

# 미술가들의 음영 표현 특성과 CG 셰이딩 알고리즘 간의 상관관계 분석

변혜원<sup>\*</sup>, 박윤영<sup>\*\*</sup>

## 요 약

최근 컴퓨터 그래픽스와 사용자의 인지를 결합한 다양한 연구들이 진행되고 있다. Cole 등은 미술가들의 라인 드로잉 데이터를 수집하여 기존의 CG(Computer-Generated) 라인 드로잉 알고리즘들이 미술가들의 드로잉 특성을 반영하고 있는지 비교하고, 사용자들이 어떤 라인 드로잉 알고리즘의 결과에서 형태를 효과적으로 인지하는지 평가하는 실험을 수행하였다. 그러나 라인 드로잉 알고리즘의 결과보다 BRDF 셰이딩 모델이 적용된 결과에서 형태를 더욱 효과적으로 인지한다는 결과를 보였는데, 이는 음영이 형태 정보를 전달하기에 더욱 효과적인 요소임을 반증한다. 따라서 본 논문에서는 물체에서 인지한 음영과 미술가들의 음영 표현, 그리고 CG 셰이딩 알고리즘 간의 상관관계에 대해서 연구한다. 특히, 미술가들의 음영 표현 특성과 CG 셰이딩 알고리즘에서 나타나는 특성에 초점을 맞추고 이를 정량적으로 분석한다. 본 논문에서 수집한 실험 데이터 및 분석 결과는 효과적인 형태 전달을 목적으로 하는 새로운 CG 셰이딩 알고리즘을 설계하는데 활용 가능할 것으로 기대된다.

## Correlation Analysis between Artists' Shading and CG Shading

Hae Won Byun<sup>\*</sup>, Yoon Young Park<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

Recently, several researchers have attempted to combine human visual perception and computer graphics. Cole et. al. suggest the study results in which line drawing algorithm in computer graphics characterize the properties of line drawing made by artists. The paper also evaluates CG line drawing algorithms depending on whether people recognize effectively specific 3D shape from the image made by those CG line drawing algorithms. However, human recognizes the shape of objects more effectively in image made by BRDF shading model than line drawing algorithm. It means that the shading factor is important to recognize shape with human perception. In this paper, we analyze the correlation between shading made by human artists and that made by CG shading algorithms. The study is to characterize the mathematical properties of artists' shading and CG shading. This type of analysis can guide the future development of new CG shading algorithm in computer graphics for the purpose of shape perception.

**Key words:** Artists' Shading(미술가들의 음영 표현), CG Shading Algorithm(CG 셰이딩 알고리즘), User Perception Experiment(사용자 인지 실험), Toon Shading(툰 셰이딩), Cool-to-Warm Model(쿨투웜 모델), Pen & Ink Rendering(펜&잉크 렌더링), Hatching(해칭), Pencil Rendering(연필 렌더링)

\* 교신저자(Corresponding Author): 변혜원, 주소: 서울특별시 성북구 동선동 3가 249-1 동선동길 54-7 성신여자대학교 미디어정보관 304호(136-742), 전화: 02)920-7615, FAX: 02)920-7610, E-mail: hyewon@sungshin.ac.kr  
접수일: 2011년 2월 20일, 수정일: 2011년 4월 12일  
완료일: 2011년 4월 21일

<sup>\*</sup> 종신회원, 성신여자대학교 IT학부

<sup>\*\*</sup> 정회원, (주)엔씨소프트

(E-mail: yunyoung@sungshin.ac.kr)

\* 이 논문은 2011년 성신여자대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

## 1. 서 론

컴퓨터 그래픽스에서 3차원 물체를 라인으로 표현하는 라인 드로잉 알고리즘은 물체의 형태를 효과적으로 전달하는 데에 목적을 두고 있다. 이러한 용도로서 Suggestive Contours, Ridges and Valleys, Apparent Ridges와 같은 다양한 알고리즘들이 제시되어 왔다. 그러나 이러한 알고리즘들이 실제 미술가들의 라인 드로잉 특성을 얼마나 제대로 반영하고 있는지에 관한 실험적인 증거가 뒷받침되지 않고 있다. 최근에 Cole 등은 미술가들의 라인 드로잉 데이터를 수집하여 분석함으로써 기존의 라인 드로잉 알고리즘이 미술가들의 라인 드로잉 특성을 반영하는지에 관해서 평가하는 연구를 수행하였다[1]. 또한, 미술가들이 그린 라인의 위치와 3차원 물체의 기하학적인 특성 간의 관계를 정의함으로써 새로운 라인 드로잉 알고리즘의 개발에 유용한 데이터를 제공하고자 하였다. 그러나 복잡한 형태를 가지는 물체의 경우, 외곽선만으로는 정확한 형태의 전달이 어렵기 때문에 음영 표현을 통하여 오목하거나 볼록한 입체적인 형태를 전달할 수 있다. 즉, 3차원 물체의 형태를 정확하게 인지하기 위해서는 외곽선뿐만 아니라 물체 내부의 음영 표현이 매우 중요한 요소라는 사실을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 CG 셰이딩 알고리즘이 미술가들의 음영 표현 특성을 얼마나 반영하는지에 관해서 평가한다. 이를 위하여 숙련된 미술 전공 대학생들에게 3차원 물체의 형태를 효과적으로 표현하도록 물체의 음영을 표현해 달라는 요청을 하고 그 결과 의미있는 음영 표현 데이터를 수집한다. 그리고 이를 정량적으로 분석하는 방법론을 제시하고 이에 따라 사용자 실험 및 평가를 수행한다. 특히, 미술가들 간에 3차원 물체의 음영을 표현하는 공통된 특성(correlation)이 있는지와 최근에 제시된 CG 셰이딩 알고리즘들이 미술가들의 음영 표현 특성을 반영하고 있는지에 관하여 분석하고 이를 위한 비교 기준으로서 음영 표현 비율, 음영 표현 위치, 음영 톤 단계를 제시한다. 이 분야의 전체적인 연구 흐름에서 본 논문이 기여하는 바는 다음과 같이 몇 가지로 요약 정리할 수 있다.

