직물 미세구조의 3차원 표면 및 솔리드 형성 방법†

A Novel Method for 3D Surface and Solid Construction Analysis of Fabric Microstructure

이예진*, 이병철

충남대학교 의류학과

Lee, Yejin· Lee, Byungcheol

Dept. of Clothing & Textiles, Chungnam National University

Abstract

In-depth knowledge of fabric microstructure is essential for understanding clothing comfort since it plays a significant role in heat and mass transfer between the human body and clothing. In this study, a novel method was employed for investigating 3D surfaces and solid construction characteristics of specific fabrics by using a reverse engineering technique. The surface construction data were obtained by a confocal laser scanning microscope and then manipulated by a 3D analysis program. Triangle mesh was used for connecting each 3D point, with clouds and fabric surface characteristics created by rendering techniques. For generating a 3D solid model, determinants of radius of curvature was used. According to the proposed method, actual surface expression of the real fabric was achieved successfully. The results from this methodology can be applied to the detailed analysis of clothing comfort that is highly influenced by the microstructure of the fabric.

Keywords: fabric microstructure, 3D surface construction, 3D solid construction, mesh, laser scanning microscope, scanning electron microscope

I. 서론

의복의 쾌적성은 제작 시 사용한 직물의 화학적·물리적 특성, 착용자와 의복 사이의 맞음성 정도, 착용자의 심리적·생리적 상태, 주변의 환경 상황 등 여러 가지 변인들이 복합적으로 상호 작용하여 결정되는 통합 시스템이다. 따라서 단 한 가지 요인에 의해 쾌적성을 향상시킬 수는 없지만, 일차적으로 직물의 특성 중 형태적 구조가 주는 영향이 매우 크기 때문에 쾌적성을 논하기 위해서는 무엇보다 이에 대한 정량적인 분석이 필수적이다. 직물의 형태적 특성은 이를 구성하는 섬유의 화학적 성질과 물리

적 형태에 의해 영향을 받으며 물리적 형태는 섬유의 종류, 섬유의 길이, 섬유의 굵기, 섬유의 가공 유무, 실의 꼬임수, 실의 굵기 등과 관련이 있다(Shim & Hong, 2002; Strese *et al.*, 2011). 따라서 위에 언급된 요소들의 조합 방법에 의해 직물 형태의 구조가 달라지고 이는 표면 특성을 변화시키는 요인이 된다. 직물의 표면 특성은 직물과 인체가 접촉 시 접촉 면적에 영향을 주고 공기의 부착량을 달라지게 함으로써 촉감 및 열·수분 전달의 결과를 상이하게 만드는 변인이 된다(Ramaswamy *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 1998; Militky *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2002; Song, 2011). 그러므로 의류학적 입장에서 직물 형태의

† 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초사업 연구임 (No. 2010-0005553)

* Corresponding Author: Lee, Yejin

Tel: 042-821-6824, Fax: 042-821-8887

Email: yejin@cnu.ac.kr

구조 분석은 다층 의복 시스템에서의 쾌적성 현상을 해석할 때 기본적으로 알아야 하는 중요 요소로 이에 대한 이해를 바탕으로 다른 변인들에 대한 해석이 더해져야 고차원의 쾌적성을 정의할 수 있다.

