

변 혜 원 교수지도

석사학위 청구논문

사용자 인지 실험 기반

쉐이딩 평가

2010

성신여자대학교 대학원

전산학과

박 윤 영

사용자 인지 실험 기반
쉐이딩 평가

변혜원 교수지도

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2009년 11월

성신여자대학교 대학원
전산학과
박 운영

인 준 서

박윤영의 석사학위 논문으로 인준함.

심사위원 김 호 성 인

심사위원 서 동 수 인

심사위원 변 혜 원 인

성신여자대학교 대학원

논문개요

컴퓨터 그래픽스에서 라인 알고리즘은 3D 물체를 라인을 이용하여 자동으로 표현하도록 하는 기술이다. 라인은 물체의 형태를 표현할 수 있는 가장 기본적인 요소이기 때문에 라인 알고리즘 연구에서는 형태를 효과적으로 전달하는 데에 초점을 맞추어 기본 외곽선(contour) 이외에도 Suggestive Contour, Ridges and Valleys, 그리고 Apparent Ridges와 같은 다양한 라인 알고리즘들을 제안하였다. 특히 최근에는 사용자의 인지와 결합된 연구들이 진행되고 있는데, Cole[Col08, Col09] 등은 미술가들의 라인 드로잉 데이터를 수집하여 기존의 라인 알고리즘들이 미술가의 표현 특성을 반영하고 있는지 비교하고 사용자들이 어떤 라인 알고리즘의 결과에서 형태를 효과적으로 인지하는지 평가하는 실험을 수행하였다. 그러나 여전히 라인만으로는 사물의 입체감, 재질 등의 정보를 정확하게 전달하지 못하기 때문에 기존의 라인 알고리즘들의 라인 드로잉보다 BRDF 모델이 적용된 음영(shading) 표현에서 형태를 효과적으로 인지한다는 결과를 보였다.

따라서 본 논문에서는 Cole의 연구를 확장하여 물체에서 나타나는 음영과 사용자 인지 간의 상관관계에 대해 연구한다. 미술가들의 음영 표현 특성과 기존의 CG 음영 알고리즘에 초점을 맞추고, 미술가들이 형태를 효과적으로 전달하기 위해서 어디에 어떤 특성을 가지고 음영을 표현하는지 정량적으로 분석한다. 또한, 어떤 CG 음영 알고리즘이 형태를 가장 효과적으로 전달하는지 평가하기 위하여 형태를 측정하는 사용자 인지 실험을 수행하는데 사용자들이 형태를 인지할 때 주로 응시하는 부분이 어디인지 파악하기 위하여 시선 추적 장비(Eye-tracking)를 도입한다. 사용자들이 주로 응시하는 영역인 시각적 주의(Visual Attention)에서 나타나는 음영 알고리즘의 특징을 집중적으로 비교한다.

미술가들의 음영 표현 데이터를 수집하여 미술가들 간의 음영 표현 비율, 위

치 그리고 톤 단계 차이를 기준으로 분석한 결과, 미술가들은 전반적으로 유사한 음영 표현 특성을 보였으며 미술가들의 음영 표현과 기존의 CG 음영 알고리즘을 분석한 결과에서는 음영 표현 비율과 위치는 유사했으나 톤 단계는 각 CG 음영 알고리즘에 따라 다르게 나타났다. 또한, 기존의 CG 음영 알고리즘 중에서 어떤 방법이 형태를 가장 효과적으로 전달하는지 평가하기 위하여 물체 표면의 법선벡터 방향을 측정할 수 있는 측정기(gauge)를 배치하는 사용자 인지 실험을 수행하였는데, 사용자들은 Toon 셰이딩과 같은 톤 단계 수가 적은 CG 음영 알고리즘보다 BRDF나 Phong, Cool-to-Warm과 같은 톤 단계 수가 많은 음영 알고리즘에서 형태를 효과적으로 인지하는 것으로 나타났다.

본 논문이 기여하는 바는 음영과 사용자 인지 간의 상관관계를 분석하고자 다양한 인지 실험을 수행하고 이를 정량적으로 분석하는 방법론을 제시했다는 점이다. 또한, 형태를 측정하는 사용자 인지 실험을 통하여 기존의 CG 음영 알고리즘이 형태를 효과적으로 전달하고 있는지 평가함으로써 애플리케이션의 목적에 따라 어떤 음영 알고리즘을 적용하는 것이 적합한지에 대한 실험적인 데이터를 제공한다는 점에서 의의가 있다. 본 연구에서 수집한 실험 데이터는 형태 정보 전달을 목적으로 하는 새로운 CG 음영 알고리즘을 설계하는데 활용 가능할 것으로 기대된다.

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 목표	2
3. 논문 구성	3
II. 관련 연구	4
1. 렌더링 기술	4
1) 조명모델	4
2) 비사실적 렌더링	7
2. 시선 추적 장비를 이용한 비사실적 렌더링	11
3. 사용자 인지 실험을 통한 렌더링 평가	13
III. 연구 개요	16
IV. 미술가들은 어디에 음영을 표현하는가?	19
1. 도구에 따른 음영 표현 스타일	20
1) 펜과 잉크를 이용한 음영 표현	20
2) 연필을 이용한 음영 표현	21
2. CG 음영 알고리즘	22
1) BRDF와 Phong	22
2) Cool-to-Warm	24
3) Toon	25
4) Pen-and-Ink와 Pencil	26
3. 미술가들의 음영 표현 데이터 수집	27
1) 실험 환경 구성	27
2) 음영 표현 데이터 수집	30
4. 결과 및 분석	33
1) 미술가들 간의 음영 표현이 유사한가?	33
2) CG 음영 알고리즘이 미술가들의 음영 표현 특성을 반영하는가?	42

3) 미술가들은 BRDF에서 인지한 음영을 어떤 톤으로 표현하는가?	50
4) 음영 표현에서 가장 중요한 요소는 무엇인가?	55
V. 형태를 인지할 때 시선이 고정되는 부분은 어디인가?	58
1. 시선 추적 장비	58
2. 시선 추적 데이터 수집	59
3. 결과 및 분석	63
1) BRDF 이미지에서 시각적 주의가 나타나는 영역은 어디인가?	63
2) 사람들 간의 시각적 주의를 유사하게 나타나는가?	64
VI. 어떤 음영 알고리즘이 형태를 효과적으로 전달하는가?	66
1. 사용자 인지 평가 실험	66
1) 실험 설계	66
2) 실험 방법	68
3) 형태 인지 평가 데이터 수집	70
2. 결과 및 분석	71
1) 사람들이 음영 표현을 유사하게 이해하는가?	71
2) 음영 알고리즘에서 인지한 형태와 실제 물체의 형태는 얼마나 일치하는가?	73
3) 시각적 주의 영역에서 지역적인 오차가 발생하는가?	75
VII. 결론 및 향후 연구	79

참 고 문 헌

ABSTRACT(영문 초록)

부 록

표 목차

<표 1> 실험에 사용된 3D 모델들과 모델명	28
<표 2> 미술가들이 사용한 도구에 따른 음영 표현 톤 단계의 비율	42
<표 3> 음영 알고리즘들의 임계치 기준	45
<표 4> 설문조사 문항	55
<표 5> 효과적인 형태 전달을 목적으로 하는 다양한 사실적/비사실적 음영 알고리즘	67
<표 6> 실제 3D 모델의 형태 정보와 사용자의 측정값 간의 평균 오차	73
<표 7> 사용자들의 평균 측정값과 각 사용자의 측정값 간의 평균 오차	73

그림 목차

<그림 1> 광선 추적법과 래디오시티, 포토맵을 이용한 광선 추적 기법	5
<그림 2> 법선벡터와 광원벡터에 의한 빛의 세기	6
<그림 3> BRDF 모델에서의 빛의 입사각과 출사각	7
<그림 4> 비사실적 렌더링의 다양한 분야	7
<그림 5> Pen-and-Ink 렌더링 결과	8
<그림 6> Pencil 렌더링에서의 다중 외곽선 효과와 곡률에 따라 자연스럽게 표현된 라인 스트로크	9
<그림 7> 반사 모델과 텍스처를 이용한 카툰 렌더링	9
<그림 8> 물체의 재질을 효과적으로 나타내기 위한 다양한 음영 표현 기법	10
<그림 9> 시선 추적 데이터 기반의 회화적인 렌더링	12
<그림 10> 시선 추적 데이터 기반의 회화적인 렌더링 평가를 위한 다양한 실험 조건	13
<그림 11> 미술가들의 라인 드로잉 결과의 평균	14
<그림 12> 다양한 라인 알고리즘으로 렌더링 된 이미지에 측정기를 배치한 결과	15
<그림 13> 비사실적 렌더링의 일반적인 기술들과 사용자 인지 실험 화면 ..	15
<그림 14> 사용자 인지 실험 기반의 음영 알고리즘 평가를 위한 연구 진행 단계	16
<그림 15> 형태를 효과적으로 표현하기 위한 부분적인 음영 표현	19
<그림 16> 펜과 잉크를 이용한 다양한 음영 표현	20
<그림 17> 연필심의 모양과 연필에 가하는 압력에 따른 다양한 표현	21

<그림 18> 연필을 이용한 다양한 음영 표현	22
<그림 19> BRDF와 Phong을 Cervical 모델에 적용한 결과	23
<그림 20> Cool-to-Warm을 Cervical 모델에 적용한 결과	24
<그림 21> Toon 셰이딩을 Cervical 모델에 적용한 결과	25
<그림 22> Pen-and-Ink 렌더링과 Pencil 렌더링에서 사용되는 텍스처와 적용 결과	26
<그림 23> 이미지 시트와 드로잉 시트	29
<그림 24> 미술가의 음영 표현 수집 결과	31
<그림 25> 펜을 이용한 음영 표현에서 연필로 윤곽선을 표현한 경우	32
<그림 26> 펜을 이용한 음영 표현에서 연필로 음영을 함께 표현한 경우	32
<그림 27> Flange 모델의 음영 표현 평균(펜과 잉크/연필)	34
<그림 28> 전체 모델의 평균 음영 표현 비율에 대한 결과 그래프	35
<그림 29> Flange 모델의 BRDF 이미지와 5명의 미술가들의 음영 표현을 다른 색상으로 나타낸 결과	36
<그림 30> 미술가들 간의 음영 표현 비율 오차를 나타낸 그래프	36
<그림 31> 펜을 이용한 두 미술가들의 음영 표현 비율 비교	37
<그림 32> 미술가들 간의 음영 표현 차이 값을 픽셀 그룹 단위별로 그린 결과	38
<그림 33> 미술가들 간의 음영 표현 위치의 오차를 픽셀 그룹 단위로 나타낸 그래프	39
<그림 34> 픽셀 그룹 단위의 두 가지 기준	40
<그림 35> 픽셀 그룹의 평균값을 이용하여 이미지를 그린 결과	40
<그림 36> 음영 단계 및 음영 간격 기준	41
<그림 37> 미술가들이 표현한 음영 톤의 오차를 픽셀 그룹별로 나타낸 결과 그래프	41

<그림 38> Bumps 모델을 다양한 음영 알고리즘에 따라 렌더링 한 결과	43
<그림 39> BRDF와 Phong에서 임계치 이상의 값을 가지는 픽셀 영역	44
<그림 40> CG 음영 알고리즘의 음영 표현 비율 비교	45
<그림 41> 미술가들의 음영 표현 이미지를 평균값으로 렌더링 한 결과	46
<그림 42> 음영 표현 알고리즘의 PR 그래프	48
<그림 43> 각 CG 음영 알고리즘에서 나타나는 음영 단계 비율 그래프	49
<그림 44> 표본 데이터를 추출하는 기준 영역의 예시	51
<그림 45> 미술가들이 펜을 이용하여 음영을 표현한 평균 이미지의 산포도와 표본 회귀선	52
<그림 46> 미술가들이 연필을 이용하여 음영을 표현한 평균 이미지의 산포도와 표본 회귀선	53
<그림 47> 단순 회귀 분석을 이용하여 생성한 결과 이미지와 그 밖의 다양한 음영 알고리즘으로 생성한 결과 이미지를 비교한 결과	54
<그림 48> 음영을 표현하기 가장 쉬운 물체와 가장 어려운 물체에 대한 설문 결과	56
<그림 49> 형태를 표현할 때 가장 중요한 요소와 음영을 표현할 때 가장 중요한 요소에 대한 설문 결과	57
<그림 50> EyeLink-II 시선 추적 장비의 형태와 시스템 구성	59
<그림 51> 시선 추적 데이터 수집을 위한 실험 환경	60
<그림 52> 바람직한 동공 위치 조정 예시	61
<그림 53> 시선 추적을 위한 조정과 검증	62
<그림 54> 시선 추적 장비를 착용하고 음영을 표현하는 모습	62
<그림 55> Bumps 모델에서의 시각적 주의 및 지속 시간	63
<그림 56> Flange 모델에서의 시각적 주의 및 지속 시간	64
<그림 57> 시각적 주의 데이터의 통합 결과	65

<그림 58> 측정기 배치 방법의 예시	68
<그림 59> 측정기 배치 실험 화면	69
<그림 60> 측정기를 배치한 일부 데이터	70
<그림 61> 실제 3D 모델의 형태 정보와 사용자들의 형태 측정 데이터 간에 발생하는 오차의 분포도	72
<그림 62> 사용자들의 형태 측정 데이터 간에 발생하는 오차의 분포도	72
<그림 63> Cool-to-Warm의 세분화된 음영 단계	74
<그림 64> 기존 연구에서 사용된 연속적인 측정기와 본 연구에서 제안하는 교차형 측정기	75
<그림 65> Bumps 모델에서의 시각적 주의와 교차형 측정기를 배치하는 실험 환경	76
<그림 66> Bumps 모델에 다른 음영 알고리즘을 적용했을 때의 교차형 측정기 배치 결과 및 곡률 그래프	77

I. 서론

1. 연구 배경

게임, 애니메이션, 광고, 건축 설계 등과 같이 컴퓨터 그래픽스 기술이 활용되는 분야의 시장 규모가 커짐에 따라 컴퓨터 그래픽스 기술이 빠르게 성장하고 있다. 컴퓨터 그래픽스 기술은 크게 가상의 물체를 생성하는 모델링 기술과 모델링 된 물체의 영상을 그려내는 렌더링 기술, 그리고 정지 이미지들을 연속적으로 빠르게 재생하는 애니메이션 기술로 구분될 수 있다. 특히, 렌더링 기술은 3차원의 오브젝트들에 어떤 조명 환경과 텍스처를 적용하는가에 따라 다양한 결과를 얻을 수 있기 때문에 컴퓨터 그래픽스에서 핵심적인 기술이라 할 수 있다. 렌더링은 조명(lightning)과 음영(shading)으로 구성되는데, 두 가지 작업이 합쳐져야 비로소 물체를 그려낼 수 있기 때문이다. 음영은 물체와 빛의 관계를 고려하여 물체의 밝고 어두운 부분을 나타내는 것으로 렌더링에서 중요한 역할을 한다. 이는 물체에 입체감을 부여함으로써 보다 정확한 형태 전달을 가능하게 할 뿐만 아니라 음영을 통하여 라인만으로는 표현할 수 없는 빛의 방향, 재질, 그림자를 통한 깊이감 등을 표현할 수 있기 때문에 효과적인 형태 전달에 목적을 두고 있는 건축, 기술, 의료 분야에 적용 가능하다.

라인은 형태를 표현하기 위한 가장 기본적인 요소이며, 라인에 대한 연구는 음영에 대한 연구보다 선행되어 왔다. 기존의 라인 알고리즘들은 형태를 보다 효과적으로 전달하는 데에 목적을 두고 연구되어 왔으나 개선된 알고리즘에 대해 객관적이고 실험적인 증거가 뒷받침되지 않았다는 한계점을 가지고 있었다. 그러나 최근 Cole 등[Col08, Col09]은 사용자의 인지 실험을 통하여 형태를 효과적으로 전달하는 알고리즘을 평가하는 연구를 수행하였으며 음영 표현에 대한

평가 연구를 향후 연구로 제시한 바 있다. 따라서 기존의 CG 음영 알고리즘이 형태를 얼마나 효과적으로 전달하고 있는지 사용자의 인지 측면에서 연구되어야 한다.

2. 연구 목표

본 논문에서는 Cole의 라인 드로잉에 대한 연구를 확장하여 미술가들이 음영을 어떻게 표현하는지 미술가들의 음영 표현 데이터를 수집하여 분석하고, 어떤 CG 음영 알고리즘이 형태를 정확하게 전달하는지 사용자 인지 실험을 통해서 평가하는 것을 목표로 한다.

미술가들은 단순한 형태의 물체를 표현하기 위해서는 간단한 라인만으로 충분히 형태를 전달할 수 있지만, 복잡한 형태를 가진 물체의 경우 물체의 외곽선 뿐만 아니라 세부적인 음영, 빛의 방향, 재질 등을 종합적으로 표현하여 사물의 형태를 전달한다. 따라서 본 연구에서는 미술가들의 음영 표현 데이터를 수집하여 미술가들이 물체의 형태와 음영, 질감을 어떻게 이해하고 어떤 라인 특성을 통하여 물체의 형태를 효과적으로 표현하는지 분석한다. 미술가들이 3차원 물체의 형태와 음영을 인지할 때 어느 영역에 시선을 고정(Visual Attention)시키며, 시선의 움직임은 어떻게 나타나는지 파악하기 위하여 시선 추적 장비(Eye-tracking)를 도입한다.

또한, 기존의 CG 음영 알고리즘이 형태를 효과적으로 전달하고 있는지, 어떤 CG 음영 알고리즘이 가장 형태를 정확하게 전달하는지 평가하기 위하여 사용자 인지 실험을 수행한다. 사용자는 물체의 표면 위에 배치된 측정기(gauge)의 방위(orientation)를 물체 표면의 법선벡터 방향과 일치하도록 조정한다. 각각의

CG 음영 알고리즘에 대해 평가한 데이터를 실제 3차원 오브젝트의 형태 정보와 비교하여 오차를 분석하고, 시선이 고정되는 영역에서 어떠한 음영 표현의 차이가 발생하는지 상세하게 비교한다.

본 논문에서는 물체에서 나타나는 음영과 사용자 인지 간의 상관관계를 분석하기 위하여 미술가들이 음영을 어떻게 인지하고 표현하는지에 대해 기존의 CG 음영 알고리즘과 정량적으로 분석한 결과를 보인다. 또한 형태 정보를 정확하게 전달하는 CG 음영 알고리즘에 대한 사용자 인지 기반의 실험을 수행함으로써 형태 정보 전달을 목적으로 하는 새로운 CG 음영 알고리즘 설계에 적용 가능한 유용한 데이터를 제공하고자 한다.

3. 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 기존의 다양한 렌더링 기술들과 시선 추적 기술을 이용한 비사실적 렌더링 연구, 그리고 사용자 실험을 통한 렌더링 평가 연구에 대해서 살펴본다. 3장에서는 본 연구의 개요에 대해 언급하고, 4장에서는 미술가들의 음영 표현 데이터를 수집하고 음영 특성을 분석한 결과에 대해서 설명한다. 5장에서는 시선 추적 장비를 이용하여 형태를 인지할 때 나타나는 시선 추적 데이터를 수집하고, 6장에서는 효과적으로 형태를 전달하는 CG 음영 알고리즘 평가 실험과 그 결과에 대해서 기술한다. 마지막 7장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 논의한다.

II. 관련 연구

본 논문의 관련 연구는 렌더링 기술, 시선 추적 기술을 이용한 비사실적 렌더링, 그리고 사용자 실험을 통한 렌더링 평가로 구분된다. 입체에 대한 요구가 증가함에 따라 다양한 렌더링 기술에 대한 연구가 진행되어 왔으며, 최근에는 컴퓨터 그래픽스와 사용자 인지를 결합시키는 연구에 대한 관심이 높아지고 있어서 시선 추적 장비를 이용하거나 사용자 인지 실험을 수행하는 사례가 증가하고 있다. 본 연구에서는 이러한 연구들을 참고하여 기존의 렌더링 알고리즘과 미술가들의 음영 표현 특성을 분석하고, 사용자 인지 실험을 수행함으로써 기존의 CG 음영 알고리즘이 물체의 형태를 효과적으로 전달하는지 평가한다. 또한 시선 추적 데이터를 어떻게 연구에 활용할 것인지 설계하는데 참고한다.

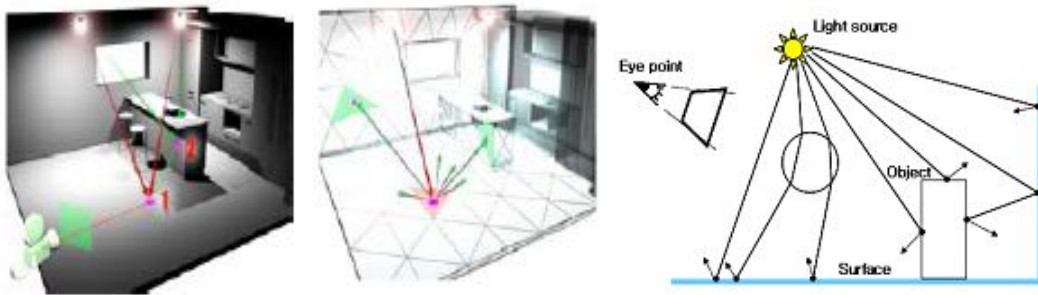
1. 렌더링 기술

렌더링(Rendering)이란 3차원 가상공간의 물체를 2차원의 이미지로 바꾸어 화면에 보여주는 것을 의미한다. 본 연구에서는 음영 표현을 기반으로 하는 다양한 CG 음영 알고리즘을 평가하기 위하여 물체의 에지(edge)만을 표현하는 가장 기본적인 와이어프레임(wireframe) 렌더링을 제외한 조명 모델(Illumination Model)을 통한 렌더링과 비사실적인 결과물을 얻고자 하는 목적을 가지는 NPR(Non-Photorealistic Rendering)에 대해 살펴본다.

1) 조명 모델

음영은 광원과 물체의 위치와 광원의 특성 등을 반영하여 각 정점에서 계

산한 빛의 세기를 기준으로 해당 물체면마다 색을 부여하는 작업으로[5] 음영 표현 결과는 조명 모델에 따라 크게 달라진다. 조명은 크게 전역 조명과 지역 조명으로 구분될 수 있는데, 전역 조명은 광원이 하나의 물체에 비추이고 그 물체에서 굴절 또는 반사되어 다른 물체에 영향을 미치는 빛에 대해서도 고려하기 때문에 사실적인 이미지를 생성할 수 있으나 렌더링 시간이 많이 소요된다는 단점을 가지고 있으며 그 예로는 광선 추적법(Ray Tracing)과 래디오시티(Radiosity), 포톤맵 광선 추적법(Photon Map Ray Tracing) 등이 있다(<그림 1>).

