

벨벳織物의 外觀特性和 파일纖維의 三次元的 모델링

金鍾俊* · 全東源** · 李政珉

梨花女子大學校 衣類織物學科 教授*

梨花女子大學校 衣類織物學科 教授**

梨花女子大學校 大學院 衣類織物學科 博士課程

Appearance Characteristics of a Velvet Fabric and 3-Dimensional Modeling of Pile Fibers

Kim, Jong-Jun* · Jeon, Dong-Won** · Lee, Jung-Min

Prof., Dept. of Clothing and Textiles, Ewha Womans University*

Prof., Dept. of Clothing and Textiles, Ewha Womans University**

Dr.course ,Dept. of Clothing and Textiles, Graduate School, Ewha Womans University

Abstract

Velvet fabric has soft touch, subtle luster, and good draping property. Three-dimensional simulated models of cylindrical monofilaments constituting the velvet fabric were prepared. Image analysis techniques were used to measure the reflected light from the surface of velvet fabrics and the simulated images of the pile fibers. As the angle of incidence increased, the reflectance from the velvet surface became lower. Most of the reflection came from the tips of the cut piles. Crushed velvet type also was modeled using slant cylinder models on top of a base plate.

Key words : Velvet(벨벳), Pile(파일), Ray Tracing(광선추적), Image Analysis(화상분석)

I. 서론

직물의 소재 선정에 있어서 감성적인 특성과 고부가가치성을 중시하는 경향이 최근 두드러지고 있다. 벨벳은 부드러운 느낌, 특유의 광택, 우수한 착용감 및 인체의 곡면을 잘 나타내는 실루엣의 특성으로 인해 의류용소재로 널리 쓰이고 있

다.¹⁾ 또한 우수한 드레이프성과 깊은 색상으로 인하여 인테리어용 소재로도 널리 쓰인다. 벨벳 직물은 파일직물 혹은 침모직물의 한 종류로서, 짧은 섬유 즉 절단된 파일(cut pile)섬유가 지포(地布)에 수직으로 밀생한 입체적인 직물이며, 지조직(地組織)에 파일경사와 함께 제직된 후 절단한 것이다. 이중직물법에 의해 제조하는 경우,

상하 2매의 지조직을 형성하고 파일용 경사가 2매의 지조직의 지위사와 교대로 교차하면서 2매의 직물 간을 왕래하고 그 사이를 절단하여 얻게 된다. 철사법에 의해 제조하는 경우, 직조시 위사 대신 파일용 경사에 철사를 삽입하여 직조한 후 철사를 제거하는 과정에서 끊게 되면 벨벳직물을 얻게 된다.^{2,3)}

한편, 벨벳을 습윤 함침한 상태에서 크러쉬가공을 행하게 되면 표면의 파일이 특징적인 무늬를 형성하여 독특한 무늬의 광택이 있는 벨벳을 얻게 된다. 이 직물의 표면에서 각 파일섬유는 다른 임의의 각도로 배치되어 광원의 조사방향이나 관찰방향에 따라서 그 광택의 이방성이 뚜렷이 나타내게 된다. 이와 같이 벨벳은 곡면이 있는 입체에 drape되거나 굽힌 상태가 될 때 접힌 부분에서의 파일섬유의 각도에 변화가 발생하여 광학적 이방성을 나타내게 되며, 독특한 벨벳의 광택을 제공하게 된다.

본 연구에서는 벨벳직물을 대상으로 하여 광학적인 특성을 측정하고, 벨벳의 파일섬유를 모사하여 3차원적인 모델을 구성하고 이를 특정 관찰 조건 하에서 ray tracing을 수행하여 광학적인 변화를 모사하였다.

II. 이론적 배경 및 실험

1. 섬유 및 직물의 광학적 특성과 모델링

합성섬유 특히 장섬유로 구성된 직물은 일반적으로 과도한 광택으로 인하여 외관품위가 낮다고 인식되고 있다. 벨벳과 같은 첨모직물은 광택이 극히 절제되어 있으나 임의의 입체 위에 얹혀져 있는 벨벳과 같이 특정 관찰 상태에서는 독특한 광택의 변화가 발생하여 우수한 외관을 제공하는 것으로 알려져 있다. 한편 벨벳의 평면에 수직으로 입사된 광선은 평행한 파일섬유 사이에서 반사와 흡수가 무수히 반복되어 표면으로 반사되어 나오는 광량은 상당히 낮아지게 된다. 이러한 특

성을 활용하여 산업용으로 사용하는 경우 저반사용 패널의 주요 자재로 쓰이기도 한다.

