

3차원 얼굴 메이크업을 위한 사실적인 피부 렌더링

이상훈[†], 김현중^{**}, 최수미^{***}

요 약

메이크업 시뮬레이션은 입력 장치와 디스플레이를 사용하여 가상의 디지털 얼굴에 다양한 화장법을 시험해 볼 수 있는 도구이다. 최근에 다양한 메이크업 스타일을 지원하는 시뮬레이션 시스템들이 개발되었지만, 대부분의 시스템들이 2차원 얼굴 영상을 사용하기 때문에 피부를 사실적으로 표현하는데 제약이 많다. 본 연구에서는 피부의 거칠기와 반사도를 조절할 수 있는 사실적인 3차원 메이크업 방법을 개발하였다. 제안 방법은 3차원 스캐너로 획득한 고해상도의 얼굴 데이터 상에서 피부 파라미터 값을 변경하면서 메이크업을 시뮬레이션할 수 있다. 또한 포인트 기반 형상표현을 사용하여 3차원 렌더링 과정을 간단하고 유연하게 표현하였으며, 얼굴 부위에 따라 반사도를 달리 적용하여 보다 사실적인 메이크업 시뮬레이션을 가능하게 하였다.

Realistic Skin Rendering for 3D Facial Makeup

Sang-Hoon Lee[†], Hyeon-Joong Kim^{**}, Soo-Mi Choi^{***}

ABSTRACT

Makeup simulation is a tool that tests various makeup methods on a virtual digital face using input and display devices. Although several simulation systems supporting various makeup styles have been recently developed, most systems have many limitations on realistic skin representations because they use 2D facial images. We develop a realistic makeup simulation method which can control skin reflectance and roughness parameters. The method allows a user to simulate makeup applications while changing skin parameters using high-resolution facial data acquired by 3D scanners. Besides we use a point-based shape representation which enables simple and flexible 3D rendering, and provide a more realistic makeup simulation by applying different skin parameters on each part of the face.

Key words: 3차원 얼굴 메이크업(3D Facial Makeup), 피부 렌더링(Skin Rendering), 포인트 기반 렌더링(Point-Based Rendering), 피부 반사도(Skin Reflectance)

1. 서 론

얼굴은 현대 사회에서 자신을 상대방에게 표현하는 중요한 역할을 한다. 이로 인해, 얼굴의 미를 강조

하는 메이크업 기능이 확대되었으며, 이를 기반으로 컴퓨터상에서 가상으로 메이크업을 수행하는 시뮬레이션에 대한 연구들이 이루어지고 있다[1,2]. 기존의 메이크업 시뮬레이션 시스템은 주로 2차원 얼굴

※ 교신저자(Corresponding Author) : 최수미, 주소 : 서울시 광진구 군자동 98 세종대학교 율곡관 402A호(143-747), 전화 : (02) 3408-3754, FAX : (02) 3409-3403, E-mail : smchoi@sejong.ac.kr

접수일 : 2012년 10월 8일, 수정일 : 2012년 12월 10일
완료일 : 2013년 2월 4일

[†] 준회원, 세종대학교 컴퓨터공학과
(E-mail : blackeyez_gk@naver.com)

^{**} 준회원, 세종대학교 컴퓨터공학과
(E-mail : hjkim@gce.sejong.ac.kr)

^{***} 정회원, 세종대학교 컴퓨터공학과(세종대학교 컴퓨터 그래픽스/가상현실 연구실)

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2011년도 콘텐츠산업기술지원사업으로 수행된 연구결과임.

사진을 이용하고 있다. 이러한 사진 기반 시물레이션은 대부분 정면 얼굴로 고정되어 있어, 다양한 각도로 얼굴을 회전시켜 보면서 메이크업 결과를 확인할 수 없으며, 이미 촬영된 사진에 메이크업을 했을 때 전체적으로 일관된 조명효과를 주기가 어렵다. 최근에는 3차원 얼굴 모델을 대상으로 하는 메이크업 시스템이 등장했지만 아직 단순화된 메이크업 효과만을 제공하고 있고, 실제 피부의 다양한 측정값들이 적용되지 않아 사실적인 피부 표현을 제공하기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 3차원 얼굴 메이크업을 위해 실제 피부의 다양한 측정값을 적용한 사실적인 피부 렌더링 방법을 개발하였다. 페인팅과 같은 메이크업 어플리케이션의 특성상 잦은 리샘플링이 필요하므로, 3차원 스캐너[3]로부터 얻은 고해상도의 데이터를 메쉬화 과정 없이 바로 사용할 수 있는 포인트 기반의 형상 표현[4]을 사용하였다. 또한 빛이 피부 표면에서 반사되는 과정을 광학적으로 보다 정확하게 표현하기 위하여 양방향 반사분포함수(bidirectional reflectance distribution function: BRDF)와 피부와 같은 반투명 재질에서 나타나는 표면하 산란(subsurface scattering) 방법을 사용하였다. 표면하 산란 효과는 빛의 일부가 물체 표면으로 입사한 뒤 내부에서 산란하는 현상을 컴퓨터 그래픽스를 통해 표현할 수 있게 해주며, 얼굴과 같은 반투명 재질을 사실적으로 나타내기 위해 필요하다[5]. 또한 측정치에 기반한 specular BRDF 연산을 수행하여 사람의 피부에서 일어나는 경면 반사를 사실적으로 시물레이션하였다[6]. 본 연구에서는 이러한 광학적인 효과들을 포인트 기반의 형상 표현을 사용하여 구현하고, 이를 얼굴 메이크업 시물레이션에 적용하고자 한다. 이때 색상뿐만 아니라 피부의 반사도를 사용자가 변경 가능하게 함으로써 화장품에 따라 달라지는 사실적인 3차원 메이크업 결과를 시물레이션할 수 있게 하였다[6,7].

