

# 직조 기반 비등방 반사를 이용한 의류 렌더링

강영민\*, 김성수\*\*, 남승우\*\*

\*동명대학교 게임공학과

\*\*한국전자통신연구원

E-mail: ymkang@tu.ac.kr

## Fabric Rendering with Weave based Anisotropic Reflectance

Young-Min Kang\*, Sung-Soo Kim\*\*, Seung-Woo Nam\*\*

\*Dept of Game Engineering, Tongmyong University

\*\*Electronics and Telecommunication Research Institute

### 요 약

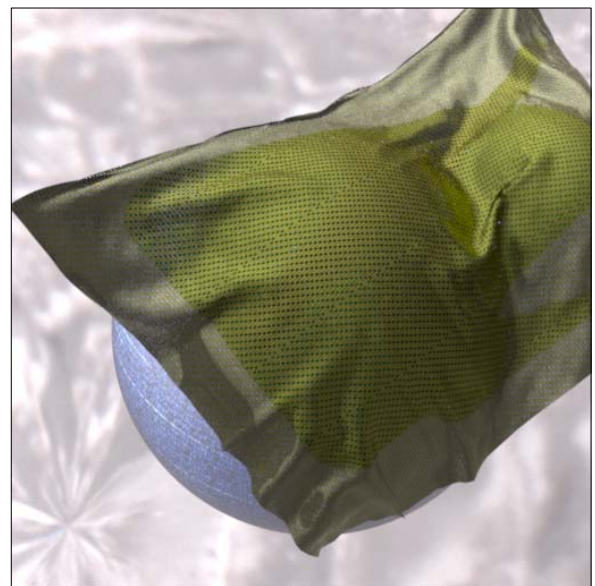
본 논문에서는 사실적인 의류 객체의 렌더링을 위한 절차적 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 의류의 직조 패턴을 매개 변수를 통해 제어할 수 있는 방법을 제공한다. 또한, 제안된 기법은 생성된 직조 패턴을 기반으로 비등방 반사 특성을 갖는 미세표면(microfacet)을 자동으로 생성하여 의류 특유의 재질감이 나타나는 렌더링을 수행할 수 있도록 하였다.

### 1. 서론

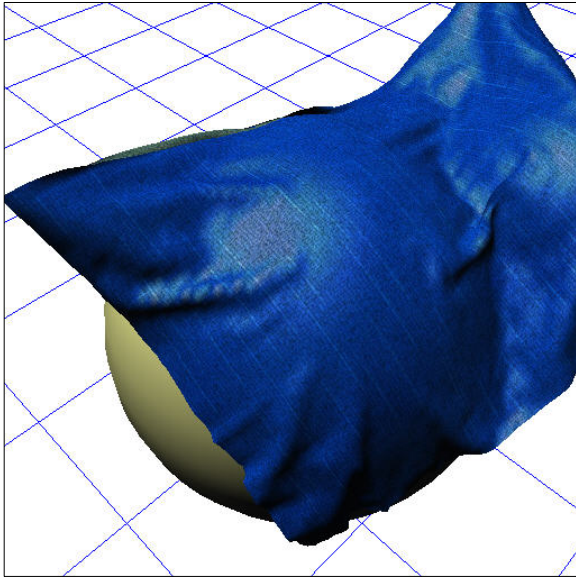
사진과 같이 사실적인 영상을 생성하는 일은 물리 기반 렌더링의 기본적인 목표이다. 이러한 사실적 렌더링은 물체의 반사 특성을 정확한 모델로 기술할 수 있을 때에 가능한 일이다. 우리는 일상생활에서 매우 다양한 물체들을 관찰할 수 있다. 이러한 물체들 가운데 일부는 거울과 같이 단순한 모델로 표현이 가능한 반사 모델을 가지기도 하지만, 대부분의 물체는 복잡한 반사 특성을 가지면서 독특한 재질감을 갖게 된다. 물체의 표면 반사에 대한 다양한 연구들을 통해 플라스틱이나 금속 표면의 사실적인 렌더링은 비교적 쉽게 이루어지고 있다. 그러나 옷감과 같은 객체 표면을 사실적으로 렌더링하기 위한 모델들은 아직까지 잘 알려지지 않은 상태이다. 옷감의 동작을 생성하기 위한 애니메이션 생성 기술에 비하면 옷감의 재질감 표현은 아직도 만족스럽지 못한 상태이다. 단순한 반사 모델을 적용할 경우 가상의 옷감 객체는 지나치게 번들거리거나 의류 특유의 직조에 의해 발생하는 재질감을 잃게 된다.

