

Fractal 차원과 면 혼방직물 셔츠의 착용 쾌적감

김정화, 이현영, 홍경희
충남대학교 의류학과

Subjective Wear Comfort and Related Fabric Surface Parameters Including Fractal Dimension of Contact Points

Jeong Wha Kim, Hyun Young Lee, Kyung Hi Hong
Dept. of Clothing and Textiles, Chungnam National Univ.

본 연구에서 직물의 열, 수분 전달특성과 KES-FB 의 역학적 특성치, 직물표면의 fractal dimension 을 측정하여 주관적 의복 착용 쾌적감을 예측하고자 하였다. 실험의복에 사용된 직물은 면 100% 평직물, 면/PET 혼방직물, 피치가공된 면/PET 혼방직물, PET 100% 평직물, 알칼리 감량가공된 PET 100% 크레이프 직물이었으며, 실험의복의 형태는 긴 소매 셔츠로 하였다. 착용실험은 온도 29±0.5℃, 상대습도 75±2%RH, 기류 0.15m/s 를 유지하는 항온항습실에서 실시하였고 36 명의 여성 피험자(20~23 세)들이 참여하였다.

의복 착용감의 하위 구성차원을 파악하기 위해 실험결과를 요인분석한 결과 5 개의 요인으로 추출되었다. 제 1 요인은 체온상승, 수분특성과 관련이 있는 온열·발한감이었으며, 제 2 요인은 무게·두께감, 제 3 요인은 회복특성감, 제 4 요인은 표면접촉감, 제 5 요인은 온냉감으로 구성되었다.

직물의 표면특성을 정량화하는 방법으로 도입한 fractal dimension 의 분석값들과 종래의 가장 보편적으로 이용되어 온 KES_FB 의 표면 특성치들이 주관적 착용쾌적감 예측에 얼마나 기여하는지 비교해 본 결과, 표면접촉감은 fractal dimension, 접촉점들의 총면적, 접촉점들의 평균 axis ratio, MMD, SMD 와 높은 상관을 나타내었다. 또한 종합적 착용쾌적감에 대해서는 SMD 를 제외한 척도들이 유의한 상관을 보였으며, 그 중에서도 fractal dimension 과 접촉점들의 총면적은 0.8 이상의 높은 상관을 나타내었다. 착용쾌적감을 예측하기 위한 회귀분석결과에서는 fractal dimension 만으로 쾌적감의 74%가 설명되었으며 공기 투과도를 첨가하면 두 변수로 $R^2 = .792$ 가 되었다.

1 서론

의복의 착용쾌적감은 여러가지 요인에 따라 좌우되나 피부면과의 접촉에 의한 촉감에 의해서도 크게 영향을 받는다. 이때 접촉감은 직물의 표면특성에 따라 변화되는데 표면특성은 접촉감 이외에도 열·수

분전달 및 외관특성에도 영향을 미친다^{1, 2, 3)}. 이와 같이 표면특성에 대한 중요성은 이미 충분히 인식되었음에도 불구하고 열·수분특성들과는 달리 그 특성을 측정하고 정량화 할 수 있는 방법은 극히 드문 상태이다. 지금까지 가장 보편적으로 사용되어온 방법은 KES-FB 시스템에 의해 표면마찰이나 요철의

정도를 측정하는 것이었다. 그러나 MIU, MMD, SMD 값들만으로 예측할 수 있는 접촉 패적감이나 종합적인 패적감은 그리 크지 않은 것으로 알려져 왔다^{4, 5)}. 이러한 문제점들을 해결하고자 몇몇 연구들에서는 직물과 평면의 접촉면에서 실제 접촉되는 점들을 그clus음을 통해 가시화시킨 후 그 접촉점들의 크기, 빈도, 분포 등의 특성들을 제안한 바 있다^{6, 7)}. 특히 이와 홍의 연구⁷⁾에서는 영상처리기법을 도입하여 접촉점들의 총면적, 평균크기, 평균 Axis Ratio, 평균 Roundness 외에도 접촉점들의 크기 및 분포특성을 한꺼번에 표현할 수 있는 방법으로 접촉점들의 fractal dimension 을 측정·제안하였다. 그러나 이러한 특성치들이 표면접촉 패적감이나 종합적 패적감을 예측하는데 얼마나 효과적인지에 대한 검증은 아직 부족한 상태이다.