2. 관련 연구

표면하 산란이란 반투명 재질로 된 물체 표면 아래에서 빛이 산란되는 현상으로 사람의 피부처럼 반투명 재질의 물체에서 잘 나타난다. Jensen은 반투명 물체 내부에서 일어나는 산란 과정을 명확하게 시물

레이션하기 위하여 dipole 모델[8]과, 여러 계층으로 이루어진 반투명 물체를 위해 확장된 multipole 모델[9]을 제안하였다. 이 방법은 피부 내부의 빛이 투과되고 반사되는 것을 물리적으로 시물레이션하기 위해 피부를 세 개의 계층으로 이루어진 물체로 가정하여 피지와 멜라닌, 헤모글로빈의 양에 따라 렌더링 결과를 조절한다. 따라서 매우 사실적인 결과를 만들어 낼 수 있지만, 연산 집약적인 처리과정으로 인해 실시간 연산이 거의 불가능하다.

표면하 산란을 고속화하기 위하여 d'Eon과 Luebke은 조명연산과정을 크게 specular BRDF와 표면하 산란의 근사로 나누어 구성한 실시간 피부 렌더링 방법을 발표하였다[10]. 이 방법에서는 표면하 산란을 실시간으로 근사하기 위해서 기존의 텍스처 공간 디퓨전[11]과 반투명 그림자 맵[12]을 확장하여 결합하였으며, 또한 각 부분의 거칠기(roughness)와 척도 계수(scaling coefficient)를 fast fresnel에 대입하여 사실적인 피부 렌더링을 가능하게 하였다. 이를 통해 전처리 없이 사실적인 얼굴 모델을 실시간으로 렌더링할 수 있게 되었다. Weyrich가 제안한 Specular BRDF 방법[6]에서는 레이저 도플러 플로우 메트리(Laser Doppler Flowmetry : LDF) 장치를 이용하여 얼굴 부위별로 반사도를 실측하여 피부 렌더링에 적용하였다. 이를 통해 더욱더 사실적인 specular BRDF 표현이 가능하게 되었다. 본 논문에서는 d'Eon과 Luebke의 실시간 피부 렌더링을 확장하여 적용하였으며, Weyrich의 BRDF 측정값을 반사 매개변수 값으로 적용하여 얼굴 모델에 적용하였다.

최근에 디지털 메이크업의 발전에 힘입어 화장품의 색상 및 메이크업 방법을 사실적으로 표현하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 사진 기반 메이크업에서 3차원 모델 기반 메이크업으로 확장되면서, 메쉬(mesh) 모델이나 스플라인(spline) 패치 구조를 채택하여 인터랙티브한 메이크업 시물레이터를 개발하는데 집중하고 있다. 하지만 페인팅의 시각적인 효과가 떨어지는 왜곡 현상이 발생하거나 모델 표면을 구성하는 메쉬의 불균형적인 형태나 형상의 굴곡의 정도에 따라 에일리어싱 현상이 발생하게 된다. 이러한 메쉬 기반의 페인팅 방법이 갖는 문제점을 해결하기 위한 연구들로서 포인트 기반의 형상 표현을 채택한 메이크업 연구들이 소개되었다[13]. 포인트 기반

페인팅의 초기 대표적 연구로는 Zwicker의 Pointshop3D 시스템을 들 수 있다. 이 시스템은 3차원 포인트 기반 모델에 대하여 브러쉬 스트로크 비트맵 (brush stroke bitmap)을 표면에 투영하여 페인팅 및 필터링을 처리하였다[14]. 하지만 포인트 기반의 3차원 기하 정보 수정을 위해 보다 일반적인 용도로 개발되었으며, 물체의 재질에 대해서는 고려하지 않았다. 본 논문에서는 메쉬 기반의 페인팅 방법을 보완하기 위해 포인트 기반의 형상 표현을 채택하여 처리하였으며, Pointshop3D에서 고려하지 않은 물체의 재질에 대해서 고려하여 보다 사실적인 메이크업을 구현하였다.

본 연구에서는 사실적인 얼굴 렌더링과 인터랙티브한 메이크업 시뮬레이션에서 이점을 갖기 위해 전체 과정을 포인트 기반 구조를 채택하여 처리하였다. 포인트 기반 페인팅 연구들의 주요 접근 방법을 사용하면서도 얼굴에 특화된 보다 사실적인 렌더링을 하기 위하여 포인트 기반의 표면하 산란 방법과 화장품에 의해 변화하는 피부상의 광학 효과를 구현하였다. 이를 통해서 메이크업을 인터랙티브하게 하였을 때 얼굴 표면에서 합성된 3차원 결과를 여러 방향에서 볼 수 있는 고해상도 3차원 얼굴 기반의 메이크업 시뮬레이션 방법을 개발하였다.

3. 사실적인 데이터 기반의 얼굴 렌더링

3.1 인터랙티브 얼굴 메이크업 시뮬레이션

인터랙티브 얼굴 메이크업 시뮬레이션을 위해서 본 논문에서는 포인트 기반 형상 표현[15]을 사용하여 데이터 구조 및 처리 과정을 단순화하였다. 또한 이중 레이어 구조를 정의하여 페인팅 연산을 처리하고, 그 결과는 GPU를 이용한 서피스 스플래팅[16]을 사용하여 렌더링하였다. 포인트로 이루어진 얼굴 표면을 렌더링하기 위해 각 포인트를 스플랫(splat)이라고 불리는 중점과 반지름, 디스크 표면의 색과 법선벡터 정보를 포함한 디스크 형태의 렌더링 프리미티브로 표현하였다.

