

노즐시험법을 이용한 면/폴리에스터 직물의 촉감 방정식

Equation for handle assesment of cotton and polyester fabrics using nozzle extraction testing method

윤창현* · 전대엽* · 홍철재*†

Chang-Hyun Yoon* · Dae-Yeop Chun* · Cheol-Jae Hong*†

승실대학교 공과대학 유기신소재 · 파이버공학과*

Department of Organic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University*

Abstract

Fabric extraction force measured through nozzle tester reflects a comprehensive fabric handle. Nozzle tester takes advantage of low cost, and simple and fast operating procedure compared with KES system. The paper is to develop the semi-empirical equation for assessment of the fabric handle measured with nozzle tester on the basis of friction law. The variables considered in the equation are fabric's frictional coefficient and drape coefficient which is determined in terms of fabric bending length and shear strain. The experiment of 12 different cotton and polyester fabrics and comparisons between experimental and theoretical results were conducted. Fabrics of high frictional coefficients, high bending length, and low shear strain showed high fabric handle forces (low handle values). The handle forces predicted from the equation agreed well with those measured, which indicates that the equation can be used to objectively evaluate fabric handle with respect to fabric's own properties and also provide an information for fabric design to improve the handle performance.

Keywords : handle, fabric, friction, bending, shear, drape

요약

노즐시험기로 측정되는 직물의 당김 힘은 직물이 갖는 포괄적인 촉감을 나타낸다. 노즐시험기는 기존 KES 시스템보다 저가이며, 측정에 있어서 절차가 간단하고 빠르다. 본 연구에서는 노즐시험기로 측정되는 직물의 촉감을 정량적으로 평가하기 위해 마찰법칙을 기초로 하여 반 실험적 촉감 방정식을 개발하였다. 모델 식에서 고려된 변수들은 직물의 마찰계수, 그리고 직물의 굽힘 길이와 전단 신도에 의해 결정되는 직물의 3차원적 변형 특성을 나타내는 드레이프 계수이다. 12 종류의 서로 다른 물성의 면과 폴리에스터 직물들을 사용하여 실험 측정한 촉감 값과 모델 방정식으로부터 예측한 촉감 값들을 비교 분석하였다. 높은 마찰계수, 높은 굽힘 길이, 그리고 낮은 전단 신도를 갖는 직물일수록 높은 촉감 마찰력, 즉 낮은 촉감 성능을 보여주었다. 실험 측정한 촉감 값과 모델 식으로부터 계산한 값들 사이 잘 일치하였으며, 이와 같은 결과는 모델 식을 사용하여 직물의 고유 물성들로서 촉감의 객관적인 예측이 가능함과 더불어 촉감 성능의 향상을 위한 직물설계에 있어서도 유용한 정보를 제공할 수 있음을 보여준다.

주제어 : 촉감, 직물, 마찰, 굽힘, 전단, 드레이프

† 교신저자 : 홍철재 (승실대학교 공과대학 유기신소재 · 파이버공학과)

E-mail : cjhong@ssu.ac.kr

TEL : 02-820-0625

FAX : 02-817-8346

1. 서론

최근 의류 패션 트렌드에 따른 소비자의 구매성향의 변화로 의류의 고품질화, 고부가가치화, 특성화 등이 이루어지며, 그 결과 직물의 촉감 성능은 소비자의 섬유 제품 인식과 선택에 있어서 매우 중요한 요인들 중 하나로 작용하게 되었다. 촉감은 인간이 느끼는 감성으로 직물의 품질을 결정하는 중요한 요소이지만 대부분 직물 생산 및 상거래의 현장에서는 전문가들의 관능적인 평가에 의존하고 있다. 따라서 이들 전문가들이 요구하는 촉감에 맞추어 직물을 설계 생산하고 소비자들간 상거래를 위한 의사소통을 원활하게 하기 위해서는 촉감에 대한 평가를 측정할 수 있는 물성 값들로 객관화시킬 필요가 있다.