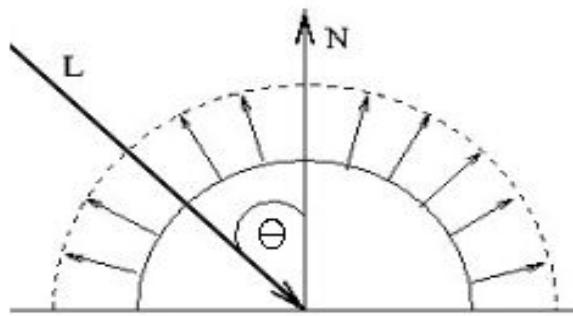


<그림 1> 광선 추적법과 래디오시티, 포톤맵을 이용한 광선 추적 기법 [Jan05, Son07]

그에 반해 지역조명 모델은 하나의 물체를 비추는 광원에 대해서만 고려하기 때문에 전역조명 모델에 비해 사실적인 표현이 어렵다. 그러나 간단한 계산 방법을 이용하면서도 사실에 가까운 표현을 할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있으며 대표적인 모델로는 풍(Phong)과 블린(Blinn)이 있다. 이들 모델은 광원의 위치와 방향, 물체의 표면, 시점 간의 관계에 따라 물체에 영향을 주는 빛의 세기를 계산하여 물체의 색상을 결정하는데 그 기본 수식은 아래와 같다.

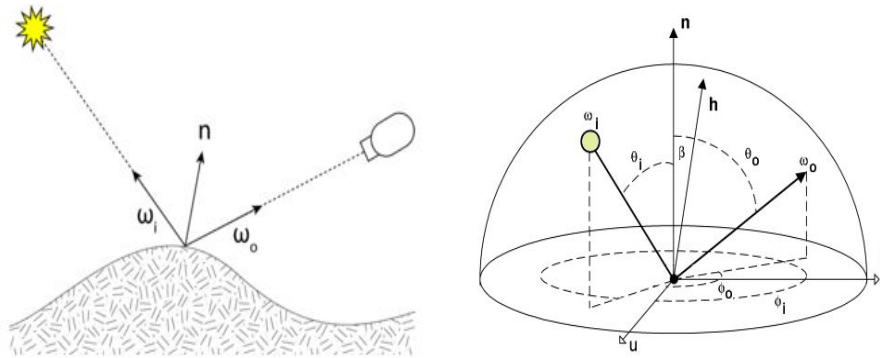
$$N(\text{법선벡터}) \cdot L(\text{광원벡터}) = |N||L|\cos\theta$$

물체의 한 점에서 그 점이 위치한 표면에 수직인 법선벡터를 의미 광원을 향하는 광원벡터의 내적을 이용하여 빛의 세기를 계산하는데 빛의 세기는 빛이 물체에 들어오는 입사각 θ 의 크기에 따라 달라진다(<그림 2>).



<그림 2> 법선벡터와 광원벡터에 의한 빛의 세기

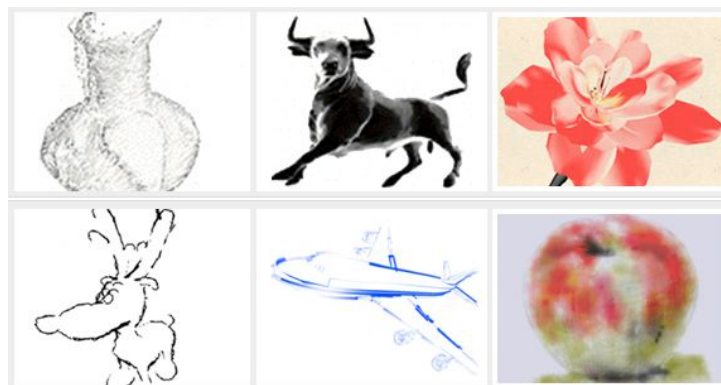
양방향 반사도 분포함수(BRDF, Bidirectional Reflectance Distribution Function)는 물체의 표면에서 입사하는 각도에 따라 변화하는 반사의 형태 조합을 함수의 형태로 나타낸 특성 함수를 말한다[Sny08]. 현실 세계에서는 물체 표면의 재질에 따라서 반사되는 빛의 방향과 세기가 달라진다. 따라서 물체의 표면이 빛을 어떻게 반사하는지에 대해 고려함으로써 물체를 보다 사실적으로 표현할 수 있다. 양방향 반사도 분포함수는 입사하는 빛의 방향인 w_i , 출사각인 w_o , 그리고 방위각 θ 와 고도 ϕ 에 의해서 정의된다(<그림 3>).



<그림 3> BRDF 모델에서의 빛의 입사각과 출사각

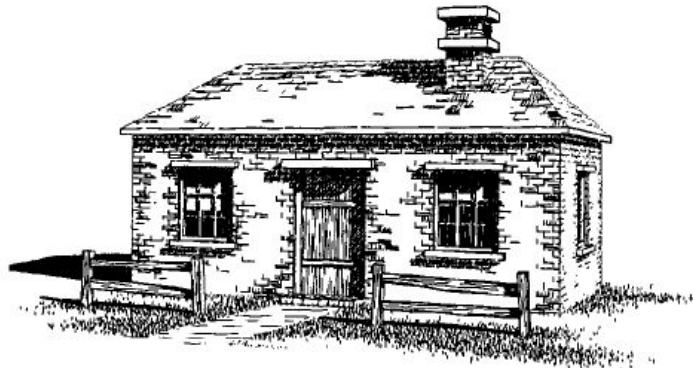
2) 비사실적 렌더링

초기의 렌더링 연구에서는 실재감을 부여하기 위한 사실적인 렌더링 방법에 대해서 주로 연구되었던 반면, 1990년대 이후로는 사실감을 추구하지 않고 손으로 그린 것과 같이 표현하는 비사실적인 렌더링에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[Kim08]. 비사실적 렌더링은 라인 드로잉, 펜과 잉크, 회화, 카툰, 수채화, 수묵화, 모자이크, 기술적 일러스트레이션 등과 같은 다양한 분야로 구분될 수 있다(<그림 4>).



<그림 4> 비사실적 렌더링의 다양한 분야 (ETRI)

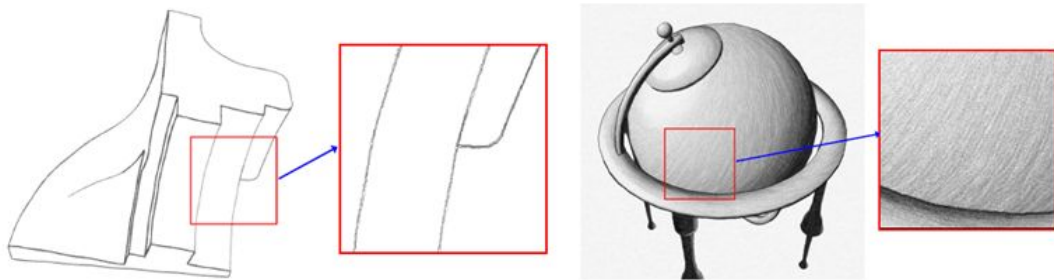
비사실적 렌더링 기술 중 하나인 라인아트(Line-Art) 렌더링은 선을 이용하여 시각적으로 아름답게 표현하는 방법으로써 주로 펜과 잉크, 연필 등의 재료에서 나타나는 표현 스타일을 재현하는 알고리즘에 대해서 연구되어 왔다. Winkenbach와 Salesin[Win94]은 전통적인 펜과 잉크를 이용한 일러스트레이션의 스타일을 자동으로 생성하는 렌더링 시스템에 대해 연구하였다. 짧은 라인을 조합하여 원하는 음영 단계와 재질을 표현하는 펜과 잉크를 이용한 전통적인 일러스트레이션에서의 특성을 렌더링 시스템에 반영하여 지붕, 잔디, 벽돌 등의 대상에 따라 다양한 텍스처를 생성하여 렌더링 하였다 (<그림 5>).



<그림 5> pen-and-ink 렌더링 결과[Win94]

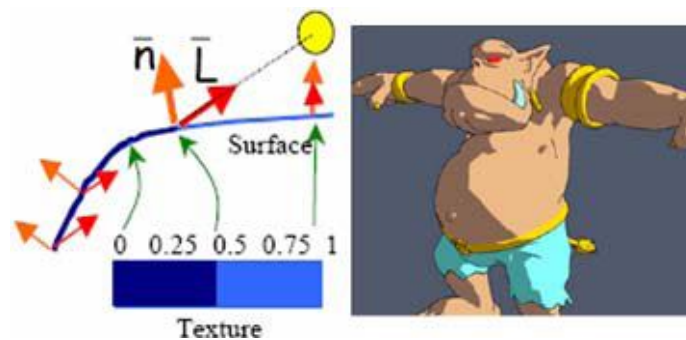
Lee 등[Lee06]은 연필을 이용한 드로잉에서 나타나는 특성을 분석하고, 이를 렌더링 시스템으로 통합하여 실시간으로 연필 드로잉 스타일을 생성하는 시스템에 대해 제안하였다. 연필로 그린 것과 유사한 결과물을 얻기 위하여 <그림 6>과 같이 윤곽선을 여러 개로 표현하여 덧그린 효과를 내고, 면의 음영 표현을 위하여 연필의 특성과 종이의 재질에서 나타나는 효과를 반영

하는 텍스처를 생성하였다. 뿐만 아니라 3차원 모델의 각 정점(vertex)에서 구한 곡률(curvature) 방향에 따라 텍스처를 회전시킴으로써 곡률에 따라 자연스럽게 연결되는 라인을 표현하고자 하였다.



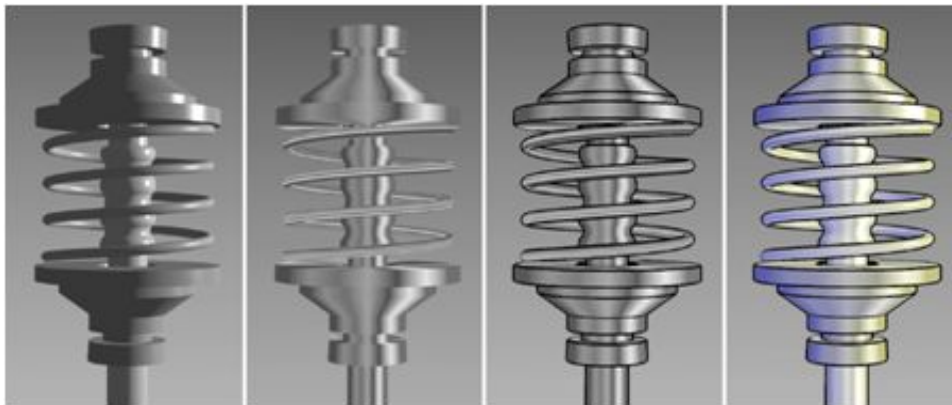
<그림 6> 연필 렌더링에서의 다중 외곽선 효과와 곡률에 따라 자연스럽게 표현된 라인 스트로크

카툰 렌더링은 2차원 애니메이션과 유사하게 표현되는 결과물을 얻는 것을 목적으로 하며, 빛을 받는 부분과 빛을 받지 않는 부분의 톤 경계가 뚜렷하게 구분되는 특징을 가진다(<그림 7>). 카툰 렌더링은 진한 외곽선과 단순한 음영 표현을 통하여 캐릭터와 배경의 분리를 용이하게 하게 할 뿐만 아니라 매력적인 스타일을 제공하기 때문에 게임이나 애니메이션에서의 활용도가 높다.



<그림 7> 반사 모델과 텍스처를 이용한 카툰 렌더링 [Ada00]

기술적 일러스트레이션(Technical Illustration)은 사물의 정보를 정확하면서도 효율적으로 전달할 수 있도록 표현되는 이미지로 정의된다. 기술적 일러스트레이션은 비사실적 렌더링의 한 분야로써 대상을 빠르고 정확하게 인지하도록 그려내는 것이 중요하다. 따라서 사실적인 사진 이미지에 비해서 불필요한 상세 정보를 생략하거나 단순화시켜 표현함으로써 대상에 대한 이해를 돕는다. 특히, 중요한 정보를 가지는 대상의 외곽선을 강조하여 배경과 전달하고자 하는 대상이 명확하게 구분될 수 있도록 한다. Gooch[Goo98]는 Cool-to-Warm 조명 모델을 적용하여 형태를 효과적으로 나타내는 기술적 일러스트레이션 방법을 제안하고 금속, 플라스틱과 같은 물체의 재질을 나타내는데 적합한 음영 표현 기법을 사용하였다(<그림 8>).



<그림 8> 물체의 재질을 효과적으로 나타내기 위한 다양한 음영 표현 기법

2. 시선 추적 장비를 이용한 비사실적 렌더링

시선 추적(Eye-tracking) 기술은 사용자의 인지를 객관적으로 실험하고 평가하기 위해 사용되는 대표적인 장비로써 사용자가 응시하고 있는 영역에 대한 정보를 제공한다. 사용자는 의미 있는 대상에 대해서 시선을 고정하게 되는데, 이처럼 일정한 노출 범위 내에 있는 자극에 초점을 기울이는 정도를 시각적 주의(Visual Attention)라고 한다[JAM95]. 시각적 주의가 중요한 이유는 시각적 주의가 제시된 자극에 대한 지각을 강화시키는 역할을 할 뿐만 아니라 이를 바탕으로 모든 유형의 인지 처리 과정이 발생하기 때문이다. 수많은 정보를 담고 있는 대상 이미지에서 모든 정보를 한 번에 인지할 수 없기 때문에 주어진 자극에 대해서 선택적으로 시각적 주의를 할당하며, 표면적으로 가장 드러나는 자극에 주의를 먼저 할당하는 것이 일반적이다. 따라서, 사용자의 시각적 주의를 분석함으로써 사용자가 어떤 정보를 중요하게 인지하는지 파악할 수 있다.

Santella와 DeCarlo[San02]는 시선 추적 데이터를 이용하여 사용자 인지 기반의 새로운 회화적인 렌더링 방법을 제안하였다. 일반적으로 비사실적 렌더링에서는 이미지의 전체 영역을 단순화시키는데, Santella와 DeCarlo의 연구에서는 시선 추적 데이터를 이용하여 사용자가 시선을 두지 않는 부분을 단순화시켰다. 실제로 전체 영역을 단순화시키는 접근 방법과 시선 추적 데이터에 따라 부분적으로 단순화시키는 접근 방법을 비교하여 시선 추적을 통하여 의미 있는 이미지 단순화가 가능함을 보였다(<그림 9>).



<그림 9> 시선 추적 데이터 기반의 회화적인 렌더링

렌더링 시스템이 이미지에 대한 정보를 효과적으로 전달하는지 평가하기 위하여 사용자의 인지적인 실험이 반드시 수반되어야 한다. 비사실적 렌더링 이미지를 상세하게 표현할 것인지 단순화시켜 표현할 것인지에 대한 조절이 중요한데 이는 이미지에 대한 이해와 직결될 수 있다. 따라서 Santella와 DeCarlo는 시선 추적 기술을 이용하여 사람들이 사진과 비사실적 렌더링 기법에 따라 표현된 일러스트레이션 이미지를 응시하는 방법에 대해 분석하고, 선행 연구에서 제안했던 시선 추적 데이터 기반의 회화적인 렌더링 시스템의 유효성을 평가하였다[San04]. 시선 추적 데이터를 얻기 위한 실험 조건으로 사진, 상세한 표현(high detail), 단순한 표현(low detail), Santella와 DeCarlo의 시선 추적 데이터에 기반하여 렌더링 한 결과, Saliency map 알고리즘에 따라 자동으로 선택된 이미지의 상세 지점(detail point)을 기준으로 상세하게 렌더링 된 결과를 사용하며, 각각의 이미지는 <그림 10>과

같다.

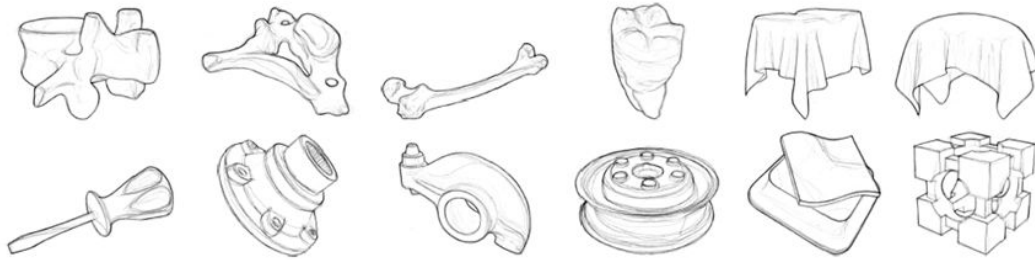


<그림 10> 시선 추적 데이터 기반의 회화적인 렌더링 평가를 위한 다양한 실험 조건

3. 사용자 인지 실험을 통한 렌더링 평가

최근, 컴퓨터 그래픽스와 사용자 인지를 결합시키는 연구에 대한 관심이 높아지면서 기존의 렌더링 방법에 사용자의 인지심리가 결합된 형태의 시각화(visualization) 측면에서의 연구로 확장되고 있다.

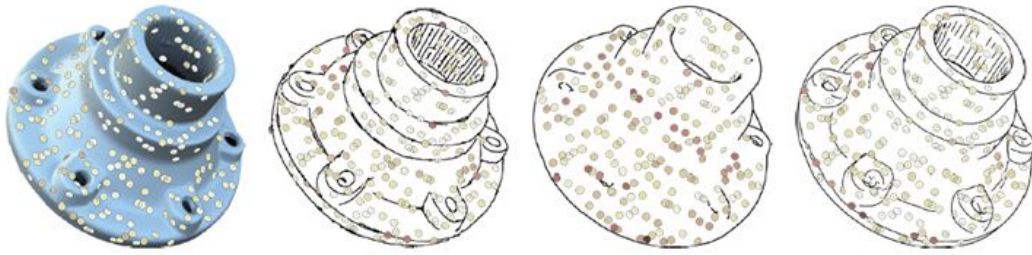
Cole 등[Co108, Co109]은 미술가들이 3차원 물체에서 인지한 사물의 형태를 어떠한 라인 드로잉을 통하여 표현하는지에 대해서 연구하였다. 이를 위해서 미술가들을 대상으로 사용자 실험을 수행하여 라인만을 이용하여 3차원 물체를 표현한 데이터를 수집하였는데, <그림 11>은 미술가들의 라인 드로잉 결과의 평균값을 나타낸다.



<그림 11> 미술가들의 라인 드로잉 결과의 평균

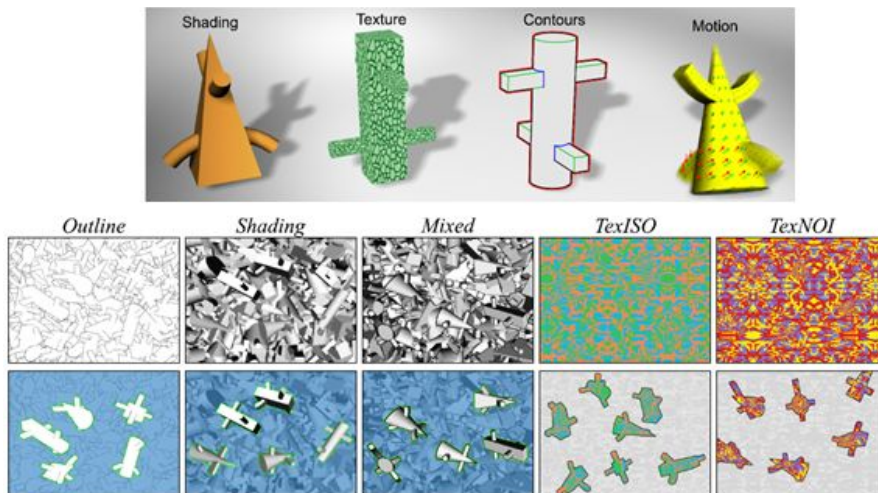
미술가들의 드로잉 결과를 픽셀(pixel) 단위로 비교한 결과, 대략 75%의 유사도를 보였으며, 이를 통해 미술가들이 3차원 물체에서 형태를 유사하게 이해하고 있음이 확인되었다. 또한, 미술가들의 라인 드로잉 결과에서 Geometric Ridges & Valleys, Suggestive Contours, Apparent Ridges와 같은 라인 드로잉 알고리즘의 특성이 나타나는지 분석하고, 3차원 모델이 가지는 지역적인 특성과 라인의 표현과의 연관관계를 도출하고자 하였다.

Cole 등은 후속 연구[Col09]에서 사람들이 다양한 라인 드로잉 방법으로 표현된 3차원 물체에서 어떻게 형태를 인지하는지에 대해 평가하였다. 전체적으로 음영이 표현되는 렌더링 이미지와 외곽선만 존재하는 이미지, 그 밖의 다양한 라인 드로잉 알고리즘의 결과 이미지와 미술가들이 그린 라인 드로잉에 대해 측정기를 배치하는 실험이 수행되었다. <그림 12>는 다양한 방법의 라인 드로잉으로 렌더링 된 이미지 상에 측정기를 배치한 것이다. 사용자들이 배치한 측정기와 실제 3차원 모델의 기하학적 수치 자료를 비교 분석한 결과, 전체적으로 음영이 표현된 이미지를 통해서 물체의 형태를 가장 효과적으로 인지하는 것이 확인되었다. 또한, 3차원 모델의 지역적인 특성에 따라 형태 인지의 오차가 발생하는지 살펴보고 그 이유에 대해 설명하였다.