3차원 얼굴 메이크업 시뮬레이션은 크게 얼굴 데이터 획득 단계와 메이크업 시뮬레이션 단계로 이루어진다. 얼굴 데이터는 그래픽 모델링 툴을 사용하여 모델링 하거나 3차원 스캐너를 통해 획득할 수 있다. 3차원 얼굴에 메이크업 하는 과정을 시뮬레이션하기

위해서는 사용자 인터랙션을 통한 인터페이스가 정의 되어야 한다. 본 논문에서는 마우스나 타블렛을 이용한 2차원적인 페인팅 인터페이스를 개발하였다.

2차원 좌표를 3차원 모델위의 좌표로 변환하기 위하여 FBO(framebuffer object)에 맵핑된 스플랫의 인덱스를 기준으로 해당 스플랫의 3차원 좌표를 검출하였다. 그리고 검출된 3차원 좌표를 기준으로 사전에 지정된 거리 안쪽의 포인트들을 검색하며, 이 과정을 거쳐 샘플링된 포인트의 색을 지정된 화장품 색과 합성하였다. 그림 1은 본 시뮬레이션의 진행과정을 보여준다.

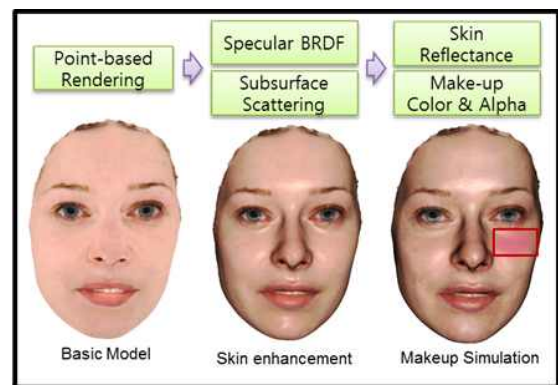


그림 1. 인터랙티브 얼굴 메이크업 시뮬레이션 과정

3.2 표면하 산란과 피부의 BRDF 측정값을 이용한 얼굴 렌더링

본 연구에서는 3차원 얼굴 모델을 사실적으로 렌더링하기 위하여 그림 2와 같이 다섯 단계의 확장된 포인트 기반 렌더링 프레임워크를 사용하였다[5]. 반투명 물체의 사실적인 음영 연산을 위하여 기존의 GPU 기반 서피스 스플래팅에 그림자 맵 생성과 스플랫 기반 확산의 두 단계가 추가된 구조이다.

먼저, 모델의 굴곡에 의해서 만들어지는 국부적인 그림자를 표현하기 위하여 그림자 맵핑(shadow mapping)을 가장 먼저 수행한다. 첫 번째 단계인 그림자 맵핑은 조명의 위치를 시점으로 모델을 바라보

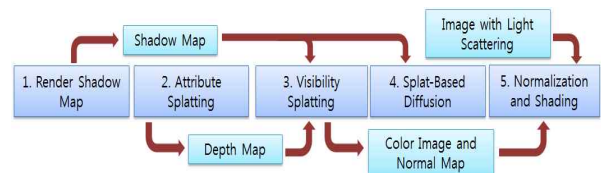


그림 2. 다섯 단계의 확장된 포인트 기반 표면하 산란

도록 절두체를 조정하여 그림자 맵을 생성한다. 그림자 맵에는 조명의 위치로부터 조명이 닿는 모델 표면까지의 3차원 상에서의 거리를 2차원 평면에 투영하여 저장하고, 이를 조명연산 과정에서 빛이 닿지 않는 영역을 판단하는데 사용한다. 그 다음, 서피스 스플래팅의 가시성 스플래팅(visibility splatting)과 속성 스플래팅(attribute splatting)을 차례로 수행하여 모델 표면의 색 정보와 법선 벡터가 각각 버퍼에 누적되어 보간된 2차원 영상을 얻는다. 네 번째 단계에서는 스플랫 기반 확산 연산을 수행하여 피부 표면 아래에서 빛이 산란된 결과를 근사화한다. 스플랫 기반 확산은 물체 내부에서 빛이 산란하는 현상을 오브젝트 공간상에서 스플랫의 특성을 이용하여 근사화하는 방법이다. 그림자 맵핑과 스플랫 기반 확산 방법을 추가로 수행함으로써 포인트 기반 렌더링에서 표면하 산란 효과를 적용하기 위해 필요한 정보를 얻을 수 있다. 마지막 단계에서는 이렇게 네 단계를 수행하여 얻어진 컬러와 법선 벡터, 음영 연산의 결과를 이용하여 최종 결과 영상을 생성한다.