- 미술가들이 손으로 그린 드로잉과 CG 셰이딩 알

고리즘으로 렌더링한 3차원 물체 영상에서 음영 정도를 정량적으로 비교하는 방법론 제시

- 숙련된 미술 전공 학생들 10명이 10가지 종류의 3차원 물체를 드로잉한 총 100개의 데이터셋 수집
- 미술가들이 그린 드로잉에 음영을 표현하는데 어떤 연관성(correlation)이 있는지에 관한 실험 결과 제시
- CG 셰이딩 알고리즘으로 렌더링한 영상에서 어떤 픽셀들이 미술가들의 드로잉한 특성을 반영하는지에 관한 실험결과 제시

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 미술가들의 음영 표현에 관한 이론, CG 셰이딩 알고리즘, 그리고 사용자 실험 및 평가에 관한 기존 연구들을 소개한다. 3장과 4장에서는 데이터 수집을 위한 실험 설계와 미술가들의 음영 표현 데이터 수집에 대해서 설명한다. 5장에서는 데이터의 분석 및 결과에 대해서 언급하고, 6장에서 결론으로 마무리한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 미술가들의 음영 표현 및 도구

르네상스 시대 이후로 화가들은 명암법을 사용하였는데, 모든 사물의 형태가 빛과 그림자에 의해서 규정되기 때문에 음영을 표현함으로써 사물을 입체적이고 사실적으로 나타내고자 하였다[2]. 음영을 표현하는 방법은 하이라이트, 중간 색조, 반사광, 그림자의 중심, 그림자의 윤곽의 5가지 요소로 구분될 수 있으며, 음영을 표현하기 위한 기본 도구로써 연필, 목탄, 펜과 잉크 등이 사용되어왔다[3,4]. 연필은 누구에게나 친밀감을 줄 수 있는 도구이며 종류가 다양하기 때문에 그림을 그릴 때 가장 쉽게 선택할 수 있는 도구이다. 목탄은 단색의 무른 성질을 가지기 때문에 손을 이용하여 번지는 효과를 낼 수 있어서 짙은 톤부터 어두운 톤까지 섬세한 톤의 표현이 가능하다. 또한, 펜과 잉크는 점이나 스트로크의 두께와 스트로크 간의 밀도를 조정함으로써 다양한 톤의 표현이 가능하다.

### 2.2 CG 셰이딩 알고리즘

물체의 입체적인 표현에 관한 요구가 증가함에 따라서 셰이딩 알고리즘의 연구가 활발하게 이루어져

왔다. BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function)는 빛이 표면에서 어떻게 반사되는지에 관해 정의하는 함수로서 HDR(High Dynamic Range)과 함께 사실적인 표현을 목적으로 하고 있다[5-7]. 비사실적인 표현을 목적으로 하는 알고리즘은 툰 셰이딩과 쿨투웜(Cool-to-Warm) 등이 있다. 툰 셰이딩은 카툰렌더링이라고도 하며 진한 외곽선과 적은 수의 툰 단계로 표현되기 때문에 만화와 같은 친근하고 매력적인 스타일을 제공한다[8,9]. 쿨투웜 모델은 기술적 일러스트레이션에서 주로 이용되는데, 빨강, 주황, 노랑과 같은 따뜻한 색과 파랑, 남색과 같은 차가운 색의 대비를 통하여 형태를 더욱 효과적으로 전달할 수 있다는 이점을 가진다[10]. 그 밖에도 펜과 잉크, 연필과 같은 재료에서 나타나는 표현 특성을 재현하고, 예술적인 결과물을 제공하는 연필 렌더링과 펜&잉크 렌더링, 해칭 등의 알고리즘이 있다 [11,12].

### 2.3 사용자 실험을 통한 비사실적 렌더링 평가

컴퓨터 그래픽스와 사용자의 인지를 결합한 연구에 대한 관심이 높아지면서 사용자 실험 및 평가에 대한 중요성이 대두되고 있는데, 사용자 실험을 통하여 사용자들의 경험적인 데이터를 제시할 수 있기 때문이다. Cole 등은 미술가들의 라인 드로잉 데이터를 수집하여 3차원 물체에서 인지한 사물의 형태를 어떠한 라인 드로잉을 통하여 표현하는지에 대하여 연구하고, 기존의 라인 드로잉 알고리즘의 결과와의 유사도를 비교하였다[1]. 또한, 후속 연구로서 다양한 라인 드로잉 결과에서 사람들이 형태를 어떻게 인지하는지 평가하기 위하여 측정기(gauge)를 배치하는 실험을 수행하였다[13].

Winnemöller 등은 형태를 인지하는 데에 큰 영향을 미치는 요소들을 결정하기 위한 사용자 인지 실험을 수행하였는데, 역동적인 실험 환경을 가정하고 비사실적 렌더링에서 일반적으로 사용되는 음영, 텍스처, 외곽선, 모션과 같은 기술들을 이용하였다[14].

### 3. 사용자 실험 설계

미술가들의 음영 표현 특성을 분석하기 위하여 미술가들이 드로잉에서 음영을 표현하는 데이터를 수집하는 사용자 실험을 설계한다. 미술가들은 드로잉

을 할 때 연필, 펜&잉크, 목탄, 파스텔 등의 다양한 도구를 사용하는데, 도구의 특성에 따라서 라인의 두께나 음영 톤이 결정되기 때문에 이에 따라 각기 다른 음영 표현 스타일을 가진다. 따라서 본 연구에서는 미술가들이 가장 일반적으로 사용하는 연필과 펜&잉크 드로잉 데이터를 수집하여 이로부터 음영 표현 스타일을 조사하고 사용자 실험 환경을 설계한다.

#### 3.1 도구에 따른 다양한 음영 표현 스타일

연필은 다루기 쉬우며, 단단하고 무른 정도(hardness), 연필 끝 부분의 모양, 그리고 연필에 가하는 압력에 따라서 서로 다른 스타일의 선을 표현할 수 있기 때문에 하나의 도구로 다양한 표현이 가능하다는 장점을 가진다(그림 1). 연필을 이용한 음영 표현에서는 흐린 톤부터 진한 톤까지 다양한 톤이 나타나며 톤 단계의 변화가 자연스럽게 연결된다는 특징이 있다(그림 2의 왼쪽).

반면, 펜&잉크[16]를 이용한 음영 표현은 그림 2의 오른쪽과 같이 연필[17]을 이용한 음영 표현보다 강한 대비 효과를 가진다. 이는 각각의 선이 하나의 톤으로 일정하게 표현되므로 선이 표현되는 부분은 검은색, 선이 표현되지 않는 부분은 흰색으로 뚜렷하게 구분되기 때문이다. 펜&잉크를 이용한 음영 표현에서는 특별히 점묘법(stippling)을 이용하기도 하는데, 하나의 점으로 음영을 표현할 수 있기 때문에 점을 배치하는 밀도를 이용하여 장면 전체의 색조를 결정할 수 있다.