Kawabata(1980)는 직물 촉감의 객관적인 평가를 위해 Kawabata Evaluation System(KES)을 개발하였다. 이 시스템은 촉감과 관련된 16종류의 서로 다른 물성들의 측정법을 제공하고 인간의 관능량을 측정한 물성들의 함수로 구성된 촉감 평가치(Hand Vaule)의 양으로 대응시키는 방식으로 촉감 평가의 주요 수단으로 사용되어 왔다(Kawabata, Postle, Niwa, 1982). 그러나 KES 시스템은 다양한 물성들의 복잡한 측정과정으로 많은 시간이 소요되며, 특히 고가인 이유로 중소 봉제 업체 및 상인들이 구입 사용하는데 많은 제한이 따른다. 이와 같은 제한 요소들을 극복하기 위해 오래 전부터 상인들이 사용한 경험적인 촉감 측정 방식을 모사한 경제적이고 간단 신속하게 측정할 수 있는 노즐 시험기가 개발되었다(Alley, McHatton, 1978; Grover, Sultan, Spibak, 1993). 상인들은 한 손(hand)으로 직물을 원형으로 굽혀 잡고 다른 손으로 직물을 잡아 당겨 손에서 느끼는 감각으로 촉감을 평가하였다. 노즐 시험기에서는 원형으로 굽혀진 손의 모사를 위해 일정한 구경의 노즐을 사용하며, 직물의 당김과 손에서 느끼는 감각 측정을 위해 인장 시험기를 사용한다. 노즐 시험기는 직물 표면에서의 고유 마찰성질(마찰계수)을 측정하기 위해 직물의 2차원적 수평 평면에서 실행하는 슬라이딩 시험기(sliding tester)와는 다르게 손안의 구조를 모사한 노즐 내부에서 직물의 마찰계수와 더불어 굽힘, 전단 등 여러 역학적 성질들에 따라 달리 나타나는 3차원적 변형을 통해 발생하는 마찰력을 측정하며, 이 때 측정된 최대 마찰력 (handle force)은 직물의 포괄적인 촉감 지수(overall hand value)를 나타낸다(Grover, Sultan, Spibak, 1993; Kim,

Slaten, 1996, 1999). 노즐을 이용한 촉감 마찰력 시험은 다양한 직물의 기계적 물성이 반영되어 나타나는 드레이프 시험과 매우 밀접한 관계가 있다(Pan, 2007). Kim과 Slaten(1996, 1999)는 노즐시험기로 측정되는 촉감 마찰력에 영향을 미치는 직물의 물성들을 실험을 통해 고찰하여 보았다 실험에서 고려된 직물의 물성은 기계적 인자로 직물의 무게, 두께, 굽힘 강성, 드레이프 성질, 그리고 표면적 인자로 직물의 정적, 동적 마찰계수들이었다. 실험에서 촉감 마찰력은 직물의 표면적 물성보다 주로 기계적 물성에 의해 크게 영향을 받았다. 기계적 물성의 인자들 사이 회귀 분석한 결과 상호 매우 높은 상관성을 나타내었으며, 마찰가지로 표면적 물성의 인자들 사이에서도 같은 결과를 보여주었다. 인자들 사이 높은 상관성은 상호 의존성을 나타내는 것으로 이들 중 한 가지 인자로써 대표할 수 있다. 따라서 촉감 마찰력은 직물 표면 특성의 경우 정적 또는 동적 마찰계수 중 한 가지 마찰계수, 그리고 기계적 물성의 경우 무게, 두께, 굽힘 성질들이 종합적으로 반영되어 나타나는 드레이프 강성(drape stiffness), 즉 드레이프 계수를 대표 인자로 선택하여 분석될 수 있겠다.

본 연구에서는 직물 구조에 따른 촉감의 정량적 분석과 더불어 제품 성능 향상을 위한 직물설계에 유용한 정보를 제공하기 위해 상호 독립적인 물성인 마찰계수와 드레이프 계수로써 촉감 마찰력의 방정식을 개발하고자 한다.