<그림 12> 다양한 라인 알고리즘으로 렌더링 된 이미지에 측정기를 배치한 결과

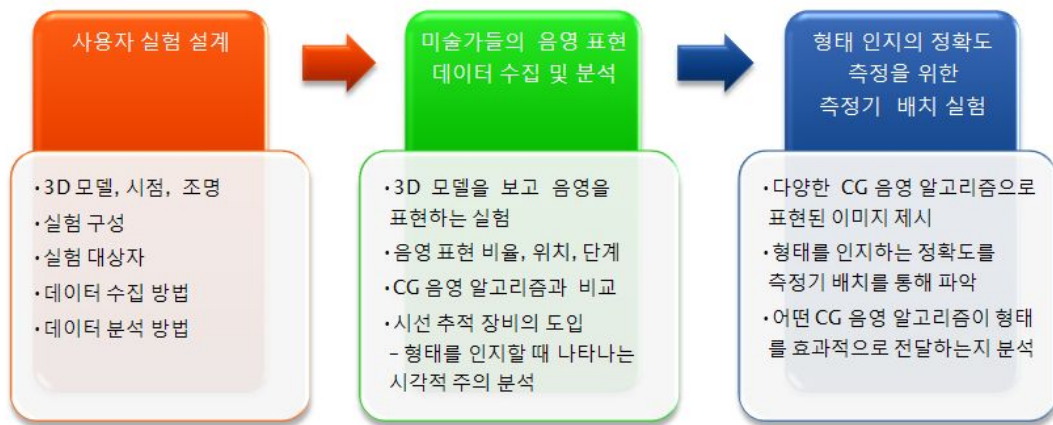
Winnemöller 등[Win07]은 역동적인 실험 환경을 가정하고 <그림 13>의 음영(shading), 텍스처(texture), 외곽선(contours), 모션(motion)과 같은 비사실적 렌더링의 일반적인 기술들을 이용하여 형태를 인지하는데 영향을 미치는 형태 단서를 결정하기 위한 사용자 인지 실험을 수행하였다. 특정한 형태를 가지는 모형을 인지하는 반응 시간을 측정하고 분산분석(ANOVA)를 통해 분석한 결과, Lambertian 조명에서 나타나는 음영 표현이 사물의 형태를 인지하는데 가장 효과적인 형태 단서가 된다는 결과를 보였다.



<그림 13> 비사실적 렌더링의 일반적인 기술들과 사용자 인지 실험 화면

III. 연구 개요

본 연구의 목적은 미술가들의 음영 표현 특성을 분석하고, 기존 CG 음영 알고리즘들과 미술가들의 음영 표현을 비교 분석한 결과를 바탕으로 다양한 CG 음영 알고리즘 중에서 형태를 효과적으로 전달하는 CG 음영 알고리즘에 대해 평한 평가 실험을 수행하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 목적을 달성하기 위하여 미술가들의 음영 표현 데이터 수집 및 분석과 그리고 형태 인지의 정확도를 평가하는 방법인 측정기(gauge)를 배치하는 사용자 인지 실험을 수행하는데 실험을 수행하기에 앞서 사용자 실험에 대한 설계가 필요하다. <그림 14>는 사용자 인지 실험을 기반으로 CG 음영 알고리즘을 평가하기 위한 연구 진행 단계를 설명한다.



<그림 14> 사용자 인지 실험 기반의 음영 알고리즘 평가를 위한 연구 진행 단계

사용자 실험 설계는 실험 환경을 구성하기 위한 조건으로 어떤 3차원 모델 이미지를 제시할 것이며 시점 및 조명은 어떻게 제시할 것인지에 대한 내용을 정리한다. 또한 실험의 구성과 실험 수행 대상자, 그리고 데이터 수집 및 분석 방법을 고려하여 적절한 내용의 실험을 설계한다.

사용자 실험은 실험 목적과 내용에 따라 두 가지로 구분된다. 먼저, 미술가들의 음영 표현 데이터를 수집하고 분석하는 실험에서는 미술가들이 현실 세계의 조명 모델과 유사하게 표현되는 BRDF 모델이 적용된 3차원 모델을 보고, 이미지에서 인지한 형태와 음영을 직접 종이에 그리는데 형태를 효과적으로 전달하는 목적을 가지고 음영을 표현하도록 한다. 미술가들은 복잡한 형태의 물체의 형태를 효과적으로 전달하기 위하여 부분적으로 음영을 표현하기 때문에 미술가들의 음영 표현 데이터 수집을 통하여 미술가들이 음영을 표현하는 영역 비율 및 위치, 톤 단계 등과 같은 다양한 특성을 분석할 수 있다. 또한, 미술가들의 음영 표현 특성을 형태를 효과적으로 전달하는 목적을 가지는 기존의 CG 음영 알고리즘에서 나타나는 음영 표현 특성과 비교하여 어떤 연관관계가 있는지에 대해 연구한다.

두 번째 실험은 어떤 CG 음영 알고리즘이 형태를 효과적으로 전달하는지 평가하기 위하여 측정기를 이용한 사용자 인지 실험을 수행한다. 사용자들은 다양한 CG 음영 알고리즘의 결과 이미지 위에 배치된 측정기의 방위(orientation)를 조정하는데, 사용자들이 조정한 측정기의 방위와 실제 3D 모델에서 측정기가 배치된 표면의 법선벡터 방향의 오차를 비교함으로써 형태를 얼마나 정확하고 인지하고 있는지에 대해 판단할 수 있다. 실험 데이터를 분석하여 사용자들이 음영을 유사하게 이해하고 있는지, 사용자들이 인지한 형태와 실제 물체의 형태는 얼마나 일치하는지에 대한 분석 결과를 정리한다. 특히, 미술가들이 이미지에서 형태를 인지할 때 어느 영역을 주로

응시하는지 파악하기 위하여 시선 추적 장비를 도입하고 미술가들의 시선이 집중되는 영역에 대해서 지역적인 오차가 발생하는지 상세하게 분석한다.

IV. 미술가들은 어디에 음영을 표현하는가?

미술가들은 물체의 형태를 그림을 통해서 전달하고자 할 때, 물체의 외곽선과 내부 음영을 통하여 표현한다. 단순한 형태의 물체의 경우 외곽선만으로도 형태를 전달하기에 충분하지만, 복잡한 형태를 가지는 물체의 경우에는 외곽선만으로는 정확한 형태를 전달할 수 없다. 라인과 음영을 함께 표현하면 물체의 형태를 보다 정확하게 전달할 수 있지만 음영의 표현은 외곽선만 그리는 것에 비해 많은 노력이 필요하다. 따라서 미술가들은 전체적인 음영 표현을 하는 것이 아니라 <그림 15>에서와 같이 강조해서 표현해야 할 부분에 대해서 선택적으로 음영을 표현함으로써 형태를 효과적으로 전달할 수 있도록 한다. 따라서 본 연구에서는 미술가들이 음영을 표현하는 특성에 대해 살펴보고 미술가들 간의 음영 표현이 유사한지, 기존의 CG 음영 알고리즘에서 나타나는 음영 표현과는 어떠한 차이가 있는지 정량적으로 비교 분석한다.



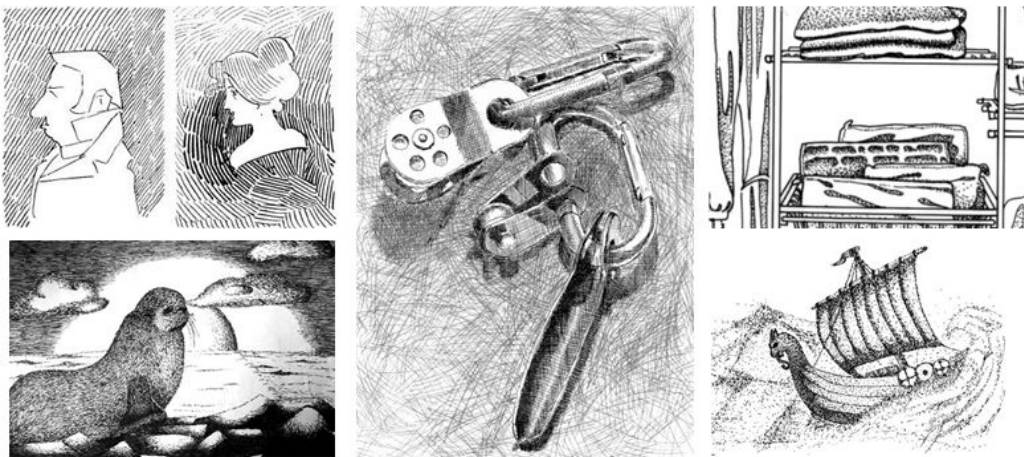
<그림 15> 형태를 효과적으로 표현하기 위한 부분적인 음영 표현

1. 도구에 따른 음영 표현 스타일

미술가들은 음영을 표현할 때 다양한 펜과 잉크, 연필, 물감, 파스텔 등의 다양한 도구를 사용하며, 도구가 가지는 특성에 따라 라인의 두께나 음영 단계가 결정되기 때문에 결과적으로 작품의 전반적인 느낌이나 표현 스타일이 달라진다. 따라서 본 연구에서는 미술가들이 가장 일반적으로 사용하는 펜과 잉크, 연필로 표현한 미술 작품들을 통해서 미술가들의 음영 표현 데이터를 수집하기 위하여 어떤 요소들을 고려해야 하는지 알아본다.

1) 펜과 잉크를 이용한 음영 표현

펜과 잉크를 이용한 음영 표현은 연필을 이용한 음영 표현보다 강한 대비 효과를 가진다. 이는 각각의 라인이 하나의 톤으로 일정하게 표현되기 때문에 전체 장면의 색조가 라인이 표현되는 부분과 라인이 표현되지 않는 부분이 뚜렷하게 대비되어 나타난다.

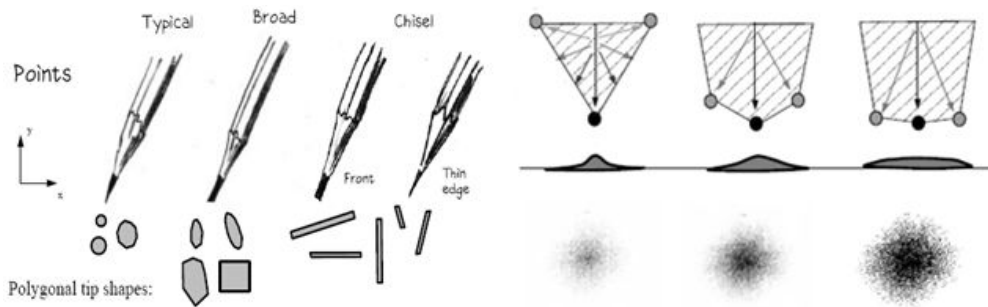


<그림 16> 펜과 잉크를 이용한 다양한 음영 표현

펜과 잉크를 이용한 음영 표현에서는 특별히 점묘법(stippling)을 이용하기도 하는데, 하나의 점으로도 음영을 표현할 수 있기 때문에 점을 배치하는 밀도를 이용하여 장면 전체의 색조를 결정할 수 있다(<그림 16>).

2) 연필을 이용한 음영 표현

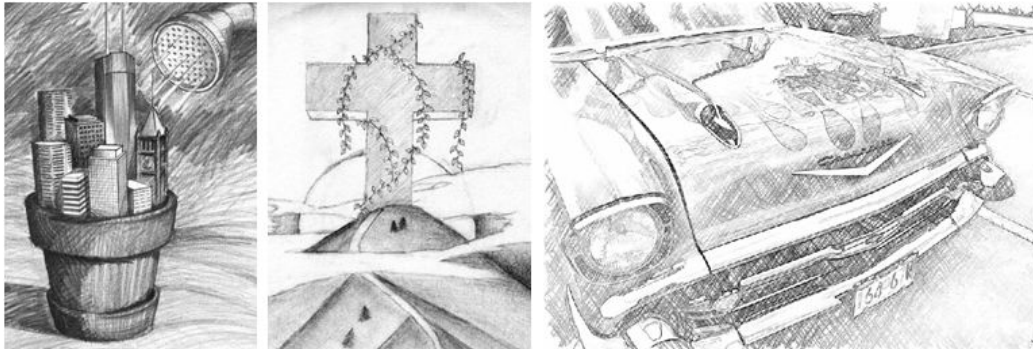
연필은 다루기 쉽고 연필의 단단하고 무른 정도(hardness)와 종이의 속성에 의해서 그려지는 라인의 톤이 달라지기 때문에 유용하게 사용되는 도구이다[Lee06]. 뿐만 아니라 연필 끝 부분의 모양이나 연필에 가하는 압력에 따라서도 다른 라인을 표현할 수 있기 때문에 하나의 도구로 다양한 표현이 가능하다는 장점을 가진다(<그림 17>).



<그림 17> 연필심의 모양과 연필에 가하는 압력에 따른 다양한 표현[Mar00]

연필을 이용한 음영 표현 스타일을 살펴보면, 아래 <그림 18>에서 보이는 것과 같이 다양한 라인의 톤 단계를 이용하여 전체 장면의 색조를 표현하며, 음영 단계의 변화가 자연스럽게 연결된다. 짧은 라인을 일정 방향으로 반복적으로 나열하거나 지그재그 형식으로 하나의 라인을 길게 표현하거나 라인이 두 가지 이상의 방향으로 교차되어 나타나는 등 다양한 스타일의 라

인이 표현된다. 뿐만 아니라 라인을 선명하게 표현하거나 지우개나 손으로 뭉개서 라인 각각의 표현을 약화시키고 음영 단계를 더욱 부드럽게 연결되도록 표현하기도 한다. 일반적으로 연필로 음영을 표현하는 경우, 동일한 위치에 라인을 여러 차례 겹쳐 표현하는 경향이 있는 것으로 나타났다.



<그림 18> 연필을 이용한 다양한 음영 표현

2. CG 음영 알고리즘

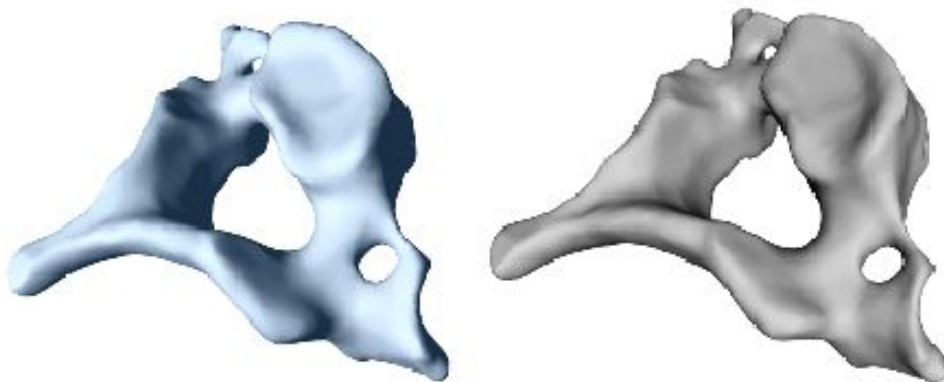
미술가들의 음영 표현 특성과 기존의 CG 음영 알고리즘의 음영 표현 특성을 비교하기 위하여 다음의 6가지 CG 음영 알고리즘을 이용한다. 이들은 컴퓨터 그래픽스에서 일반적으로 사용되는 방법이며, 물체를 효과적으로 전달하기 위한 사실적/비사실적 음영 표현이라는 공통점을 가진다.

1) BRDF와 Phong

양방향 반사 분포 함수라고도 명명되는 BRDF는 빛이 표면에서 어떻게 반사되는지에 대해 정의하는 함수로 HDR(High Dynamic Range) 모델과 함

계 사실적인 렌더링에 이용된다. 양방향 반사 분포 함수를 기반으로 다양한 음영 모델을 구성할 수 있는데 대표적인 예로 Phong, Blinn, Lambert 등이 있다. 미술가들의 음영 표현을 수집할 때 기준 이미지로 제시했던 것과 마찬가지로 완전한 확산 양방향 반사 분포 함수(Completely Diffuse BRDF)를 이용한다.

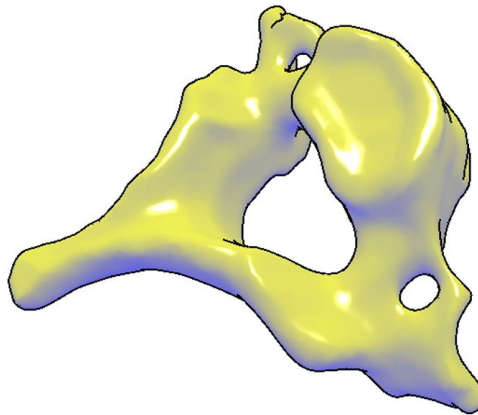
Phong은 가장 대표적이고 기본적인 지역 조명 모델로 반사 벡터와 시점 벡터의 각도를 이용하여 가장 밝은 하이라이트의 크기를 조절할 수 있다. Phong은 물체 표면에서의 나타나는 반사에 대해 물리적인 현상을 토대로 음영을 표현하는 것이 아니기 때문에 현실세계의 음영 표현과 약간의 차이가 있지만, 구현이 간단하고 비교적 좋은 결과물을 보이기 때문에 기본 조명 모델로 많이 사용되고 있다[Jan05]. <그림 19>는 BRDF와 Phong을 Cervical 모델에 적용한 결과이다.



<그림 19> BRDF와 Phong을 Cervical 모델에 적용한 결과

2) Cool-to-Warm

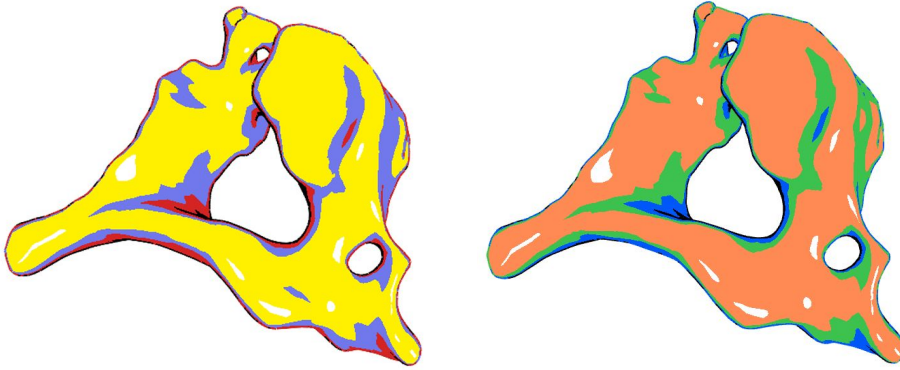
전통적인 기술적 일러스트레이션에서는 Cool-to-Warm 조명 모델을 이용해왔는데, Cool-to-Warm 모델이란 빨강, 주황, 노랑과 같은 따뜻한 색과 파랑, 남색과 같은 차가운 색, 그리고 그 중간색들을 이용하여 물체 이미지를 표현하는 것으로서 <그림 20>에서 보이는 것과 같이 따뜻한 색과 차가운 색의 대비를 통하여 형태를 더욱 정확하게 전달할 수 있다는 이점을 가진다. Gooch는 이러한 전통적인 기술적 일러스트레이션에서 나타나는 비사실적인 조명 모델을 자동으로 생성하는 시스템을 제안하고자 Cool-to-Warm 모델을 도입하여 음영 알고리즘을 생성하였다[Goo98]. Cool-to-Warm에서 나타나는 음영 표현은 깊이 정보를 표현하기 위한 단서로도 작용할 수 있는데 따뜻한 색은 팽창되어 보이고 가까워 보이는 반면, 차가운 색은 축소되어 보이고 멀어 보이기 때문이다.



<그림 20> Cool-to-Warm을 Cervical 모델에 적용한 결과

3) Toon

Toon 셰이딩은 카툰렌더링이라고도 하는데, 이는 사실감을 추구하지 않는 영상을 생성하는 것을 목적으로 하는 비사실적인 렌더링의 가장 대표적인 예이다[Kim08]. 특히 게임이나 애니메이션에서 주로 사용되는데 2차원 애니메이션과 유사하게 표현되는 특징을 가지며, 진한 외곽선과 적은 수의 음영 톤 단계를 표현함으로써 전경과 배경의 분리를 용이하게 할 뿐만 아니라 친근하고 매력적인 스타일을 제공한다(<그림 21>).



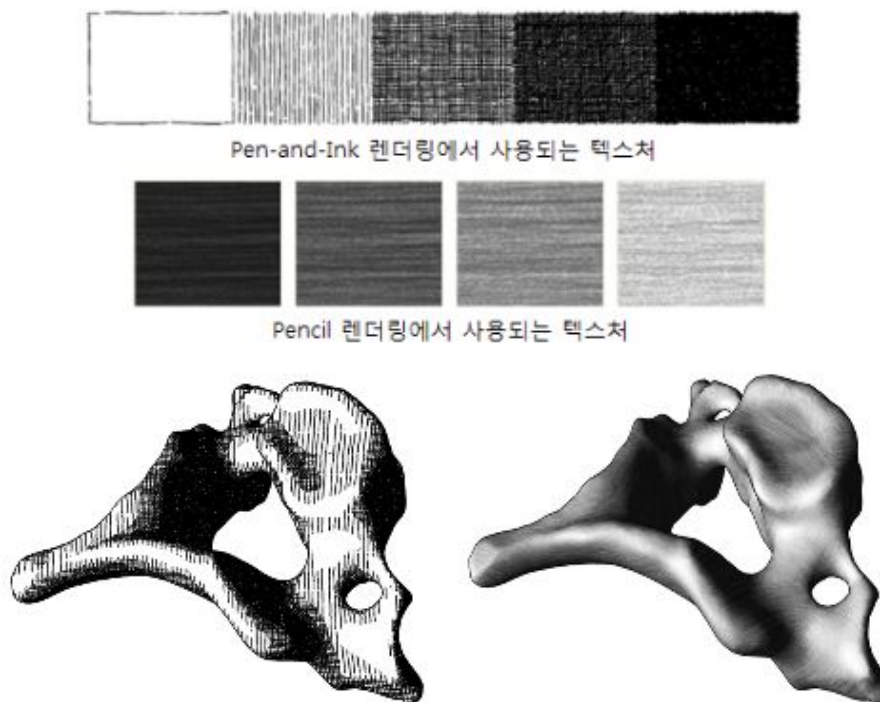
<그림 21> Toon 셰이딩을 Cervical 모델에 적용한 결과

Toon은 사용하는 텍스처에 의존적인 결과를 보이기 때문에 본 연구에서는 형태를 인지하는데 가장 중요한 영향을 미치는 NPR 요소가 무엇인지에 대해 평가했던 Winnemöller[Win07] 등의 연구를 참고한다. Winnemöller 등은 임의의 음영 정보에서 부수적으로 발생하는 텍스처 효과를 방지하기 위하여 텍스처를 TexISO와 TexNOI의 2가지 모드로 구분하였다. TexISO 모드는 텍스처가 등휘도(isoluminant)를 가지도록 하는 것으로 텍스처를 구성하는 색상(chrominance) 차는 다르지만 동일한 휘도(Luminance)를 가진다.