현재 직물의 구조 분석은 거시적인 측면과 미시적인 측면으로 나누어 각각의 목적에 맞는 다양한 측정법들을 사용하고 있다. 최근 섬유 · 직물 분석에도 3차원 측정 기술을 도입하여 분석에 활용하고 있는데 거시적인 측면에 비해 미시적 측면에서의 직물 구조 분석 방법은 아직 까지도 대부분 2차원 분석법에 한정되고 있는 실정이다. 직물 미세 구조를 3차원으로 정확하게 재현하면 객관적이고 정량적 분석이 가능하고, 열전달 해석 시 모델링 설계 기반으로 사용할 수 있으며, 가상공간에서 직물 표면의 구현 등에 활용할 수 있는 장점이 있다. 그럼에도 불구하고 직물은 빛을 흡수하는 특성 때문에 3차원 스캐너로 표면을 세밀하게 측정하는 것이 어려워 아직까지 3차원 측정 데이터로부터 직물 표면을 표현하는 연구가 시도되고 있지 않은 실정이다. 대신 기존의 많은 연구들이 수학적 정의에 의해 3차원 직물을 생성하는 방법들을 소개하였다(Grabowska, 2008; Zhang *et al.*, 2010; Buchanan *et al.*, 2010; Chepelyuk *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2011a; Li *et al.*, 2011b; Li & Zou, 2011; Ozgen & Gong, 2011; Chang & Chen, 2011). 그러나 이러한 수학적 모델링은 유한요소해석이 초점으로 무엇보다도

직물의 특징을 살리는 단순한 설계가 주안점이 되다보니 직물의 객관적 분석에 활용하기에는 한계가 있다. 따라서 수학적 모델링이 아니라 2차원 단면 영상 정보로부터 3차원 형상을 구현하는 방법을 다루는 기초적인 연구들(Shin *et al.*, 2004; Jung *et al.*, 2005)이 선보여졌으며, 최근 이를 활용해 직물의 2차원 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지로부터 직물의 3차원 형상 생성 연구(Sul *et al.*, 2010)가 발표된 바 있다. 그러나 이러한 방법도 마찬가지로 3차원 복원 시 제약점이 따르게 된다.

그러므로 본 연구에서는 새로운 시도로서 직접 측정된 3차원 정보로부터 출발하여 직물의 3차원 표면이 완성되도록 하고, 이로부터 3차원 솔리드(solid)를 형성하는 방법을 다루고자 한다. 좀 더 구체적으로 3차원 분석 및 열전달 해석이 가능한 직물 모델을 생성하기 위해서는 표면 형성 후 솔리드 형성이라는 단계적 절차가 필요하기 때문에 [Figure 1]의 연구개요도와 같이 먼저 3차원 데이터 정보를 획득하여 이로부터 표면을 형성하는 방법을 연구하고, 생성된 3차원 표면에 두께를 주어 솔리드를 형성하는 방법을 다루었다. 본 연구는 직물의 미세 구조를 3차원으로 재현하고 분석하기 위한 기초 연구로서 객관적이고 정량적인 직물 구조 분석을 가능하게 하고, 추후 해석 모델링 설계 시 기반 자료로 삼고자 하는데 의의가 있다.

[Figure 1] Research framework

〈Table 1〉 Mechanical properties of experimental fabric

Fabric	Density (g/cm ³)	Weight (g/cm ²)	Thickness (mm)	Thermal conductivity(W/m °C)
Cotton 30s	1.55	180	0.34	0.045
Cotton 60s	1.50	160	0.21	0.039
Cotton 80s	1.46	156	0.19	0.035
Silk	1.34	150	0.12	0.029

II. 연구 방법

1. 재료

직물 모델링에 사용된 시료는 면 30수, 면 60수, 면 80수, 실크로 총 4종이 사용되었다. 모든 시료는 기초 모델링이기 때문에 표준 시험포를 선택하였고, 각 시료에 대한 물리적 특성은 <Table 1>에 나타내었다.

2. 측정방법

1) 직물 표면의 미세구조 3차원 스캔

직물 표면의 3차원 정보 획득은 직물이 빛을 흡수하는 성질 때문에 일반 광학 스캐너로는 측정이 어려워 비접촉 3차원 표면 형상 현미경(LEXT OLS3000, Olympus NDT Inc.)을 선택하였다. 구체적인 데이터 획득과 처리 과정은 다음 [Figure 2]와 같다.