2. 이론 모델

Figure 1은 노즐장치로써 촉감 마찰력(handle force)을 측정하기 위한 실험 장치를 도시화하여 나타낸 것이다. 직물이 노즐을 통과할 때 인장 시험기에서 측정되는 힘은 직물과 노즐 사이에서 발생하는 마찰력으로 주어진다. 마찰력(F)은 마찰법칙에 의해 직물이 노즐 벽면에 작용하는 수직 힘(N)에 비례한다.

$$F = \mu N \quad (1)$$

여기서 μ 는 마찰계수이다.

직물의 노즐 벽면에 수직 작용하는 힘은 직물의 드레이프 성질과 밀접한 연관성이 있다. 본 연구에서는 드레이프 계수(D)를 식(2)와 같이 정의한다.

$$D = \frac{A_s - A_d}{A_D - A_d} \quad (2)$$

여기서 A_D 는 직물 시험편의 면적, A_d 는 드레이프 시험기의 지지원판의 면적, A_s 는 시험편의 실제 투영 면적이다.

식(2)의 드레이프 계수(D)는 드레이프 강성을 나타내는 것으로 드레이프 계수가 높은 직물은 굽힘 강성 및 전단 강성이 높아 드레이프가 잘 이루어 지지 않는 뻣뻣한 상태이며, 이와 같은 직물이 노즐을 통과할 경우 노즐 벽면에 작용하는 직물의 수직 힘이 증가하여 높은 값의 마찰력, 즉 낮은 촉감을 나타낸다. 반면에 드레이프 계수가 낮은 직물은 유연하여 노즐 벽면에 작용하는 힘을 감소시켜 낮은 마찰력, 즉 높은 촉감을 나타낼 수 있다. 이와 같이 노즐 벽면에 작용하는 직물의 수직 힘은 드레이프 계수에 비례하므로 본 연구에서는 식 (1)을 수정하여 다음과 같이 촉감 마찰력의 모델식을 설정한다.

$$F = a\mu^b D^c \quad (3)$$

여기서 a , b , c 는 실험 상수들이다.

식(3)에서 드레이프 계수(D)는 직물의 굽힘 길이와 함께 전단 신도에 의해 결정되며, 이에 대한 드레이프 방정식이 보고되었다(Hearl, Grosberg, Backer, 1969). 드레이프 방정식을 모델식(3)에 대입할 경우 촉감에 대한 평가지수로 사용되는 촉감 마찰력을 직물의 고유물성들인 마찰계수, 그리고 굴곡 및 전단 성질들의 함수로 유도할 수 있다.

3. 실험

3.1. 촉감 마찰력

직물의 촉감을 측정하기 위해 Grover, Sultan, Spibak (1993)들이 개발한 노즐 시험 장치를 사용하였다 (Figure 1). 직물 시료를 직경 25cm의 원형 형태로 준비하였고 직경과 높이가 각각 2cm인 노즐을 통해 인장 시험기를 사용하여 분당 50cm의 속도로 당겨 촉감 마찰력을 측정하였다.

Figure 2는 대표시료에서 측정한 마찰력의 거동 형태를 낸 것이다. 직물이 인장 시험기에 의해 노즐을 통과하여 빠져나올 때 굽힘과 전단 변형과 동시에 노즐 내벽을 압축하고 문지르면서 진행하게 된다.

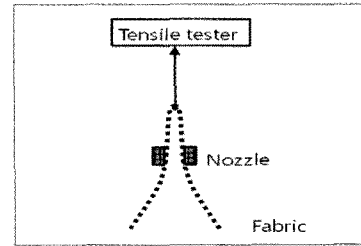


Figure 1. Schematic diagram of extraction fabric handle measurement apparatus

이와 같은 복잡한 변형 과정은 직물의 종류에 따라 다양한 형태의 마찰 곡선을 보여 주게 된다. 본 연구에서는 마찰 곡선에서 직물 촉감의 포괄적인 평가 지수로 사용될 수 있다고 보고된 최대 마찰력(handle force)을 측정하였다(Grover, Sultan, Spibak, 1993; Kim, Slaten, 1996, 1999).