2 실험방법

2.1 실험의복에 사용된 직물들의 특성

실험에 사용된 직물들의 특성은 표 1 에 나타내었다. 100% 면직물(COT)과 100% 폴리에스테르(PET), 그리고 그 혼방 직물들이 사용되었으며, 특히 혼방직물에서는 직물의 표면에 기모를 일으킨 피치가공 직

표 1. 실험 직물들의 물리적 특성

기호	섬유조성	직물밀도 (wp × wf)	조직	두께 (mm)	무게 (g/m ²)	통기성 (cm ³ /cm ² /sec)	꼬임	실 굵기	가공
COT	100% cotton	133 × 72	plain	0.441	124.9	18.6	Wp 550 Wf 550	40 Ne	-
CPN	65% polyester 35% cotton	133 × 72	plain	0.460	108.3	29.9	Wp 550 Wf 450	45 Ne	-
CPF	65% polyester 35% cotton	133 × 72	plain	0.498	111.6	24.0	Wp 500 Wf 400	45 Ne	Peach (표면)
CPB	65% polyester 35% cotton	133 × 72	plain	0.498	111.6	24.0	Wp 500 Wf 400	45 Ne	Peach (이면)
PET	100% polyester	210 × 191	plain	0.165	66.2	12.1	Wp 0 Wf 0	wp 75D wf 75D	-
PEC	100% polyester	136 × 72	crepe	0.386	94.2	368.0	Wp2100 Wf2110	wp 75D wf 75D	Alkali Treat.

물표면(CPF)과 그 이면(CPB), 그리고 가공을 하지 않은 직물(CPN)의 차이를 살펴 보았다. 또한 100% 폴리에스테르 직물에서는 직조에서의 차이가 있는 두 직물(PET, PEC)을 비교하였다.

2.2 주관적 패적성 평가 방법

착용 패적감 평가를 위한 실험의복은 앞에서 제시된 직물들로 제작된 여성용 셔츠였다. 효과적인 의

따라서 본 연구에서는 접촉점들의 기하학적 특성에 대한 측정치들과 fractal dimension 이 주관적 패적감과 얼마나 높은 상관성을 가지며 또 예측력은 어느 정도인지를 분석하였다. 그리고, 착용패적감과 관련이 된다고 알려져 있는 기존의 직물 물성치(열·수분전달특성, KES-FB 역학적 특성)이외에 fractal dimension 및 접촉점들의 특성치들을 포함시켰을 때 주관적 패적감에 대한 예측력은 얼마나 상승하는지 등을 알아보고자 하였다. 이를 위해 긴 팔 셔츠를 실험용 직물로 직접 제작하여 주관적 패적감을 평가하였고, 동일한 직물에 대해 KES-FB 시스템에 의한 역학치들과 fractal dimension 등의 표면접촉특성을 측정하여 이들 물성 자료들의 주관적 패적감에 대한 상관성과 예측력을 고찰하고자 하였다.

복들간의 패적감 비교를 위해 표준의복(CPN)을 제작하여 실험시작 초기에 1 회 착용하게 한 후 본 실험의복은 무작위로 착용하게 하였다. 피실험자는 20~23 세의 건강한 여성들로 모두 36 명이였다. 실험은 29±0.5℃, 75±2%RH 의 항온항습실에서 실시하였다. 실험은 20 분의 안정기, 표준의복 착용 후 5 분 운동, 3 분 휴식, 표준의복에 대한 설문작성, 6 개 실험의복 중 하나 착용 후 3 분 운동, 그 실험의복에

대한 설문작성, 다음 실험의복 착용 후 3 분 운동, 설문작성, 나머지 실험 의복들에 대한 실험반복의 순으로 실시되었는데 착용순서 효과를 배제하기 위해 Latin square design 을 하였다.