아직까지 만족스러운 반사 모델이 알려지지 않은 옷감의 사실적인 렌더링을 위해서 측정 데이터를 이용하는 방법들이 사용되고 있지만, 측정 데이터를 사용하는 경우에도 재질감을 완전히 나타내지 못하는 경우가 많으며, 재질감을 완전히 복원하기 위해서는 지나치게 대용량의 데이터를 사용해야 하는 경우가 일반적이다. 따라서 대규모 데이터에 의존하지 않으면

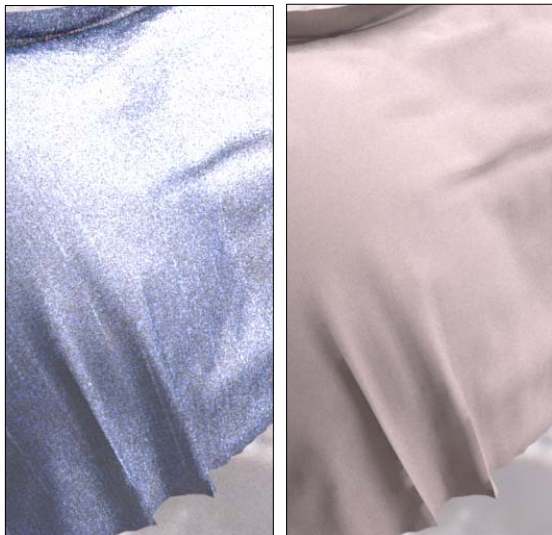
서도 의류 객체의 질감과 직조 패턴을 자연스럽게 표현할 수 있는 절차적 렌더링 모델이 존재한다면 다양한 분야에서 폭넓게 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 이러한 사실적 의류 렌더링을 위한 절차적 기법을 제안하고자 한다. [그림 1]은 본 논문에서 제안하는 기법을 활용하여 생성한 의류 렌더링 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 본 논문의 기법은 옷감의 직조 패턴을 좌우하는 씨실[緯絲]과 날실[經絲]의 교차를 표현하고 제어할 수 있으며, 이러한 교차에 의해 나타나는 의류 특유의 재질감을 표현한다.



[그림 1] 제안된 기법을 사용한 의류 렌더링



[그림 2] 구로(Gouraud) 셰이딩에 의한 결과



(a) 풍(Phong) 모델 (b) 측정 BRDF 적용

[그림 3] 풍 모델과 측정 BRDF의 적용 결과

## 2. 관련 연구

의류를 구성하는 천은 뜨개질을 통해 짠 니트(knit)와 직조물(織造物)로 구분할 수 있는데, 니트 천의 구조와 재질감을 사실적으로 표현하기 위한 기법은 상당히 많은 연구가 이루어졌다. 하지만, 이러한 기법들은 니트 천을 구성하는 두꺼운 털실의 질감을 생성하고 이 털실들이 뜨개질을 통해 꼬여 있는 구조를 생성하기 위한 방법에 집중하고 있기 때문에 직조물의 표면에서 나타나는 재질감을 잘 나타내지 못한다.

천의 재질감을 고려한 렌더링을 수행하기 위한 초기 모델로는 야스다(Yasuda) 등이 제안한 비등방 반사 모델이 있다[1]. 이 모델에서는 빛이 반사되는 방향이

실의 방향과 일치하는 경우와 수직인 경우 두 가지에 대해 서로 다른 반사 모델을 적용하고, 그 사이의 각도에 대해서는 두 반사 모델을 합성하여 적용하는 방법을 사용하였다. 직조 구조에 따라 반사 모델을 생성한 이 기법은 의류 렌더링에 대한 최초의 물리적 접근법이라 할만하다. 아다발라(Adabala) 등은 천의 직조 패턴 등을 고려하여 렌더링을 수행하는 기술들이 제안하였다[2]. 하지만 이러한 기법들은 직조 패턴들을 사실적으로 보여주기 위한 것이었기 때문에 카메라를 객체에 가까이 놓고 관찰했을 때의 렌더링을 주로 고려하였다. 직조 패턴이 감지되지 않는 거리에서 의류를 관찰할 경우에도 의류 표면의 독특한 특성에 따라 의류는 다른 플라스틱이나 금속 표면과는 다른 질감을 보이게 된다. 본 연구에서는 이러한 의류 특유의 질감을 생성하기 위한 모델을 제안하고자 한다.