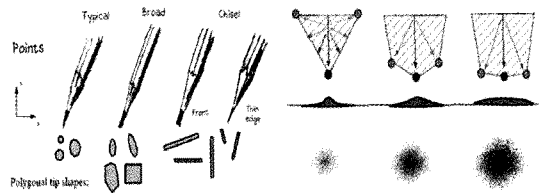


그림 1. 연필의 속성에 따라 나타나는 다양한 표현(15)

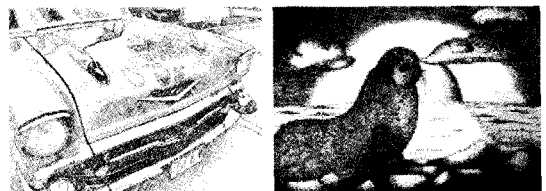


그림 2. 연필과 펜을 이용한 음영 표현

### 3.2 실험 환경 구성

실험에 사용되는 3차원 모델을 선정함에 있어 물체의 형태를 쉽게 추론할 수 있으며, 오목(concave)하거나 볼록(convex)하거나 평평한(flat) 형태적 특성이 다양하게 나타나는 모델을 이용함으로써 모델의 기하학적 정보에 따라서 음영이 많이 표현될 수 있도록 한다. 또한, 평소에 잘 그리지 않는 모델을 제시함으로써 선입견을 배제시키고 학습된 음영 표현이 나타나는 것을 최소화한다. 그림 3은 실험에 사용된 10개의 모델이며 이는 Aim@Shape, VAKHUM, Cyberware에서 무료로 제공한다.

실험 환경은 3차원 모델을 보여주는 이미지 시트와 미술가들이 그림을 그려야 하는 드로잉 시트, 그리고 설문조사 페이지로 구성된다. 설문조사는 그림 경력이나 사용한 도구 등의 질문을 포함한다. 그림 4는 bumps 모델의 이미지 시트와 드로잉 시트를 보여주고 있으며 이미지 시트에서는 3차원 모델을 BRDF로 렌더링한 결과 이미지를 제공한다. BRDF는 빛의 방향과 입사각에 관계없이 빛이 모든 방향으로 골고루 흩어지기 때문에 물체의 음영을 사실적으로 표현할 수 있다. 미술가들이 그려야 할 기준 시점에서의 이미지를 맨 위에 크게 보여주고 그 아래에 네 개의 참조 시점에서의 이미지를 제공함으로써 실

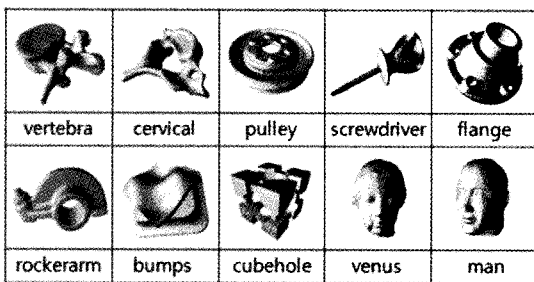


그림 3. 실험에 사용된 3차원 모델 이미지

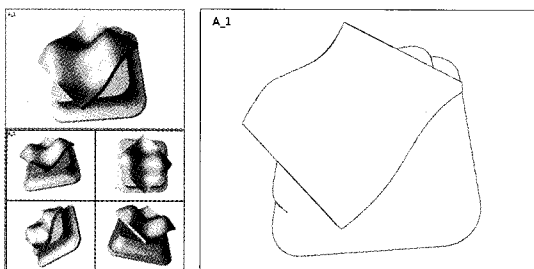


그림 4. 이미지 시트(왼쪽)와 드로잉 시트(오른쪽)

험자들이 물체의 형태를 이해하는데 도움을 줄 수 있도록 한다.

드로잉 시트에서는 기본적으로 물체의 외곽선을 제공하는데, 이는 드로잉 시트의 기본 시점을 기준으로 추출한 것이다. Cole의 연구 결과에 따르면 미술가들이 그린 라인의 70%를 외곽선을 이용하여 나타낼 수 있었는데, 외곽선을 통하여 미술가들의 공통적인 라인을 제공하는 동시에 음영 표현 영역의 범위를 제한함으로써 분석을 용이하게 할 수 있도록 한다. 뿐만 아니라 사용자들은 외곽선으로 물체를 표현한 결과에서 형태를 정확하게 인지하지 못했기 때문에 주어진 외곽선을 이용하여 라인을 통한 물체의 형태 인지 효과를 최소화시킬 수 있다. 이미지 시트와 드로잉 시트는 A~D의 네 개의 유형을 가지는데, 각 유형마다 이미지의 순서를 다르게 배치한다. 이는 이미지의 순서에 따라서 다르게 나타날 수 있는 효과를 배제하기 위한 것이다.

## 4. 미술가들의 음영 표현 데이터 수집

### 4.1 음영 표현 데이터 수집

미술가들은 현실 세계의 조명 모델과 유사하게 표현되는 BRDF 이미지에서 인지한 형태와 음영을 직접 종이에 표현하는데, 형태를 효과적으로 전달하는 목적을 가지고 실험을 수행하도록 한다. 미술가들은 연필과 펜&잉크를 사용할 수 있으며, 제한시간을 두지 않고 물체의 형태를 충분히 표현했다고 판단될 때까지 드로잉한다.

표 1에서 볼 수 있듯이, 본 실험은 성신여자대학교

표 1. 실험내용 요약

실험방법	실험 내용
실험 참여자	성신여자대학교 미술 전공 학생
참여자 인원	10명 (동양화과 3명, 서양화과 7명)
참여자 나이	19~22세
참여자 그림경력	31개월~72개월
실험방법	3차원 물체의 음영 표현
실험대상	3차원 물체 10개
실험도구	4B 연필, 수성펜, 볼펜, 색연필, 2B 연필, 5B 연필, 7B 연필
실험시간	평균 총 126분 (물체 1개당 평균 12분 30초)

에서 미술을 전공하는 10명의 학생(동양화과 3명, 서양화과 7명)들을 대상으로 진행하였다. 미술가들은 빛의 위치에 따른 음영의 변화나 톤의 단계에 대한 사전 지식을 충분히 갖추고 있을 뿐만 아니라 이미지에서 인지한 음영을 정확하게 표현할 수 있기 때문에 실험 대상으로 적합하다. 실험에 참여한 학생들의 평균 나이는 21세이며, 최소 31개월부터 최대 72개월까지의 그림 경력을 가지고 있다.