TexNOI는 TexISO와 반대되는 개념이다. 텍스처의 색상은 RGB(red, green, blue)의 색상 스펙트럼에서 임의의 값을 선택하여 결정하도록 하였다.

4) Pen-and-Ink와 Pencil

라인아트 렌더링은 주로 펜과 잉크, 연필 등의 재료에서 나타나는 표현 특성을 재현하는데 초점을 맞추어서 연구되어 왔는데 이는 물체의 복잡한 형태와 음영 그리고 재질을 표현하는데 효과적이다. 따라서 본 연구에서는 라인아트 렌더링 중에서 Winkenbach와 Salesin[Win94]이 제안한 Pen-and-Ink 렌더링과 Lee[Lee06] 등이 제안하는 Pencil 렌더링을 평가에 이용한다.



<그림 22> Pen-and-Ink 렌더링과 Pencil 렌더링에서 사용되는 텍스처와 적용 결과

텍스처는 기존 연구에서 사용했던 것을 그대로 사용하는데 잉크의 양에 따라 라인의 두께가 달라지는 펜의 특성과 라인 자체의 톤을 다양하게 표현함으로써 부드러운 음영을 표현하는 연필의 특성을 반영하고 있다. 위 <그림 22>는 Pen-and-Ink 렌더링과 Pencil 렌더링에서 사용되는 텍스처와 각 음영 알고리즘의 적용 결과이다.

3. 미술가들의 음영 표현 데이터 수집











1) 실험 환경 구성

미술가들이 펜과 잉크, 연필을 이용하여 음영을 표현하는 데이터를 수집하기 위하여 실험 환경을 구성하는데, 미술가들의 라인 드로잉에 초점을 맞춘 Cole 연구를 참고하여 아래의 항목을 토대로 실험 환경을 구성한다.

- 실험에서 사용할 3D 모델, 조명, 시점을 어떻게 설정할 것인가?
- 실험을 어떻게 구성하여 누구를 대상으로 진행할 것인가?
- 실험 데이터를 수집하고 분석하는 방법은 무엇인가?

실험에 사용되는 3D 모델은 미술가들이 형태를 쉽게 추론할 수 있어야 하며, 오목하거나(concave) 볼록하거나(convex) 평평한(flat) 등의 형태적 특성을 가지는 것을 이용함으로써 3D 모델에 음영이 많이 나타나도록 한다.

또한, 친숙하지만 평소에 잘 그리지 않는 물체를 제시하여 선입견을 배제시킴으로써 주관적이거나 학습된 음영 표현이 나타나는 것을 최소화시킨다.

				
vertebra	cervical	pulley	screwdriver	flange
				
rockerarm	bumps	cubehole	venus	man

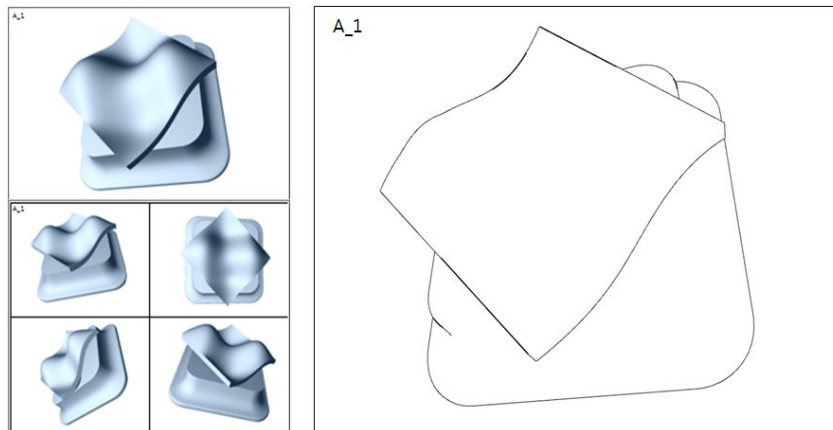
<표 1> 실험에 사용된 3D 모델들과 모델명

<표 1>은 실험에 사용된 10개의 모델이며, 이는 Aim@Shape, VAKHUM, Cyberware 에서 무료로 제공한다. 본 연구에서는 뼈, 기계 부품, 종합적인 형태를 가지는 모델 외에도 얼굴 모델을 추가하여 심리적인 음영 표현이 부가되는지에 대해서도 알아보고자 한다.

적합한 조명 및 반사모델의 선택은 물체를 사실적으로 표현하면서도 형태를 정확하게 드러나도록 하는 핵심적인 요소이다. 본 연구에서는 완전한 확산 양방향 반사 분포 함수(Completely Diffuse BRDF)를 음영 모델로 이용하는데, 확산 반사(Diffuse Reflection)는 빛의 방향과 입사각에 관계없이 모델의 법선벡터 방향을 중심으로 모든 방향으로 골고루 흩어지기 때문에 물체의 음영을 사실적으로 표현하는데 주로 사용되는 모델이다. 위의 <표 1>은 완전한 확산 양방향 반사 분포 함수에 따라 렌더링 된 결과로 물체의 상

세한 형태적 특징을 상세하게 드러내고 있다.

실험 환경은 실험의 수행 목적과 방법 등을 간단하게 소개하는 안내서와 미술가들이 그려야 할 이미지를 보여주는 이미지 시트, 미술가들이 직접 그림을 그리게 될 드로잉 시트, 그리고 설문조사 페이지로 구성된다. 이미지 시트와 드로잉 시트는 A, B, C, D의 네 개의 유형을 가지며, 각 유형마다 모델 이미지의 순서가 다르게 나타난다. 이는 모델 이미지의 순서에 따라 나타날 수 있는 효과를 배제하기 위한 것이다. <그림 23>은 Bumps 모델의 이미지 시트와 드로잉 시트이다.



<그림 23> 이미지 시트와 드로잉 시트

이미지 시트에서는 앞서 설명한 완전한 확산 양방향 반사 분포 함수를 이용하여 렌더링 한 이미지를 제공한다. 상단의 큰 이미지는 미술가들이 그려야 할 기준 시점의 이미지로 형태와 음영이 가장 효과적으로 표현되는 시점을 선택한 것이다. 하단의 네 개의 이미지는 참조 시점의 이미지로 다양한 시점에서의 이미지를 제공함으로써 물체의 형태와 음영을 이해하는데 도움

을 줄 수 있도록 한다.

드로잉 시트는 <그림 23>의 오른쪽 그림에서 보이는 것과 같이 기본 외곽선(Occluding contour)을 제공하는데, 이는 드로잉 시트의 기본 시점과 동일한 시점에서 추출한 외곽선이다. 본 연구에서는 외곽선을 기본적으로 제공하여 미술가들이 음영을 표현할 수 있는 범위를 제한함으로써 음영 표현에 대한 분석을 용이하게 할 수 있도록 한다. Cole이 라인 드로잉 알고리즘을 비교한 연구 결과에 따르면 미술가들이 형태를 표현하기 위해서 그리는 라인의 70%를 외곽선만으로 나타낼 수 있을 뿐만 아니라 사용자들이 형태를 인지하는데 있어서 외곽선이 가장 좋지 않은 결과를 보였다. 따라서 외곽선을 이용하면 미술가들이 공통적으로 표현하는 기본적인 라인을 제공하면서도 라인을 통하여 형태를 인지하는 효과를 최소화시킬 수 있다.

설문지에는 그림 경력, 실험에 소요된 시간, 음영을 표현하는데 사용한 도구와 같은 기본 문항과 본 실험에서 제공하는 이미지를 통해서 물체의 형태와 음영을 쉽게 파악할 수 있었는지, 사물의 형태와 음영을 표현하는데 가장 중요한 요소가 무엇인지에 대한 질문 내용이 포함된다.

2) 음영 표현 데이터 수집

본 연구는 성신여자대학교에서 미술을 전공하는 총 10명의 학부생(동양화과 3명, 서양화과 7명)을 대상으로 진행하였으며 미술 전공자만을 실험 대상으로 선정한 이유는 3D 모델 이미지에서 인지한 형태와 음영을 그림으로 표현하는데 익숙할 뿐만 아니라, 빛의 위치나 음영의 단계 등에 대한 사전 지식이 충분히 갖추어져 있기 때문이다. 실험에 참여한 학생들의 평균 나이는 21세이며, 31개월부터 72개월까지의 그림 경력을 가지고 있다.

미술가들은 기본 시점에서 인지한 음영을 토대로 드로잉 시트의 위에 표

현하는 실험을 수행하는데, 펜과 연필만을 이용하도록 제한한다. 하나의 3D 모델을 표현하기 위해서 펜과 연필 중 어떤 것을 선택해도 무방하지만 하나의 도구만을 이용하여 음영을 표현하는 것을 방지하기 위하여 각각의 도구로 최소 3개 이상의 이미지를 그리도록 한다. 제한 시간을 두지 않고 형태를 충분히 표현했다고 판단되면 다음 이미지에 대해 음영을 표현한다.

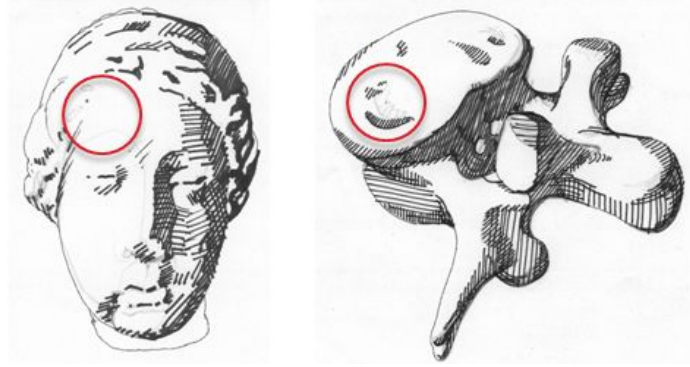
실험에 참여한 모든 미술가들이 10개의 이미지에 대해서 음영을 표현하여 총 100개의 데이터를 수집하였다. 실험에 사용한 도구는 4B 연필이 가장 많았으며, 수성펜, 볼펜, 색연필, 2B, 5B와 7B 순으로 나타났다. 실험에 소요된 총 시간은 평균 126분으로(최소 80분 ~ 최대 180분), 하나의 물체를 표현하는 데에는 평균 12분 30초 정도 소요되는 것으로 나타났다. <그림 24>는 실험 데이터 중 하나를 스캔한 데이터이며 모델은 연필로, 7개의 모델은 수성펜으로 그린 것이다.



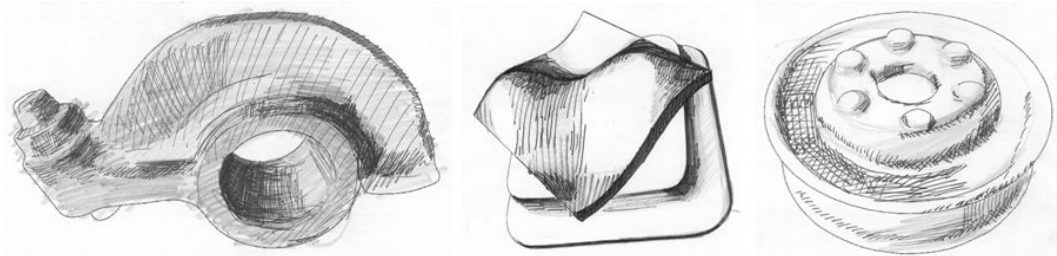
<그림 24> 미술가의 음영 표현 수집 결과

수집한 미술가들의 음영 표현 데이터 중에서 유효한 데이터만을 분석하기 위하여 데이터를 검증하는 과정이 필요하다. 특정 미술가들은 펜으로 음영을 표현하는 작업에서 연필을 함께 사용하여 윤곽선이나 음영을 표현하기도 하였는데, <그림 25>의 빨간 원으로 표시된 부분과 같이 연필을 이용하여 윤곽선을 표현한 경우는 허용하지만 <그림 26>과 같이 두 가지 도구를 모

두 이용하여 음영을 표현하는 것은 도구에 따라서 달라지는 음영 표현 특성을 연구하는데 부적합한 데이터이므로 제외한다. 데이터 검증을 통하여 펜을 이용하여 음영을 표현한 Bumps, Rockerarm, Pulley 모델의 데이터를 제거하고 남은 97개의 유효한 데이터만을 분석에 이용한다.



<그림 25> 펜을 이용한 음영 표현에서 연필로 윤곽선을 표현한 경우



<그림 26> 펜을 이용한 음영 표현에서 연필로 음영을 함께 표현한 경우

4. 결과 및 분석

본 연구에서는 미술가들의 음영 표현 데이터를 통하여 미술가들의 음영 표현 특성을 분석하고 미술가들 간의 음영 표현이 유사한지, 기존의 CG 음영 알고리즘이 미술가들의 음영 표현 특성을 반영하는지에 대해 비교한다. 미술가들의 음영 표현 특성을 분석하기 위하여 먼저 수집한 데이터를 스캔하고 각 3D 모델에 대한 데이터를 도구에 따라서 정리하는 작업이 필요하다. 미술가들에게 모두 동일한 순서로 3D 모델 이미지를 제시하지 않았을 뿐만 아니라 각 이미지를 드로잉 하기 위해서 사용한 도구도 각기 다르기 때문에 하나의 모델에 대해 동일한 도구로 표현한 라인아트 결과물끼리 분류하여 비교한다.

1) 미술가들 간의 음영 표현이 유사한가?

미술가들은 동일한 BRDF 이미지를 보고 드로잉 시트에 음영을 표현하지만, 모든 미술가들이 동일하게 음영을 표현하는 것은 아니다. 미술가들 간의 음영 표현이 유사한지 분석하기 위하여 음영 표현 결과를 정량화하는 방법에 초점을 맞추고 음영을 표현하는 비율과 위치, 그리고 음영을 표현하는 톤 단계의 세 가지 측면에서 분석한다.

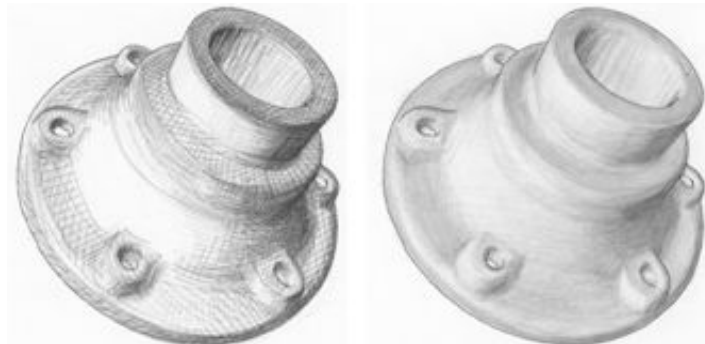
- 음영 표현 비율

미술가들은 음영을 표현할 때 전체 영역에 모두 음영을 표현하는 것이 아니라 특정 영역에 부분적으로 음영을 표현한다. 그렇다면 미술가들은 몇 % 비율로 음영을 표현하고 있는가? 이를 분석하기 위하여 아래 식을 이용하는데 전체 음영 표현이 가능한 픽셀 수와 그 중에서 미술가들이 음영을 표현

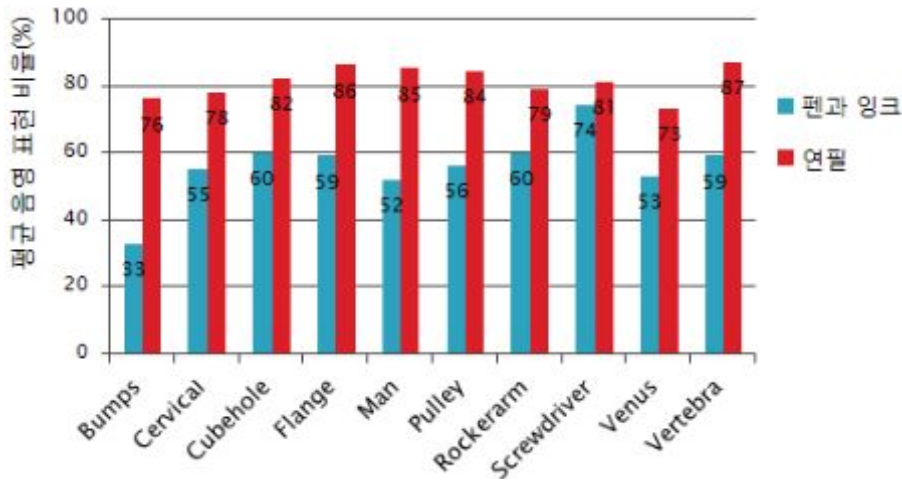
한 픽셀 수를 계산하여 음영 표현 비율을 구한다.

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

미술가들이 음영을 표현하는데 사용한 도구에 따라서 음영 표현 비율이 다르게 나타났는데, 펜을 이용한 경우는 평균 56%, 연필을 이용한 경우는 평균 81% 비율로 음영을 표현하여 연필을 이용하는 경우 더 많은 영역에 음영을 표현하고 있는 것으로 나타났다. <그림 27>은 미술가들이 Flange 모델에 대해서 음영을 표현한 평균값으로 렌더링 한 결과이며 <그림 28>은 전체 모델의 평균 음영 표현 비율에 대한 결과 그래프이다.



<그림 27> Flange 모델의 음영 표현 평균(펜과 잉크 / 연필)

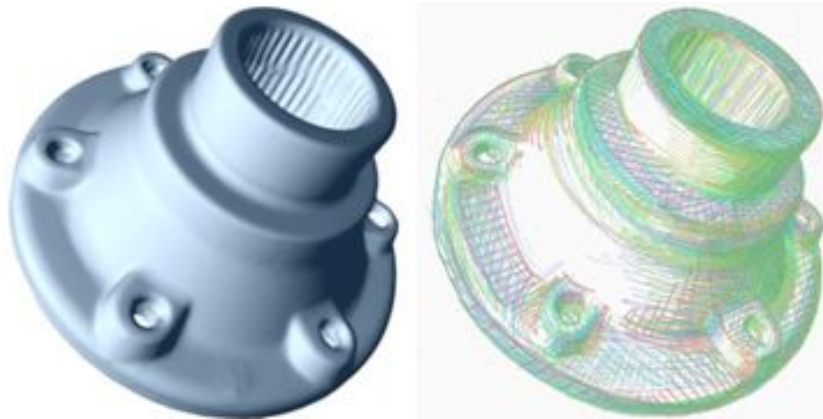


<그림 28> 전체 모델의 평균 음영 표현 비율에 대한 결과 그래프

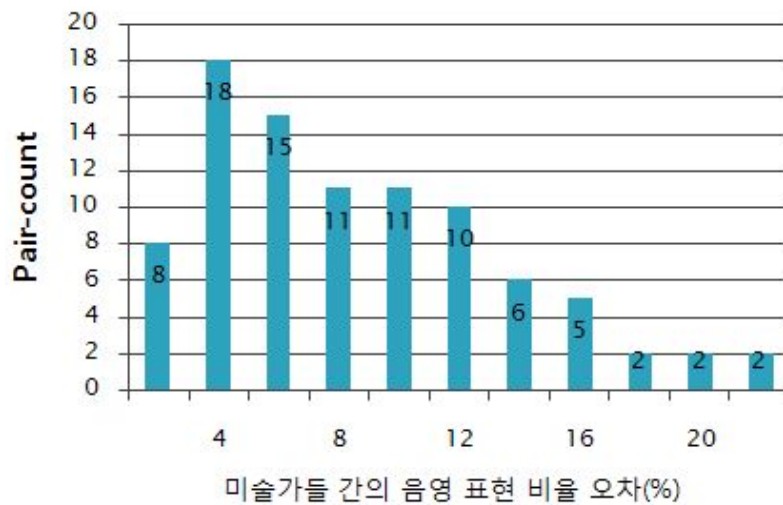
이는 연필은 펜에 비해서 다양한 톤의 생성이 가능하기 때문에 밝은 영역에 대해서도 음영을 표현하기 때문일 것으로 분석된다. 펜은 일정한 톤 단계를 가지기 때문에 펜에 가하는 압력을 이용하여 라인의 두께는 조절할 수 있지만 톤의 단계를 조절할 수 없는 반면, 연필을 이용하면 연필에 가하는 압력을 이용하여 톤 단계를 조절할 수 있다. 따라서 펜을 이용하여 음영을 표현하는 경우 라인의 밀도로 톤 단계를 조절하여 밝은 영역에는 거의 음영이 표현되지 않기 때문에 음영 표현 비율이 낮고, 연필을 이용하여 음영을 표현하는 경우에는 같은 자리에 계속 덧그리는 방식으로 톤 단계를 조절하기 때문에 음영을 표현하는 비율이 높다.

미술가들 간의 음영 표현 비율이 유사한지 분석하기 위하여 미술가들의 음영 표현 결과 이미지들을 2개씩 비교하였는데, 미술가가 음영을 표현한 모든 픽셀에서 가장 가까운 거리에 존재하는 음영 표현 픽셀이 2x2 픽셀 범위 이내에 들어오는 경우 음영 표현이 유사한 것으로 간주한다. 아래 <그림 29>는 5명의 미술가들이 Flange 모델의 BRDF 이미지를 보고 펜을 이용하

여 음영을 표현한 결과를 각각 다른 색상(빨강, 노랑, 초록, 파랑, 회색)으로 나타낸 것이다.



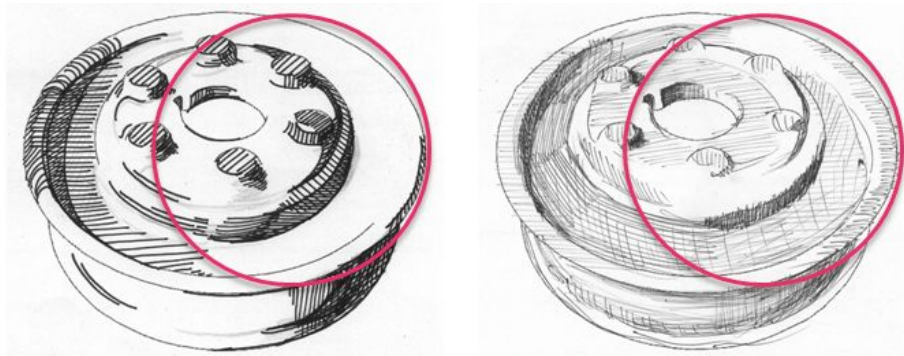
<그림 29> Flange 모델의 BRDF 이미지와 미술가들의 음영 표현을 다른 색상으로 나타낸 결과



<그림 30> 미술가들 간의 음영 표현 비율 오차를 나타낸 그래프

미술가들의 음영 표현 비율은 평균적으로 78.5%의 유사도를 보이며, <그림 30>은 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 있다고 분석할 수 있다.