섬유는 단면적이 극히 작고 길이가 긴 이방성 재료이다. 따라서 섬유 수준의 마이크로 스케일로 관찰하는 경우, 광원에 대한 특성은 일반적인 평면적 재료에 비해 극히 이방성이 강하다고 할 수 있다. 또한 섬유를 포함한 유전체는 프레넬(Fresnel)식이 성립된다. 즉 입사각에 따라 반사율과 투과율이 변화하게 된다.

최근 컴퓨터에 의한 모사기법의 발전에 따라 섬유 및 의류소재분야에서의 적용이 활발해지고 있다. 직물 및 편성물의 외관모사 외에도 동적인 변화과정에 대한 활용예가 발표되고 있다.⁴⁻⁹⁾

섬유나 실은 직물 혹은 편성물의 조직 내에서 크림프나 루프(loop) 등 복잡한 곡선을 형성하며 단면의 형상도 불규칙하게 된다. 따라서 이를 모사하기 위한 방법중 하나로 NURBS(Non-uniform Rational B-Splines)의 다양한 형태를 나타낼 수 있는 수학적 표현방법을 사용할 수 있다.¹⁰⁾ 한편 원주형의 표면도 이를 사용하여 입체로 구성할 수 있다.

Whitted¹¹⁾는 굴절, 반사, 투과를 표현하는 조명모델을 다음과 같이 제시하였다.

$$I_{\lambda} = I_{a\lambda}k_a O_{a\lambda} + \sum_{1 \leq i \leq m} S_i f_{ant} I_{p\lambda} [k_d O_{d\lambda} (\bar{N} \cdot \bar{L}_i) + k_s (\bar{N} \cdot \bar{H}_i)^n] + k_r I_{r\lambda} + k_t I_{t\lambda} \quad (\text{Equation 1})$$

여기서 $I_{r\lambda}$ 와 $I_{t\lambda}$ 는 각기 반사광과 투과광의 intensity이다. K_i 는 0~1사이의 값을 가지는 상수이다. S_i 는 그 점에서의 광차단계수이며, f_{ant} 는 광원 감쇠계수이다. $O_{a\lambda}$ 는 확산색상성분, \bar{N} 는 법선벡터, \bar{L} 는 광원방향의 방향벡터, \bar{H} 는 halfway 벡터이다.

한편 조명에서의 기본적인 양인 포톤(photon)에 대해 다음과 같이 살펴보자.

파장이 λ 인 포톤의 에너지 e_{λ} 는

$$e_{\lambda} = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{Equation 2})$$

여기서 Planck상수 $h \approx 6.63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ 이고 c 는 광속이다.

파장이 λ 인 n_λ 개 포톤의 스펙트럼복사에너지 Q_λ 는

$$Q_\lambda = n_\lambda e_\lambda = n_\lambda \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{Equation 3})$$

복사에너지 Q 는 포톤의집합적인 에너지이고 파장범위에 걸친 스펙트럼에너지를 적분함으로써 얻어진다.

$$Q = \int_0^\infty Q_\lambda d\lambda \quad (\text{Equation 4})$$

광선이 통과하는 경로에서의 적분값을 계산하기 위하여 임의의 함수를 선택하는 대신에 Metropolis Light Transport(MLT)방법을 사용하게 되면 미지의 함수에 비례하는 샘플의 분포를 생성하게 된다.¹²⁾

$$a(y|x) = \min\left\{1, \frac{f(y)T(x|y)}{f(x)T(y|x)}\right\} \quad (\text{Equation 5})$$

단, $a(y|x)$ 는 경로 x 가 주어졌을 때 경로 y 를 승인할 확률이다. $f(y)$ 는 경로 y 에 기인하는 복사휘도이며 $T(y|x)$ 는 경로 x 가 주어졌을 때 경로 y 를 취할 확률이다. 포톤매핑은 광선이 광원에서 나와 확산 면에 닿을 때 photon map에 저장되도록 하는 보다 효율적인 방법이다.^{12,13)}

2. 실험 및 파일 섬유의 모델링

1) 시료

시료는 다음과 같은 규격의 흑색평직벨벳을 사용하였다. <표 1>

2) 색차계에 의한 측정

측색은 Colorimeter (Model CR-200b, Minolta, Japan)를 사용하였다. 시료는 흑색판위에 거치하고 4겹이 되도록 접어서 파일 면을 측정하였다.