## 3. 기존 기법의 문제점

OpenGL이나 DirectX, 혹은 이들을 기반으로 한 다양한 실시간 렌더링 엔진들은 물체의 표면을 렌더링할 때에 구로(Gouraud) 음영법을 기본적인 음영법으로 사용한다. [그림 2]는 이러한 구로 셰이딩을 이용하여 가상의 직조물을 렌더링한 결과를 보이고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 구로 셰이딩을 이용할 경우 의류의 재질감을 느낄 수 없다. 의류의 사실적인 렌더링 모델을 제안하기 위해 본 연구에서는 한국전자통신연구원(ETRI)의 기능확장형 전역조명 렌더러인 GirlRender를 기본 렌더러로 사용하였다. 이 렌더러가 물리적으로 정확한 전역 조명 렌더링을 지원하는 것은 아니지만, 단순히 전역 조명 렌더링을 수행한다고 해서 바로 사실적인 의류 질감을 얻을 수 있는 것은 아니다. [그림 3] (a)는 의류 객체 표면의 반사모델로 풍(Phong) 모델을 사용하고 전역 조명 렌더링을 적용한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 지나치게 번들거리는 표면 반사 특성을 보이며, 의류의 직조 패턴이 만들어내는 질감을 전혀 느낄 수가 없다. 사실적인 옷감 렌더링을 위하여 의류 표면의 반사특성을 표현하는 양방향 반사분포 함수(BRDF)를 기계장치를 통해 직접 측정된 데이터를 활용할 수도 있다. [그림 3] (b)는 측정된 BRDF를 이용하여 의류 표면 렌더링을 수행한 결과이지만 사실적인 느낌의 질감을 얻을 수 없다.

더욱 사실적인 질감을 위해 공간적으로 변화하는 반사 분포, 즉 SVBRDF를 사용하는 방법이 있다. 이러한 SVBRDF는 측정의 어려움과 함께 데이터의 크기가 지나치게 크다는 단점을 가진다. 왕(Wang) 등은 사실적인 비등방 반사 표면을 표현하기 위해 효과적이며

효율적으로 이러한 데이터를 측정하고 활용하는 방법을 제안하였다[3]. 하지만, 이들의 기법 역시 반사분포 함수 데이터의 크기를 줄이지는 못한다. 또한 이러한 데이터의 경우 하나의 재질 표현만 가능하고 다양한 유사 재질을 자동적으로 생성해 낼 수 없다는 단점을 가진다. 본 논문의 기법은 직조물 표면의 다양한 직조 패턴을 매개변수를 통해 자동 생성하고, 직조 패턴과 방사(紡絲)의 특성에 따라 다양한 질감을 절차적으로 생성할 수 있는 기법을 제안한다.

## 4. 직조 기반 의류 재질 표현 기법

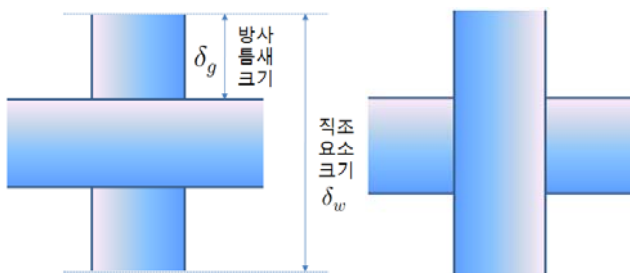
### 4.1 비등방성 미세 표면 반사 모델

제안하는 기법은 미세표면(microfacet) 모델을 기반으로 하고 있다. 이 모델의 반사 특성은 조각면들의 법선 벡터가 어떤 확률 분포를 가지는가에 따라 결정된다. 아시크민(Ashikhmin)과 셸리(Shirley)는 비등방성 표면의 외형을 표현하기 위한 미세표면 모델을 제안하였다. 이들이 제안한 미세표면 분포 함수는 다음과 같다[4].

$$D(\omega_h) = \sqrt{(e_x + 1)(e_y + 1)} (\omega_h \cdot n)^{e_x \cos^2 \phi + e_y \sin^2 \phi} \quad (1)$$

이때,  $e_x$ 와  $e_y$ 는 표면의 2차원 축을 따라 미세면들이 가지는 특성을 표현할 수 있게 한다.