이를 위하여 본 논문에서는 그림 3과 같이 모델의 알베도(albedo texture)와 확산 반사(diffuse reflectance), 경면 반사(specular reflectance)를 각각 연산하고 그 결과를 합성하여 최종 렌더링 결과를 생성하였다. 알베도는 세 번째 단계의 결과를 정규화하여 얻고, 확산 반사 결과는 네 번째 단계를 수행하여 얻는다. 경면 반사 결과는 specular BRDF를 이용하여 사전에 각 포인트 별로 측정된 피부의 반사 매개변수 값을 속성 스플래팅 단계에서 보간하여 생성하였다. 반투명 재질을 가진 피부를 사실적으로 렌더링 하기 위해 각각 계산된 확산 반사와 경면 반사를 결합하여 얼굴의 렌더링을 수행하며, 이후 메이크업 색상을 통해 화장된 얼굴을 완성하였다. 경면 반사 결과는 사전에 각 포인트 별로 측정된 피부의 반사값을 속성 스플래팅 단계에서 보간하여 획득하였다[5]. 그림자 맵핑부터 스플랫 기반 확산까지 네 단계를

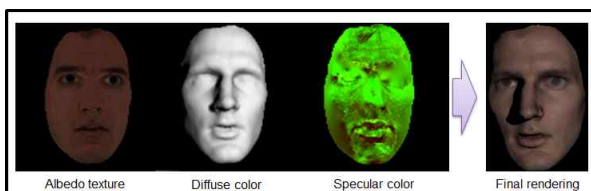


그림 3. 알베도, 확산 반사, 경면 반사를 결합한 최종 얼굴 렌더링 과정

거쳐 알베도 A 와 확산 반사 D , 경면 반사 S 를 만들고 이들을 이용하여 최종결과 F 를 만드는 수식은 다음과 같다.

$$F = A(D + S) \quad (1)$$

확산 반사 결과를 계산하기 위한 스플랫 기반 확산은 물체 내부에서 빛이 산란하는 현상을 오브젝트 공간상에서 효율적으로 근사화하기 위하여 렌더링 기본 요소인 스플랫을 이용하여 빛이 산란하는 형태를 표현하였다. 일반적으로 빛의 산란 형태는 입사부분과 그 주변의 재질과 형태에 따라 이방성을 가지지만, 본 논문에서는 스플랫을 이용한 연산과정의 단순화를 위해서 빛의 산란 형태를 등방성으로 가정하였다. 대부분의 실시간 표면하 산란 방법에서도 연산과정의 연산 속도를 향상시키기 위해 빛의 산란형태를 등방성으로 가정한다. 이 가정에 따라 빛이 입사하여 표면 위의 다른 점으로 사출되는 범위를 스플랫의 반지름 값으로 표현하고, 입사점으로부터 멀어질수록 가우시안 분포의 가중치를 따라 빛의 세기가 작아진다고 가정하였다. 본 논문에서는 각 정점의 확산 정보를 스플랫에 적용하여 중첩시키는 과정을 통해서 표면하 산란을 근사화하였다. 일반적으로 하나의 가우시안 함수가 적용된 확산 반사 영상만으로 다중 레이어로 구성된 재질의 확산 프로파일을 정확하게 근사할 수 없다. 그래서 다중 레이어 구조를 갖는 피부의 확산 프로파일을 여섯 단계로 나누어진 가우시안 함수와 가중치의 일차결합으로 근사화하는 방법을 사용하였다. 각각의 가우시안 함수들은 다른 확산 범위를 가지기 때문에, 먼저 다른 확산범위가 적용된 여섯 개의 확산 영상들을 렌더링하고, 이 영상들에 가중치를 적용하여 일차 결합하였다.

얼굴 표면에서 반사된 빛을 사실적으로 표현하기 위해서는 specular BRDF를 이용하여 경면반사 값을 계산하였다. 이때 Torrance-Sparrow Model 대신 Kelemen Szirmay-Kalos Model[17]을 사용하여 보다 빠른 계산과정을 수행하며, 사실적인 specular BRDF를 수행하기 위해 각 부분별로 측정된 반사 매개변수 값, 거칠기(roughness) m 과 척도 계수(scaling coefficient) ρ_s 를 사용하였다. 표 1은 얼굴 각 부위별 반사 매개변수 값과 거칠기의 측정치를 나타낸다. 하지만 모든 3차원 얼굴 모델에 대하여 피부의 반사 매개변수 값을 측정할 수 없으므로 반사

표 1. Weyrich가 측정한 각 부위별 거칠기 및 반사 매개변수 값(거칠기: m , 반사매개변수: ρ_s)

	볼		코		이마		입술	
	m	ρ_s	m	ρ_s	m	ρ_s	m	ρ_s
최소값	0.27	0.23	0.23	0.30	0.26	0.26	0.27	0.26
최대값	0.28	0.24	0.24	0.31	0.27	0.27	0.30	0.31

매개변수 측정치[6]의 평균값을 참고하여 specular BRDF 렌더링을 수행하였다. 본 논문에서는 LDF를 사용한 스캐닝 장치를 통하여 획득한 반사 매개변수 값을 사용하여 specular BRDF 계산에 이용하며, 피부 각 부분별로 사실적인 경면광을 렌더링하였다.

표면하 산란을 통해 계산된 확산광과 specular BRDF 계산을 통한 경면광을 결합 후 페인팅을 통해 최종 메이크업이 이루어진다. 스플렛의 색을 결정하는 수식은 다음과 같다.

$$C = C_b(1.0 - I) + C_p I \tag{2}$$

C_p 는 얼굴 표면에 적용하게 될 메이크업 색상 값이며, C_b 는 얼굴 표면의 기본 색상이다. I 는 사용자가 선택한 메이크업 색상 값을 얼굴 표면에 어느 정도의 강도(intensity)로 적용할지를 나타내는 투명도 값이다. 그리고 C 는 기존의 얼굴 표면의 색상과 메이크업의 색상이 합성된 최종 색상을 나타낸다. 그림 4는 측정된 데이터 값을 적용한 피부에서 메이크업의 색상을 결합하는 과정을 보여준다.