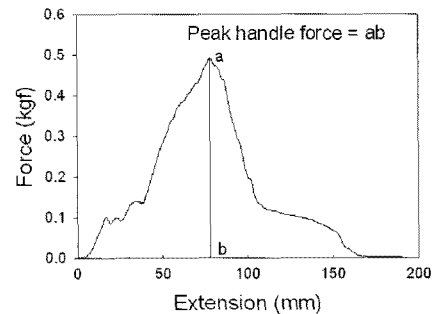


Figure 2. Representative extraction curve of fabric tested with fabric handle apparatus (extraction rate on Instron®: 50 cm/min.)

3.2. 마찰 계수

직물의 평균 마찰계수(μ)를 sliding 마찰시험기의 일종인 KES-FB4 표면측정기로 측정하였다(Kawabata, 1980). 실험에서 직물에 수직으로 주어지는 하중은 400gf이고 직물의 sliding 속도는 1min./sec.이다.

3.3. 드레이프 계수

직경 25cm의 원형 직물을 준비하고 직경 12.5cm의 시험기의 원판에 지지하여 드레이프된 직물의 투영 면적을 측정하였다. 드레이프 계수(D)는 식(2)로부터 계산된다.

3.4. 굽힘 길이

직물의 굽힘 길이는 FAST-2 굽힘 시험기로 측정하였다(De Boos, Tester, Ly). 직물을 폭 5cm로 절단하여 시료를 준비한다. 시료가 시험기에서 41.5° 경사로 놓여질 때 시료의 굽힘길이(C)를 측정한다. 굽힘 길이는 세 가지 서로 다른 직물 방향, 즉 경사, 위사, 그리고 45°의 바이어스 방향에서 각각 측정하여 식(4)와 같이 평균 굽힘 길이를 계산한다.

$$C = \frac{1}{4}(C_1 + C_2 + 2C_b) \quad (4)$$

여기서, 아래 첨자 1, 2, b는 각각 직물의 경사, 위사, 45°의 바이어스 방향을 나타낸다.

3.5. 전단 신도

직물의 전단 특성을 FAST-3 신도시험기로 측정하였다(De Boos, Tester, Ly). 시료를 경사, 또는 위사 방향으로부터 45°인 바이어스 방향으로 13cm×5cm 크기로 준비한다. 시료의 폭 5cm에 5gf/cm 하중으로 인장하여 직물 바이어스 방향의 신도(S)로 전단성을 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

촉감을 평가하는데 있어서 모델식(3)의 적용성을 확인하기 위해 시장에서 판매되는 다양한 종류의 의류용 면, 폴리에스테르 직물들을 사용하였다. 이들 시료에서 촉감 마찰력과 이와 연관한 물성들을 측정하여 Table 1에 표시하였다.

시장 판매되는 직물의 경우 직물 구조와 가공처리법 등을 명기하지 않아 표에서 나타내지 못하였다.

식(3)에서 알 수 있듯이 촉감 마찰력은 직물과 노즐 표면 사이의 마찰계수와 더불어 드레이프 계수로써 결정된다. Figure 3은 직물의 드레이프 계수와 촉감 마찰력의 상관관계를 나타낸 것이다. 드레이프 계수가 증가할수록 촉감 마찰력이 증가하는 경향을 보여주나 상관성은 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 대부분의 직물시료에서 드레이프 계수가 증가할수록 직물의 노즐내벽에 대한 수직 힘의 증가로 촉감 마찰력이 증가할 것이나, 일부 직물의 경우 높은 드레이프 계수를 갖고 있음에도 불구하고 상대적으로 마찰계수가 낮아