실험에 참여한 모든 미술가들이 10개의 3차원 물체에 대해서 음영을 표현하여 총 100개의 데이터를 수집하였다. 실험에 사용한 도구는 4B 연필이 가장 많았으며, 수성펜, 볼펜, 색연필, 2B, 5B와 7B 순으로 나타났다. 실험에 소요된 총시간은 평균 126분으로(최소 80분~최대 180분), 하나의 물체를 표현하는 데에는 평균 12분 30초 정도 소요되는 것으로 나타났다. 그림 5는 수집한 음영 표현 데이터의 일부이며, 3개의 모델은 연필, 7개의 모델은 펜을 이용하였다.

#### 4.2 데이터 검증

수집한 미술가들의 음영 표현 데이터를 검증하여 유효한 데이터만을 추출하는 과정이 필요하다. 특정 미술가들은 하나의 이미지를 드로잉 할 때 연필, 펜&잉크를 함께 사용하여 음영을 표현하기도 하였는데,

이는 도구에 따라서 달라지는 음영 표현 특성을 연구하는데 부적합한 데이터이므로 제외한다. 데이터 검증 과정을 통하여 유효하지 않은 세 개의 데이터(bumps, rockerarm, pulley)를 제거하고, 남은 97개의 유효한 데이터만을 분석에 이용한다(그림 6).

### 5. 데이터 분석 및 결과

수집한 음영 표현 데이터를 통하여 미술가들의 음영 표현 특성을 분석하고 미술가들 간의 음영 표현이 유사한지 그리고 기존의 CG 셰이딩 알고리즘이 미술가들의 음영 표현 특성을 반영하는지에 관하여 살펴본다.

#### 5.1 미술가들 간의 음영 표현이 유사한가?

미술가들이 형태를 효과적으로 전달하기 위해서 공통적으로 사용하는 음영 표현 특성이 있는지 조사하기 위하여 음영을 어느 범위까지 표현하는지를 나타내는 음영 표현 비율, 음영을 물체의 어느 위치에 표현하는지를 나타내는 음영 표현 위치, 그리고 음영의 명암을 어떤 단계로 표현하는지를 나타내는 음영 표현 톤 단계의 세 가지 측면에서 비교 분석한다. 표 2는 미술가들 간의 음영 표현 유사도를 세 가지 기준

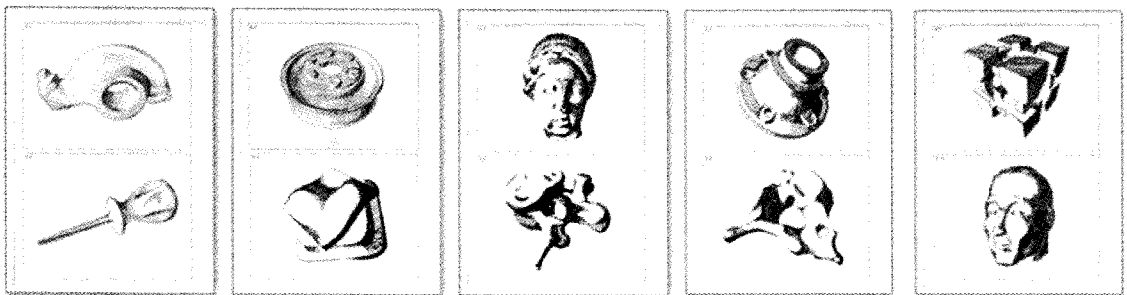


그림 5. 미술가의 음영 표현 수집 결과

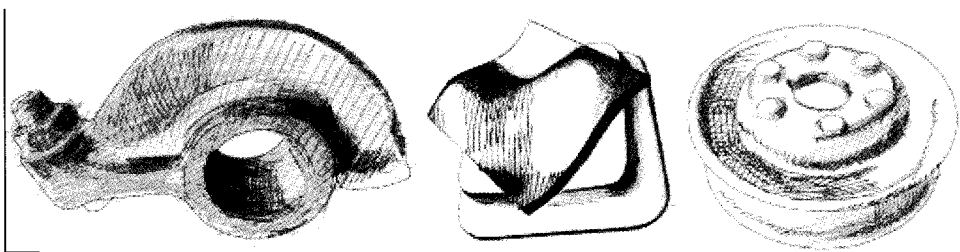


그림 6. 연필과 펜을 모두 이용하여 음영을 표현한 경우

표 2. 미술가들 간의 음영 표현 유사도(음영비율, 음영위치, 음영 톤 단계) 요약

미술가들 간의 음영 표현 유사도	음영비율	음영 위치 (픽셀크기 기준)					음영 톤 단계	
		1×1	2×2	3×3	4×4	5×5	10×10	50×50
오차범위 (%)	4-8	6-9	3-8	2-6	2-4	1-2	4-9	1-4

으로 오차범위를 측정한 결과를 요약 정리한 것이다.

표 2에서 볼 수 있듯이, 음영 비율은 오차 범위가 4-8% 범위로서 미술가들 간의 음영 표현 비율이 상당히 유사함을 알 수 있다. 음영 위치의 경우, 픽셀크기 기준이 커질수록 오차가 감소하는데 이는 미술가들 간에 전역적으로는 유사한 위치에 음영을 표현하는 반면에, 국소적으로는 미술가들 간에 다소 차이를 보이는 것으로 해석할 수 있다. 음영 톤 단계에서도 픽셀크기 기준이 커질수록 오차가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

5.1.1 음영 비율

미술가들은 전체 영역에 음영을 표현하는 것이 아니라 특정 영역에 부분적으로 음영을 표현한다. 그렇다면 미술가들은 몇 %의 비율로 음영을 표현하는가? 이를 계산하기 위한 식은 아래와 같으며, 이 식에서 '음영 표현이 가능한 전체 픽셀 수'는 드로잉 시트의 외곽선 내부 영역에 해당하는 픽셀 수를 의미한다.

$$\frac{\text{미술가들이 음영을 표현한 픽셀 수}}{\text{음영 표현이 가능한 전체 픽셀 수}} \times 100(\%)$$

그림 7은 각 모델 10개에 대해서 미술가들이 수행한 드로잉의 음영 비율을 평균으로 계산하여 보여주는 결과 그래프이다. 미술가들이 사용한 도구가 펜&잉크인지 연필인지에 따라서 음영 표현 비율이 다르게 나타났는데, 펜&잉크를 이용한 경우는 평균 56%, 연필을 이용한 경우는 평균 81% 비율로 물체의 음영을 표현한다는 사실을 발견할 수 있다. 일반적으로

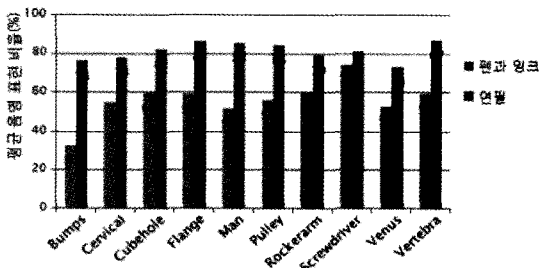


그림 7. 전체 모델에 대한 평균 음영 표현 비율 그래프

미술가들이 펜&잉크보다는 연필 도구를 이용할 때 물체의 보다 많은 영역에 더 큰 비율로 음영을 표현하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 연필은 펜에 비해서 다양한 톤의 생성이 가능하기 때문에 밝은 영역에 대해서도 음영을 표현하므로 음영 표현 비율이 높게 나타나는 것으로 분석된다. 반면, 펜을 이용하여 음영을 표현하는 경우에는 모든 라인에 대한 톤이 일정하므로 라인의 밀도로 톤 단계를 조절한다. 따라서 밝은 영역에는 거의 음영을 표현하지 않기 때문에 음영 표현 비율이 낮게 나타나는 것으로 분석된다.