의류를 구성하는 천은 직조된 객체로 가장 일반적인 형태는 씨줄과 날줄이 번갈아가면 앞뒤로 교차하는 것이다. 옷감 표면의 반사 비등방성은 반사 표면에서 실이 어느 방향으로 진행하고 있는지가 중요하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 모델은 표면의 비등방성이 직조 패턴의 크기에 따라 변화하는 모델이다.



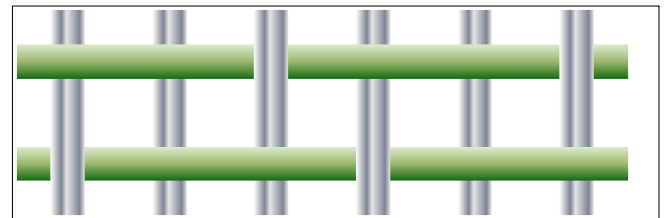
(a) 씨실(緯絲) 요소 (b) 날실(經絲) 요소  
[그림 4] 직조 요소: (a) 씨실 요소 (b) 날실 요소

### 4.2 직조 패턴 생성 기법

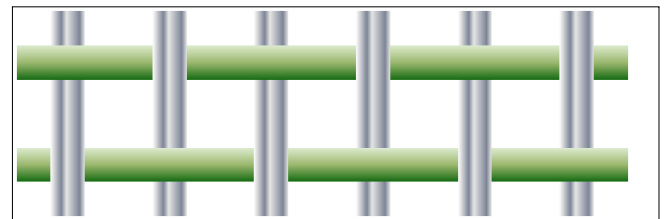
본 논문에서 제안하는 기법은 의류 객체의 표면을 직조 패턴에 따라 달라지는 비등방성 반사 모델을 기

반으로 하고 있다. 이를 위해서는 직조 패턴을 모델링 하는 것이 필요한데, 직조 패턴은 직조 요소를 어떻게 배열하는가에 따라 결정되도록 하였다. 직조 요소는 [그림 4]와 같이 씨실 요소와 날실 요소로 나뉜다. 이때 하나의 직조 요소 크기를  $\delta_w$ 라고 하고, 씨실과 날실 사이의 틈새 크기를  $\delta_g$ 이라고 정의한다.

본 논문에서는 직조물의 직조 패턴을 생성하기 위해 하나의 행에서 반복적으로 나타나는 씨실과 날실의 비를 두 개의 정수  $n_w$ 와  $n_\pi$ 로 표현한다. 즉  $n_w$ 의 씨실 직조 요소가 나타난 뒤에  $n_\pi$  개의 날실 요소가 나타나는 것이다. 다음 씨실에서는 이러한 패턴이 몇 칸 어긋나서 나타나게 되는데 이렇게 어긋난 정도를  $n_\sigma$ 라는 파라미터로 표현한다. [그림 5]는 이러한 파라미터를 조절하여 얻은 직조 패턴의 예들이다.



(a)  $n_w=2, n_\pi=1, n_\sigma=2$



(b)  $n_w=1, n_\pi=1, n_\sigma=1$

[그림 5] 주요 직조 파라미터에 따라 생성된 직조 패턴:  
(a)  $n_w=2, n_\pi=1, n_\sigma=2$ , (b)  $n_w=1, n_\pi=1, n_\sigma=1$

직조물 표면의 특정 지점이 가진 2차원 좌표  $(u, v)$ 에 따라 해당지점이 씨실 요소에 포함되는지 날실 요소에 포함되는지가 결정된다. 이러한 결정은 다음과 같은 판별값  $d$ 을 계산하여 이루어진다.

$$d = \left\{ \left\lfloor \frac{u}{\delta_w} \right\rfloor (\bmod n_w) + n_\sigma \left\lfloor \frac{v}{\delta_w} \right\rfloor (\bmod n_\pi) \right\} (\bmod n_w + n_\pi) \quad (2)$$

식 (2)에서 구한  $d$ 의 값이  $n_w$ 보다 작은 값이면 해당 지점은 씨실 요소가 되며, 그렇지 않은 경우에는 날실 요소가 된다.