그러나 미술가의 성향에 따라 아주 낮은 비율로 음영을 표현하거나 아무 높은 비율로 음영을 표현할 수 있는데 이 경우를 비교했을 때에는 20% 이상의 오차가 나타나기도 한다. 특히, 밝은 영역의 음영 표현 여부에 따라 음영 표현 비율에서 차이가 발생하는데 <그림 31>은 Pulley 모델이며 펜을 이용한 두 미술가들의 음영 표현을 비교한 것이다.



펜을 이용한 미술가의 음영 표현 : 61% 비율

펜을 이용한 미술가의 음영 표현 : 87% 비율

<그림 31> 펜을 이용한 두 미술가들의 음영 표현 비율 비교 (Pulley 모델)

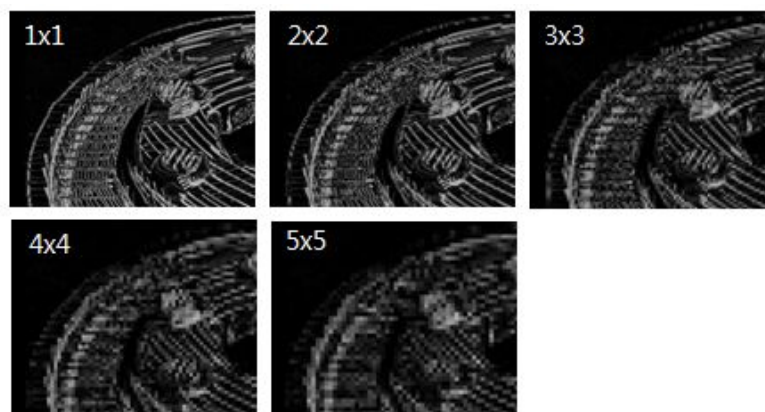
- 음영 표현 위치

미술가들은 BRDF 이미지에서 인지한 음영을 어떤 위치에 표현하는가? 이를 분석하기 위하여 음영 표현 결과 이미지를 2개씩 비교하는데 아래의

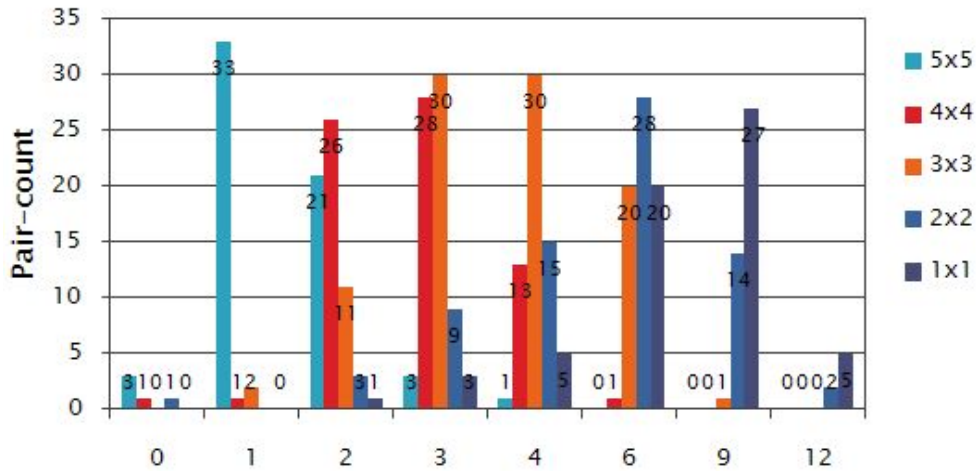
식을 이용하여 값의 차이가 발생하는 회수를 카운트 한다. 음영 표현은 라 인과는 달리 여러 픽셀에 걸쳐서 표현되기 때문에 값의 차이가 발생한다고 간주하는 기준이 모호하다. 따라서 특정 픽셀 그룹 단위로 묶어서(grouping) 해당 영역의 평균 음영 값을 계산함으로써 음영 표현 여부를 결정하는데 픽셀 그룹 단위는 1x1, 2x2, 3x3, 4x4, 5x5로 설정하여 비교한다.

Count[하나의 결과 이미지에서의 음영 표현 여부(픽셀 그룹 단위)
 - 다른 결과 이미지에서의 음영 표현 여부(픽셀 그룹 단위)]

<그림 32>와 <그림 33>은 위의 식에 따라서 계산한 픽셀 그룹 단위의 차이 값을 이용하여 그린 결과와 미술가들 간의 음영 표현 위치의 오차 그래프이다. 픽셀 그룹 단위가 커질수록 오차가 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 미술가들의 세부적인 음영 표현 위치는 다르지만 전체 적은 음영 표현 위치는 유사한 것으로 분석할 수 있다.



<그림 32> 미술가들 간의 음영 표현 차이 값을 픽셀 그룹 단위별로 그린 결과



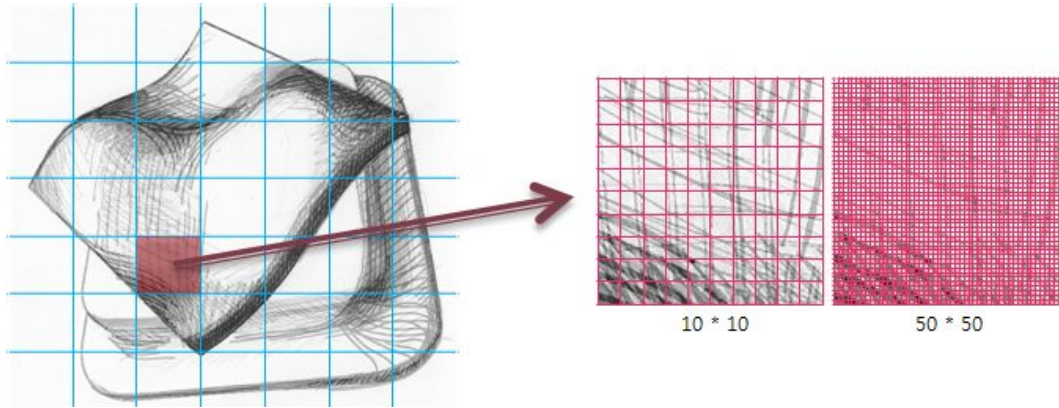
<그림 33> 미술가들 간의 음영 표현 위치의 오차를 픽셀 그룹 단위별로 나타낸 그래프

- 음영 표현 톤 단계

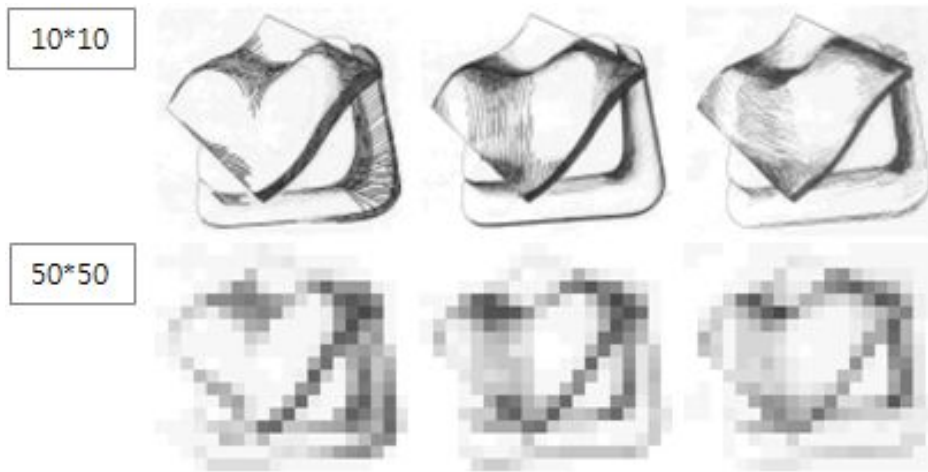
다음은 미술가들 간의 음영 표현 톤 단계에 대한 비교이다. 미술가들이 음영을 표현할 때 사용하는 톤 단계는 얼마나 유사한지 분석하기 위하여 미술가들의 음영 표현 결과 이미지를 일정한 픽셀 단위로 묶고 픽셀 단위에 포함되는 모든 픽셀에 대한 음영 평균값을 계산하여 음영 간격을 비교한다.

Count [하나의 결과 이미지에서의 음영 표현 톤(픽셀 그룹 단위)
 - 다른 결과 이미지에서의 음영 표현 톤(픽셀 그룹 단위) > 25]

픽셀 그룹 단위는 <그림 34>와 같이 10x10과 50x50을 기준으로 설정하는데, 픽셀 그룹 단위가 커질수록 넓은 영역이 평균값으로 그려지기 때문에 이미지의 상세한 음영이 사라지게 된다(<그림 35>).



<그림 34> 픽셀 그룹 단위의 두 가지 기준



<그림 35> 픽셀 그룹의 평균값을 이용하여 이미지를 그린 결과

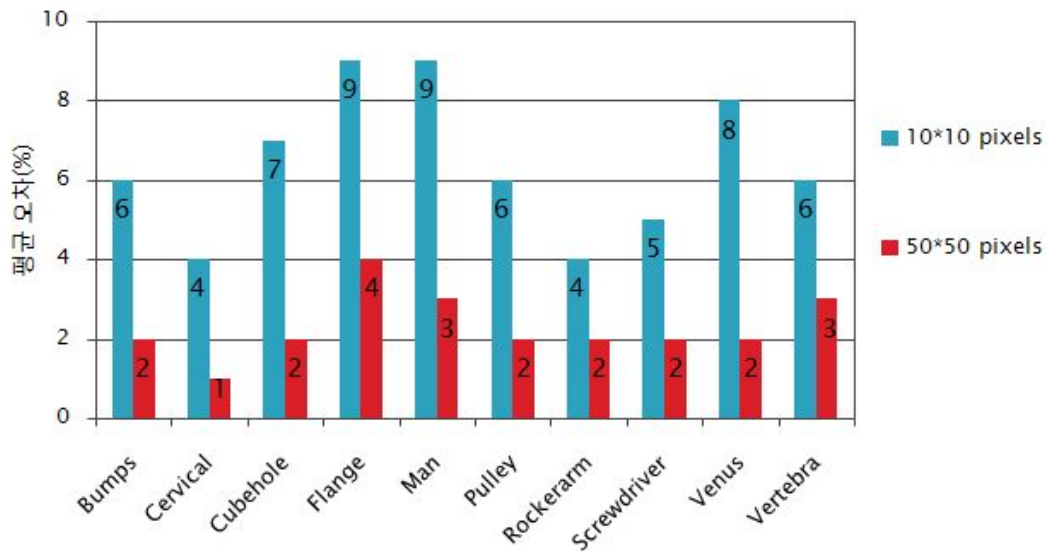
음영의 톤 단계는 <그림 36>과 같이 0(검은색) ~ 255(흰색)의 범위를 10 단계로 나누어 음영 간격을 25로 설정하는데, 픽셀 단위의 음영 평균값의 음영 간격이 25 이상일 경우 미술가들 간의 음영 톤 단계가 다른 것으로 간주한다.



음영 단계 : 10 / 음영 간격 : 25

<그림 36> 음영 단계 및 음영 간격 기준

<그림 37>은 미술가들이 표현한 음영 톤의 오차를 픽셀 그룹 단위별로 나타낸 그래프로 파란색 막대는 10x10 픽셀 그룹 단위의 평균 오차를 나타내며, 빨간색 막대는 50x50 픽셀 그룹 단위의 평균 오차를 나타낸다. 그래프를 보면 전체 모델에 대해서 픽셀 그룹 단위가 큰 50x50에서 음영 톤 단계의 오차가 적게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해서 미술가들이 음영 표현에 사용하는 세부적인 톤은 다르지만 전반적인 톤은 유사한 것으로 결론지을 수 있다.



<그림 37> 미술가들이 표현한 음영 톤의 오차를 픽셀 그룹별로 나타낸 결과 그래프

미술가들의 음영 표현 톤은 도구에 따라서 다르게 나타났는데, 연필로 음영을 표현할 때에는 전체적으로 밝은 톤이 많이 사용된 반면, 펜으로 음영을 표현할 때에는 진한 톤이 많이 사용된다. <표 2>는 도구에 따른 음영 표현 톤 단계의 비율을 정리한 것으로 미술가들이 음영을 표현하는데 사용된 음영을 1단계(0~25)에서 10단계(226~255)까지 구분한 것이다. 펜을 이용한 음영 표현에서 밝은 톤의 10단계가 많이 나타나는 것을 확인할 수 있는데 이는 음영을 표현하지 않은 영역이 많기 때문이다. 따라서 연필을 이용한 음영 표현에서는 톤 단계의 차이가 적어서 부드러운 음영 표현이 나타나고, 펜을 이용한 음영 표현에서는 톤 단계의 차이가 뚜렷하여 강한 음영 표현이 나타난다.

	Bumps		Cervical		Cubehole		Flange		Man		Pulley		Rockerarm		Screwdriver		Venus		Vertebra	
1단계	1%	1%	4%	1%	1%	0%	2%	0%	2%	1%	1%	0%	2%	1%	2%	0%	2%	0%	2%	0%
2단계	3%	4%	21%	0%	8%	0%	10%	0%	11%	0%	10%	0%	5%	0%	7%	1%	10%	0%	11%	0%
3단계	7%	11%	29%	1%	26%	1%	17%	1%	32%	1%	15%	1%	11%	1%	18%	2%	23%	1%	25%	1%
4단계	5%	7%	11%	2%	14%	3%	10%	2%	18%	2%	9%	1%	8%	2%	12%	6%	11%	2%	13%	2%
5단계	7%	7%	4%	5%	5%	6%	6%	3%	6%	4%	5%	3%	6%	3%	7%	7%	5%	4%	6%	4%
6단계	5%	6%	3%	7%	3%	8%	5%	6%	4%	6%	5%	5%	7%	4%	6%	9%	5%	7%	5%	7%
7단계	7%	8%	3%	10%	3%	11%	6%	12%	4%	10%	5%	8%	8%	6%	7%	12%	5%	10%	5%	11%
8단계	12%	11%	3%	15%	3%	15%	7%	20%	4%	16%	8%	15%	12%	12%	8%	17%	6%	16%	6%	16%
9단계	24%	21%	4%	29%	4%	27%	16%	33%	5%	29%	15%	35%	19%	29%	12%	26%	10%	30%	8%	31%
10단계	31%	27%	19%	31%	13%	27%	21%	23%	15%	31%	27%	31%	22%	43%	21%	21%	21%	30%	19%	28%

<표 2> 미술가들이 사용한 도구에 따른 음영 표현 톤 단계의 비율

2) CG 음영 알고리즘이 미술가들의 음영 표현 특성을 반영하는가?

미술가들은 복잡한 물체를 표현할 때 라인만으로는 정확한 형태 전달이 어렵기 때문에 음영을 함께 표현함으로써 보다 정확한 형태 정보를 제공한다고 앞서 언급한바 있다. 본 연구에서는 형태 전달에 초점을 맞춘 미술가들의 음영 표현과 형태를 효과적으로 전달하는 목적을 가지는 기존의 CG 음영 알고리즘들에서 나타나는 음영 표현을 비교하여 CG 음영 알고리즘이

미술가들의 음영 표현 특성을 반영하고 있는지, 어떤 연관성이 있는지에 대해 연구한다. CG 음영 알고리즘은 컴퓨터 그래픽스에서 일반적으로 사용되며 물체를 효과적으로 전달하는 목적을 가지는 다양한 사실적/비사실적 음영 알고리즘을 이용하는데, BRDF, Phong, Cool-to-Warm, Toon(ISO/NOI), Pen-and-Ink, Pencil의 6가지 방법이 있다. <그림 38>은 Bumps 모델을 다양한 음영 알고리즘에 따라 렌더링 한 결과이다.

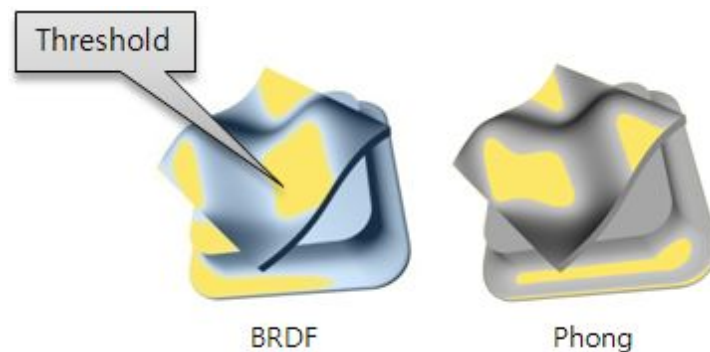


<그림 38> Bumps 모델을 다양한 음영 알고리즘에 따라 렌더링 한 결과

미술가들의 음영 표현과 CG 음영 알고리즘의 음영 표현을 비교하기 위하여 CG 음영 알고리즘을 구현하고 10개의 모델에 대한 결과 이미지를 수집한 다음, 이전 분석 방법과 마찬가지로 음영 표현 비율, 음영 표현 위치, 음영 표현 톤 단계에 초점을 맞추어 분석한다.

- 음영 표현 비율

미술가들은 평균적으로 70%에 가까운 비율에 음영을 표현하는 것으로 나타났는데 CG 음영 알고리즘에서는 몇 %의 비율로 음영을 표현하고 있는가? 이를 비교 분석하기에 앞서 음영의 표현 여부를 결정하기 위한 기준이 필요한데 CG 음영 알고리즘에 따라 음영을 표현하는 방법이 다르기 때문이다. 음영은 빛을 받지 않는 면에 어두운 정도를 표현하는 것으로 물체의 표면의 법선벡터 방향과 빛의 방향에 의해서 계산되는 빛의 세기(Intensity = $N \cdot L$)를 기준으로 빛의 직접적인 영향을 받는 가장 밝은 부분은 음영을 표현하지 않는 것으로 간주한다. <그림 39>는 음영 표현 여부를 결정하는 임계치(threshold)를 기준으로 Bumps 모델에 적용된 BRDF와 Phong에 대해서 임계치 이상의 값을 가지는 픽셀을 노란색으로 나타낸 것이다.



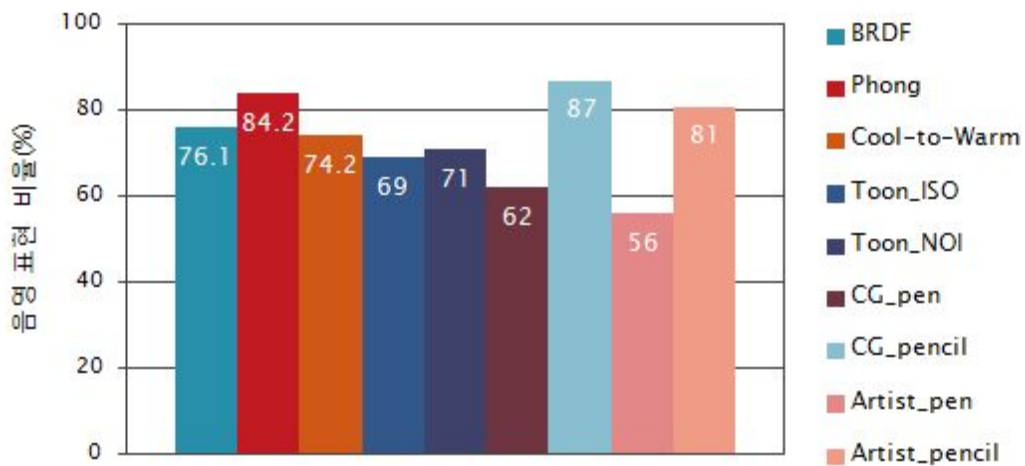
<그림 39> BRDF와 Phong에서 임계치 이상의 값을 가지는 픽셀 영역

<표 3>은 각 음영 알고리즘에 적용되는 임계치로 음영 알고리즘의 각 임계치를 기준으로 임계치보다 작은 색상으로 표현된 픽셀의 수를 구하고, 전체 음영 표현 가능한 픽셀 중에서 몇 %의 비율로 음영을 표현하고 있는지 분석하였다.

CG 알고리즘	threshold
BRDF	Color < 232
Phong	Color < 200
Cool-to-Warm	Color < 185
Toon	Color < 180
Line-Art	Color < 250

<표 3> 음영 알고리즘들의 임계치 기준

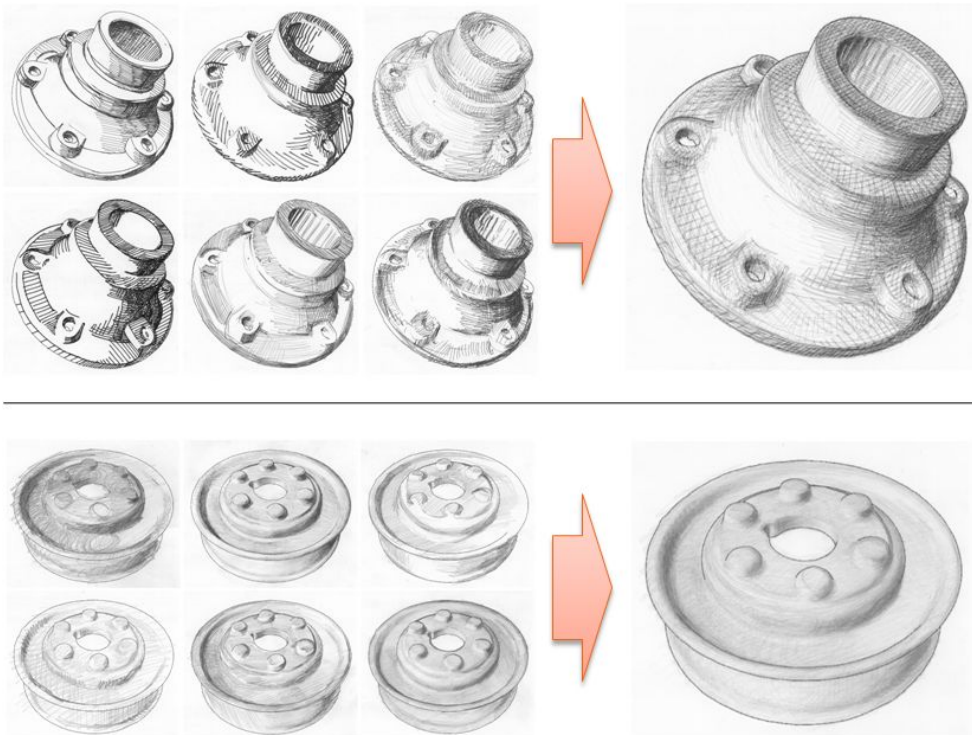
<그림 40>은 CG 음영 알고리즘의 음영 표현 비율을 나타낸 그래프이며 가로축은 CG 음영 알고리즘의 종류를 의미한다. CG 음영 알고리즘의 음영 표현 비율은 미술가들의 음영 표현 비율과 평균 8.14%의 차이를 보였는데 이를 통해 CG 음영 알고리즘의 음영 표현 비율이 미술가들의 음영 표현 비율과 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.