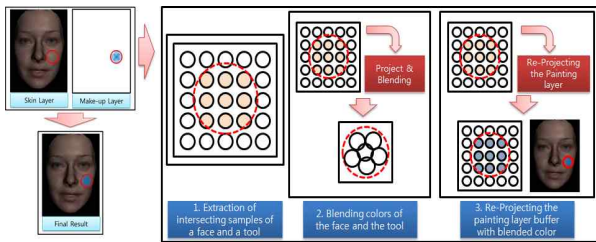


그림 4. 측정값이 적용된 피부와 메이크업 색상 결합 과정

3.3 반사 매개변수 값의 조절에 따른 메이크업 시뮬레이션

본 논문에서는 기본적인 색상 변경을 수행하는 페인팅 효과 외에 부분별로 반사 매개변수 값을 조절할 수 있다. 이를 통해 얼굴 피부를 구성하는 각 스플렛의 경면광을 조절하여 광택(glossy)이 나는 효과나

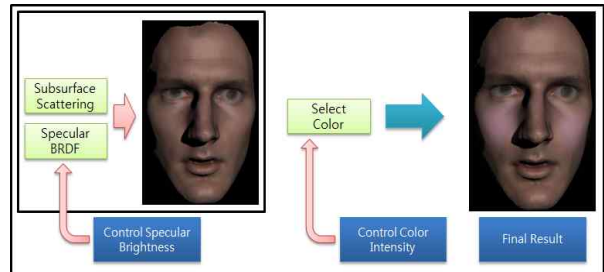


그림 5. 본 메이크업 시뮬레이션의 페인팅 과정

무광(matt)의 효과를 적용 가능하며, 광택의 유무를 통해 실제 화장품의 재질에 따른 효과를 시뮬레이션할 수 있다. 그림 5는 본 메이크업 시뮬레이션의 페인팅 처리과정을 보여준다.

화장품의 특성과 페인팅 횟수에 따라서 메이크업이 적용되는 투명도인 I 는 다음 수식으로 계산된다.

$$I = 0.3I_G + 0.3I_M + 0.3I_F \tag{3}$$

수식 (3)에서 I_G 는 가우시안 가중치 값으로서 페인팅 도구 하나의 샘플 색상값이 얼굴 표면에 얼마간의 영역 범위로 반영될지를 결정하는 변수이며, I_M 은 표면의 재질 특성을 반영한 가중치 값으로서, 이 값은 메이크업 모델이 응용되는 시스템의 특성에 따라 가변적으로 설정가능하다. 마지막으로 I_F 는 사용자가 인터랙티브하게 메이크업 도구를 사용하여 메이크업할 얼굴 표면에 접촉하였는지를 표현하는 가중치이다. 이 값은 메이크업의 횟수에 의해 투명도를 정의한다. 각 가중치에 곱해지는 상수 0.3은 본 시뮬레이션에서 3차원 얼굴에 대하여 자연스러운 메이크업 결과를 유지하기 위한 실험과정을 통해 경험적으로 도출해낸 수치이다. 그림 6은 수식 (3)에서 사용되는 투명도의 수치와 그에 따른 색상의 변화를 보여준다. I 의 강도와 specular BRDF의 매개변수 값을 조절하여 3차원 얼굴의 메이크업 색을 최종적으로 결정한다. 이때 최종 계산된 색상이 얼굴의 고유 색상을 단순히 덮어 버리지 않고, 고유 색상 범위를 초과하지 않도록 가중치를 이용하여 초기의 색상 범위로 정규화한다.

본 시뮬레이션에서는 가상모델로 표현된 메이크업 도구의 크기를 조절 가능하다. 이러한 도구의 선택 영역을 조절하여 3차원 얼굴 모델을 보다 세밀하게 메이크업할 수 있다. 그림 6은 메이크업 도구의 크기 및 투명도 조절에 따른 결과를 보여준다.