설문지는 착용 패적감과 관련된 20 개 용어를 추출하여 7 점 척도로 평가하도록 구성하였다. 설문평가결과를 요인분석한 결과 5 개의 요인이 추출되었다 이 중 다른 요인들에 비해 ‘온열감과 발한감에 의한

접촉감' 항목의 설명력이 월등히 높았다. 그 외 무게 (두께), 회복특성, 표면특성, 온냉감 요인이 선정되었다³⁾.

2.3 실험직물의 객관적 특성 측정 방법

(1) KES-FB 시스템에 의한 역학치 측정

축의 길이와 중점에서 수직인 축 길이의 비), roundness 로 측정하였다. 이때 접촉점들의 면적 및 분포에 대한 정보를 fractal dimension 으로 수량화 하였는데 여기에는 box-counting algorithm 을 이용 하였다⁷⁾.

표 2. 주관적 쾌적감 및 객관적 특성 측정 항목 및 기호

주관적 쾌적감	y ₁ : 온열발한감 y ₄ : 표면접촉감	y ₂ : 무게두께감 y ₅ : 온냉감	y ₃ : 회복특성감 y ₆ : 종합적 착용쾌적감
영상분석에 의한 표면특성	x ₁ : Fractal Dimension x ₃ : Average Size of Contact Points x ₅ : Average Roundness of Contact Points	x ₂ : Total Area of Contact Points x ₄ : Average Axis Ratio of Contact Points	
KES-FB 역학특성	x ₆ : MIU (Coefficient of Friction) x ₈ : SMD (Geometrical Roughness) x ₁₀ : 무게 x ₁₂ : 투습도 x ₁₄ : 의복내 습도 x ₁₆ : 습열전달력 x ₁₈ : LT (Linearity of Load Extension) x ₂₀ : RT (Tensile resilience) x ₂₂ : 2HB (Hysteresis of Bending Moment) x ₂₄ : 2HG (Hysteresis of Shear Force at 0.5° of Shear Angle) x ₂₆ : LC (Linearity of Compression-thickness Curve)	x ₇ : MMD (Mean Deviation of MIU) x ₉ : 두께 x ₁₁ : 공기투과도 x ₁₃ : 의복내 온도 x ₁₅ : 건열전달력 x ₁₇ : 액상수분전달력 x ₁₉ : WT (Tensile Energy) x ₂₁ : B (Bending Rigidity) x ₂₃ : G (Shear Stiffness) x ₂₅ : 2HG5 (Hysteresis of Shear Force at 5° of Shear Angle) x ₂₇ : WC (Compressive Energy) x ₂₈ : RC (Compressive Resilience)	

직물표면특성에 대한 역학적 측정치로 가장 자주 이용되는 SMD, MIU, MMD 를 포함하여 10 여개의 KES-FB system 에 의한 역학치들이 측정되었고 열·수분전달특성들도 측정되었다. 측정항목과 그 기호를 표 2 에 정리하였다.

(2) 영상분석에 의한 표면접촉특성치 측정

접촉면에 대한 fractal dimension 및 직물들의 표면접촉특성은 다음의 방법들을 통해 가시화시켜 측정하였다. 실험직물은 종이액자에 끼워 평편하게 고정시키고 여기에 그을음 코팅한 유리판을 약 30 초간 0.16psi 의 압력으로 접촉시켜 접촉면을 가시화 시켰다. 이때의 실험환경은 29±0.5℃, 75±2%RH 의 고온다습한 환경이었다. 스캐너를 이용해 유리판에 접촉시켰던 부분(512×512 pixels)의 영상 2 개와 접촉되지 않았던 부분(100×1023 pixels)의 영상을 64 배로 확대하여 채취하였다. Global Lab Image[®]을 이용하여 비접촉영상의 gray level 의 최저값을 구하고 그 값을 threshold value 로 하여 접촉영상을 binary image 로 변화시켰다. 이렇게 변환된 binary image 들에서의 검은 점들을 접촉점들로 간주하여 이들의 기하학적 특성들을 전체 총접촉면적, 접촉점들의 평균크기, 접촉점들의 평균반경, axis ratio(접촉점의 장