<그림 40> CG 음영 알고리즘의 음영 표현 비율 비교

- 음영 표현 위치

미술가들이 음영을 표현하는 위치와 CG 음영 알고리즘에서 음영을 표현하는 위치를 비교 분석하기 위해서 미술가들의 음영 표현 이미지들을 음영 표현에 이용한 도구별, 모델별로 분류하고 각각의 음영 평균값을 구하여 렌더링하고 그 결과 이미지를 분석에 이용한다. <그림 41>은 미술가들의 음영 표현 이미지들과 이를 평균값으로 렌더링 한 결과로 상단의 이미지는 Flange 모델을 펜을 이용하여 표현한 것이고, 하단의 이미지는 Pulley 모델을 연필로 표현한 것이다.



<그림 41> 미술가들의 음영 표현 이미지를 평균값으로 렌더링 한 결과

미술가들의 음영 표현 위치와 CG 음영 알고리즘의 음영 표현 위치를 비교하는 방법으로 정보검색 시스템의 성능을 평가하는데 널리 이용되는 PR(Precision & Recall) 방법을 이용한다. 성능을 평가하는 척도는 정확도(precision)와 재현율(recall)인데 정확도는 연관 자료 집합 중에서 연관된 자료가 검색된 비율을 나타내고, 재현율은 검색된 자료 집합 중에서 연관된 자료의 비율을 의미한다. 본 연구에서는 CG 음영 알고리즘에서 음영이 표현된 픽셀의 위치가 미술가들이 음영을 표현한 픽셀의 위치에 얼마나 근접하게 표현되고 있는지 분석한다. 여기서 정확도는 미술가들이 음영을 표현한 픽셀의 위치에 근접한 CG 음영 알고리즘의 음영 표현 픽셀 비율이고, 재현율은 CG 음영 알고리즘의 음영 표현 픽셀의 위치에 근접한 미술가들의 음영 표현 픽셀의 비율이다. 정확도와 재현율은 아래의 계산식에 따라 구할 수 있는데, 이는 픽셀 단위로 계산되어야 하기 때문에 전체 이미지를 대상으로 하는 경우 분석해야 할 데이터가 지나치게 많아진다. 따라서 본 연구에서는 각 음영 표현 결과 이미지에서 표본 데이터를 추출하여 정확도와 재현율을 계산한다. <그림 42>는 음영 표현 알고리즘의 PR 그래프이다.

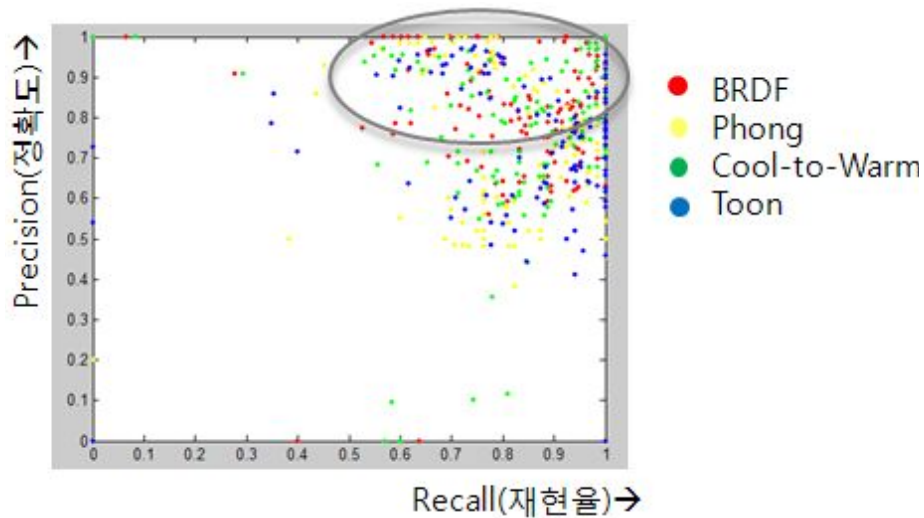
$$P(\text{정확도}) = |R \cap A| / |A|$$

$$R(\text{재현율}) = |R \cap A| / |R|$$

R : 미술가들이 음영을 표현한 픽셀들의 평균값

A : CG 음영 알고리즘에서 음영을 표현한 픽셀들

$R \cap A$: 미술가들의 음영 표현 평균값과 CG 음영 알고리즘에서 공통적으로 음영이 표현된 픽셀들



<그림 42> 음영 표현 알고리즘의 PR 그래프

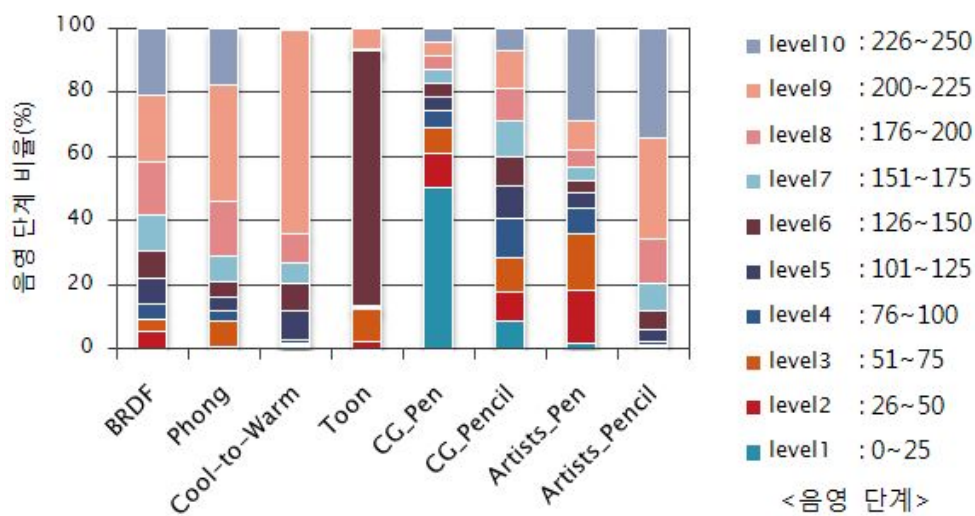
위의 그래프는 추출된 각각의 표본 데이터를 나타낸 것으로 BRDF와 Phong, Cool-to-Warm에 대해서 정확도와 재현율이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 즉, BRDF와 Phong, Cool-to-Warm에서의 음영 표현 위치가 미술가들의 음영 표현 위치가 유사하다는 것이다. 검색 시스템의 평가에 있어서 정확도와 재현율이 100%를 나타내는 경우가 가장 이상적이라고 할 수 있는데, 본 연구에서 정확도와 재현율이 100%라는 것은 미술가들의 음영 평균값에서 나타나는 음영 표현 위치와 CG 음영 알고리즘에서 나타나는 음영 표현 위치가 완전하게 일치한다는 것을 의미한다.

- 음영 표현 톤 단계

미술가들이 음영을 표현하는데 사용한 톤 단계와 CG 음영 알고리즘에서 음영을 표현하는데 사용된 톤 단계를 비교하기 위하여 CG 음영 알고리즘의 결과를 회색조(Grayscale)로 변환한다. 앞서 미술가들 간의 음영 표현 톤 단

계를 비교했을 때와 마찬가지로 0 ~ 255 범위의 색상을 10 개의 음영 단계로 나누고 각각의 음영 단계에 해당하는 톤이 나타나는 비율의 차이를 비교한다.

<그림 43>은 각 CG 음영 알고리즘의 음영 단계가 나타나는 비율을 그래프로 나타낸 것이며, 음영 알고리즘에 따라서 톤 단계의 비율이 다르게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다.



<그림 43> 각 CG 음영 알고리즘에서 나타나는 음영 단계 비율 그래프

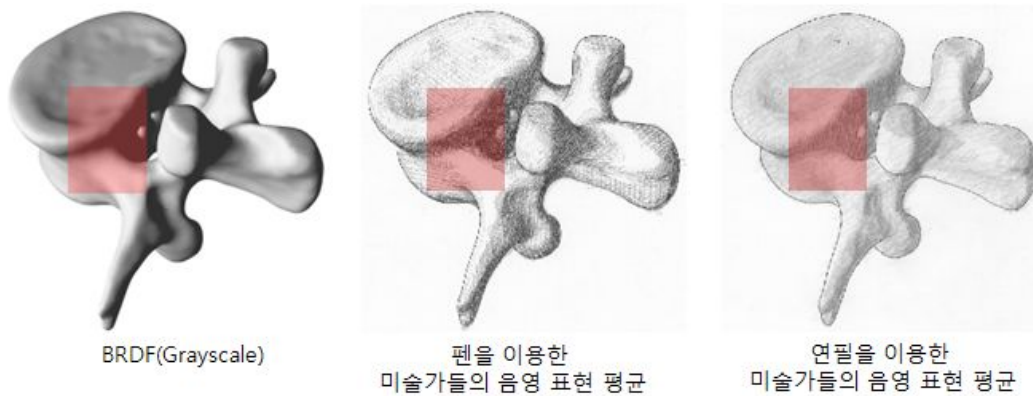
먼저 그래프의 가장 왼쪽에 있는 BRDF와 Phong을 살펴보면 음영 단계가 골고루 분포되어 있는데, 이는 어두운 톤에서부터 밝은 톤까지 다양한 톤을 이용하여 음영을 표현하고 있음을 의미한다. Cool-to-Warm과 Toon은 다른 음영 알고리즘에 비해 상대적으로 적은 수의 음영 단계가 나타나는데, Cool-to-Warm은 밝은 톤이 높은 비율을 차지하는 반면, Toon은 중간 톤이 높은 비율을 차지하는 것을 확인할 수 있다. Pen-and-Ink와 Pencil 렌더링

알고리즘의 결과, 그리고 펜과 연필을 이용한 미술가들의 음영 표현 평균을 살펴보면, 모두 다양한 음영 단계가 나타나고 있다. 그러나 Pen-and-Ink 렌더링 알고리즘과 펜을 이용한 미술가들의 음영 표현 평균에서는 검은색에 가까운 진한 톤이 50% 정도의 비율을 차지하는데, Pencil 렌더링 알고리즘에서는 모든 음영 톤이 균등한 비율로 분포되어 있고 연필을 이용한 미술가들의 음영 표현 평균에서는 밝은 톤이 차지하는 비율이 높은 것으로 확인되었다. 이는 하나의 고정된 톤을 가지는 펜과 잉크의 특성과 다양한 톤을 조절할 수 있는 연필의 특성이 반영된 결과라 할 수 있으며, 특히 미술가들은 연필을 이용하여 음영을 표현할 때 넓은 영역에 대해서는 손으로 문질러서 라인을 음영을 표현하기 때문에 밝은 톤의 음영 단계의 비율이 높게 나타난다.

3) 미술가들은 BRDF에서 인지한 음영을 어떤 톤으로 표현하는가?

미술가들이 BRDF에서 음영을 어떻게 인지하며, 인지한 음영을 그림으로 표현하기 위하여 어떤 톤을 이용하는가? 미술가들이 BRDF 이미지에서 인지한 음영과 미술가들이 표현하는 톤 간의 상관관계를 분석하기 위하여 단순 회귀 분석(Linear Regression Analysis)을 이용한다. 단순 회귀 분석은 종속변수와 독립변수 간의 구체적인 수학적 모형을 가정하고 측정된 자료로부터 이 모형을 추정하여 새로운 데이터를 예측하는데 사용되는 통계 방법이다. 이를 통하여 미술가들이 BRDF 이미지를 보고 음영을 표현한 결과 데이터를 기반으로 BRDF의 음영 톤과 미술가들의 음영 표현 톤 간의 함수적 관계를 예측할 수 있다. 여기서 독립변수는 미술가들이 BRDF에서 인지한 음영, 즉 BRDF에서 표현되는 각 픽셀의 음영 표현 톤이며 종속변수는 미술가들이 표현한 각 픽셀의 음영 표현 톤이다.

단순 회귀 분석을 위하여 먼저 RGB의 세 가지 성분을 가지는 BRDF 이미지를 회색조로 변환하여 0 ~ 255의 색상 범위를 가지는 하나의 성분으로 나타낸다. 회귀분석에서 픽셀 단위 데이터를 사용할 것이기 때문에 BRDF 이미지와 미술가들이 음영을 표현한 평균 이미지의 특정 영역에서 표본 데이터를 추출한다. 표본 데이터는 위의 <그림 44>에서 붉게 나타난 사각형 영역과 같이 음영 단계가 골고루 분포되어 있는 영역을 기준으로 하는데, 선택 영역은 전체 이미지의 20% 비율에 해당된다.



<그림 44> 표본 데이터를 추출하는 기준 영역의 예시

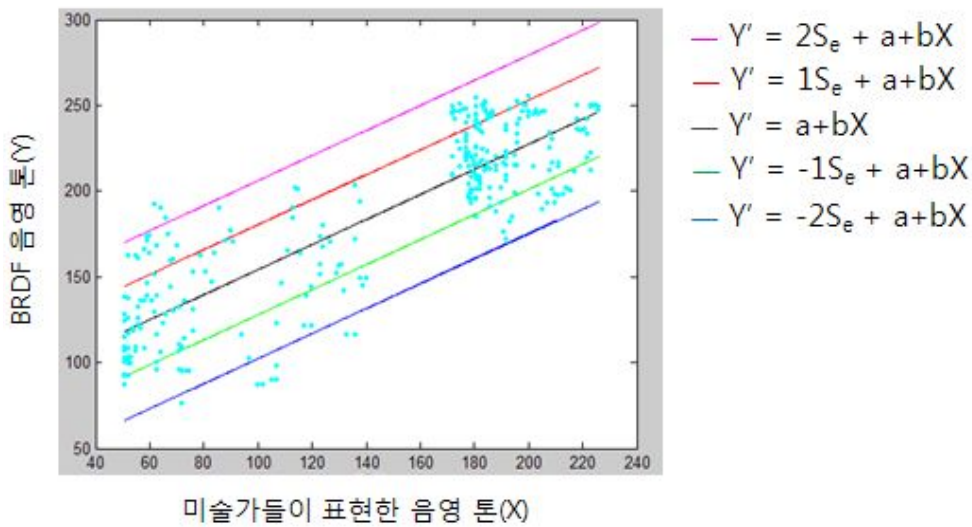
예측하고자 하는 변수를 종속변수 Y , 종속변수의 값을 예측하는데 사용되는 변수를 독립변수 X 로 두고, 두 변수 X , Y 의 선형적 관계를 나타내는 식을 구한다. X 와 Y 의 상관관계는 아래와 같은 표본 회귀 모형으로 정의되는데, 회귀계수 a 는 표본 측정값으로부터 추정된 기울기이며 b 는 오차항으로 미술가들의 음영 표현에 있어서 설명되지 않는 모든 변동을 의미한다. 그리고 표준 오차 범위 S_e 는 예측치와 실제 표본 데이터 사이에서 발생하는 표본 오차의 차이 값이다.

$$Y = aX + b + S_e \quad (a: \text{회귀계수}, b: \text{오차항}, S_e: \text{표준오차범위})$$

BRDF 이미지에서 표현되는 각 픽셀의 음영 톤

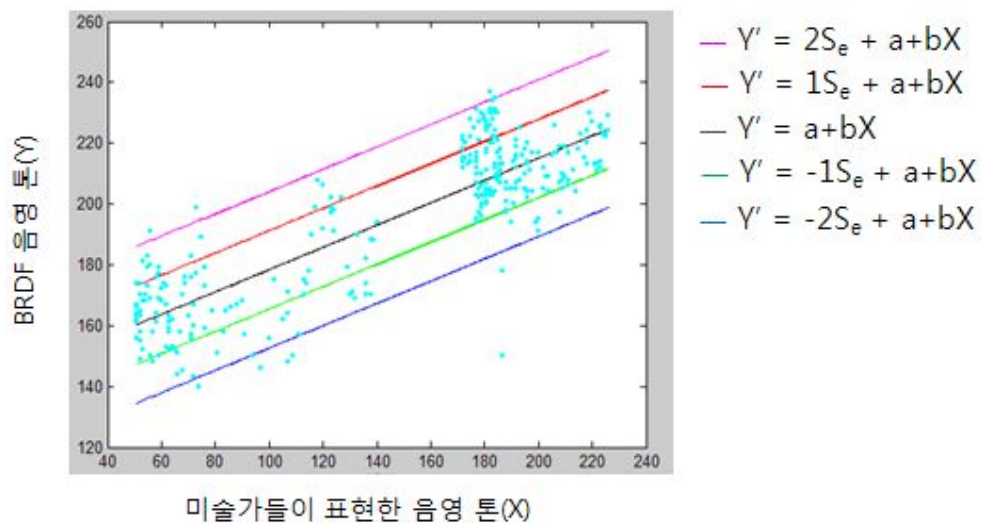
미술가들이 음영을 표현하는데 이용하는 각 픽셀의 음영 톤

아래 <그림 45>와 <그림 46>은 미술가들이 펜을 이용하여 음영을 표현한 평균과 연필을 이용하여 음영을 표현한 평균 이미지에서 추출한 표본 데이터를 표본 회귀 모형에 적용시켜서 표본 회귀선을 그린 결과이다. 표본 회귀선을 그리기 위하여 표준 오차의 값이 최소가 되도록 하는 a와 b의 값을 찾아야 하는데, 최소자승법(Least Squares Method)을 이용한다. 하늘색으로 표현된 점은 특정 위치의 픽셀에서 미술가들이 표현한 음영 톤과 BRDF에서 나타나는 음영 톤을 짝지어 나타낸 산포도(Scatter Diagram)이며 이를 통해서 두 변수의 관계가 밀접한지 파악할 수 있다.



<그림 45> 미술가들이 펜을 이용하여 음영을 표현한 평균 이미지의 산포도와 표본 회귀선

위의 그래프를 통해서 미술가들이 표현한 음영 톤과 BRDF에서 나타나는 음영 톤이 선형 관계가 있다는 것을 확인할 수 있다. 표본 데이터에서 구한 표본 회귀선이 표본 관측치들을 적절하게 대표해주고 있는지를 검정하는 과정이 필요한데 이는 미술가들이 표현한 음영 톤과 BRDF 이미지에서 나타나는 음영 톤의 관계가 통계적으로 유의한지 검정하는 것이다.

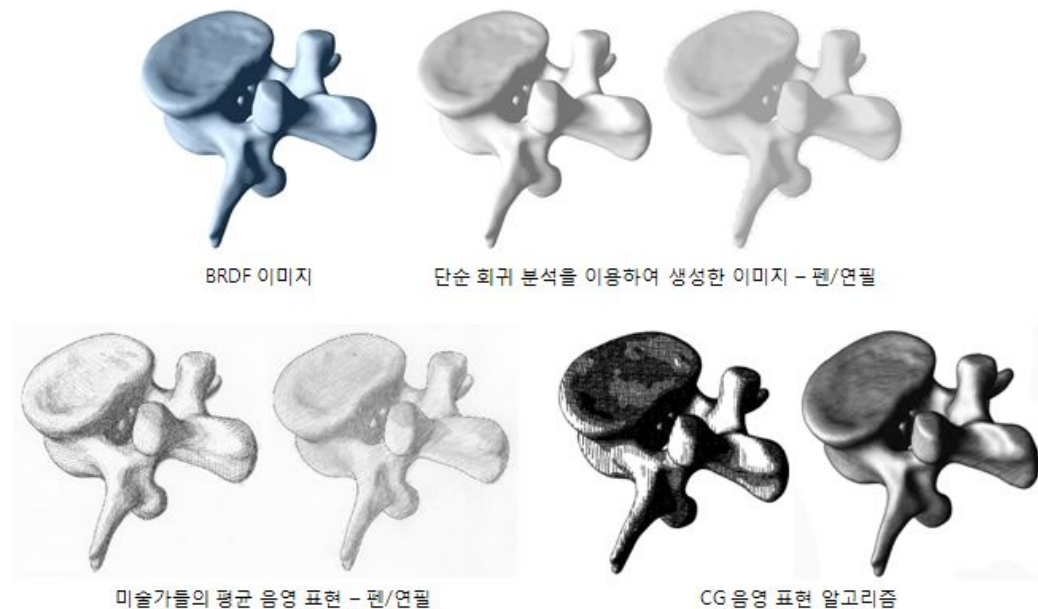


<그림 46> 미술가들이 연필을 이용하여 음영을 표현한 평균 이미지의 산포도와 표본 회귀선

<그림 45>, <그림 46>의 그래프를 보면 각각 5개의 선이 있는데, 미술가들이 펜을 이용하여 음영을 표현한 평균 이미지의 산포도와 표본 회귀선을 보면 $[\pm 1S_e = \pm 28.47]$ 의 오차 범위 이내에 총 300개의 표본 데이터 중 220개(73.3%)가 포함되고, $[\pm 2S_e = \pm 56.94]$ 의 오차 범위 이내에 289개(96.3%)의 데이터가 포함된다. 연필을 이용한 음영 표현 그래프에서도 마찬가지로 $[\pm 1S_e = \pm 81.13]$ 의 오차 범위 이내에 총 300개의 표본 데이터 중 222개(73.8%)가 포함되고, $[\pm 2S_e = \pm 162.26]$ 의 오차 범위 이내에 291개(97%)의 데

이터가 포함된다. 이는 표본 회귀선이 표본 자료를 적절하게 대표하고 있다고 할 수 있다.

<그림 47>은 BRDF가 적용된 Vertebra 모델의 20% 영역에서 추출한 표본 데이터로부터 구한 표본 회귀선에 따라 Vertebra 모델의 전체 음영 단계를 예측한 결과 이미지를 미술가들의 음영 표현 평균 이미지와 기존의 CG 알고리즘의 결과와 비교한 것이다. BRDF 이미지를 토대로 단순 회귀 분석을 이용하여 생성한 이미지에서 나타나는 음영 톤은 미술가들이 음영을 표현한 평균의 음영 톤과 유사하게 표현되고 있음을 확인할 수 있다.



<그림 47> 단순 회귀 분석을 이용하여 생성한 결과 이미지와

그 밖의 다양한 음영 알고리즘으로 생성한 결과 이미지를 비교한 결과(Vertebra 모델)

4) 음영 표현에서 가장 중요한 요소는 무엇인가?