먼저 직물을 스캔하기 위하여 시료를 10cm × 10cm(가로 × 세로) 크기로 준비하였다. 정확하게 스캔하기 위하여 비접촉 3차원 표면 형상 현미경을 30분간 켜 놓고 안정화 시킨 후 시료를 측정 실험대에 올려놓았다. 그런 다음 다시 10분이 지나 직물 상태가 안정되면 표면 형상을 스캔하였다. 스캔 위치는 시료의 중앙이었으며, 3차원 스캔이 가능한 최적의 배율인 180배를 사용하여 모든 시료의 정보를 얻었다. 3차원 표면 형상 현미경내에서 지원되는 프로그램으로 이미지 프로세싱의 과정을 거쳐 시료를 측정하였다. 측정 시 측정 영역의 크기를 저장해 추후 모델링 결과와의 비교에 사용하였고, 최종적으로 모델링을 위한 3차원 데이터를 저장하였다.

2) 직물 미세구조의 3차원 표면 형성 과정

측정된 3차원 직물 표면을 재구성하기 위해서는 역

[Figure 2] The procedure of data acquisition and process

[Figure 3] Triangulation, manipulation and optimization of scanning sample fabric

[Figure 4] Result of mesh image after data processing and manipulation

설계 프로그램이 필요하여 프로그래밍을 통해 저장된 데이터의 .csv 확장자를 .asc 확장자로 변환하는 과정을 먼저 진행했다. 변환 시킨 데이터는 RapidForm XOR(INUS Technology Inc. & Rapidform Inc.) 프로그램으로 전송하여 [Figure 3]과 같은 과정을 거쳐 메쉬를 형성하고 최적화 하였다. 구체적으로 살펴보면 먼저 3차원 표면 형상 현미경으로 얻어진 점 데이터를 삼각화 하여 메쉬를 형성 하였다. 다음으로 고품질 메쉬 생성을 위한 변환 과정을 반복 실행하고, 곡률의 흐름을 향상 시킨 후에 다중 버텍스의 균형을 균질화 하는 과정을 통해 메쉬 형성을 안정화 시켰다. 이와 같은 과정들을 거치는 이유는 스캔을 통해 얻어진 데이터로부터 메쉬 생성 후 발생하는 메쉬의 겹침, 구멍, 불균일한 표면 등의 문제점을 해결하여 메쉬 위에 표면 생성이 가능하도록 하기 위함이며, 언급한 처리들에 의해 원본 메쉬에서 처리된 메쉬로 바뀌는 결과를 [Figure 4]에 도시하였다. 마지막으로 이미지의 선명도, 평활도를 높여 메쉬를 최적화 하였다.

3) 직물 미세구조의 3차원 솔리드 형성 과정

직물 미세구조의 3차원 솔리드 형성을 위한 일련의 전처리 과정 방법은 [Figure 5]와 같다. 현미경에서 측정 한 점 데이터에 삼각 메쉬를 형성하고 직물의 표면을 생성하면 [Figure 5-a]의 이미지가 된다. 이로부터 직물의 두께를 만들 수 있는 수치를 입력하여 직물 표면을 반전(mirror)시켰다. 반전을 하게 되면 [Figure 5-b]와 같이 두 개의 표면이 생기게 된다. 두 개의 표면을 [Figure 5-c]의 이미지처럼 합성(merge)한 후 경계선을 수정하고 메쉬를 최적화 하여 최종 솔리드를 완성하였다[Figure 5-d 참조]. 3차원 직물 표면에 두께 부여는 3차원 솔리드 형상을 재현시키기 위해 필요한 작업으로 직물의 표면이 앞과 뒤가 같다는 가정 하에 이루어졌다. 두께를

부여하기 위해 생성한 참조 평면 계산은 3차원 스캔 데이터의 평균 곡률 반경을 사용하였다. 생성한 3차원 솔리드의 직물 두께 결과는 실제 직물의 두께 측정값(KSK 0506)과 비교하여 방법론의 타당성을 확인하였다.