3) 화상의 획득 및 분석

반사율이 낮은 시료의 특성을 고려하여 반사광의 수준이 낮은 경우에도 화상을 획득하기 위해 signal to noise비가 높은 CCD camera를 사용하였다. 752x582 array의 CCD 해상도를 지니고 Peltier 냉각방식에 의해 noise를 낮춘 CCD camera를 USB connector로 컴퓨터에 연결하였다. FITS(Flexible Image Transport System)형식의 16bit(65536 level)의 화상을 저장하였다.

또 섬유나 직물시료에서의 광택은 입사광선의 조건과 수광부의 조건에 따라 현저히 달라지므로 CCD카메라는 렌즈의 광축이 시료의 중심을 향한 상태로 고정되어 촬영하는 것으로 하였다. 시료는 거치대에 수평으로 놓고 지경사의 사축이 광원의 조사방향과 렌즈의 축이 이루는 평면에 평행하도록 배치하였다. 직물 평면에 대한 법선

<표 1> 벨벳 시료 규격

지경사	지위사	경파일	중량, g/m ²	파일길이, mm
폴리에스터 강연사	폴리에스터 필라멘트사	아세테이트 필라멘트사	190	1.1

과 입사광선이 이루는 각을 Θ_i 로 하였다. 광원과 시료중심의 거리는 12cm로 하였다. 렌즈는 저배율인 350Type과 고배율인 660Type을 사용하였다. 저배율을 사용할 경우 광원의 조도는 12cm거리에서 측정시 1500lux, 고배율을 사용할 경우 광원조도는 동일거리에서 6800lux가 되도록 조절하였다. 분석프로그램은 ImageJ(NIH, USA)를 사용하였다.

4) 파일섬유의 모델링

NURBS기반의 모델링 프로그램인 Rhino3D (McNeel Assoc., Seattle, USA)를 사용하여 원주를 생성하고 이를 기저면에 수직으로 30개를 배치하였다. 이는 일반적인 벨벳의 형상을 모사하기 위한 것이다. 한편 crushed velvet의 모사를 위하여 각 원주가 45도로 경사를 이루도록 배치하였다. 이때 포톤매핑에 의해 입사광이 섬유를 통과한 후 화면(caustics)을 바탕에 형성하는 것을 확인하기 위하여 원주의 개수를 8개로 감소시켰다. 또한 반사광이 crushed velvet섬유의 표면에서 확연히 생성되는 것을 모사하기 위해 섬유와 평행한 3개의 점광원이 배치되도록 한 후 ray tracing을 수행하였다. 일반적인 벨벳의 경우 cut pile의 선단에서 반사되는 광선을 관찰하기

위해 파일섬유를 모사한 원주의 축방향과 평행한 위치에 가상적인 카메라를 배치하고 이를 통해 화상이 형성되도록 하였다. Ray tracing수행을 위해 POV(Persistence of Vision) ray tracing 프로그램을 사용하였다.