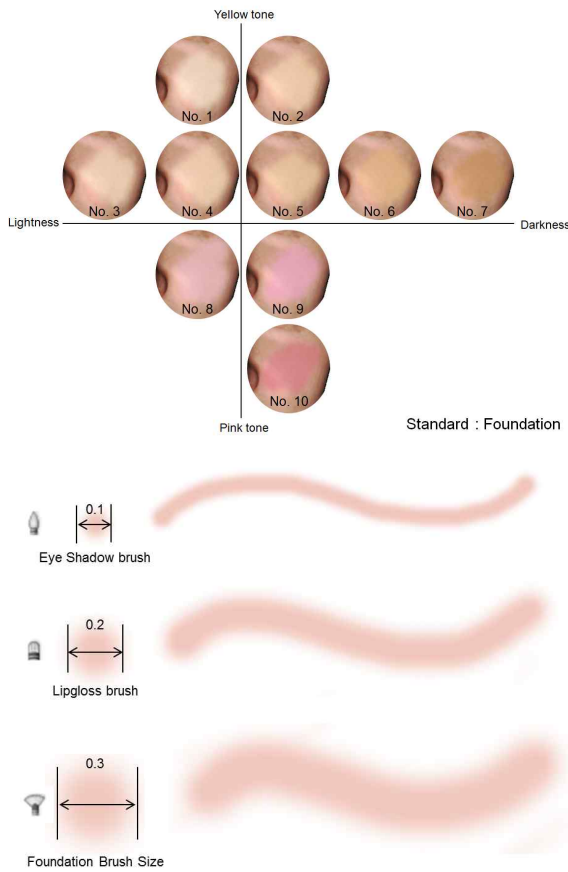


그림 6. 메이크업 색상의 투명도 및 도구 크기 조절

4. 구현 및 결과

본 장에서는 개발한 메이크업 시뮬레이션의 성능을 시험하기 위해서 취리히 연방공대(ETH Zurich)의 컴퓨터 그래픽스 연구실에서 제공받은 고해상도의 얼굴 모델 3개(각 정점 개수 : 597,330개, 683,549개, 586,645개)를 사용하였으며, 크게 네 가지 방향으로 나누어 실험을 진행하였다. 첫째, 포인트 기반 조명 연산 방법에 따른 얼굴 렌더링 결과를 비교하였다. 둘째, 메이크업 도구의 크기 및 호수의 변화에 따른 결과를 비교하였다. 셋째, 반사 매개변수 값을 달리하여 메이크업 수행 이후의 결과를 비교하였다. 마지막으로 본 연구에서 시뮬레이션 가능한 모든 기능을 적용하여 메이크업 시뮬레이션한 최종 결과를 제시하였다. 모든 결과는 Inter Core 2 Quad CPU Q9400 2.66GHz와 NVIDIA GeForce GTS 250을 사용하여 실험하였다. 또한 GPU 기반의 포인트 기반 그래픽 렌더링 방법의 개발을 위하여 OpenGL과 NVIDIA의 Cg(C for graphics)를 사용하였다.

4.1 조명연산 방법에 따른 얼굴 렌더링 결과

본 연구에서는 포인트 기반 렌더링 환경에서 사실적인 피부를 표현하기 위하여 확산광의 BSSRDF와 경면광의 BRDF를 사용한 조명연산 방법을 적용하였다[4]. 그림 7의 윗 줄은 조명 연산을 적용하지 않은 얼굴 렌더링 결과이며, 그림 7의 가운데 줄은 확산광의 표면하 산란만을 고려한 얼굴 렌더링 결과이다. 그림 7의 아랫줄은 표면하 산란과 specular BRDF를 고려한 얼굴 렌더링 결과이다. 조명 연산이 적용되지 않은 결과는 전체적으로 입체감이 없어서 2차원의 얼굴 그림과 차이점을 찾기 힘들다. 표면하 산란을 적용한 결과는 피부 표면 아래에서 산란하는 빛의 영향으로 인해 음영연산의 경계가 부드럽게 변화한다. 표면하 산란과 specular BRDF를 적용한 결과에서는 얼굴의 각 부분별로 유분에 의한 광택을 표현할 수 있다.

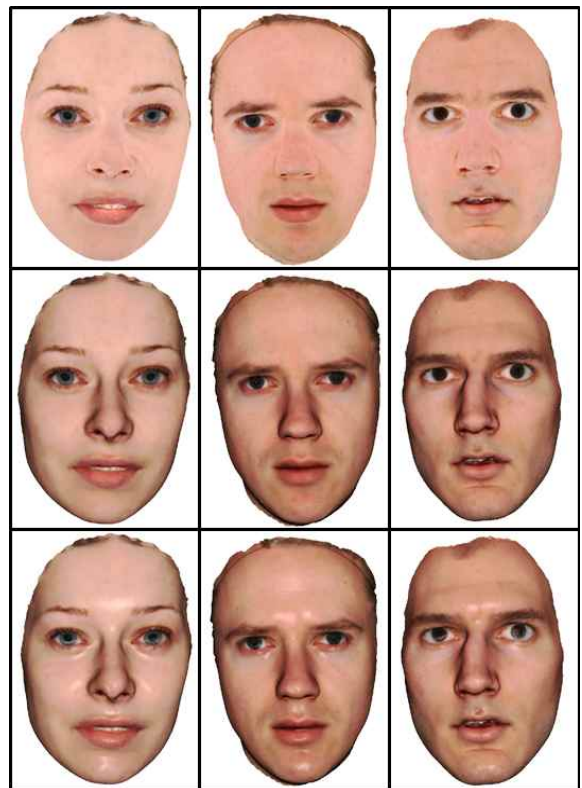


그림 7. 반사를 고려하지 않은 얼굴 렌더링 결과 (위), 확산 반사를 고려한 얼굴 렌더링 결과 (가운데), 확산 반사와 경면 반사를 모두 고려한 얼굴 렌더링 결과 (아래)

4.2 메이크업 도구 크기 및 색상 변경에 따른 메이크업 수행 결과

사용자는 페인팅이 적용될 영역을 조절하여 도구

의 크기를 표현할 수 있고, RGB 공간에서의 색상조합 인터페이스를 통하여 다양한 색상을 선택할 수 있다. 그림 8은 메이크업 도구의 크기 조절에 따른 결과를 나타내며, 그림 9는 메이크업 색상 변화에 따른 결과를 보여준다.

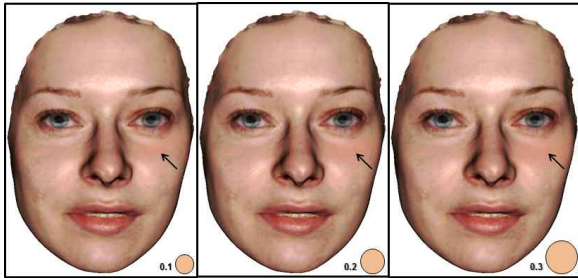


그림 8. 메이크업 도구의 크기 조절에 따른 메이크업 렌더링 결과, 좌측에서 우측순으로 메이크업 도구 크기 0.1, 0.2, 0.3를 사용한 메이크업 수행 결과