4) SEM을 이용한 직물 미세구조의 2차원 표면 이미지 획득

직물 표면의 2차원 이미지 획득은 장방출 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, JEOL, JSM-7000F)을 사용하였다. 측정은 직물을 5mm × 5mm(가로 × 세로) 크기로 준비하여 코팅기(CRESSINGTON SPUTTER COATER 208HR)를 이용해 표면에 백금으로 두께 약 5-10 nano 정도 코팅하고, 시료를 안정화 시킨 후에 이루어졌다. 시료의 측정 배율은 3차원 표면 형상 현미경 측정 결과와의 비교를 위해 같은 배율을 사용하였다. 이는 직물 표면 생성 후 솔리드 형성 결과의 정확성 검증에 객관적 자료로 사용하였다.

Ⅲ. 결과 및 해석

1. 직물 미세구조의 3차원 표면 형성

1) 3차원 측정 데이터와 재구성 데이터 비교

3차원 표면 형상 현미경으로 실험 직물을 확대하여 측정한 결과 얻어진 3차원 표면 형상의 측정 영역 크기는 640 μ m × 480 μ m(가로 × 세로)였으며, 높이는 표면의 형상에 따라 최저점과 최고점의 설정값이 달라져 각각의 시료마다 차이가 있었다. 이미지 프로세싱 후 현미경을 통해 측정한 결과 이미지는 [Figure 6]과 같고, 모델링을 위해 저장한 데이터 구성은 <Table 2>와 같다. <Table

[Figure 5] General process of 3D fabric solid modeling

2>를 살펴보면 데이터 점들이 x축으로 12.50 μm 씩 이동하면서 y값이 변할 때마다(pos) z값의 높이 정보를 표시하고 있음을 알 수 있다. 이 점 데이터들을 3차원 분석 프로그램인 RapidForm XOR로 불러들이면 다음 [Figure 7]과 같다.

〈Table 2〉 Data format after data transformation

System name = OLS 3000
Source
Data type = Height
Xunit = μm
Yunit = μm
Zunit = μm
Along x-axis
Step = 20
DataLine, 0.00, 12.50, 25.00, 37.50, 50.00 ...
Pos = 1, 111.000, 123.000, 105.000, 123.000...
Pos = 2, 111.000, 123.000, 105.000, 123.000...

2) 직물 미세구조의 3차원 표면 형성 결과

[Figure 7]의 점 데이터들로부터 삼각 메쉬를 형성하고 수정하여 최적화한 단계별 결과를 면 80수를 예로 들어 [Figure 8]에 나타내었다. 삼각 메쉬가 형성되면 [Figure 8-a]와 같이 3차원 형상이 보여 지고, 앞서 연구 방법에서 언급한 고품질 메쉬 생성을 위한 변환 과정, 곡률의 흐름 향상, 다중 벡터스의 균형 균질화의 과정을 거치면 [Figure 8-b]와 같이 표면이 향상되어 접촉각, 직선 길이, 표면 길이, 곡률 반경, 면적 등 객관적 분석이 용이한 단계가 된다. 따라서 정략적 해석이 목적이면 이 단계에서 활용하면 용이하고, 측정 예를 다음 [Figure 9]에 제시하였다.

그러나 이 단계에서는 표면(surface)생성을 위한 격자를 그릴 수 없기 때문에 추후 솔리드 모델링을 위해서는 연구 방법에서 제시한 선명도, 평활도를 사용하여 메쉬를 최적화하여 [Figure 8-c]와 같이 완성하였다. 그러면 [Figure 8-d] 이미지처럼 직물 표면에 사각 격자를 만들 수 있다. 위에서 언급한 각각의 과정 단계에 따른 실험 직물들의 3차원 작업 결과는 다음 그림 [Figure 10]과

[Figure 6] Image of experimental fabrics after scanning using by confocal microscope

[Figure 7] Point cloud of cotton 30s, 60s, 80s and silk

같다.