미술가들 간의 음영 표현 비율이 유사한지 분석하기 위하여 미술가들이 드로잉한 이미지들을 두개씩 짝지어 비교하였다. 음영이 표현된 모든 픽셀에 대해서 가장 가까운 거리에 존재하는 음영이 표현된 픽셀이 2×2 픽셀 범위 이내에 위치하는 경우 유사하게 음영을 표현한 것으로 간주한다. 그림 8의 왼쪽은 flange 모델을 BRDF로 렌더링한 결과이며, 오른쪽은 5명의 미술가들이 펜을 이용하여 flange 모델의 음영을 표현한 결과를 각각 다른 색상(빨강, 노랑, 초록, 파랑, 회색)으로 가시화한 결과이다.

미술가들의 음영 표현 비율은 평균적으로 78.5%의 유사도를 보였는데, 그림 9는 미술가들 간의 음영 표현 비율의 오차를 나타낸 그래프이다. 미술가들의 음영 표현 비율의 오차 범위가 4~8% 구간에서 가장 많이 나타나는 것으로 보아 미술가들은 전체적으로 유사한 비율로 음영을 표현하고 있음을 알 수 있다.

5.1.2 음영 위치

미술가들은 물체를 드로잉할 때 어떤 위치에 음영

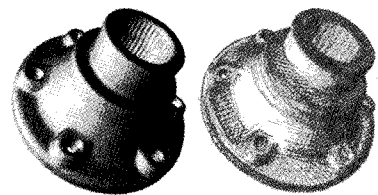


그림 8. BRDF 이미지와 미술가들의 음영 표현을 색상으로 가시화한 결과

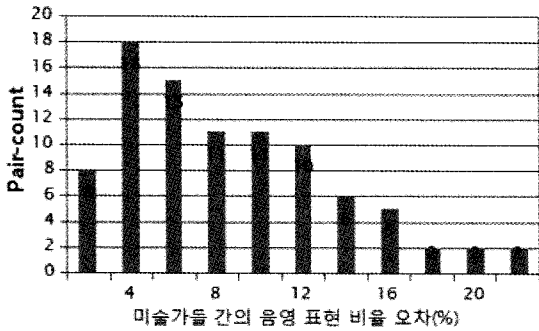


그림 9. 미술가들 간의 음영 표현 비율 오차 그래프

을 표현하는가? 이를 분석하기 위하여 음영 표현 비율과 마찬가지로 미술가들의 음영 표현 이미지를 두 개씩 비교하여 차이가 발생하는 픽셀의 수를 카운트한다. 음영 표현은 외곽선과는 달리 여러 픽셀에 걸쳐서 표현되기 때문에 픽셀 단위로 값의 차이가 발생한다고 판단하는 기준이 모호하다. 따라서 특정 픽셀 그룹으로 묶어서 해당 그룹의 평균 음영 값을 계산함으로써 음영 표현 여부를 결정한다. 픽셀 그룹은 1×1, 2×2, 3×3, 4×4, 5×5로 설정하여 비교한다.

Count [ A 이미지에서의 음영 표현 여부 (픽셀그룹 단위) - B 이미지에서의 음영 표현 여부(픽셀그룹 단위) ]

그림 10은 미술가들 간의 음영 표현 위치의 오차를 픽셀 그룹별로 나타낸 그래프이고 그림 11은 오차 값을 이용하여 렌더링한 결과와 원본을 비교한 것이다. 두 그림에서 볼 수 있듯이 픽셀 그룹의 단위가 작을수록 오차가 뚜렷하게 나타나는데 이는 미술가들의 국소적인 음영 표현 위치는 다르지만 전체적인 음영 표현 위치는 유사하기 때문인 것으로 분석된다.

5.1.3 음영 톤 단계

다음은 미술가들이 음영을 표현할 때 사용하는 톤

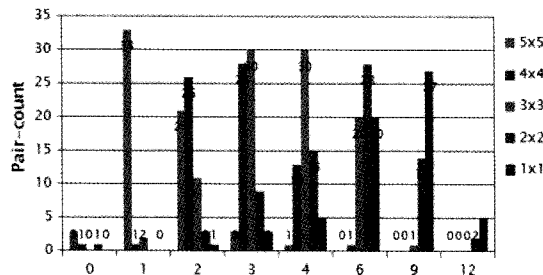


그림 10. 미술가들 간의 음영 표현 위치의 오차 그래프

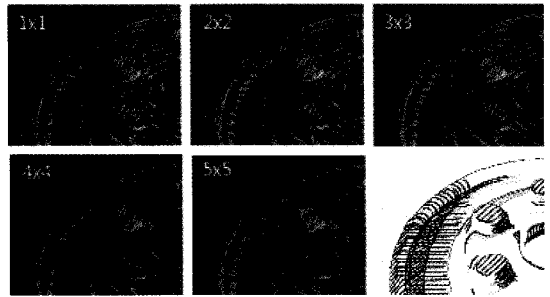


그림 11. 미술가들 간의 음영 표현 차이 값을 이용하여 렌더링한 결과

단계에 관한 비교이다. 미술가들이 드로잉한 이미지를 일정한 픽셀 그룹으로 묶고 픽셀 그룹에 포함되는 모든 픽셀의 음영 평균값을 계산하여 음영 톤 단계를 비교한다. 음영의 톤 단계는 0(검은색)~255(흰색)의 명도 범위를 10단계로 나누어 음영 간격을 경험적으로 25로 설정하는데, 음영 평균값들 간의 음영 간격이 25 이상 차이가 나는 경우 톤 단계가 다른 것으로 판단한다.