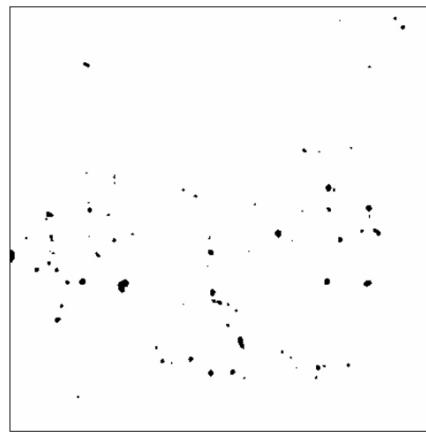
III. 결과 및 고찰

1. 시료의 색상 및 화상분석결과

직물의색상은 L^* , a^* , b^* 의 값이 각기 5.07, 0.97, -0.40으로서 L^* 값이 뚜렷하게 낮은 특징이 있다. 이러한 낮은 L^* 값은 CCD에 의한 벨벳 시료의 촬영 결과에도 나타나듯이 전체적으로 어두우나 cut pile의 선단에 의한 반사가 일어나고 있음을 확인할 수 있다. <그림1> 파일섬유들은 조직상에 균일하게 분포되지 않고 설계된 경사 단위로 군집을 이루고 있음을 확인할 수 있다. <그림 1, 2> 이러한 파일섬유의 선단부분의 분포는 벨벳 직물의 외관에 많은 영향을 줄 것으로 생각된다. <그림 2>는 획득된 화상에 대하여 광택이 있는 개체를 thresholding한 후에 검게 표시한 것이다.



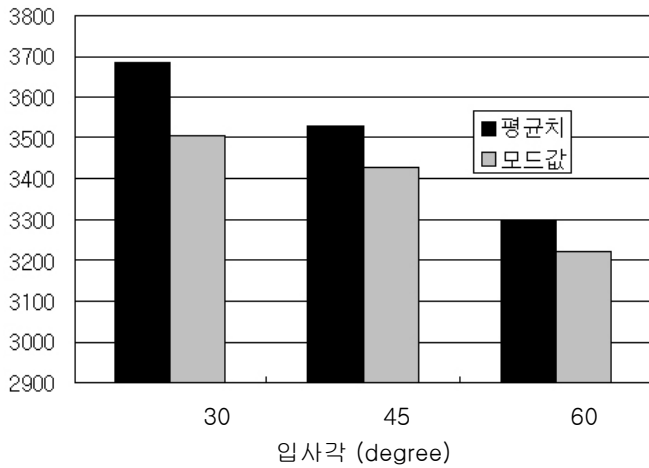
<그림 1> 벨벳 직물시료의 표면



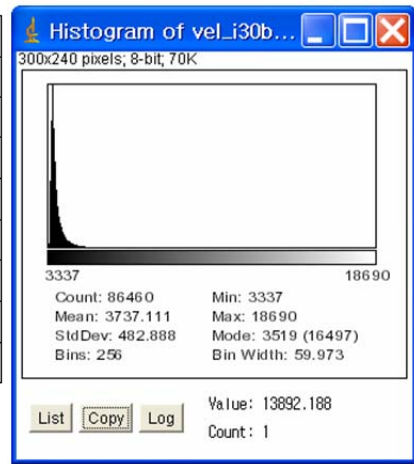
<그림 2> 표면광택개체 (lens type 660)

<표 2> 입사각에 의한 반사광의 변화(lens type 660)

	입사각 (i)	평균치	모드값	표준편차
전체화상	30	3683.8	3503	401.3
	45	3529.9	3428	304.2
	60	3302.7	3222	280.6
파일부분	30	3724.4	3521	503.8
	45	3590.2	3441	409.5
	60	3378.1	3230	422.7



<그림 3> 입사각에 따른 반사광강도의 변화



<그림 4> 파일 부위에 대한 히스토그램

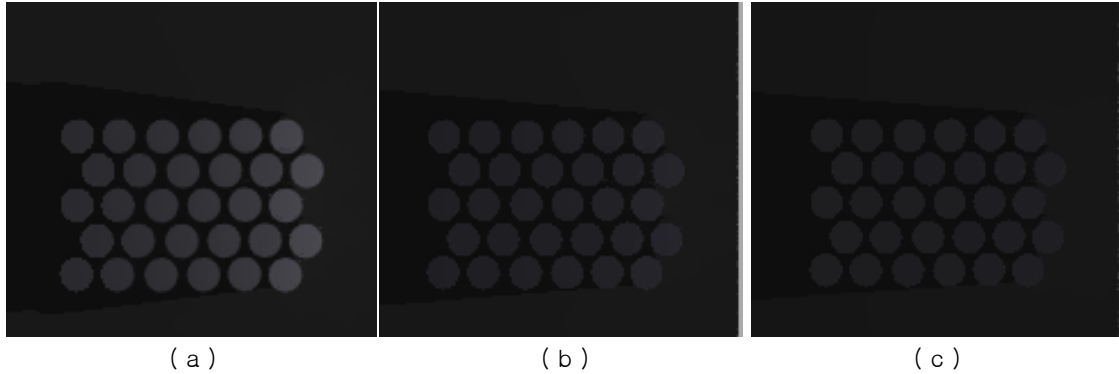
<표 2>에 촬영된 전체 화상과 파일섬유 다발을 중심으로 한 히스토그램 분석결과를 나타냈다. 관찰각도가 벨벳 시료에 대하여 수직인 경우 입사각이 30~60도 사이에서 변화할 때 입사각의 증가에 따라 반사광의 강도는 3,683에서 3530, 그리고 3,302로 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 전체 화상에 대한 분석결과도 같은 경향을 나타내고 있다. 실제 섬유들의 선단은 모두 수직으로 배치되어 있지 않고 방향이 어느 정도 랜덤하기 때문에 광원의 반사에 기여하지 않고 있다. 또한 절단시 발생한 섬유단면 형상의 변형도 균일하지 않은 반사에 기여하는 것으로 생각된다.

