수분이동의 변화는 미비하였다.



<Fig. 21> Humidity change in inner layer over time under the cold temperature condition



<Fig. 22> Humidity change in outer layer over time under the cold temperature condition

IV. Conclusion

본 연구는 피부온도와 외기온도에 따라 체온조절이 가능한 기능성 소재개발에 대한 기초자료를 제공하기 위해 원사수축에 따른 편성물의 외형적 변화와 열·수분 이동 특성을 살펴보았으며, 결과의 고찰을 통한 결론은 다음과 같다.

기공의 수직배치 시 편성물의 기공크기변화에서 기공밀도가 25%(M1_1C)일 때와 50%(M1_1B)일 때 원사수축에 따른 기공크기 변화가 가장 컸다. 하지만 외형 및 두께변화가 가장 심하고 왜곡현상이 일어나므로, 의류설계 시 적절한 통기성 및 보온성을 구현하기 위해서는 밀도(기공 개수) 조절이 중요한 것으로 사료된다.

기공을 대각선 방향으로 배치하였을 때 기공밀도 12.5%(M4_4D2)일 때가 25%(M4_4B2)일 때보다 기공변화가 더 컸다. 외형변화는 웨일방향에서는 M4_4D2가 M4_4B2보다 더 크게 나타났지만 코스방향에서는 오히려 적게 나타났으며, 두께변화도 적어 상대적으로 형태안정적이었다. 기공의 수직배치 시와 비교하여 왜곡현상도 없어 적절한 통기성 및 보온성 구현을 위한 매쉬조직 설계 시 기공의 배치는 대각선 방향이 더 적합한 것으로 판명되었다.

텍조직에서는 텍 패턴의 밀도가 6.25%(T4_W2)일 때와 4.16%(T4_W3)일 때 외형 및 두께변화 대비 기공변화가 상대적으로 컸다. 또한 매쉬조직에 의한 기공과 비교 시에도 텍조직에 의한 기공크기가 작으면서도 크기변화율은 더 컸으므로 본 연구에서 최종목표로 하는 외기온에 따라 가역적으로 변화하는 기능성 소재개발 시 다공성 편성물 설계를 위한 적합한 조직으로 판정된다.

외기온도 변화에 따른 편성물의 열·수분이동특성에서 inner layer에서 원사수축 전과 후의 온도차가 확실하였으며, 외기온이 낮을수록 온도차는 더 커져 원사수축에 의한 기공크기 변화로 보온효과를 볼 수 있는 것으로 판정된다. 다만 원사수축 전과 후의 습도비교에서는 차이가 미비하여 기공크기 변화에 의한 보온효과에서 수분이동의 영향은 미비하였다.

본 연구에서는 편성시료의 외형 및 기공크기 변화의 변수로 열처리에 의한 시료 수축에만 한정하였다. 하지만, 편성조직에 따라 편성물을 구성하는 루프의

3차원적인 구조에 의해서도 편성시료의 변화를 예상할 수 있으므로 후속연구 시 추가적인 변수에 대한 분석이 고려되어야 할 것이다.

결론적으로, 다공성 편성물의 편성조직(기공 개수, 배치, 크기)과 원사수축에 따라 편성물의 외형, 두께 그리고 기공의 변화가 다양하게 나타났는데, 전반적으로 코스방향에서보다 웨일방향에서의 변화가 더 크게 나타나므로 의복설계 시 신체 움직임 및 디자인을 고려하면서 방향 별로 적절하면서도 차별화된 여유분을 주어야 할 것이다. 그러나 방향별 과도한 외형변화의 차이는 의복설계에도 문제가 될 수 있으며 의복제작 후 형태안정성에도 영향을 미칠 수 있으므로, 신체 부위별로 외형변화는 최소화하면서 기공의 면적변화는 최대화하여 통기성 및 공기투과도 조절에 의한 효과적인 체온조절이 가능한 다공성 편성조직의 적절한 선택과 배치가 중요할 것이다. 열과 수분의 이동특성 실험을 통하여 보온성과 통기성의 조절이 어느 정도 가능한 것으로 보아, 온도에 감응하는 기능성 소재의 개발과 함께 온도조절에 관련된 좀 더 구체적인 데이터의 자료화가 이루어진다면 실용적이면서 더욱 효율적인 체온조절효과를 구현할 수 있는 기능성 의류소재의 개발이 가능할 것으로 기대된다.