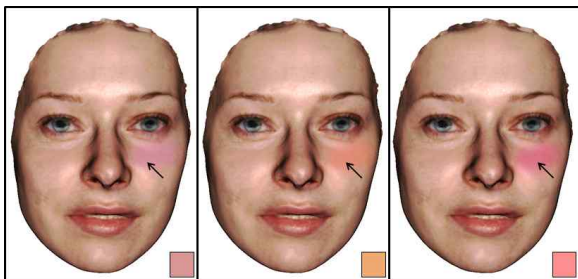


그림 9. 메이크업 색상 조절에 따른 메이크업 렌더링 결과, 좌측에서 우측 순으로 파운데이션 1호, 2호, 3호를 사용한 메이크업 수행 결과

4.3 피부 반사 매개변수 값의 조절에 따른 메이크업 수행 결과

그림 10과 11에서는 피부의 반사 매개변수 값을

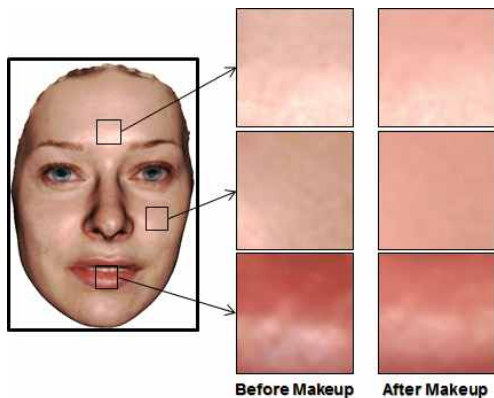


그림 10. 반사 매개변수 값의 조절에 따른 메이크업 렌더링 결과



그림 11. 반사 매개변수 값의 조절에 따른 메이크업 렌더링 결과, 왼쪽: 반사 매개변수 값 0.170을 적용한 메이크업 수행 결과, 가운데: 반사 매개변수 값 0.240을 적용한 메이크업 수행 결과, 오른쪽: 반사 매개변수 값 0.310을 적용한 메이크업 수행 결과

조절함에 따른 렌더링 결과를 비교하였다. 그림 10은 이마, 입술, 볼의 경면광 반사 매개변수 값을 설정한 기본 피부에서 동일한 색상으로 메이크업을 수행할 시 반사 매개변수 값의 차이에 따라 메이크업 결과의 차이를 보여준다. 그림 11은 색상과 함께 반사 매개변수를 변경한 결과를 통해 조명연산에 따른 화장품의 색감과 재질감의 차이를 보여준다.

4.4 색상과 피부 반사를 함께 고려한 메이크업 시뮬레이션 결과

제안 메이크업 시뮬레이션 과정에서는 화장품의 종류에 따라서 피부 반사 매개변수 값과 색상, 페인팅 적용 영역을 조절할 수 있다. 그림 12는 본 연구에서 조절 가능한 모든 변수를 고려하여 수행한 메이크업 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 12의 윗줄의 남자 얼굴에 적용된 메이크업에서는 전체적으로 피부의 유분을 줄이기 위하여 베이스를 칠하여 피부의 경면 반사율을 낮추고, 피부 톤을 밝게 하였다. 또한 입술에는 무색의 립글로즈를 적용하여 경면 반사율을 높이는 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 12의 아랫줄의 여자 얼굴에서는 기존의 유분이 많은 얼굴에서 볼에 베이스를 통해 피부의 경면 반사율을 낮춰 피부의 유분을 감소시켰으며, 입술에는 부분적으로 분홍색의 색조와 경면 반사를 낮춰주었으며, 갈색의 아이 색도를 적용하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 얼굴 메이크업 시뮬레이션에서 사용할 수 있도록 메이크업 할 때 변화하는 피부를 사실적으로 렌더링하는 방법을 개발하였다. 이를 위하

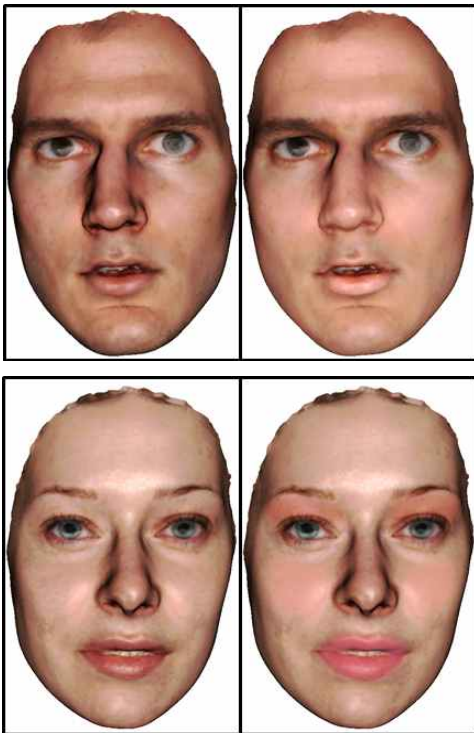


그림 12. 본 연구에서 시뮬레이션 가능한 모든 변수를 고려한 메이크업 결과, 왼쪽 위: 반사 매개변수 값 0.18과 거칠기 값 0.23을 적용한 기본 상태의 남성 모델, 오른쪽 위: 메이크업 수행 결과, 왼쪽 아래: 반사 매개변수 값 0.18과 거칠기 값 0.23을 적용한 기본 상태의 여성 모델, 오른쪽 아래: 메이크업 수행 결과

여 포인트 기반의 표면하 산란과 specular BRDF를 구현하였고, 화장품을 페인팅하는 과정에서 색상뿐만 아니라 화장품의 재질에 따라 달라지는 피부 표면의 반투명성과 반사 매개변수 값을 변경할 수 있도록 하였다. 피부 내부의 광학적인 표현을 함으로서 제한된 조명환경을 가지는 기존의 메이크업 시뮬레이션에서 탈피하여 다양한 조명환경에서도 사실적인 메이크업 시뮬레이션이 가능하게 되었고, 단순히 페인팅을 통한 표현이 아닌, 여러 속성을 가지는 화장품을 표현할 수 있는 가능성을 보여주었다.