Count [ A 이미지에서의 음영 톤(픽셀그룹 단위) - B 이미지에서의 음영 톤(픽셀그룹 단위) > 25 ]

그림 12는 미술가들 간의 음영 톤의 오차를 픽셀 그룹별로 나타낸 그래프이며 픽셀 그룹의 단위는 10×10, 50×50의 두 가지 기준을 이용한다. 그래프를 보면 각 모델에 따라 음영 톤 단계의 오차가 조금씩 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그리고 모든 모델에 대해서 픽셀 그룹의 단위가 큰 50×50에서 10×10보다 음영 톤 단계의 오차가 적게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 미술가들이 음영 표현에 사용하는 국소적인 톤은 서로 차이가 많이 나지만 전체적인 톤은 유사하다는 것을 보여주고 있다. 그림

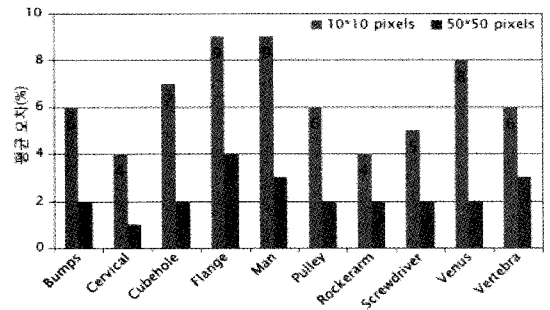


그림 12. 미술가들이 표현한 음영 톤의 오차를 픽셀 그룹별로 나타낸 결과 그래프

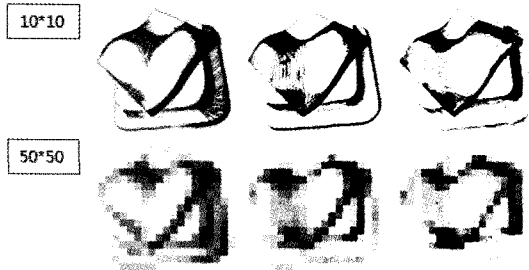


그림 13. 픽셀 그룹의 평균값을 이용하여 렌더링 한 결과

13은 픽셀 그룹의 평균값을 이용하여 렌더링한 결과이다.

미술가들의 음영 표현 톤은 도구에 따라서 다른 결과를 보였는데, 연필을 이용한 음영 표현에서는 톤 단계의 차이가 적은 부드러운 음영 표현이 나타나는데 반면, 펜을 이용한 음영 표현에서는 톤 단계의 차이가 뚜렷하여 강한 음영 표현이 나타난다.

5.2 CG 셰이딩 알고리즘이 미술가들의 음영 표현 특성을 반영하는가?

CG 셰이딩 알고리즘들이 미술가들의 음영 표현 특성을 반영하고 있는지 분석하기 위하여 CG 셰이딩 알고리즘의 렌더링 결과와 미술가들의 음영 표현 결과를 비교하는 실험을 수행하고 이를 정량적으로 분석한다. 비교대상으로서 컴퓨터 그래픽스에서 일

반적으로 사용되며 물체의 형태를 효과적으로 전달하는 목적을 가지는 다양한 사실적, 비사실적 셰이딩 알고리즘을 이용한다. 그림 14에서 보는 것과 같이 BRDF, Phong, 쿨투웬, 펜&잉크 렌더링, 연필 렌더링의 5가지 알고리즘에 대해 미술가들의 음영 표현 특성을 얼마나 반영하고 있는지 비교분석한다.

각각의 CG 셰이딩 알고리즘을 구현하여 10개의 모델을 렌더링한 결과 이미지를 수집한 다음, 이전 분석 방법과 마찬가지로 음영 표현 비율, 음영 표현 위치, 음영 표현 톤 단계에 초점을 맞추어 정량적으로 분석한다. 표 3은 미술가들 간의 음영 표현 유사도를 세 가지 기준으로 오차범위를 측정 한 결과이다.

표 3에서 볼 수 있듯이, 음영 비율은 오차 범위가 6.5-9.4% 범위로서 CG 셰이딩 결과와 미술가들 간의 음영 표현 비율이 상당히 유사함을 알 수 있고, 이 중에서도 BRDF가 가장 오차가 적으며 연필 렌더링, 펜&잉크 렌더링 순으로 오차가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 음영 위치의 경우, 전체적으로 픽셀 크기 기준이 커질수록 오차가 감소하며, 전체적인 경향을 보면 BRDF가 가장 오차가 적으며 렌더링 알고리즘 간의 오차는 음영비율과 유사한 순서를 보인다. 음영 톤 단계도 마찬가지로 BRDF에서 오차가 가장 적었으며, 특이한 사항은 음영 비율이나 음영 위치와 달리 연필과 펜&잉크 렌더링에서 오차가 상대적으로 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.



그림 14. 형태를 효과적으로 전달하는 목적을 가지는 다양한 CG 셰이딩 알고리즘

표 3. 미술가 셰이딩과 CG 셰이딩 간의 음영 표현 유사도

미술가 셰이딩과 CG 셰이딩 간의 음영표현 유사도		음영비율	음영 위치 (픽셀크기 기준)					음영 톤 단계	
			1×1	2×2	3×3	4×4	5×5	10×10	50×50
오차범위 (%)	BRDF	6.5	6.1	2.8	2.2	1.8	0.9	4.0	1.2
	풍셰이딩	8.5	7.9	5.2	5.9	3.7	1.7	7.6	3.5
	쿨투웬	9.4	10.2	7.9	6.3	4.1	2.2	8.9	4.1
	연필	8.1	6.9	4.1	2.8	2.3	1.3	7.1	3.1
	펜&잉크	8.2	7.2	4.9	3.1	2.5	1.4	7.7	3.2



5.2.1 음영 표현 비율

CG 셰이딩 알고리즘들의 음영 표현 비율을 분석하기에 앞서 음영인지 아닌지를 판단하는 기준이 필요하다. 음영은 빛을 받지 않는 면에 어두운 정도를 표현하는 것이기 때문에 물체 표면의 법선벡터 방향과 빛의 방향에 의해서 계산되는 빛의 세기(Intensity= $N \cdot L$ )를 기준으로 계산된다. 빛의 직접적인 영향을 받는 가장 밝은 부분은 음영이 표현되지 않는 것으로 판단한다. 이러한 기준에 따라서 각 셰이딩 알고리즘마다 음영인지 아닌지를 판단하는 임계치를 실험적으로 정하고 임계치보다 작은 값으로 음영이 표현된 픽셀의 비율을 계산하여 미술가들의 음영 표현 비율과 비교한다. 그림 15는 CG 셰이딩 알고리즘들의 음영 표현 비율을 나타낸 그래프이다. CG 셰이딩 알고리즘의 음영 표현 비율은 미술가들의 음영 표현 비율과 평균적으로 8.14%의 차이를 보였으며 도구가 연필인지 펜&잉크인지에 따라서 음영 표현 비율이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