4종의 시료들을 삼각 메쉬 형성 후 최적화 한 각각의 점 데이터와 삼각형 메쉬의 개수를 정리하면 <Table 3>과 같다. 데이터의 점들은 대략 4,500 ~ 5,000개 정도이고 메쉬는 대략 8,300 ~ 9,100개 정도가 됨을 알 수 있다. <Table 4>는 3차원 표면 형상 현미경으로 측정 시 데이터 측정 영역과 RapidForm XOR에서 데이터를 변

화하여 불러들인 후 점 데이터의 측정 영역을 비교한 것이다. 측정 영역은 가로 × 세로 × 높이로 계산 하였다. 가로와 세로는 거의 비슷하나 높이에서 차이가 발생하고 있다. 특히 면 30수가 가장 큰 차이는 보이고 있는데 이는 현미경에서는 보인 잔털이 x값이 12.50 μ m씩 이동하면서 데이터가 저장되어 손실되었기 때문으로 판단된다.

[Figure 8] Process of optimized mesh construction and creation polygon mesh

[Figure 9] Example of quantitative analysis on 3D mesh generation

[Figure 10] Surface image of cotton 30s, 60s, 80s and silk after mesh generation and optimization

2. 직물 미세구조의 3차원 솔리드 형성

1) 3차원 솔리드 형성을 위한 두께 생성

솔리드 모델링을 위해서는 3차원 직물 표면에 두께가 부여되어야 한다. 두께 부여는 직물 표면을 구성하는 섬유의 앞과 뒤가 같다는 가정 하에 이루어졌다. 솔리드는 3차원 직물 표면에서 가장 높은 지점에 평면을 하나 생성하고, 이로부터 각각의 시료마다 다른 크기의 평행한 참조 평면을 만든 후 이를 기준축으로 표면을 반전하여 만들었다. 참조 평면 생성을 위한 수치는 [Figure 11]의 화살표 크기로 정의 하였고, 그 값은 3차원 정보를 활용하여 평균 곡률 반경으로부터 계산하였다. 곡률 반경 측정 순서는 [Figure 12]와 같다. 먼저 [Figure 12-a]에서

보는 바와 같이 일정한 간격(20 μ m)으로 세로 격자를 생성하였다. 그리고 [Figure 12-b]처럼 같은 방법으로 가로 격자도 형성하였다. 그런 후 [Figure 12-c]에 나타냈듯 섬유가 서로 교차 하는 지점이 아닌 가로와 세로 각각 10 부위에서 3점을 지나는 곡률 반경을 측정하여 그들의 평균을 참조 평면 수치로 사용하였다. 곡률 반경 측정 3점은 [Figure 12-d]의 섬유에 해당하는 부분의 양쪽 격자점 e와 g 그리고 중앙 최정점 f 였다. 실험 직물 각각의 평균 곡률 반경 크기는 <Table 5>에 나타내었다. 가로와 세로의 모든 곡률 반경 치수들의 평균을 참조 평면 생성 수치로 사용한 것은 대응표본 t-검정 결과 가로와 세로의 곡률 반경 값이 유의확률 0.898로 유의차가 없었기 때문이다.

<Table 3> Number of vertex and triangles after mesh optimization

	Cotton 30s	Cotton 60s	Cotton 80s	Silk
Number of vertex	5,002	4,466	4,924	4,591
Number of triangle	9,058	8,287	9,082	8,374

<Table 4> Comparison of measurement area between confocal laser microscope and Rapidform software

	Confocal laser microscope				Rapidform XOR point data			
	cotton 30s	cotton 60s	cotton 80s	silk	cotton 30s	cotton 60s	cotton 80s	silk
x (μ m)	640	640	640	640	638	638	638	638
y (μ m)	480	480	480	480	479	479	479	479
z (μ m)	274	226	400	270	189	210	390	198
x×y (μ m ²)	307,200	307,200	307,200	307,200	305,602	305,602	305,602	305,602
x×y×z (μ m ³)	84,172,800	69,427,200	12,288,0000	82,944,000	57,758,778	64,176,420	11,918,4780	60,509,196