### 4.3 직조 요소 내부 좌표 및 반사

식 (2)를 통해 샘플링된 지점이 씨실 요소에 속하는지 날실 요소에 속하는지가 결정되었지만, [그림 4]에



서 볼 수 있는 바와 같이 하나의 직조 요소 내에서, 일부는 방사(紡絲) 사이의 틈새가 되고, 일부는 씨실 위치, 또 다른 일부는 날실 위치가 된다. 이를 판별하기 위해서는 직조 요소 내부 좌표를 사용해야 한다. 직조 요소 내부 좌표는  $(u, v)$ 를 직조 요소의 크기  $\delta_w$ 에 따라 변환한  $(u_w, v_w)$ 로 표현하며 다음과 같이 구한다.

$$(u_w, v_w) = \left( \frac{u - \delta_w \left\lfloor \frac{u}{\delta_w} \right\rfloor}{\delta_w}, \frac{v - \delta_w \left\lfloor \frac{v}{\delta_w} \right\rfloor}{\delta_w} \right) \quad (3)$$

$u_w$ 와  $v_w$ 는 모두  $[0, 1]$ 의 범위를 갖는 값들이며, 이 좌표를 통해 특정 지점의 실제 반사 특성을 알 수 있다. 이를 위해 우선 직조 요소내 틈새의 크기 비율인  $r_g$ 를  $\delta_g/\delta_w$ 로 정의하자.  $(u_w, v_w)$ 로 표현되는 특정 지점이 방사 사이의 틈새일 조건은 다음과 같다.

$$((u_w > 1 - r_g) \wedge ((v_w < r_g) \vee (v_w > 1 - r_g))) \vee ((u_w < r_g) \wedge ((v_w < r_g) \vee (v_w > 1 - r_g))) \quad (4)$$

식 (4)의 조건을 만족하지 않는 지점은 씨실 혹은 날실 위의 지점인데, 다음 조건을 만족하면 무조건 씨실 위의 지점이 된다.

$$((r_g < u_w < 1 - r_g) \wedge ((v_w < r_g) \vee (v_w > 1 - r_g))) \quad (5)$$

다음 조건을 만족하면 무조건 날실 위가 된다.

$$((r_g < v_w < 1 - r_g) \wedge ((u_w < r_g) \vee (u_w > 1 - r_g))) \quad (6)$$

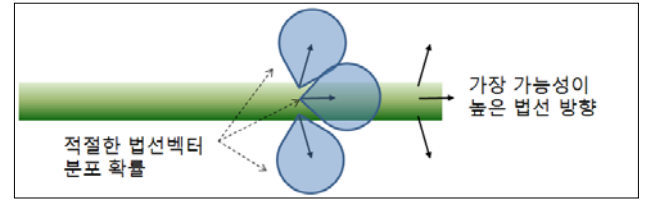
이상의 조건 가운데 어느 조건도 만족하지 않는 위치는 해당 위치가 속한 직조 요소에 따라 결정된다. 이는 이미 식 (2)에서 구한 것이다.

이러한 방법을 통해 특정 위치가 방사(紡絲) 사이의 틈새로 판정되면 방사의 반사 모델이 아니라 투명하게 빛이 투과되도록 하며, 씨실의 경우에는 식 (1)로 표현되는 애쉬크민(Ashikhmin)과 셸리(Shirley)의 비등방성 반사 모델을 그대로 사용하고, 날실인 경우에는  $e_x$ 와  $e_y$  값을 서로 교환하여 실의 방향에 따른 비등방성 반사를 구현할 수 있다.

#### 4.4 방사(紡絲) 곡률 매개변수

지금까지 설명한 반사 모델은 씨실과 날실에 의한 비등방 반사 모델을 구현하지만, 방사(紡絲)가 평면적으로 표현된다는 단점을 가진다. 이를 해결하기 위해

서는 [그림 6]과 같이 적절한 법선벡터 분포 확률이 방사 위의 위치에 따라 회전해야 한다.