히스토그램에 의한 분석결과에 예를 <그림 4>

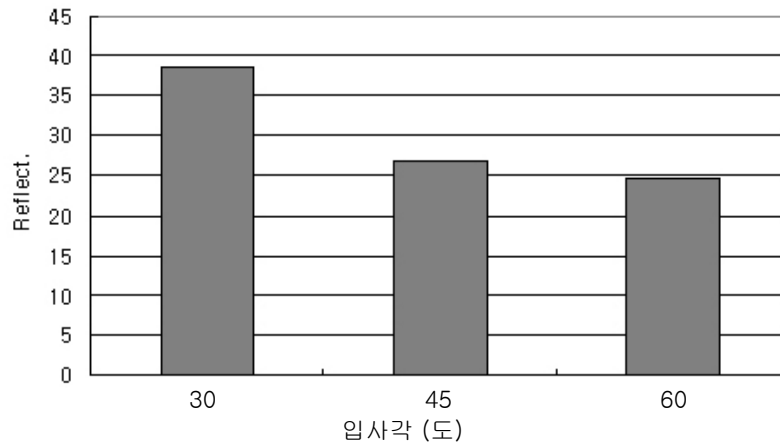
에 표시하였다. 여기서 화상의 밝기 분포가 극히 어두운 쪽으로 편향되어 있음을 알 수 있다. 즉 입사된 대부분의 광량이 수직으로 배열된 섬유의 내부로 들어가 내부에서의 많은 반사와 흡수로 인해 다시 반사되어 나오지 않고 있는 것이라고 할 수 있다.

2. 파일섬유의 모델링 및 분석결과

다음은 30개의 원주를 파일섬유로 가정하여 입사광선의 각을 가상적 직물의 법선 방향에 대해 30도, 45도, 60도로 변화시킨 경우의 ray tracing에 의한 반사양상을 나타내고 있다. <그림 5> 이때 광원은 모델 원주들의 상단에서 우측방향에서



(a) (b) (c)
 <그림 5> 3차원적 모델링에 의한 파일섬유 모델의 ray tracing 결과
 (입사각 (a)30, (b)45, (c)60도)



<그림 6> 파일섬유 모델의 ray tracing 후 반사광 평균치 분석 결과
 (입사각 30, 45, 60도)

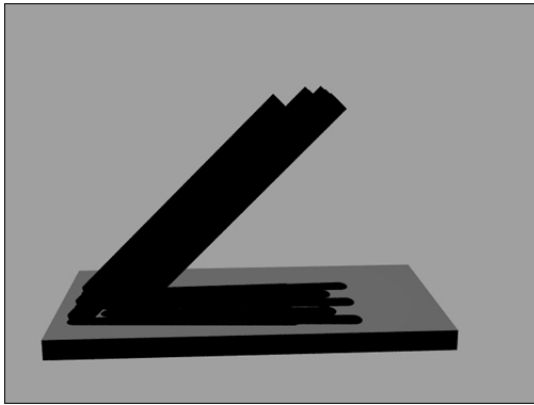
입사되고 있다. 따라서 30도의 입사각인 경우는 육안으로도 인지될 정도로 최우측의 원주들에서의 반사광이 뚜렷이 많은 것을 확인할 수 있다. 다른 두 각도의 입사각에서는 육안에 의한 차이를 인지하기는 어렵다.