(3) 평가항목 요약 및 기호정의

본 연구에서 다루어질 주관적 쾌적감 요인과 객관적 특성치들을 표 2 에 요약하였다. 그리고 그 기호들을 다음과 같이 정의하였다.

2.4 결과분석방법

본 연구에서는 fractal dimension 을 중심으로 접촉점들의 기하학적 척도들이 주관적 쾌적감과 가지는 상관성 및 예측력을 분석하였다. 특히 이들 척도가 표면특성에 관련된 척도들이므로 주관적 쾌적감 요인들 중에서도 접촉쾌적감과 종합적 쾌적감에 대한 예측 기여도를 주로 고찰하고자 하였다. 이에 대한 Pearson's correlation 에 의한 상관계수를 산출하였고, fractal dimension 및 접촉점들의 기하학적 특성치들과 기준에 주로 이용되어 온 MIU, MMD, SMD 와의 상관계수를 비교해 보았다. 또한 주관적 쾌적성을 예측하기 위한 표면특성 변인으로 일반적인 표면특성 파라미터에 fractal dimension 과 접촉점 특성치들을 포함시키기 전과 후의 주관적 쾌적성에 대한 설명력(R²)을 비교함으로써 이들 척도들의 기여도를 알아보하고자 하였다. 이때 예측식은 stepwise regression 에 의해 산출하였고, 각각의 표

면특성 독립변인들이 쾌적함에 미치는 개별 기여도를 준여과상관계수⁸⁾를 이용하여 비교하였다.

3 실험결과 및 토의

3.1 직물종류별 주관적 쾌적감 및 표면특성치들의 평균 비교

불쾌했던 직물 PET 는 1.87 로 2 차원에 가까운 차원을 나타냈다. PEC 의 경우 표면잔털은 없어 접촉면적이 작지는 않았지만 기공이 다른 직물들에 비해 월등히 커 열·수분전달 등의 효과가 컸을 것으로 예상된다.

3.2 상관관계분석

표 3. 직물종류별 전체적 착용쾌적감 및 표면특성치들의 평균 비교

Fabrics	Subjective Comfort	Fractal Dimension Of Contact Points	Total Area of Contact Points (mm ²)	Average Size of Contact Points (mm ²)	Average Axis Ratio of Contact Points	Average Roundness of Contact Points	MIU	MMD	SMD (μ m)
COT	0.157	1.010	13.400	0.024	0.060	0.830	4.390	0.153	0.015
CPF	0.168	1.020	12.700	0.023	0.060	0.830	3.690	0.180	0.011
CPB	-0.150	1.350	52.500	0.063	0.610	0.770	4.480	0.147	0.014
PEC	0.590	1.420	65.100	0.097	0.540	0.710	6.830	0.165	0.023
PET	-0.876	1.870	205.000	-	-	-	3.610	0.151	0.037