References

- Balk, M., Behl, M., Nöchel, U., & Lendlein, A. (2012). Shape-memory hydrogels with switching segments based on oligo(ω -pentadecalactone). *Macromolecular Materials and Engineering*, 297(12), 1184-1192. doi:10.1002/mame.201200232
- Bothe, M., Emmerling, F., & Pretsch, T. (2013). Poly (ester urethane) with varying polyester chain length: Polymorphism and shape-memory behavior. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 214(23), 2683-2693. doi:10.1002/macp.201300464
- Chittenden, T. (2017). Skin in the game: The use of sensing smart fabrics in tennis costume as a means of analyzing performance. *Fashion and Textiles*, 4:22. doi:10.1186/s40691-017-0107-z
- Ebara, M., Uto, K., Idota, N., Hoffman, J., & Aoyagi, T. (2012). Shape-memory surface with dynamically tunable nano-geometry activated by body heat. *Advanced Materials*, 24(2), 273-278. doi:10.1002/adma.201102181
- Hu, J., Zhu, Y., Huang, H., & Lu, J. (2012). Recent advances in shape-memory polymers: Structure, mechanism, functionality, modeling and applications. *Progress in Polymer Science*, 37(12), 1720-1763. doi:10.1016/progpolymsci.2012.06.001
- Hur, Y. S., Yoo, H. S., & Kim, E. A. (1996). Measurement of buffering capacity against water vapor of fabrics by using a human-clothing-environment modeling system. *Textile Science and Engineering*, 33(2), 183-191.
- Kadolph, S. J. (2011). *Textiles* (11th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Inc.
- Kim, E. A., & Yoo, S. J. (2004). 투습방수 소재 및 평가 기술 [Quality evaluation of water repellent & water vapor permeable materials]. *Fiber Technology and Industry*, 8(3), 271-285.
- Kim, C. M. (2013, July 8). 건강 지키는 참신한 아웃도어웨어 전시 [Outstanding outdoor wear show keeping health]. *Environmental Daily*, Retrieved November 2, 2016, from <http://www.hkbs.co.kr/news/articleView.html?idxno=266986>
- Kim, H. A., Heo, K., & Kim, S. J. (2015). Physical property of heat storage knitted fabrics for high emotional garment. *Fashion & Textile Research Journal*, 17(2), 295-304. doi:10.5805/SFTI.2015.17.2.295
- Lee, D. E. (2015). 발열 섬유 소재 및 개발 동향 [Development trend of heat release fiber]. *Fiber Technology and Industry*, 19(4), 255-261.
- Sang, J. S., Lee, M. S., & Park, M. J. (2015). Structural effect of polyester SCY knitted fabric on fabric size, stretch properties, and clothing pressure. *Fashion and Textiles*, 2:22. doi:10.1186/s40691-015-0047-4
- Sang, J. S., & Park, M.-J. (2013). Knit structure and properties of high stretch compression garments. *Textile Science and Engineering*, 50(6), 359-365. doi:10.12772/TSE.2013.50.359

- Sim, S. B. (2014). 아웃도어 기능성 섬유소재 기술 동향 [Technology trend of functional material for outdoor sportswear]. *Fiber Technology and Industry*, 18(2), 96-107.
- Spencer, D. J. (2001). *Knitting technology: A comprehensive handbook and practical guide* (3rd ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Yang, J. S., Park, H. S., & Jeon, Y. M. (2015). 온감/냉감 의류제품의 기능성 평가법 동향 [Evaluation trend of coolness and warmth clothing product]. *Fiber Technology and Industry*, 19(4), 262-270.