향후 연구로는 실제 화장품의 색상 및 재질을 측정하여 메이크업 결과를 예측해 보거나 화장품 도구와 얼굴 표면과의 상호작용 방식을 보다 다양화하여 사용자로 하여금 실제 화장하는 듯한 느낌을 갖게 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 김효숙, 강인애, "Make-up Coordination의

Simulation 개발에 관한 연구," 대한가정학회, 제39권, 제12호, pp. 65-77, 2001.

- [2] 최수미, 김현중, 최진호, 조태훈, 이송우, 권순영, 김진서, "모바일 플랫폼에서의 사실적인 3차원 얼굴 메이크업 시뮬레이션," 정보과학회지, 제30권, 제11호, pp. 53-61, 2012.
- [3] 윤승욱, 황분우, "다시점 영상을 이용한 3D 복원 기술," 방송과 기술, 제27권, 제3호, pp. 136-145, 2012.
- [4] 강동수, 신병석, "포인트 프리미티브를 이용한 실시간 볼륨 렌더링 기법," 멀티미디어학회논문지, 제14권, 제10호, pp. 1229-1237, 2011.
- [5] H.J. Kim, B. Bickel, M. Gross, and S.M. Choi, "Subsurface Scattering using Splat-Based Diffusion in Point-Based Rendering," *Science China Information Sciences*, Vol. 53, No. 5, pp. 911-919, 2010.
- [6] T. Weyrich, W. Matusik, H. Pfister, B. Bickel, C. Donner, C. Tu, J. Mcandless, J. Lee, A. Ngan, H. W. Jensen, and M. Gross, "Analysis of Human Faces using a Measurement-Based Skin Reflectance Model," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 25, No. 3, pp. 1013 - 1024, 2006.
- [7] 박성용, 오경수, "위치별 산란특성을 반영한 측정기반 얼굴 렌더링," 한국게임학회지, 제9권, 제5호, pp. 137- 144, 2009.
- [8] H.W. Jensen, S.R. Marschner, M. Levoy, and P. Hanrahan, "A Practical Model for Subsurface Light Transport," *Proc. ACM SIGGRAPH 2001, Annual Conference Series*, pp. 511-518, 2001.
- [9] C. Donner and H. W. Jensen, "A Spectral Bssrdf for Shading Human Skin," *Rendering Techniques 2006: 17th Eurographics Workshop on Rendering*, pp. 409-418, 2006.
- [10] E. d'Eon, D. Luebke, and E. Enderton, "Efficient Rendering of Human Skin," *Rendering Techniques 2007: 18th Eurographics Workshop on Rendering*, pp. 147-158, 2007.
- [11] S. Green, *GPU Gems*, 7th ed. Addison

Wesley, Boston, United States, pp. 263-278, 2004.

[12] C. Dachsbacher and M. Stamminger, "Translucent Shadow Maps," *Eurographics Symposium on Rendering: 14 th Eurographics Workshop on Rendering*, pp. 197-201, 2003.

[13] J.S. Kim and S.M. Choi, "Interactive Cosmetic Makeup of a 3D Point-based Face Model," *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E91-D, No. 6, pp. 1673-1680, 2008.

[14] M. Zwicker, M. Pauly, O. Knoll, and M. Gross, "Pointshop 3D: An Interactive System for Point-Based Surface Editing," *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 1, No. 3, pp. 322-329, 2002.

[15] H. Pfister, M. Zwicker, J.V. Baar, and M. Gross, "Surfels: Surface Elements as Rendering Primitives," *Proc. ACM SIGGRAPH 2000, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, pp. 335-342, 2000.

[16] M. Botsch, A. Hornung, M. Zwicker, and L. Kobbelt, "High-quality Surface Splatting on Today's GPUs," *Proc. Eurographics Symposium on Point-Based Graphics*, pp. 17-24, 2005.

[17] E. d'Eon and D. Luebke, *GPU Gems 3*, Addison Wesley, Boston, United States, pp. 293-305, 2007.



이 상 훈

2010년 2월 세종대학교 디지털컨텐츠학과 학사
 2012년 2월 세종대학교 컴퓨터공학과 석사
 2012년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: 컴퓨터그래픽스, 모바일그래픽스, 3차원 얼굴 렌더링



김 현 중

2007년 2월 세종대학교 컴퓨터소프트웨어학과 학사
 2009년 2월 세종대학교 컴퓨터공학과 석사
 2009년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 박사과정

2011년(1~2월), 2012년(12~2월), 2013년(12~1월) 스위스 취리히 연방공대 (ETH Zurich) 방문연구원
 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 정점 기반 렌더링, 사실적인 얼굴 렌더링



최 수 미

1993년 2월 이화여자대학교 전자계산학과 이학사
 1995년 2월 이화여자대학교 전자계산학과 이학석사
 2001년 2월 이화여자대학교 컴퓨터공학과 공학박사

2001년~2002년 이화여자대학교 CG/VR 센터 연구교수
 2008년~2009년 스위스 취리히 연방 공대(ETH Zurich) 방문교수
 2002년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수
 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 가상현실, HCI, 의료영상