〈Table 5〉 Radius of curvature of cotton 30s, cotton 60s, cotton 80s and silk

Fabric	Measurement plane	Radius of curvature(μm)		
		Vertical direction	Horizontal direction	Mean
Cotton 30s	1	162.8	165.7	169.4
	2	178.5	159.9	
	3	180.2	160.5	
	4	188.2	178.2	
	5	160.2	166.8	
	6	158.7	158.9	
	7	166.1	167.8	
	8	179.2	177.5	
	9	170.2	171.1	
	10	180.2	157.4	
Cotton 60s	1	101.5	102.4	116.9
	2	140.1	125.6	
	3	125.4	108.5	
	4	122.5	113.4	
	5	102.8	128.9	
	6	100.1	127.8	
	7	110.2	112.4	
	8	129.4	125.4	
	9	126.5	100.5	
	10	124.6	110.1	
Cotton 80s	1	82.9	88.9	95.9
	2	113.6	84.9	
	3	88.3	85.0	
	4	96.4	84.4	
	5	75.6	90.1	
	6	84.7	119.6	
	7	89.1	116.8	
	8	97.6	107.7	
	9	101.4	102.4	
	10	101.1	107.7	
Silk	1	65.4	68.9	67.0
	2	54.8	70.5	
	3	59.8	82.3	
	4	69.7	70.2	
	5	72.5	65.1	
	6	78.1	63.4	
	7	69.1	68.1	
	8	63.2	60.1	
	9	66.9	67.4	
	10	60.7	63.5

[Figure 11] Definition of reference plane value for fabric solid modeling

[Figure 12] Procedure of measurement radius of curvature

[Figure 13] Image of 3D solid model cotton 30s, cotton 60s, cotton 80s and silk

아 데이터의 손실이 있었기 때문에 사료된다.

2) 직물 미세구조의 3차원 솔리드 형성 결과

앞에서 정의한 참조 평면을 기준으로 [Figure 10]의 최적화 된 3차원 표면을 반전시키면 [Figure 13]과 같은 결과가 나타난다. 3차원 솔리드 형성 후 직물의 두께 값과, KS K 0506으로 측정된 실제 직물의 두께 값을 비교한 것이 <Table 6>이다. <Table 6>에 나타나듯이 평균 곡률 반경에 의한 직물의 두께가 실제 직물(KS K 0506) 두께와 비슷함을 알 수 있다. 또한 비모수 대응 2표본 Wilcoxon 검정에 따르면 유의수준 0.144($p < 0.05$)로 두 값 사이에 유의차가 없는 것으로 나타났다. 그러나 면 30수와 면 60수에서는 기공이 표현되지 않았는데 이는 실의 굵기가 상대적으로 커서 현미경으로 3차원 데이터 획득 시 기공 깊이까지 빛이 흡수된 후 반사가 되지 않

<Table 6> Comparison of fabric thickness

Fabric	Thickness(μm)	
	KS K 0506	Solid model
Cotton 30s	340.0	338.8
Cotton 60s	210.0	233.8
Cotton 80s	190.0	191.8
Silk	120.0	134.0

* KS K 0506: KES-F7 Labo II

* Solid model: Radius of curvature(RapidForm XOR)

[Figure 14] Comparison between length on 2D SEM image and on 3D solid

그러나 완성된 3D 솔리드 상에서 임의의 10부위 선정 후 측정된 직선길이를 2차원 SEM 이미지 상에서 임의의 10부위에서 측정된 직선 길이를 대응표본 t-검정으로 비교해 보니 유의확률 0.886으로 유의차가 없었다. 비교해 본 10 부위 중 몇 개만을 표시하여 <Figure 14>에 도시하였다.