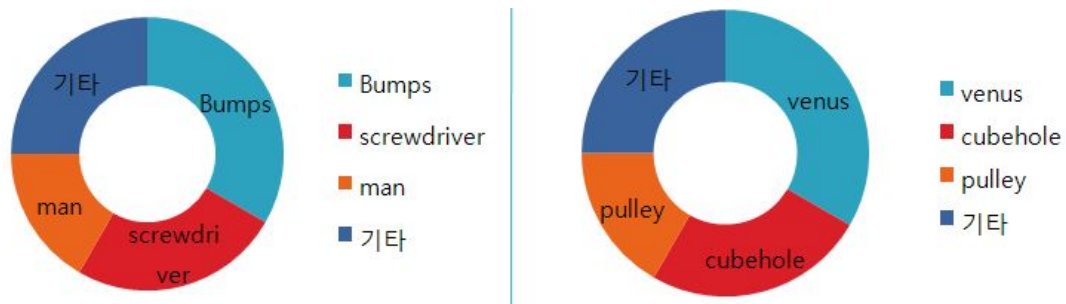
실험이 종료된 후 미술가들에게 본 연구에 대한 간단한 설문조사를 진행하였는데, 그 문항의 내용은 아래 <표 4>와 같다.

설문 문항
1. 실험에서 사용된 3D 이미지에서 물체의 형태 또는 음영을 쉽게 이해할 수 있었는가?
2. 음영을 표현하기에 가장 쉬운 물체는 무엇인가? (이유는?)
3. 음영을 표현하기에 가장 어려운 물체는 무엇인가? (이유는?)
4. 물체의 형태를 표현할 때 가장 중요한 것은 무엇인가?
5. 물체의 음영을 표현할 때 가장 중요한 것은 무엇인가?

<표 4> 설문조사 문항

첫 번째로 실험에서 사용된 이미지에서 물체의 형태와 음영을 쉽게 이해할 수 있었는가에 대한 질문에 미술가들은 모두 그렇다고 대답했다. 이는 실험에서 완전한 확산 양방향 반사 분포 함수를 이용하여 렌더링 함으로써 빛이 골고루 반사되어 형태와 음영이 효과적으로 표현된 이미지를 제시했기 때문으로 생각된다.

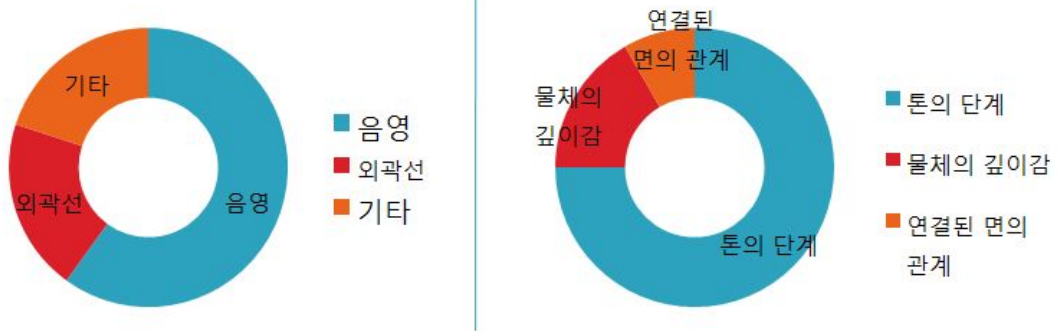
<그림 48>은 두 번째와 세 번째 설문 문항에 대한 결과로 음영을 표현하기에 가장 쉬운 물체와 어려운 물체는 어떤 것이며 그 이유는 무엇인가에 대한 질문이다.



<그림 48> 음영을 표현하기 가장 쉬운 물체(왼쪽)와 가장 어려운 물체(오른쪽)에 대한 설문 결과

미술가들은 Bumps 모델이 음영을 표현하기에 가장 쉽다고 응답한 반면, Venus 모델이 음영을 표현하기에 가장 어렵다고 응답했다. 그 이유로 Bumps 모델은 단순한 형태를 가지고 있으며 어두운 부분과 밝은 부분의 경계가 뚜렷하게 구분되기 때문에 음영을 쉽게 인지하고 표현할 수 있지만, Venus 모델의 경우는, 머리 부분이 복잡하기 때문에 음영을 표현하기가 쉽지 않았다는 의견이 있었다.

또한, 물체의 형태를 표현할 때 가장 중요한 것이 무엇인지에 대한 질문에는 음영의 표현이 가장 높은 응답수를 보였다. 그 외의 의견으로는 외곽선과 정확성, 면 등의 요소가 있었다. 물체의 형태를 표현할 때 음영이 가장 중요한 요소로 고려되어야 한다는 설문 결과에 따라 물체의 음영을 표현할 때 가장 중요한 요소는 무엇이라고 생각하는지 추가적으로 질문하였다. 대부분의 미술가들은 밝게 표현되어야 할 부분에서 어둡게 표현되어야 할 부분까지의 음영 단계가 중요하다고 응답하였다. 그리고 물체의 내부에 표현되는 깊이감과 연결된 면과의 관계가 중요하다는 의견도 소수 있었다. <그림 49>는 설문조사 결과 그래프이다.



<그림 49> 형태를 표현할 때 가장 중요한 요소(왼쪽)과 음영을 표현할 때 가장 중요한 요소(오른쪽)에 대한 설문 결과

V. 형태를 인지할 때 시선이 고정되는 부분은 어디인가?

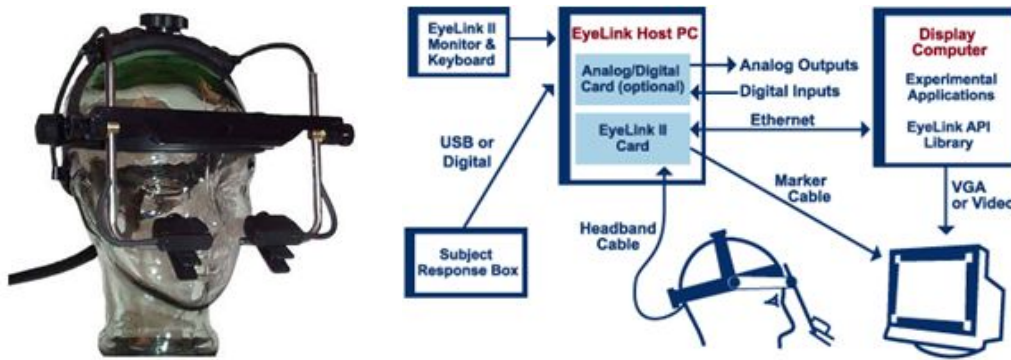
사람은 어떤 대상을 응시할 때 무작위로 시선을 고정시키는 것이 아니라 의미 있는 대상에 대해 시선을 고정시킨다. 이를 시각적 주의(Visual Attention)라고 하는데, 이는 사용자가 응시하는 대상에서 어떤 정보를 중요하게 인지하는지 파악할 수 있는 중요한 자료가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시선 추적 기술을 실험에 도입하여 사람들이 형태를 인지하기 위해서 어떤 부분에 시선을 고정시키는지에 대한 실험을 수행한다.

1. 시선 추적 장비

시선 추적 장비(Eye Tracking)는 어디를 바라보는지를 나타내는 응시점의 위치와 시선의 움직임에 정확하게 측정하기 위해 사용되는 장비로써 심리학, 인지과학, 의학 등의 다양한 연구 분야에서 이용하고 있다. 본 연구에서는 미술가들이 음영을 표현하는 실험을 할 때, 일정 시간동안 시선 추적 장비를 착용하도록 하는데 이는 물체의 형태와 음영을 효과적으로 전달하기 위해서 물체의 어떤 영역을 주로 응시하는지 파악하기 위한 목적을 가진다.

본 연구에서 사용하는 시선 추적 장비는 성신여자대학교의 심리학과에서 보유하고 있는 EyeLink-II 이며, <그림 50>의 왼쪽 그림과 같이 머리에 장착 가능한(Head-mounted) 형태를 가진다. 3개의 소형 카메라를 통해서 대상을 응시하는 시선의 움직임을 추적하도록 구성되어 있으며, 두 개의 카메라는 양쪽 눈동자의 움직임을 촬영하고, 다른 하나의 카메라는 사용자가 응시할 화면인 디스플레이 스크린에 달려 있는 네 개의 적외선 마커(infrared

markers)를 추적하는 역할을 한다. 시스템은 <그림 50>의 오른쪽과 같이 디스플레이 스크린과 시선 추적을 제어하는 EyeLink-II 호스트 PC로 구성된다.



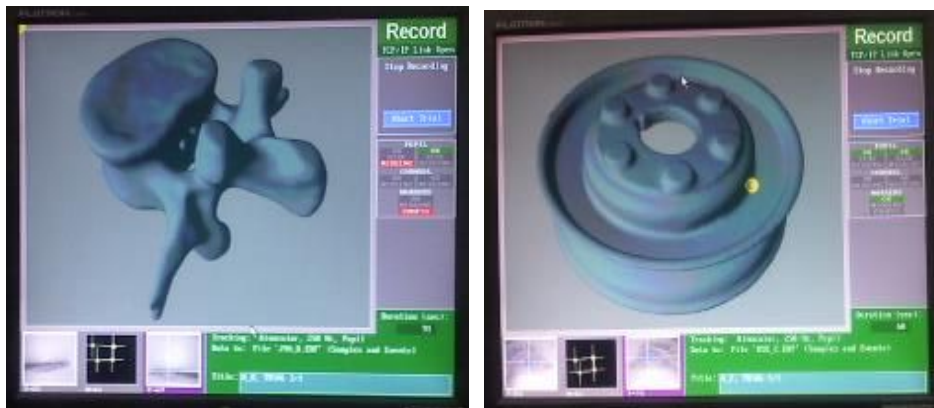
<그림 50> EyeLink-II 시선 추적 장비의 형태와 시스템 구성

EyeLink-II 시선 추적 장비는 동공(Pupil)을 탐지함으로써 시선의 움직임을 초당 250~500회 측정할 수 있으며 시선의 위치, 시선의 고정(fixation), 눈동자 깜빡임(blink), 안구의 순간적인 운동(saccade) 등을 자동으로 추출해주는 시스템을 가지고 있다.

2. 시선 추적 데이터 수집

시선 추적 데이터를 수집하기 위하여 Visual C++를 이용하여 실험 환경의 구축하였는데, EyeLink-II에서 기본적으로 제공하는 라이브러리를 이용한다. <그림 51>과 같이 일정 시간 동안 BRDF 이미지가 디스플레이 스크린 상에 보여 지고, 시선이 고정되는 영역의 좌표 값과 지속 시간을 추출하

도록 구성한다. 실험에 사용되는 이미지의 파일을 배열에 저장 해놓고 무작위로 이미지 파일을 불러오도록 하기 위하여 비트맵 로더를 구현한다. 일정 시간이 경과되면 다음 실험 이미지로 전환되기 때문에 제한된 시간동안 집중해서 응시하는 영역에 대한 데이터 수집이 가능하다. 사용자들에게 제공하는 시점은 기준 시점의 이미지만 제시하도록 한다.



<그림 51> 시선 추적 데이터 수집을 위한 실험 환경

본 실험은 3D 모델에 대해 기본적으로 이해할 수 있는 미술 또는 컴퓨터 전공자들을 대상으로 진행하였으며, 실험에 참여한 학생들은 평균 24세로 모든 참가자는 성신여자대학교 학생들이다.

본격적인 시각적 주의 실험을 수행하기 전에 시선 추적 장비를 바르게 착용하는 것이 중요하다. 장비를 착용한 후 흔들리지 않도록 조절 나사를 이용하여 머리에 고정시킨다. 사람마다 눈동자의 위치나 높이가 다르기 때문에 장비를 잘못 착용한 경우 정확한 시선 추적 데이터를 얻을 수 없다. <그림 52>는 시선 추적 시스템에서 동공을 탐지한 결과 화면으로 동공 부분을 나타내는 파란색 점이 정확하게 화면 중앙에 위치하고 있다. 이처럼 동공이

좌우, 상하 어느 한쪽으로 치우치지 않도록 카메라의 위치를 조정해야 정확한 시선 추적 데이터를 얻을 수 있다.



<그림 52> 바람직한 동공 위치 조정 예시

양안의 동공이 모두 화면의 중앙에 배치되도록 카메라의 위치를 조정한 다음 시선 추적 설정 값의 조정(calibration) 작업과 시선의 움직임을 정상적으로 추적하고 있는지 검증(validation)하는 단계가 필요하다. <그림 53>과 같이 디스플레이 스크린 상에서 이동하는 점을 따라 시선을 이동하는 과정을 통해서 조정과 검증이 이루어지며, 정상적으로 시선의 움직임을 추적하지 못하는 경우나 조정과 검증 간의 큰 오차 범위가 발생하는 경우 다시 조정하여 정확한 데이터를 얻을 수 있도록 한다. 이 시스템은 미세한 머리 움직임에 대해서는 자동으로 보정해주기 때문에 별도의 머리 고정 장치(chin rest)가 요구되지 않는다. 다만, 머리가 심하게 움직이는 경우에는 시선 추적 설정을 다시 조정해야 한다.



<그림 53> 시선 추적을 위한 조정과 검증

아래 <그림 54>는 실제 시선 추적 장비를 착용하고 실험을 수행하는 모습이다. 시선 추적 장비가 다소 무겁고 착용이 불편하다는 단점이 있기 때문에 하나의 이미지마다 3분 동안만 시선을 추적하도록 한다. 원하는 데이터를 정확하게 얻어 내기 위해서 미술가들에게 상세한 영역의 음영을 표현하기 전에 전체적인 형태의 윤곽을 잡는 작업을 먼저 하도록 요청하고 그 때에 나타나는 시선의 움직임 데이터를 시선 추적 장비를 통하여 수집한다.



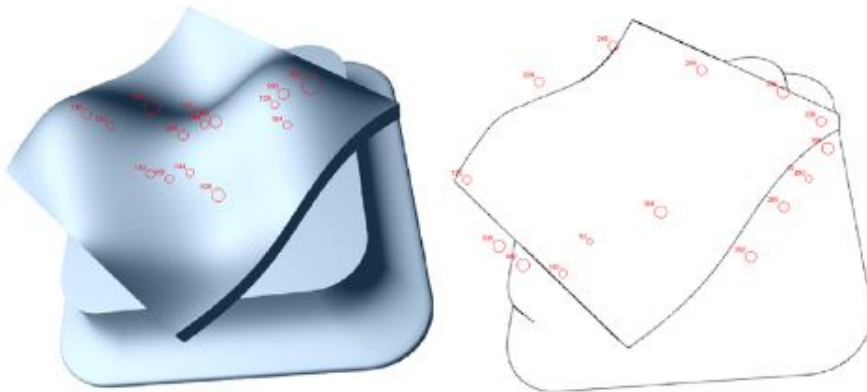
<그림 54> 시선 추적 장비를 착용하고 음영을 표현하는 모습

3. 결과 및 분석

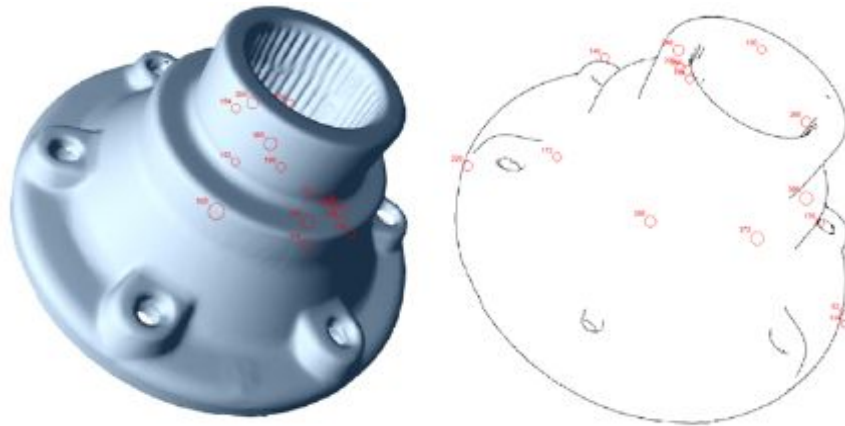
모든 미술가들은 시선 추적 장비를 착용하고 10개의 3D모델에 대한 실험을 수행하여 총 100개의 시선 추적 데이터를 수집하였다. 특히, 의미 있는 대상에 시선을 고정시키는 시각적 주의 데이터에 집중하여 분석하는데, 시각적 주의를 일반적으로 한 지점을 200ms 이상 응시했을 때를 말한다 [Sun08]. 미술가들이 형태를 효과적으로 전달하는데 목적을 두고 음영을 표현할 때 나타나는 시선 추적 데이터를 수집하였으므로 이는 형태를 인지할 때 어떤 부분을 집중하여 응시하고 표현하는지 알 수 있다.

1) BRDF 이미지에서 시각적 주의가 나타나는 영역은 어디인가?

<그림 55>는 Bumps 모델에 BRDF가 적용된 이미지에서 나타나는 시선 추적 결과와 외곽선만 있는 이미지에서 나타나는 시선 추적 결과를 비교한 것이다. 빨간색 원은 시각적 주의를 나타내는 부분으로 빨간색 원이 클수록 시선이 고정된 시각적 주의의 지속 시간이 길게 나타났음을 의미한다. <그림 56>은 BRDF가 적용된 Flange 모델에서 나타나는 시선 추적 결과이다.



<그림 55> Bumps 모델에서의 시각적 주의 및 지속 시간



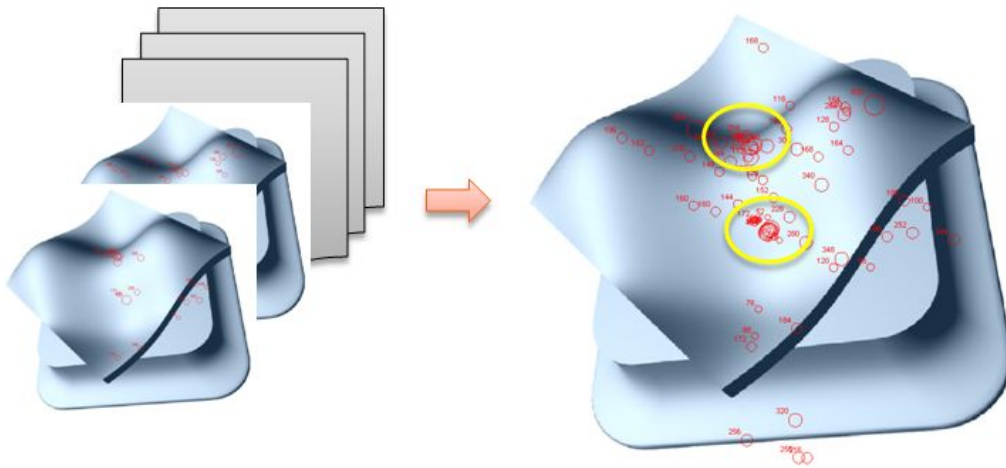
<그림 56> flange 모델에서의 시각적 주의 및 지속 시간

위의 그림들에서 알 수 있듯이 BRDF의 경우 시각적 주의가 이미지의 중앙이나 음영 단계의 변화가 큰 부분에서 주로 나타나고 있다. 이는 사람들이 이미지에서 음영 단계의 변화를 통해서 형태를 인지한다는 것으로 분석된다. 반면, 외곽선만 표현된 이미지에서는 외곽선을 따라서 시각적 주의가 발생한다. 이는 외곽선 내부에 어떠한 정보도 존재하지 않기 때문에 형태를 이해하는데 중요한 정보로 인지하지 않아서 오랜 시간 응시하지 않는 것으로 이해할 수 있다. 또한, 모든 결과 이미지에서는 이미지의 가운데 영역에서 시각적 주의가 발생한 것을 알 수 있는데, 사람들은 최초로 이미지를 응시할 때 가운데 영역을 우선적으로 응시하기 때문이다.

2) 사람들 간의 시각적 주의를 유사하게 나타나는가?

이미지의 어느 영역을 공통적으로 응시했는지 분석하기 위해서는 시각적 주의를 발생하는 정확한 좌표 지점에 대해서 비교 분석해야 한다. 기존의 시선 추적 시스템에서는 각기 다른 시선 추적 데이터를 동시에 보여주는 기

능을 제공하지 않기 때문에 수집한 시선의 고정 및 지속 시간을 나타내는 데이터를 이미지 파일로 추출하여 하나의 통합된 이미지로 만드는 이미지 프로세싱 모듈을 Visual C++를 이용하여 구현한다. 이미지를 픽셀 단위로 접근하여 모든 시선 추적 데이터에서 시선의 고정 및 지속 시간을 나타내는 빨간색의 픽셀 영역만 추출하여 하나의 이미지에 누적시키도록 하였다.



<그림 57> 시각적 주의 데이터의 통합 결과

<그림 57>은 여러 시각적 주의 실험 데이터를 하나로 통합하는 것을 설명해주는 그림으로, 오른쪽의 노란색 원 안의 영역이 사용자들의 시각적 주의가 정확하게 일치하는 부분이다. 이 부분은 이미지의 가운데 영역인 동시에 표면의 곡률이 큰 기하학적 특성을 가지고 있어서 음영의 단계에서 뚜렷한 차이를 보인다. 이는 BRDF가 적용된 이미지를 응시할 때 나타나는 시각적 주의의 일반적인 패턴과도 유사한 결과이다.

VI. 어떤 음영 알고리즘이 형태를 효과적으로 전달하는가?

Cole은 다양한 라인 알고리즘 중에서 사용자들이 형태를 가장 효과적으로 인지하는 라인 알고리즘이 무엇인지 평가하는 연구를 수행하였는데, 라인을 이용해서 실제 기하학적인 형태 정보를 어느 정도는 이해할 수 있지만 음영이 표현된 이미지에서 보다 정확한 형태 인지가 가능하다는 연구 결과를 보였다. 따라서 본 연구에서는 라인 알고리즘을 음영 알고리즘으로 확장하여 다양한 음영 알고리즘 중에서 형태를 가장 효과적으로 나타내는 음영 알고리즘이 무엇인지 사용자 인지 실험을 통하여 평가해보고자 한다.

1. 사용자 인지 평가 실험

1) 실험 설계

사용자들이 CG 음영 알고리즘에서 나타나는 음영을 유사하게 이해하고 있는지, 형태를 가장 효과적으로 전달하는 CG 음영 알고리즘은 무엇인지 평가하기 위한 사용자 인지 실험을 설계하기 위하여 Cole의 연구를 참고하여 다음과 같은 항목들에 대해 고려한다.