[그림 6] 방사(紡絲) 위의 적절한 법선 벡터 분포

우리는 미세 표면 모델에서 사용되는 법선 벡터 분포 함수에 사용되는 파라미터로  $w_h$ 가 아니라 이를 적절히 회전시킨  $w'_h$ 를 사용한다. 씨실의 경우  $x$ 축 회전을 수행하고, 날실의 경우에는  $y$ 축 회전을 수행한다. 이를 위해 방사의 곡률을  $k$ 로 제어하자.  $k$ 는  $[0, 1]$ 의 범위를 갖는 값으로 평면적인 방사의 경우 0의 값을 갖고, 곡률이 최대인 경우 1의 값을 갖는다. 회전의 정도는 방사의 중심에서 얼마나 멀리 떨어졌나를 기준으로 결정되는데, 이 값은  $\vartheta$ 로 표현된다. 이 값의 범위는  $[-1, 1]$ 이며, 방사의 한쪽 끝에서  $-1$ 이며, 다른 쪽 끝에서 1의 값을 가진다. 이상을 바탕으로  $w'_h$ 는 다음 식 (7)과 같이 구할 수 있다. 씨실의 경우 (a)를 적용하고, 날실의 경우에는 (b)를 적용한다.

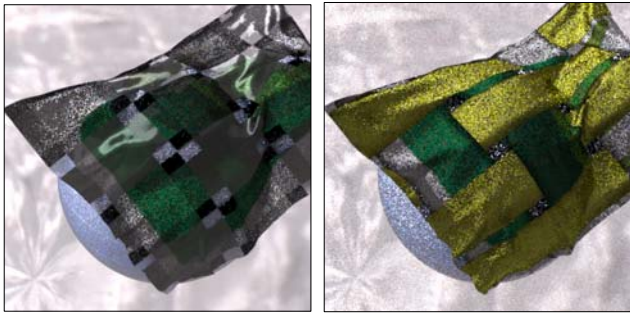
$$\begin{aligned} (a) \quad w'_h &= R_x \left( \frac{\partial \kappa}{2} \pi \right) w_h \\ (b) \quad w'_h &= R_y \left( \frac{\partial \kappa}{2} \pi \right) w_h \end{aligned} \quad (7)$$

이때,  $R_x(\theta)$ 와  $R_y(\theta)$ 는 각각  $x$  축과  $y$  축을 기준으로  $\theta$ 만큼 회전하는 변환 행렬을 의미한다.

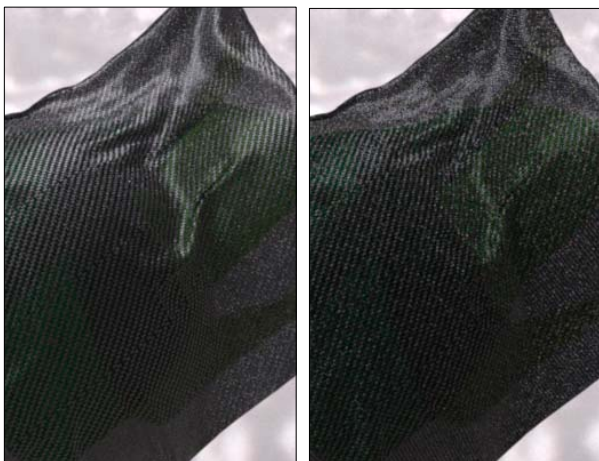
## 5. 실험결과

우리는 본 연구에서 제안한 기법을 검증하기 위하여 전역조명 렌더러를 사용하였다. 사용된 렌더러는 한국전자통신연구원(ETRI)에서 개발한 GirlRenderer이며, 물리적으로 정확한 렌더링을 지원한다.