이를 다시 화상분석의 Histogram을 사용하여 평균치를 계산하였다. 여기서 각 원주의 상단에서의 반사가 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 각기 반사광의 평균치는 38.4, 26.8, 24.6으로 낮아지는 경향을 확인하였다. 이는 실제의 벨벳 시료에 대한 실험결과의 경향과 일치하는 것이다. 따라서 3차원적 입체모델을 섬유의 형상에 따라

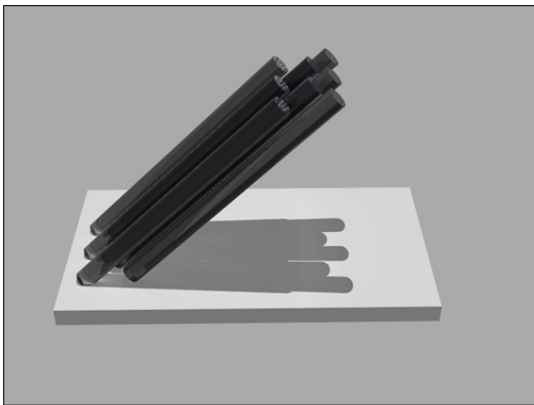
모사하여 작성한 후 광학적 특성을 고려하여 photon mapping등을 포함한 ray tracing을 수행함으로써 복잡한 형상을 지닌 섬유의 단면이나 측면에 대해서도 비교적 사실적인 외관적 특성의 예측이 가능한 것을 확인하였다.

다음은 crushed velvet을 가상적으로 구성하기 위해 45도의 경사를 이루도록 배치한 모델이다. Photon mapping을 사용하지 않고 일반적인 불투명한 플라스틱 재질로 가상하여 ray tracing한 경우가 <그림 7>의 (a)에 표현되어 있다. 이는 투과특성이나 반사특성을 반영하지 않았기 때문에 어렵게 표현되고 있다.

(b)는 원주의 재질을 acetate와 같은 굴절률을 부여하여 투과 및 반사, 그리고 photon이 cylinder들을 통과하거나 반사된 후 집속되어 화면(caustics)을 구성하는 것을 보여주고 있다. 여기서 그 화면은 좌측 원주의 하단 가까운 기저면에 형성되어 있다. 한편 이와 같은 화면은 각각의 다음 층에 배치된 원주의 표면에도 형성되나 여기서는 보이지 않는 관찰 위치에 있어 확인되지 않고 있다. 그러나 이러한 화면의 형성과 이로 인한 광택의 변화는 벨벳 직물에 있어서도 중요한 인자라고 할 수 있다.



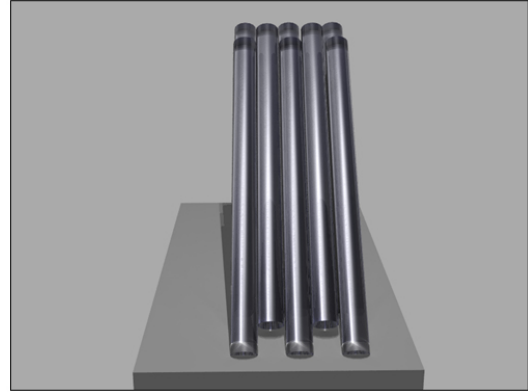
(a)



(b)

<그림 7> Crushed velvet 파일 섬유 의 모사

- (a) 일반적인 플라스틱 재질 특성(불투명)
- (b) 아세테이트 섬유의 특성을 기초로 한 ray tracing 결과



<그림 8> Crushed velvet 파일 섬유의 모사 : 고광택 반사조건의 모사.

한편 <그림 8>에 crushed velvet에서 쉽게 관찰되는 고광택반사 조건의 모사 결과를 나타내었다. 이러한 광택은 crushed velvet외에도 일반적인 벨벳의 경우에도 입체 위에 걸쳐져서 접힌 부분의 파일섬유들은 그 선단이 위의 그림과 같은 반사양상을 보이기 때문에 극히 어두운 부분과 대비되어 독특한 벨벳의 광택을 나타내는 것이라고 해석할 수 있다.