Table 1. Fabric characteristics

Fabric code	Fiber content %	Peak force (kgf)	<i>u</i>	<i>D</i>	<i>C</i> (mm)	<i>S</i>
I-c	cotton 100%	0.779	0.082	0.42	15.08	0.027
II-c	cotton 100%	0.4925	0.063	0.38	14.45	0.021
III-c	cotton 100%	0.0458	0.037	0.29	12.46	0.096
IV-c	cotton 100%	0.0428	0.042	0.23	10.96	0.101
V-c	cotton 100%	0.0479	0.036	0.25	12.62	0.107
I-p	PET 100%	0.0548	0.016	0.50	16.33	0.008
II-p	PET 100%	0.0642	0.023	0.32	10.75	0.014
III-p	PET 100%	0.0605	0.017	0.38	13.17	0.012
IV-p	PET 100%	0.0132	0.013	0.41	11.67	0.007
V-p	PET 100%	0.1534	0.039	0.42	12.97	0.009
VI-p	PET 100%	0.1475	0.056	0.33	11.5	0.012
VII-p	PET 100%	0.0976	0.025	0.34	11.08	0.017

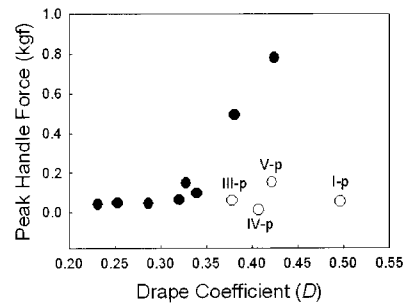


Figure 3. Relationship of peak handle forces and drape coefficient

촉감 마찰력이 감소하기 때문이다.

Figure 4는 직물의 마찰계수와 촉감 마찰력의 상관관계를 나타낸 것이다. 마찰계수가 증가할수록 마찰력이 대체적으로 증가하는 경향을 보여주고 있으나, 일부 직물의 경우 높은 마찰계수에도 불구하고 상대적으로 낮은 드레이프 계수로 예상 값보다 낮게 나타났다.

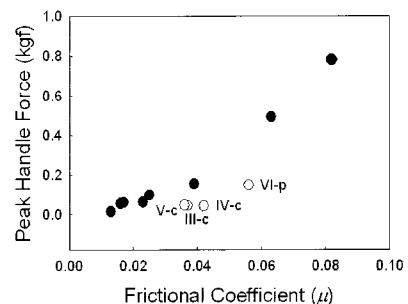


Figure 4. Relationship of peak handle forces and frictional coefficients

모델식(3)을 사용하여 마찰계수와 드레이프 계수가 촉감 마찰력에 미치는 영향을 고찰하였다. 모델식의 실험상수 값들을 구하기 위해 식의 양변에 로그를 취하여 로그 변수들 사이 선형화된 방정식을 만들었고 이들 식에서 다중 변수 회귀(regression for multiple variables)법을 적용하여 로그 변수들의 계수 값, 즉 실험상수 값들을 계산하였다. 주어진 시료들에서 계산한 상수 값들을 적용한 촉감 마찰력의 방정식은 식(5)와 같다.

$$F = 501\mu^{1.75}D^{2.48} \quad (5)$$

Figure 5는 식(5)으로부터 계산한 촉감 마찰력 값과 실험 측정된 값들 사이 회귀 분석한 결과를 나타낸 것으로 높은 상관성을 보여준다.

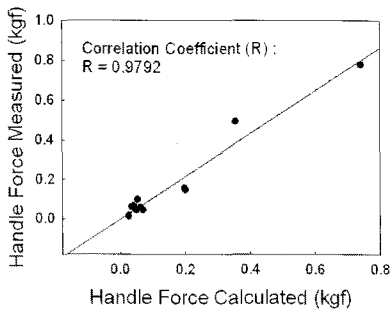


Figure 5. Correlation between peak handle forces calculated and measured

모델식(3)에서 드레이프 계수(D)는 굽힘 길이(C)와 전단신도(S)에 의해 결정된다(Hearl, Grosberg, Backer, 1969). Figure 6은 드레이프 계수와 굽힘 길이의 관계를 나타낸 것이다. 굽힘 길이가 증가할수록 드레이프 계수가 증가하는 경향을 보여주었으나 상관성은 낮게 나타났다.