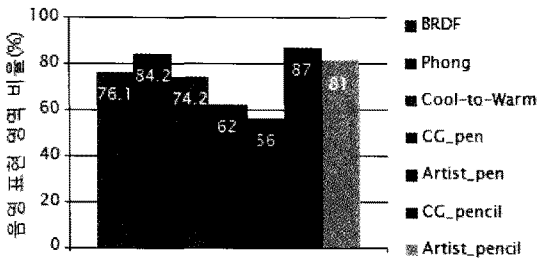


그림 15. CG 셰이딩 알고리즘의 음영 표현 비율

5.2.2 음영 표현 위치

CG 셰이딩 알고리즘에서 음영이 표현된 위치가 미술가들이 음영을 표현한 위치에 얼마나 근접하게 나타나는지 분석하는 방법으로써 정보 검색 시스템의 성능 평가에 널리 이용되는 PR(Precision & Recall)을 이용한다. 여기에서 정확도(Precision)는 미술가들이 음영을 표현한 픽셀의 위치와 근접하게 음영이 표현된 CG 셰이딩 알고리즘의 픽셀 비율이고, 재현율(Recall)은 CG 셰이딩 알고리즘에서 음영이 표현된 픽셀의 위치와 근접한 미술가들의 음영 표현 픽셀의 비율이다. 각 CG 셰이딩 알고리즘의 결과 이미지에서 추출한 표본 데이터와 미술가들의 음영 표현 결과를 모두 혼합한 이미지를 PR에 이용한다. 그림 16은 미술가들의 음영 표현 결과에 대한 CG

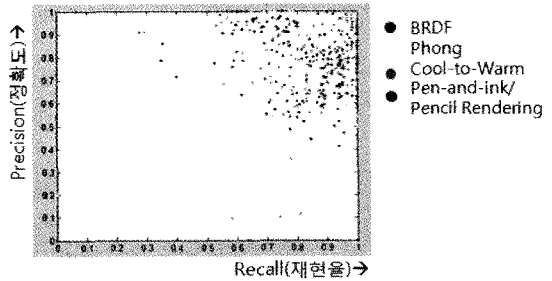


그림 16. CG 셰이딩 알고리즘의 PR 그래프

셰이딩 알고리즘의 PR 그래프이며, 각각의 점은 CG 셰이딩 모델에서 추출한 표본 데이터(픽셀)이다.

위 그래프를 보면 정확도는 BRDF에서 높게 나타나는데 이는 BRDF에서 표현된 음영의 위치가 미술가들이 표현한 음영의 위치와 가장 유사하다는 것을 의미한다. 또한, 펜&잉크와 연필 렌더링에서 재현율이 높게 나타나는 것은 이들 CG 셰이딩 알고리즘에서 표현되는 음영의 위치가 미술가들이 표현하는 음영의 위치를 상당 부분 반영하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

5.2.3 음영 표현 톤 단계

음영을 표현하는데 있어서 CG 셰이딩 알고리즘에서 사용된 톤 단계와 미술가들이 사용한 톤 단계는 어떠한 차이가 있는가? 이를 비교하기 위하여 CG 셰이딩 알고리즘의 결과 이미지를 회색조로 변환하고, 미술가들 간의 음영 표현 톤 단계를 분석한 것과 마찬가지로 0~255 범위의 명도 값을 10개의 음영 단계로 나누어서 각각의 음영 단계에 해당하는 톤이 나타나는 비율을 비교한다. 그림 17은 각 CG 셰이딩 알고리즘에서 나타나는 음영 단계의 비율을 그래프로 나타낸 것이다.

먼저 그래프의 가장 왼쪽에 있는 BRDF와 풍 셰이딩을 살펴보면 어두운 톤에서부터 밝은 톤까지 다양한 음영 단계가 골고루 분포되어 있다. 반면, 쿨투웜은 다른 음영 알고리즘에 비해서 상대적으로 적은 수의 음영 단계가 나타나는 것을 확인할 수 있는데 이는 따뜻한 색과 차가운 색의 대비를 이용하여 음영을 표현하는 특성을 가지기 때문이다. 펜&잉크 렌더링 알고리즘과 도구로서 펜&잉크를 이용한 미술가들의 음영 표현 평균에서는 1~3단계의 진한 톤이 50% 정도의 비율을 차지하는 것을 볼 수 있다. 전반적으로 펜&잉크 렌더링 알고리즘과 미술가들의 음

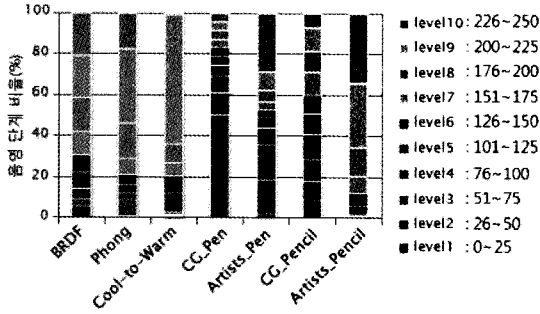


그림 17. CG 셰이딩 알고리즘에서 나타나는 음영 단계 비율

영 표현 간에는 차이를 보이고 있는데 렌더링 알고리즘이 실제 미술가들의 표현보다는 어두운 색상 톤의 음영을 많이 표현하는 것을 확인할 수 있다. 연필 렌더링 알고리즘과 미술가들의 표현 간에도 차이가 있다는 것을 발견할 수 있다. 연필 렌더링 알고리즘에서는 모든 음영 톤이 균등한 비율로 분포되어 있는 반면에, 도구로서 연필을 이용한 미술가들의 음영 표현에서는 밝은 톤이 차지하는 비율이 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있다.

### 6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 미술가들의 음영 표현 특성과 기존의 CG 셰이딩 알고리즘에 초점을 맞추고, 미술가들이 어떤 특성을 가지고 음영을 표현하는지 정량적으로 분석하였다. 음영 표현 비율, 음영 표현 위치, 그리고 음영 표현 톤 단계를 정량적인 기준으로 제시하고 사용자 실험을 수행한 결과 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻었다.