IV. 결론

독특하고 우아한 질감과 광택을 나타내는 벨벳 직물은 보다 평면적이고 균일한 구조를 지닌 직물과 대비하여 평가나 분석에 어려움이 있다. 본 연구에서는 짧은 파일섬유를 지닌 벨벳 직물에 대하여 화상분석을 통한 광학적특성을 분석하고, 또한 각 파일섬유를 기저부에 수직으로 혹은 45도의 경사로 배치하여 원주상의 3차원적 모델을 구성함으로써 ray tracing 및 화상분석을 시행하였다.

1. 통상 육안으로 인지하기 어려운 벨벳직물 표면의 파일섬유 선단에서의 입사광 반사패턴을 분석하였다. 입사각이 30도, 45도, 60도로 변화할 때 파일섬유 선단에서의 반사를 포함한 반사광량은 점차 낮아지는 것을 확인하였다.

2. 시료로 사용된 벨벳직물의 파일섬유는 설계 인자에 의해 군집을 형성하고 있음을 확인하였다. 실제 섬유들의 선단은 모두 수직으로 배치되어 있지 않고 방향이 어느 정도 랜덤하기 때문에 광원의 반사에 기여하지 않고 있다. 또한 입사된 광선은 각기 평행한 파일섬유 사이에서 반사와 흡수를 계속하여 반사광이 극히 낮아지고 있다.

3. crushed velvet의 모사에서 직물의 표면에 노출되고 기저부로 기울어진 섬유들은 입사광선을 대부분 반사하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 또한 일반 벨벳 직물의 굽혀진 부분에서 관찰되는 비교적 강한 고유의 광택에 기여하는 것으로 해석할 수 있다.

참고문헌

- 1) 조지현, 이옥자, 류덕환, 벨벳과 안감의 소재 조합에 따른 의복의 열저항에 관한 연구, *한국 의류학회지*, 23(1), pp.3-13 (1999).
- 2) 김성련, *피복재료학*, 제3개정판, pp.324-327, 서울, 교문사, 2000.
- 3) Hatch, Kathryn. *Textile Science*, pp.334, West Publishing Co. New York, 1993.
- 4) O. Goktepe and S. C. Harlock, "Three-Dimensional Computer Modeling of Warp Knitted Structures, *Textile Research Journal*, 72(3), pp.266-272 (2002).
- 5) T. Furukawa, M. Yoshikawa, M. Ozaki, and Y. Shimizu, "Computer Animation for Knitted Fabric Deformation", *Proceedings of 25th Textile Research Symposium at Mt. Fuji*, Shizuoka, Japan, August 2-5, 1996.
- 6) K. Daubert and H. P. Seidel, "Hardware-Based Volumetric Knit-Wear", *Eurographics 2002*, 21(3), 2002.
- 7) I. A. Bogaevski, E. A. Kopylov, and A. Khodulev, "An Implicit Approach to Cloth Synthesis", *The 9-th International Conference on Computer Graphics and Vision*, Moscow, Russia, August 26 - September 1, 1999.
- 8) K. Daubert, H. P. A. Lensch, W. Heidrich, and H. P. Seidel, "Efficient Cloth Modeling and Rendering", in *Rendering Techniques '01, Proceedings of the 12th Eurographics Workshop on Rendering 2001*, Springer Verlag, Berlin, 2001.
- 9) A. Watt, "*Fundamentals of Three-dimensional computer graphics*", Addison Wesley, Workingham, England, 1989.
- 10) Robert McNeel & Associates, *Rhinoceros Version 3.0 Upgrade Guide*, pp.3-6, Seattle, WA, 2004.
- 11) T. Whitted, "An Improved Illumination Model for Shaded Display", *Comm. of the ACM*, 23(6), pp.343-349 (1980).
- 12) H. W. Jensen, "*Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping*", A.K. Peters Ltd., Natick, MA, 2001.
- 13) E. Veach, "*Robust Monte Carlo Methods for Light Transport Simulation*", Ph.D. Dissertation, pp. 1-13, Stanford Univ., Stanford, CA, 1997.

(2005년 4월 29일 접수, 2005년 6월 7일 채택)