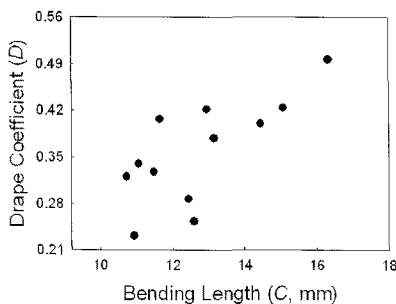


Figure 6. Relationship of draping coefficient and bending length

Figure 7은 드레이프 계수와 전단신도의 관계를 나타낸 것이다. 전단신도가 증가할수록 드레이프 계수

가 감소하는 경향을 보여주었으나 상관성은 낮았다. 높은 굽힘 길이를 갖는 직물의 경우 굽힘이 잘 이루어지지 않아 높은 드레이프 계수, 즉 낮은 드레이프성을 나타낸다. 그러나 같은 굽힘 길이의 직물들이라도 이들이 높은 전단신도를 갖고 있는 경우 낮은 전단신도에 비해 상대적으로 드레이프 마디를 쉽게 형성하려는 성질을 갖고 있어 드레이프 성능은 증가하게 된다. 따라서 직물의 드레이프성은 굽힘성과 전단성 중 어느 하나로 분석될 수 없으며 모두 고려되어야 한다.

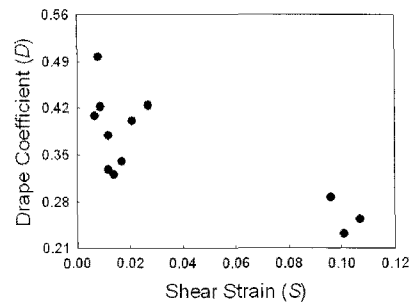


Figure 7. Relationship of draping coefficients and shear strain

본 연구에서는 굽힘 길이와 전단성질이 드레이프 계수에 미치는 영향과 이들 관계식을 고찰하기 위해 보고된 실험식(6)을 인용하였다(Hearle, Grosberg, Backer, 1969).

$$D = \alpha + \beta C + \gamma S \quad (6)$$

여기서 α , β , γ 는 실험 상수이다.

식 (6)의 실험 상수 값들을 주어진 시료에서 다중 변수 회귀법을 사용하여 식(7)과 같이 구하였다.

$$D_{cal} = 0.0752 + 0.057 C - 1.2827 S \quad (7)$$

Figure 8은 식(7)로부터 계산한 드레이프 계수 값 (D_{cal})과 실험한 값(D)의 선형회귀곡선을 나타낸 것으로 높은 상관성을 보여준다.

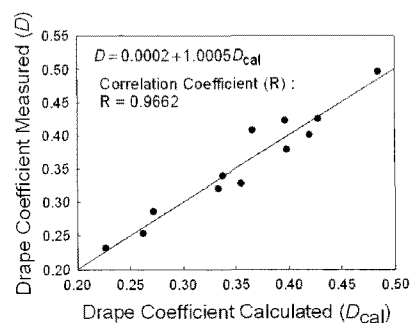


Figure 8. Correlation between draping coefficients calculated and measured

식 (7)으로부터 계산된 드레이프 계수 값(D_{cal})과 마찰계수 값(μ)들을 이용하여 모델식(3)의 실험상수 값들을 구하였다. 이들 상수 값을 적용한 촉감 마찰력은 식(8)과 같다.

$$F = 429\mu^{1.65}D_{cal}^{2.68} \quad (8)$$

$$= 429\mu^{1.65}(0.0752 + 0.057C - 1.2827S)^{2.68}$$

Figure 9는 식(8)로부터 계산한 촉감 마찰력 값과 측정된 값들 사이 선형회귀곡선을 나타낸 것으로 높은 상관성을 보여준다. 이와 같은 결과로부터 촉감 마찰력은 식(8)과 같이 직물의 표면특성인 마찰계수와 기계적 물성인 굽힘 길이와 전단 신도로써 예측될 수 있음을 알 수 있다. 또한 전문가 집단이 촉감 평가한 여러 등급의 직물들을 표준시료로 사용하여 촉감 방정식을 유도할 경우 이 식은 직물 촉감의 객관적 분석과 더불어 촉감 향상을 위한 직물의 설계 및 생산에 유용한 정보를 제공할 수 있겠다.