본 연구의 3차원 직물은 3차원 데이터에서 출발한 역설계 모델링이기 기존의 수식에 의한 모델링에 비해 실제 직물 표면 표현이 용이하였다. 또한 수식에 의한 기존 모델링에서는 섬유 모양이 일정하기에 부위별 측정값이 의미가 없으나 본 연구 결과의 3차원 솔리드를 통해서 다양한 부위에서 객관적인 측정이 가능한 장점이 있었다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 3차원 현미경으로 직물 표면을 측정된 후 3차원 기본 데이터를 재구성하여 3차원 표면이 완성되도록 하고 이로부터 3차원 솔리드를 형성하는 방법을 다루었다. 3차원 표면 형상 측정기인 현미경으로 측정된 원 데이터는 보다 객관적인 분석을 하기에는 한계가 있는데 이를 3차원 분석 프로그램과 연계하여 다양한 정량적 분석의 가능성을 찾을 수 있었다. 그리고 3차원 데이터로부터 해석용 메쉬 생성이 가능한 3차원 표면을 형성하는 방법을 체계화 하였고, 3차원 곡률 정보를 활용하

여 실제 직물에 가까운 3차원 솔리드 재현을 시도하였다.

연구 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 직물의 3차원 데이터로부터 3차원 표면을 형성하기 위해서는 점 데이터의 메쉬화, 메쉬의 일반화 및 안정화, 메쉬의 최적화 단계의 과정을 거쳐야 했다. 고품질 메쉬 생성을 위한 변환 과정의 반복과 곡률 흐름의 향상 및 다중 버텍스의 균형으로 메쉬의 겹침, 구멍, 분균일한 표면을 처리할 수 있었다. 위에서 언급한 방법들에 의해 안정화된 3차원 표면에서는 접촉각, 직선 길이, 표면 길이, 곡률 반경, 면적 등 객관적 분석이 용이 하였다. 그리고 안정화 된 표면의 선명도와 평활도를 높이는 작업을 통해 표면을 최적화하면 3차원 해석을 위한 모델 생성이 가능하였다. 최적화 된 3차원 표면은 점 데이터는 약 4,500~5,000개 정도였고 메쉬는 약 8,300 ~ 9,100개 정도가 되었다.

2. 3차원 직물의 솔리드 형성은 직물의 표면이 앞과 뒤가 같다는 가정 하에 최적화 된 표면을 반전하여 생성하였다. 반전을 위한 기준축 수치를 3차원 정보인 섬유의 곡률 반경을 이용하여 계산하였다. 완성된 3차원 솔리드의 두께와 KS K 0506으로 측정된 실제 직물의 두께 값을 비교한 결과 두 값 사이에 유의차가 없는 것으로 나타났다. 또한 솔리드 상에서의 직선 길이와 SEM이미지에서 직선 길이의 t-검정 결과도 유의차가 없어 본 연구의 방법론이 장점이 있음을 알 수 있었다. 그러나 기존 연구들과 마찬가지로 정확한 기공의 표현은 어려웠으며 이는 더 연구하여 할 것으로 사료된다.

본 연구에서 제시된 방법론은 3차원 정보에서 출발한

역설계로 기존의 방법들에 비해 모델링 시간이 단축되고, 좀 더 실질적인 표현이 가능한 장점을 지니고 있다. 추후 이에 더 나아가 기공 크기의 정량화, 잔털의 표현 등 3차원 정보가 좀 더 부여된다면 직물의 3차원 솔리드는 직물의 객관적 분석, 가상 직물 표면의 표현, 미시적 모델링을 통한 열 · 수분 전달 등 객관적이고 정량적인 분석에 다양하게 응용할 수 있을 것으로 기대 된다.