표 4. 주관적 쾌적감과 객관적 특성치간의 상관관계 분석결과

	Fractal Dimension	Total Area of Contact Points	Average Size of Contact Points	Average Axis Ratio of Contact Points	Average Roundness of Contact Points	MIU	MMD	SMD
온열발한감	-0.822**	-0.819**	-0.439*	0.806**	0.637**	0.546**	-0.790**	0.322
무게두께감	0.614**	0.663**	0.601**	-0.654**	-0.705**	-0.095	0.717**	0.367*
회복특성감	0.387*	0.382*	0.719**	-0.260	-0.639**	0.302	0.313	0.672**
표면접촉감	-0.479**	-0.554**	0.015	0.682**	0.263	-0.021	-0.561**	0.575**
온냉감	0.471**	0.466**	0.536**	-0.397*	-0.550**	-0.237	0.474**	0.339
종합적 착용쾌적감	-0.825**	-0.815**	-0.467**	0.786**	0.650**	0.495**	-0.761**	0.315
Fractal Dimension	1.000	0.986**	0.787**	-0.903**	-0.933**	-0.487**	0.927**	0.012
Total Area Of Contact Points	0.986**	1.000	0.725**	-0.959**	-0.912**	-0.399*	0.971**	-0.021
Average Size Of Contact Points	0.787**	0.725**	1.000	-0.525**	-0.940**	-0.363*	0.637**	0.584**
Average Axis Ratio Of Contact Points	-0.903**	-0.959**	-0.525**	1.000	0.784**	0.281	-0.977**	0.174
Average Roundness Of Contact Points	-0.933**	-0.912**	-0.940**	0.784**	1.000	0.362*	-0.856**	-0.362*

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

표 3 은 직물종류별 전체적 주관적 착용의 평가결과와 표면특성치들의 평균값들을 요약한 것이다. 전체적 착용쾌적감은 factor score 의 평균을 요약한 것으로 알칼리가공이 된 crepe 직물인 PEC 가 가장 쾌적한 직물로 나타났고 그 다음은 표면잔털이 비교적 많은 CPF 와 COT 가 쾌적한 것으로 평가되었다. 가장 쾌적하지 않은 직물은 폴리에스테르 100% 평직물인 PET 였다. Fractal dimension 은 1 에서 2 까지의 차원을 가졌는데, 비교적 쾌적했던 COT 와 CPF 는 1 차원에 아주 가까운 값을 나타냈고, 가장

주관적 쾌적감과 전체적인 객관적 물성치들간의 Pearson 상관계수를 산출하였다. 그 결과 중 주요 관심인 영상분석에 의해 얻은 표면특성치들과 Kawabata 시스템에 의한 역학치들 중에서도 표면특성에 관련된 항목들에 대한 것만을 비교하여 표 4 에 정리하였다. 표면접촉감과 가장 높은 상관을 나타낸 척도는 접촉점들의 평균 Axis Ratio 로 0.682 의 상관을 나타내었고 그 다음은 SMD 로 0.575 의 상관을 나타냈다. 그리고 종합적 착용쾌적감에 대해서는 fractal dimension 이 -0.825 로 가장 높은 상관을 보

었는데 이는 fractal dimension 이 2 차원에 가까울수록 불쾌적이고 1 차원에 가까울수록 쾌적한 경향이 있다는 것을 보여준다. 다음으로 높은 상관관계를 가진 것은 총접촉면적, 접촉점들의 Axis Ratio 등의 순으로 나타났다. 따라서 fractal dimension 과 접촉점들의 기하학적 특성들은 KES-FB 에 의한 표면특성치들보다도 표면접촉감이나 종합적 착용쾌적감에 대해 비교적 더 높은 상관관계를 가짐을 알 수 있었다.

3.3 회귀분석결과

기본적 물성치들(두께, 열·수분전달특성 등)과 KES-FB 에 의한 역학적 특성치들만(표면특성치로 접촉점들을 분석한 값들은 제외)을 이용하여 회귀식을 산출한 결과를 식 1 과 식 2 에 나타내었다. 표면접촉감은 두께, SMD 의 두 변수에 의해 전체변량의 약 63%가 설명되었다. 그리고 준여과상관자승의 산출결과, 두께에 의해 30%, SMD 에 의해 24%가 각각 설명되는 것으로 나타났다. 종합적 쾌적감에 대해서는 두께와 LC 이 전체 변량의 77% 정도를 설명해주었고, 이 중 두께에 의해서만 설명되는 부분은 약 50%, LC 에 의해서만 설명된 부분은 약 14%였다. (독립변수 설명은 표 2 참조)