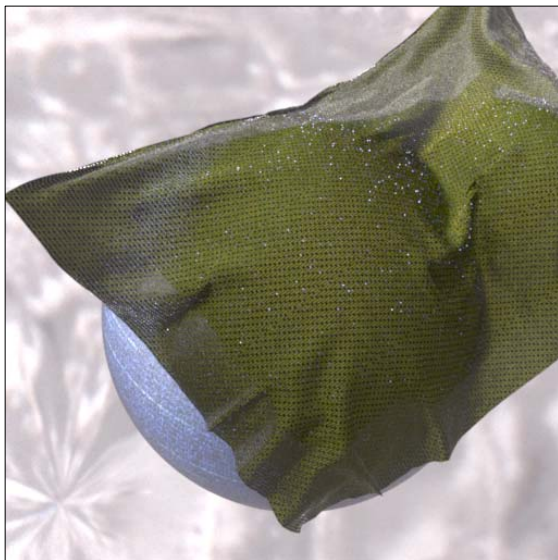
[그림 7]은 본 논문에서 제안한 기법을 적용하여 매우 큰 직조 요소들을 렌더링한 결과이다. 씨실은 노란색 빛을 반사하도록 하였으며, 날실은 색상 텍스처에서 가져온 색을 반사하도록 하였다. [그림 7]의 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이 실의 방향에 따른 비등방성 반사 특성을 확인할 수 있으며, (b)에서는 방사의 곡률 제어를 통해 방사의 가장자리가 어떻게 나타나는 것을 확인할 수 있다.



(a) 직조에 따른 비등방성 (b) 방사의 곡률 제어  
[그림 7] 대형 직조 요소의 렌더링 결과



(a) 곡률 파라미터 0.2 (b) 곡률 파라미터 1.0  
[그림 8] 방사(紡絲)의 곡률에 따른 전반사 특성



[그림 9] 사실적인 의류 렌더링 결과

[그림 8]은 방사의 곡률을 제어하여 서로 다른 느낌의 렌더링 결과를 생성한 것이다. [그림 8]의 (a)는 방사 곡률 매개변수를 0.2로 설정한 것이며, (b)는 1.0으로 설정한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 방사의 곡률을 높이면 실의 전반적인 반사가 줄어들

면서 전반사 영역이 줄어든다는 것을 확인할 수 있다.

[그림 9]는 본 논문에서 제안한 기법을 통해 렌더링한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 기존의 모델에 비해 자연스러운 의류 표면 재질을 생성할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서 우리는 사실적인 의류 재질감을 표현하기 위한 렌더링 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 비등방성 미세면 기반 의류 렌더링 기법으로서 애쉬크민(Ashikhmin)과 셸리(Shirley)가 제안한 비등방 반사 모델을 기반으로 하고 있다.

제안된 기법은 직조 패턴에 따라 변화하는 비등방성 모델로서 단순한 반사 모델이나 공간적으로 변화하지 않는 측정 BRDF에 비해 우수한 렌더링 결과를 보여준다. 아울러 이러한 반사 특성을 생성하는 직조 패턴을 제어할 수 있는 방법을 제공하고 있다.

제안된 기법은 대규모 데이터를 활용하지 않고 질차적으로 의류 객체의 질감을 표현할 수 있는 기법으로 사실적인 의류 렌더링에 적합한 효율적이면서 효과적인 기법이다. 또한 본 논문에서 제안된 반사 모델은 GPU를 활용한 기법으로도 쉽게 변형이 가능하기 때문에 실시간 환경에서의 사실적인 의류 렌더링을 위해서도 잘 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부, 문화체육관광부 및 정보통신연구진흥원의 IT 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2006-S-045-1, 기능확장형 초고속 렌더러].

## 참고 문헌

- [1] T. Yasuda, S. Yokoi, J. Toriwaki, and K. Inagaki, "A shading model for cloth objects", IEEE Computer Graphics & Applications, November, 1992.
- [2] N. Adabala, N. Magnenat-Thalmann and G. Fei, "Visualization of woven cloth", Proc. of the 14th Eurographics Workshop on Rendering, pp. 178-185, 2003.
- [3] J. Wang, S. Zhao, X. Tong, J. Snyder and B. Guo. "Modeling anisotropic surface reflectance with example-based microfacet synthesis", ACM SIGGRAPH, 27(3), 41:1-41:9, 2008.
- [4] M. Ashikhmin and P. Shirley, "An anisotropic Phong BRDF model", Journal of Graphics Tools, 5(2):25-32, 2002.