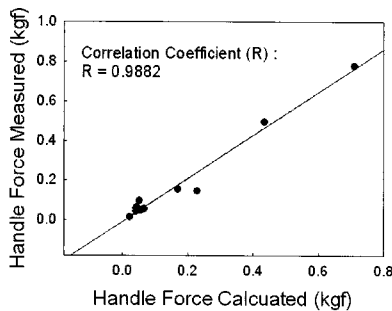


Figure 9. Correlation between peak forces measured and calculated from the equation (8)

5. 결론

직물의 촉감 평가를 위해 노즐 장치로써 촉감 마찰력을 측정하였다. 낮은 마찰계수와 높은 드레이프 성질을 갖는 직물일수록 낮은 촉감 마찰력, 즉 우수한 촉감 성능을 보여주었다. 본 연구에서는 직물 촉감의 정량적 평가를 위해 촉감 마찰력의 모델식을 개발하였다. 모델식은 마찰법칙에 기초하여 마찰계수와 드레이프 계수들의 파워 함수 형태로 설정하였고, 여기서 드레이프 계수는 굽힘 길이와 전단신도의 선형방정식으로 주어졌다. 모델식으로부터 예측한 촉감 마찰력 값과 실험 측정된 값들 사이 높은 상관성을 보여 주었다. 이와 같은 결과는 촉감 마찰력을 상호 독립적인 변수인 직물의 마찰계수, 굽힘길이, 그리고 전

단신도로써 정량적으로 평가할 수 있음을 보여 주는 것으로 전문가 집단이 평가한 표준화된 촉감 직물들을 사용할 경우 이들 시료들로부터 유도된 모델식은 직물의 촉감의 객관적 평가와 더불어 성능 향상을 위한 직물설계에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

Alley, V.L., & McHatton, A.D. (1978). *Nozzle Extraction Process and Handmeter for Measuring Handle*. United States patent 4,1003,550, August 1.

De Boos, A., Tester, D., Ly, N. *The FAST System for the Objective Measurement of Fabric Properties: Operation, Interpretation and Application*, CSIRO Division of Wool Technology, Australia.

Grover, G., Sultan, M.A., Spibak, S.M. (1993). A Screen Technique for Fabric Handle. *J. textile Inst.*, .84, 1-9.

Hearle, J.W.S., Grosberg, P., Backer, S. (1969). *Structural Mechanics of Fibers, Yarns, and Fabrics*, Wiley & Son, NY, 387-410.

Kawabata, S. (1980). *The Standardization and Analysis of Hand Evaluation, 2nd Ed.* The Textile Machinery Society of Japan, Osaka.

Kawabata, S., Postle, R., Niwa, M. (1982). *The Objective Specification of Fabric Quality, Mechanical Properties and Performance*. The Textile Machinery Society of Japan, Osaka.

Kim, J.O., & Slaten, B.L. (1996). Objective Assessment of Fabric Handle in Fabrics Treated with Flame Retardants. *J. Testing and Evaluation*, 24, 223-228.

Kim, J.O., and Slaten, B.L. (1999). Objective Evaluation of Fabric Hand. *Textile Research J.*, 69, 59-67.

Pan, N. (2007). Quantification and Evaluation of Human Tactile Sense Towards Fabrics. *Int. J. of Design & Nature*, 1, 48-60.

원고접수 : 10.11.06

수정접수 : 10.12.16

게재확정 : 10.12.29