표면접촉감 = $-2.844 + 2.489x_9 + 0.932x_8$ ($R^2=.634$) 식 1
 종합적쾌적감 = $-3.913 + 11.102x_9 + 6.339x_{26}$ ($R^2=.772$) 식 2

KES-FB 에 의한 역학치들외에도 fractal dimension 등의 영상처리에 의한 표면특성 측정치들을 포함시켜 회귀분석을 실시한 결과 식 3 과 식 4 의 회귀식이 얻어졌다. 표면접촉감은 접촉점들의 평균 Axis Ratio 와 MMD 에 의해 총변량의 약 72%가 설명되어졌고 이 중에서도 Axis Ratio 만으로 설명된 부분은 약 40%, MMD 에 의해서만 설명된 부분은 25%로 나타났다. 이러한 결과는 Kawabata system 에 의한 역학치만으로 산출했던 회귀식에 비해 8.1% 높은 설명력을 보인 것이며 표면접촉감을 설명하는 주요변수로 접촉점들의 평균 Axis Ratio 가 단독으로 약 40%의 설명력을 보였다는 점도 주목할만한 것이었다. 이러한 결과는 접촉점들의 평균 Axis Ratio 가 표면접촉감을 예측하는데 있어 좋은 척도가 될 수 있음을 시사해 준다. 한편 종합적 쾌적감은 fractal dimension 과 공기투과도의 두 변수에 의해 총변량의 약 79%가 설명되었으며, 이것은 fractal

dimension 등의 변수들을 포함시키기 전보다 약 2% 정도 상승된 것이다. 특히 이중에서도 fractal dimension 만으로 설명되는 부분은 약 74%로 높게 나타나 종합적 쾌적감을 예측함에 있어 fractal dimension 은 매우 좋은 단일척도가 될 수 있음을 보여 주었다.

표면접촉감 = $-13.184 + 18.657x_4 + 152.464x_7$ ($R^2=.715$) 식 3
 종합적쾌적감 = $6.333 - 2.435x_1 + 0.002x_{11}$ ($R^2=.792$) 식 4

4 요약

본 연구에서는 영상분석 기법을 통해 얻은 직물의 접촉 표면특성치들, 즉 fractal dimension, 접촉점들의 총접촉면적, 접촉점들의 평균크기, 평균 Axis Ratio, Roundness 가 주관적 쾌적감의 예측, 특히 표면접촉감과 종합적 착용 쾌적감에 대해 얼마나 높은 상관관계를 가지는지를 알아 보았다. 그 결과 기존의 KES-FB 시스템에 의한 표면특성치들보다도 표면접촉감이나 종합적 착용쾌적감에 대해 더 높은 상관관계를 가졌으며 이중에서도 fractal dimension 은 종합적 쾌적감과 매우 높은 상관관계를 가졌는데 접촉점들이 1 차원에 가까운 직물일수록 쾌적하고 2 차원에 가까울수록 불쾌한 직물임을 보여주었다. 이것은 덥고 습한 환경에서 접촉특성의 중요성을 시사해 주고 있다. 또한 fractal dimension 은 회귀분석에 있어서도 높은 예측력을 보였으며 표면접촉감에 있어서는 접촉점들의 평균 Axis Ratio 가 종합적 착용쾌적감에 대해서는 fractal dimension 이 상당히 우수한 예측력을 가지는 척도로 나타났다.

참고문헌

- 1) Fourt, L. and Hollies, N.R.S., Clothing, Marcel Dekker New York, 1970
- 2) Hollies, N.R.S, Goldman, R.F., Clothing, Ann Arbor Science, Michigan, 1977
- 3) 김정화, 숙명여자대학교 박사학위논문, 1996
- 4) 박미영, 충남대학교 석사학위논문, 1994
- 5) 정연희, 충남대학교 석사학위논문, 1996
- 6) Morooka, H.의 TRJ, 66(2), 77~82, 1996
- 7) 이현영, 홍경희, 한국섬유공학회지, 35(5), 294~300, 1998
- 8) 박광배, 변량분석과 회귀분석, 학지사, 214~217, 1999