주제어: 직물 미세구조, 3차원 표면 생성, 3차원 솔리드 생성, 메쉬, 레이저 스캔 현미경, 주사 전자 현미경

REFERENCES

- Buchanan, B., Grigorash, J., Quinn, A. T., McIlhagger, A., & Young, C. (2010). Modelling the geometry of the repeat unit cell of three-dimensional weave architectures. *Journal of the Textile Institute*, 101(7), 679-685.
- Chang, K. H., & Chen, C. (2011). 3D shape engineering and design parameterization. *Computer-aided design & applications*, 8(5), 681-692.
- Chepelyuk, E. Choogin, V. Cousens, J. & Hann, M. (2010). Geometric disposition of threads in single-layer woven structures. *International journal of clothing science and technology*, 22(1), 35-48.
- Grabowska, K. E. (2008). A mathematical model of fancy yarn's strength. the first model developed in the world. *Fibres & textiles in eastern europe*, 16(6), 9-14.
- Jung, H. S., Kwon, K. J., & Shin, B. S. (2005). Efficient geometric model reconstruction using contour lines. *Journal of KIISE*. 32(8), 418-425.
- Kim, D. O., Choi, W. K., & Kim, E. A. (2002). Effect of structure and surface characteristics of worsted wool fabrics on the subjective hand - women's spring-fall suit fabrics-. *Journal of the korean society of clothing and textiles*, 26(2), 355-363.
- Lee, H. J., Lee, M. S., Kim, S. J., Cho, D. H., & Kim, T. H. (1998). A study on the thermal comfort to the weight reduction rate and fabric structural parameters of PET fabrics. *Journal of the korean society of clothing and textiles*, 22(7), 816-825.
- Li, S., Warrior, N., Zou, F., & Almaskari, F. (2011). A unit cell for FE analysis of materials with the microstructure of a staggered pattern. *Composites. Part A, Applied science and manufacturing*, 42(7), 801-811.
- Li, S., Zhou, C., Yu, H., & Li, L. (2011). Formulation of a unit cell of a reduced size for plain weave textile composites. *Computational materials science*, 50(5), 1770-1780.
- Li, S., & Zou, Z. (2011). The use of central reflection in the formulation of unit cells for micromechanical FEA. *Mechanics of materials: an international journal*, 43(12), 824-834.
- Militky, J., Travnickova, M., & Bajzik, V. (1999) Air permeability and light transmission of weaves. *International journal of clothing science and technology*, 11(2)(3), 116-125.
- Ozgen, B., & Gong, H. (2011). Modelling of yarn flattening in woven fabrics. *Textile research journal*, 81(15), 1523-1531.
- Ramaswamy, S., Gupta, M., Goel, A., Aaltosalmi, U., Kataja, M., Koponen, A., & Ramarao, B. V. (2004). The 3D structure of fabric and its relationship to liquid and vapor transport. *Colloids and surfaces. A, Physicochemical and engineering aspects*, 241(1/3), 323-333.
- Shim, H. J., & Hong, K. A. (2002). Comparison of hand, thermal and optical properties of woven fabrics made of triangular and circular shaped filaments. *Korean Journal of the science of Emotion & sensibility*, 5(3), 47-52.
- Shin, B. S., Roh, S., Jung, H. S., Chung, M. S., & Lee, Y. S. (2004). Fast reconstruction of 3D human model from contour lines. *Journal of biomedical engineering research*. 25(6), 537-543.
- Song, G. (2011). *Improving comfort in clothing*. UK, Cambridge: Woodhead publishing.
- Strese, H., Kuck, M., Benken, R., Schanzer, S., Richter,

- H., Fluhr, J. W., Meinke, M. C., Benderoth, C., Frankowski, G., Sterry, W., & Lademann, J. (2011). Application of optical methods to characterize textile materials and their influence on the human skin. *Journal of biomedical optics*, 16(4), 046013.
- Sul, I. H., Cho, Y. J., & Park, C. K. (2010). Automatic volumetric measurement of nanofiber webs using metaball approximation based on scanning electron microscope images. *Textile research journal: publication of Textile Research Institute, Inc. and the Textile Foundation*, 80(11), 995-1003.
- Zhang, J., Wang, X., Palmer, S. (2010) Objective Pilling Evaluation of Nonwoven Fabrics. *Fibers and polymers*, 11(1), 115-120.

접 수 일 : 2012. 02. 01.
수정완료일 : 2012. 03. 30.
게재확정일 : 2012. 05. 07.