미술가들은 전반적으로 유사한 음영 표현 특성을 가지고 있는 것으로 조사되었다. 첫 번째 기준인 음영 표현 비율에서 미술가들 간에 평균적으로 78.5%의 유사도를 보였고 음영 표현 비율의 오차 범위는 약 4~8% 구간에서 가장 많이 나타났다. 이러한 사실로 분석해 볼 때 미술가들은 전체적으로 유사한 비율로 음영을 표현하고 있음을 알 수 있다. 두 번째 기준인 음영 표현 위치의 경우, 미술가들 간에 국소적인 음영 표현 위치는 차이가 났지만 전체적인 음영 표현 위치는 전반적으로 유사하였다. 세 번째 기준인 음영 표현 톤의 경우, 미술가들이 음영 표현에 사용하는 국소적인 톤은 서로 차이가 많이 났지만 전체적인 톤은 유사하다는 것을 확인하였다. 특히, 사용한

도구가 펜&잉크인지 연필인지에 따라서 음영 표현 비율과 음영 표현 톤이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다.

기존의 CG 셰이딩 알고리즘이 미술가들의 음영 표현 특성을 얼마나 반영하고 있는지 분석한 결과에서는 음영 표현 비율과 음영 표현 위치는 유사하였으나 음영 톤 단계는 CG 셰이딩 알고리즘에 따라 큰 차이를 보였다. CG 셰이딩 알고리즘의 음영 표현 비율의 경우, 미술가들의 음영 표현 비율과 평균적으로 8.14%의 차이를 보였으며 도구가 연필인지 펜&잉크인지에 따라서 음영 표현 비율이 다르게 나타나는 것을 확인하였다. 음영 표현 위치를 정량적으로 분석한 결과, BRDF 셰이딩 알고리즘과 미술가들이 표현한 음영의 위치가 가장 유사하였다. 또한, 펜&잉크와 연필 렌더링에서 높게 나타난 PR 재현율은 CG 셰이딩 알고리즘에서 표현되는 음영의 위치가 미술가들이 표현하는 음영의 위치를 상당 부분 반영하고 있다는 것을 말해주고 있다. 반면에 음영 톤 단계의 기준에서는 펜&잉크 렌더링 알고리즘과 연필 렌더링 알고리즘 모두 미술가들의 표현과는 다소 차이가 있다는 것을 발견하였다.

본 논문은 미술가들의 음영 표현에서 나타나는 특성을 조사하기 위하여 다양한 인지 실험을 수행하고 이를 정량적으로 분석하는 방법론을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 수집한 실험 데이터 및 분석 결과는 새로운 CG 셰이딩 알고리즘을 설계하는데 활용 가능할 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] Forrester Cole, Aleksey Golovinskiy, Alex Limpaecher, Heather Stoddart Barros, Adam Finkelstein, Thomas Funkhouser, and Szymon Rusinkiewicz, "Where Do People Draw Lines?," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.27, Issue3, 2008.
- [2] Hillberry, J. D., *Drawing Realistic Textures in Pencil*, North Light Books; 1st edition, pp. 20-21, 1999.
- [3] Ernest W. Watson and Aldren A. Watson, *The Watson Drawing Book*, Bell Publishing Co., pp. 45-48, 1962.

- [4] Sang Hyun Seo and Kyung Hyun Yoon, "A Study on Pointillistic Rendering Based on User Defined Palette," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.11, No.4. pp. 554-565, April 2008.
- [5] Amy Gooch, Bruce Gooch, Peter Shirley, and Elaine Cohen, "A Non-Photorealistic Lighting Model for Automatic Technical Illustration," In Proceedings of the 1998 Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 447-452, 1998.
- [6] Eric Bruneton, Fabrice Neyret, and Nicolas Holzschuch, "Real-time Realistic Ocean Lighting using Seamless Transitions from Geometry to BRDF," *Computer Graphics Forum*, Vol.29, Issue2, pp.487-496, 2010.
- [7] El-Mahdy, A., and El-Shishiny, H., "High-quality HDR Rendering Technologies for Emerging Applications," *IBM Journal of Research and Development*, Vol.54, Issue6, pp. 8:1-8:15, 2010.
- [8] Aaron Hertzmann, "Non-Photorealistic Rendering and the Science of Art," NPAR '10 proceedings of the 8th International Symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering, 2010.
- [9] Michael Press and Jihad El-Sana, "Multiresolution Hierarchy for Real-Time Cartoon-Style Rendering," *Geometric Modeling and Imaging*, pp. 63-68, 2006.
- [10] Xiao D. He, Kenneth E. Torrance, Francois X. Sillion, and Donald P. Greenberg, "A Comprehensive Physical Model for Lighting Reflection," In Proceedings of the 1991 Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques/ ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Vol.25, Issue4, 1991.
- [11] Kun Zeng Lotus, Mingtian Zhao, Caiming Xion, and Song-Chun Zhu, "From Image Parsing to Painterly Rendering," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.29, Issue1, pp. 2:1-2:11, 2009.
- [12] Sung Ye Kim, Ross Maciejewski, Tobias Isenberg, William M. Andrews, Wei Chen Mario Costa Sousa, and David S. Ebert, "Stippling by Example," Proceedings of the 7th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, pp. 41-49, 2009.
- [13] Forrester Cole, Kevin Sanik, Doug DeCarlo, Adam Finkelstein, Thomas Funkhouser, Szymon Rusinkiewicz, and Manish Singh, "How Well Do Line Drawing Depict Shape?," *ACM Transaction on Graphics*, Vol. 28, Issue3, 2009.
- [14] Holger Winnemöller, David Feng, Bruce Gooch, and Satoru Suzuki, "Using NPR to Evaluate Perceptual Shape Cues in Dynamic Environments," NPAR, 2007.
- [15] Mario Costa Sousa and John W. Buchanan, "Observational Models of Graphite Pencil Materials," *Computer Graphics Forum*, Vol.19, Issue1, 2000.
- [16] Georges Winkenbach and David H. Salesin, "Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration," In Proceedings of the 1994 Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 91-100, 1994.
- [17] Hyunjun Lee, Sungtae Kwon, and Seungyong Lee, "Real-Time Pencil Rendering," In Proceedings of the 2006 international symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, pp. 37-45, 2006.



변 혜 원

1990년 연세대학교 전산학과  
이학사  
1992년 KAIST 전산학과 공학  
석사  
2004년 KAIST 전산학과 공학  
박사

2004년 KBS 방송기술연구소 선임연구원  
2006년~현재 성신여자대학교 IT학부 교수.  
관심분야: Computer Graphics, Virtual Reality, HCI,  
Game, User Perception



박 윤 영

2006년 성신여자대학교 미디어  
정보학부 졸업(학사)  
2006년 (주)TGCORP 기술개발  
팀 사원  
2010년 성신여자대학교 전산학  
과 석사  
현재 (주)엔씨소프트

관심분야: Computer Graphics,  
Crowd Simulation, Game, HCI