- 어떤 음영 알고리즘을 비교할 것인가?
- 실험 환경을 어떻게 구축할 것인가?
- 실험 데이터를 수집하고 분석하는 방법은 무엇인가?

사용자들의 형태 인지 실험에서 사용하는 3D 모델은 미술가들의 음영 표현 데이터를 수집할 때 사용했던 10개의 모델을 이용하는데, 이는 앞서 설명했던 것처럼 사용자들이 형태를 쉽게 추론할 수 있으며, 오목하고 볼록한 다양한 형태적 특성을 포함하고 있어서 그에 따라 세부적인 음영이 표현되기 때문이다.

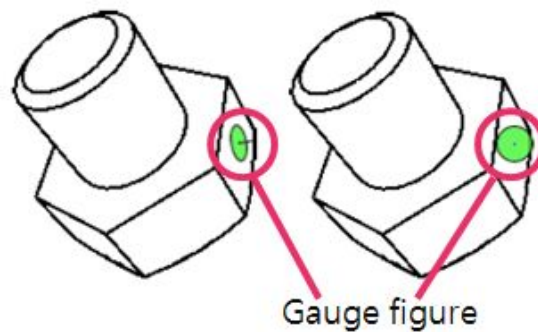
실험에서 사용하는 CG 음영 알고리즘은 이전 실험의 분석에 이용된 BRDF, Phong, Cool-to-Warm, Toon(ISO/NOI), Pen-and-Ink, Pencil의 6가지 방법을 이용하는데, 이들은 물체를 효과적으로 전달하기 위한 사실적/비사실적 음영 표현이라는 공통점을 가진다. 추가적으로 미술가들이 물체의 형태의 전달하기 위한 목적을 가지고 펜과 연필을 이용해서 음영을 표현한 결과물에 대해서도 사용자 인지 실험을 수행한다. 아래 <표 5>는 사용자 인지 실험에서 사용될 음영 알고리즘을 정리한 것이다.

사실적		비사실적	
BRDF	현실 세계의 조명 환경을 반영하여 사실적으로 표현	Cool-to-Warm	형태를 강조하기 위해 사용되는 비사실적 음영 표현 모델
Phong	물리적으로 존재할 수 없는 조명이지만 사실적으로 표현하는 목적 가장 일반적으로 사용되는 음영 표현 모델	Toon	생략, 요약 등을 통해서 대상의 복잡한 형태를 단순화시켜서 효과적인 정보 전달
		Line-Art (Pen-and-ink/Pencil)	라인아트를 이용한 음영 표현은 형태 및 재질을 효과적으로 전달

<표 5> 효과적인 형태 전달을 목적으로 하는 다양한 사실적/비사실적 음영 알고리즘

2) 실험 방법

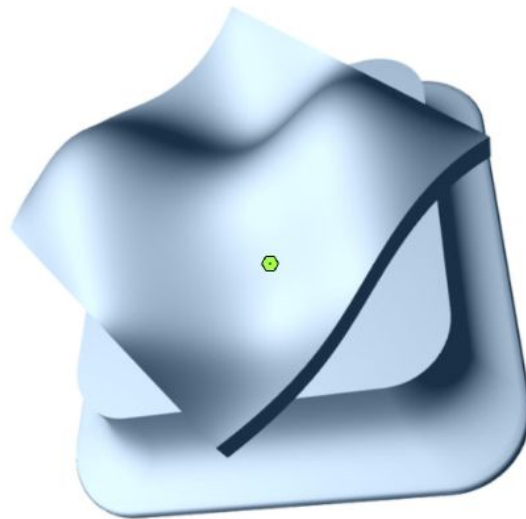
다양한 음영 알고리즘에서 사용자가 어떻게 형태를 인지하는지 실험하기 위하여 측정기 배치 방법(Gauge Placement Protocol)을 이용한다. 측정기 배치 방법은 2차원의 이미지 위에 배치된 측정기의 방위(orientation)를 사용자가 인지한 물체 표면의 법선벡터 방향과 일치시키도록 하는 것으로 형태를 판단하는 실험에서 사용되는 방법이다. 측정기는 <그림 58>과 같이 원판과 그 위에 수직으로 뻗은 짧은 선으로 구성된다. 평가 데이터를 바탕으로 사용자가 인지한 형태의 측정값과 실제 3차원의 기하학적 형태 정보 간의 오차를 계산하여 사용자들의 형태 인지 정확도를 파악할 수 있다.



<그림 58> 측정기 배치 방법의 예시

다양한 음영 알고리즘의 결과 이미지에서 사용자가 인지한 형태를 측정하는 실험을 수행하기 위하여 측정기 배치 실험 환경을 구축한다. 실험 화면에는 특정 음영 알고리즘이 특정 3D 모델에 적용된 결과 이미지가 출력되고, 임의의 위치에 측정기가 배치된다. 사용자들은 마우스를 이용하여 인지한 형태에 따라 측정기가 배치된 면과 측정기의 선이 수직이 되도록 조정한다. 하나의 측정기에 대한 조정이 끝나면 키보드의 스페이스바 키를 눌러

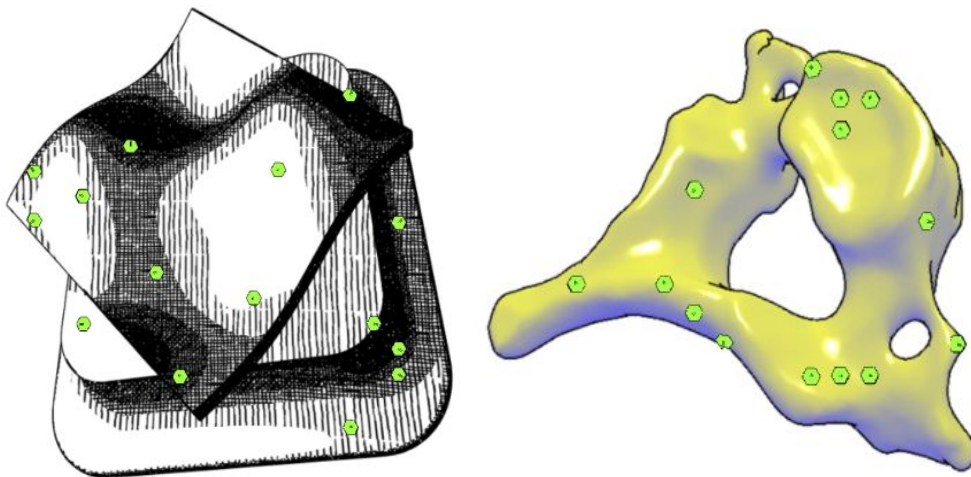
다음 측정기의 배치가 가능하다. 사용자들은 3D 모델별로 하나의 음영 알고리즘의 결과에만 측정기를 배치하게 되는데 이는 모델의 형태에 대한 학습 효과를 배제하기 위한 것이다. 또한, 화면에 출력되는 3D 모델과 음영 알고리즘의 순서는 랜덤하게 결정하여 실험 조건의 순서에 대한 효과를 최소화시키고자 하였다. <그림 59>는 BRDF가 적용된 Bumps 모델에서 측정기를 배치하는 실험 화면으로 초록색의 작은 원판이 측정기이며, 사용자들은 하나의 이미지에 50개씩의 측정기를 배치한다. 평가 시스템은 Visual Studio .NET을 이용하며 구축하며 3D 모델을 시스템에 로드하기 위하여 OpenGL 그래픽 라이브러리를 사용한다.



<그림 59> 측정기 배치 실험 화면

3) 형태 인지 평가 데이터 수집

본 연구는 성신여자대학교의 미디어정보학부, 컴퓨터정보학부 학생들과 직장인들을 대상으로 수행되었으며 실험에 참여한 인원은 총 20명이다. 라인 알고리즘을 평가한 Cole의 연구에서는 Amazon Mechanical Turk 라는 인력 서비스를 이용하여 많은 수의 실험 데이터를 수집하였지만, 제한시간을 두고 있어서 시간 내에 측정기를 조절하지 못한 경우에는 각 이미지에 대해서 소수의 데이터만 수집하게 되는 문제점을 가지고 있다. 또한, 실험에 참여했던 참가자들 중 가장 적극적으로 실험에 참여했던 참여자들에게서 수집한 데이터가 75% 이상을 차지하고 있었다는 결과로 보아 모든 실험자들을 통해서 의미 있는 데이터를 수집한 것은 아니라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 사용자 실험에서 수집한 자료의 신뢰도를 높이기 위하여 모든 실험 참여자들에게 측정기를 배치할 수 있는 충분한 시간을 제공할 뿐만 아니라 더 많은 수의 측정기를 배치하도록 한다.



<그림 60> 측정기를 배치한 일부 데이터

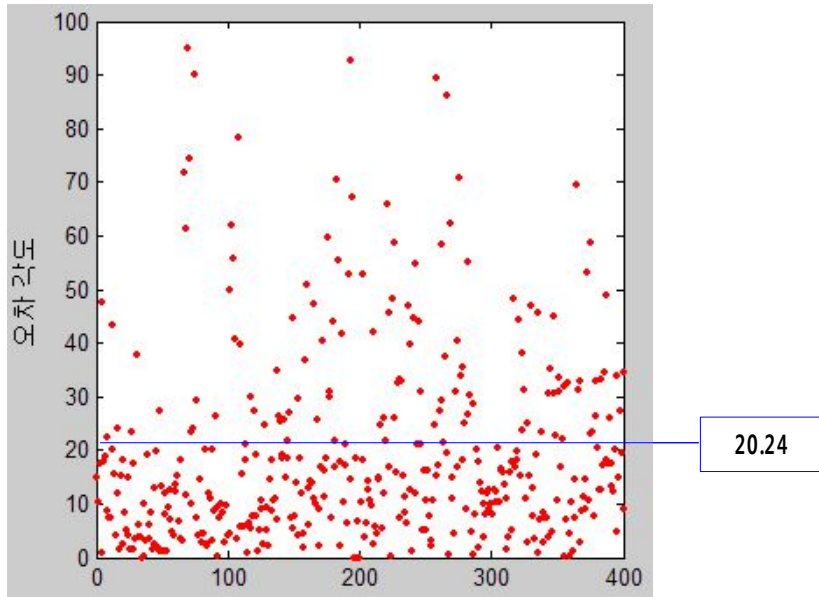
<그림 60>은 Pen-and-Ink 렌더링을 이용한 Bumps 이미지와 Cool-to-Warm을 적용한 Cervical 이미지 위에 배치된 측정기를 사용자가 마우스를 이용하여 조정한 결과 데이터의 일부이다.

2. 결과 및 분석

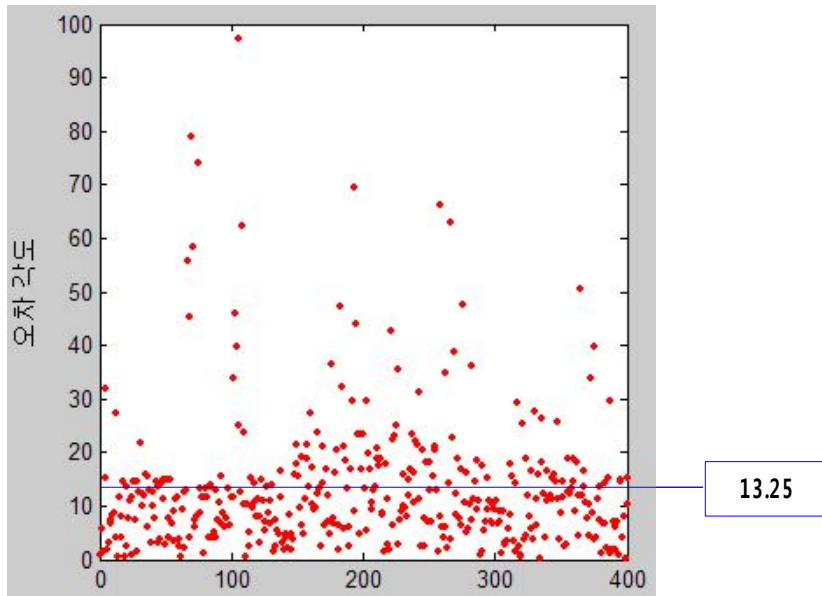
사용자의 측정기 배치 실험을 통해 수집한 데이터를 분석하는데, 사용자가 조정한 측정기의 방위와 측정기가 배치된 위치 좌표의 실제 3D 물체의 법선벡터 방향의 오차를 비교하여 사람들이 형태를 유사하게 인지하고 판단하는지, 다양한 CG 음영 알고리즘에서 인지한 형태와 실제 물체의 형태 정보는 얼마나 일치하는지에 초점을 맞춘다. 특히, CG 알고리즘에 따라 지역적인 오차가 발생하는지 알아내기 위하여 시각적 주의가 발생하는 부분에 대해 상세히 분석할 수 있는 교차형 측정기(gauge-cross)를 배치하는 방법을 제안한다.

1) 사람들이 음영 표현을 유사하게 이해하는가?

사람들이 음영 표현을 어떻게 유사하게 이해하는지 설명하기 위하여 사용자가 배치한 각 측정기의 방위 데이터와 측정기 방위 데이터의 평균의 편차를 비교하는 방법을 이용한다. 아래 <그림 61>은 실제 3D 모델이 가지는 형태 정보와 사용자들의 측정 데이터 간에 발생하는 오차 분포도이며, <그림 62>는 사용자들의 측정 평균값과 사용자가 측정 데이터 간에 발생하는 오차의 분포도이다. 파란색 실선은 평균을 나타내는 것이며 선의 오른쪽에 표기된 숫자가 평균값이다.



<그림 61> 실제 3D 모델의 형태 정보와 사용자들의 형태 측정 데이터 간에 발생하는 오차의 분포도



<그림 62> 사용자들의 형태 측정 데이터 간에 발생하는 오차의 분포도

두 그림을 통해서 사용자들 간의 오차가 더 실제 3D 모델과 비교한 오차보다 작게 나타나는 것을 확인할 수 있는데 이는 사용자들이 음영을 유사하게 인지하고 있다는 것을 의미한다.

2) 음영 알고리즘에서 인지한 형태와 실제 물체의 형태는 얼마나

일치하는가?

사용자들이 음영 알고리즘에서 인지한 형태와 실제 물체의 형태가 얼마나 일치하는지 분석하기 위하여 사용자가 형태를 측정된 데이터를 음영 알고리즘별로 정리하여 비교한다.

<표 6>은 각 음영 알고리즘에서 발생하는 실제 3D 모델의 형태 정보와 사용자의 측정값 간의 표준 편차를 나타내며, <표 7>은 사용자들의 측정값 평균과 각 사용자의 측정값 간의 평균 오차를 나타내고 있다.

BRDF	Phong	Cool-to-Warm	Toon	Pen-and-Ink	Pencil	Artist_pen	Artist_pencil
15.94	20.29	19.19	27.88	28.41	15.78	16.28	18.18

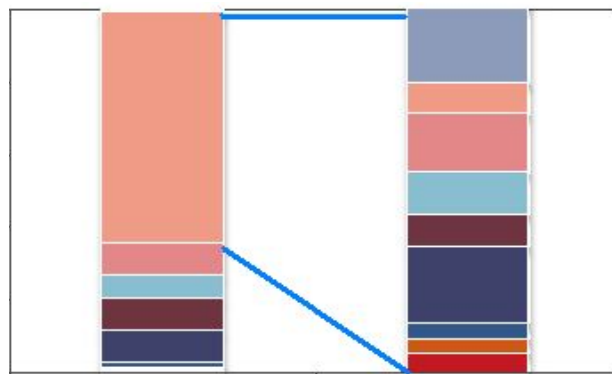
<표 6> 실제 3D 모델의 형태 정보와 사용자의 측정값 간의 평균 오차

BRDF	Phong	Cool-to-Warm	Toon	Pen-and-Ink	Pencil	Artist_pen	Artist_pencil
12.83	15.32	11.16	14.47	14.56	9.75	11.28	16.66

<표 7> 사용자들의 평균 측정값과 각 사용자의 측정값 간의 평균 오차

위의 결과들을 보면 사용자들은 일반적으로 BRDF와 Pencil 렌더링에서 형태를 가장 정확하게 인지하는 것으로 나타났는데, 두 음영 알고리즘은 공통적으로 음영을 표현할 때 어두운 톤에서 밝은 톤까지 다양한 음영 단계를 이용한다는 특징을 가진다. 반면, Toon과 Pen-and-Ink 렌더링에서는 가장 오차가 크게 나타나는 것으로 보아 두 알고리즘에서는 사용자들이 형태를 정확하게 인지하지 못한 것으로 평가된다. Toon과 Pen-and-Ink 렌더링은 특정 음영 단계가 차지하는 비율이 50% 이상 나타난다는 공통점을 가진다. <표 7>의 Toon과 Pen-and-Ink의 결과에서 다른 음영 알고리즘과 큰 오차가 발생하지 않고 있는 것은 사용자들이 음영을 유사하게 이해하기 때문에 나타나는 결과이다.

Cool-to-Warm은 다양한 톤 단계를 사용하지 않음에도 불구하고 비교적 형태를 효과적으로 전달하는 것이 확인되었는데, Cool-to-Warm은 0~255까지의 전체 색상 범위를 기준으로 보았을 때 나타나는 음영 단계는 제한되어 있지만, 제한된 음영 단계 범위 내에서 다양한 음영 톤을 가지기 때문에 형태를 전달하는데 좋은 결과를 보이는 것으로 분석된다. 아래 <그림 63>은 Cool-to-Warm의 음영 단계를 더욱 세분화시켜서 나타낸 것이다.

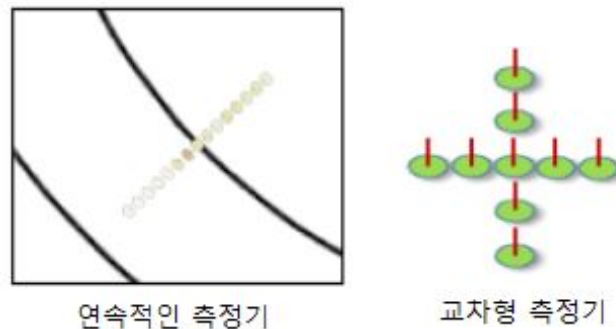


<그림 63> Cool-to-Warm의 세분화된 음영 단계

이 실험의 결과를 통해서 사용자들은 음영 단계라는 단서를 이용하여 형태를 인지하는 것을 알 수 있다. 따라서 툴과 같은 톤 단계 수가 적은 CG 음영 알고리즘보다 BRDF나 Cool-to-Warm, Pencil 렌더링과 같은 톤 단계 수가 많고 세부적인 음영 단계를 표현할 수 있는 음영 알고리즘에서 형태를 정확하게 인지하는 것으로 나타났다.

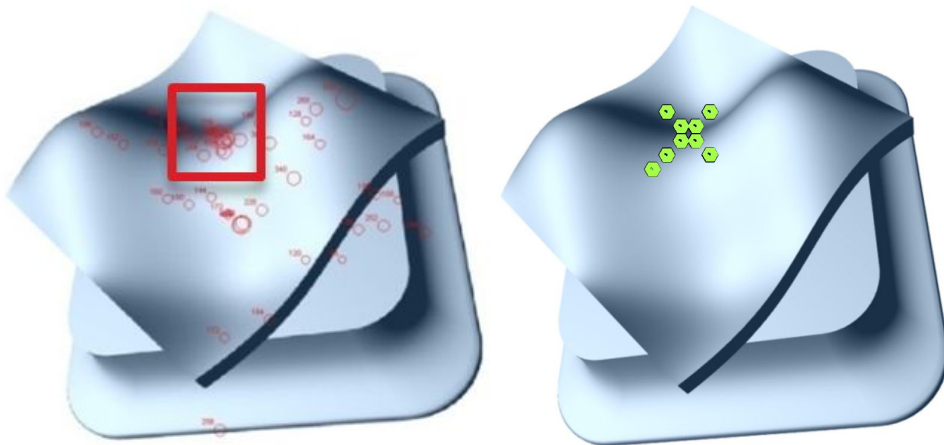
3) 시각적 주의 영역에서 지역적인 오차가 발생하는가?

CG 알고리즘에 따라 지역적인 오차가 발생하는지 알아내기 위한 방법으로 교차형 측정기(guage-cross)를 제안한다. 이는 Cole의 연속적인 측정기(gauge string)을 확장한 것으로, 기존의 방법보다 넓은 범위의 형태를 판단할 수 있다. <그림 64>는 기존의 연속적인 측정기와 본 연구에서 사용하는 교차형 측정기의 형태를 나타내는 그림이다. 교차형 측정기의 방위를 조절하는 방법은 일반 측정기를 조절했던 것과 동일하게 마우스를 이용하는데, 한 번에 하나의 측정기만 활성화되어 조절할 수 있도록 한다.



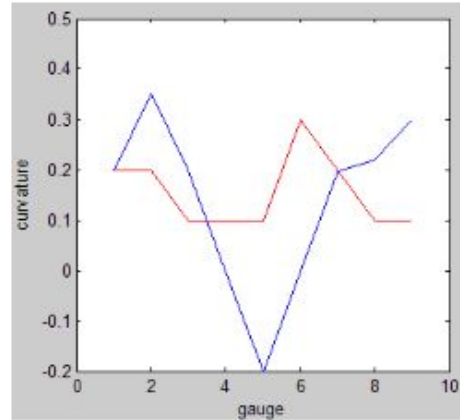
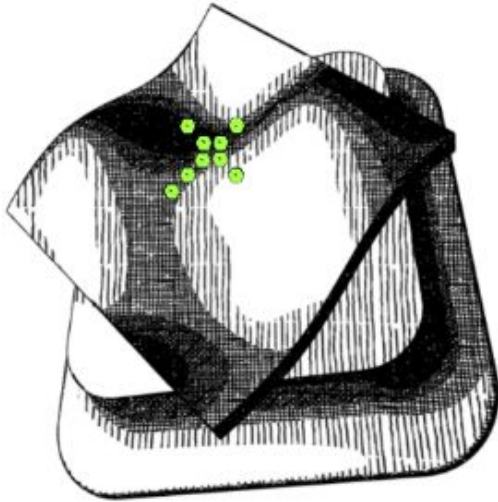
<그림 64> 기존 연구에서 사용된 연속적인 측정기와 본 연구에서 제안하는 교차형 측정기

교차형 측정기는 이전 실험에서 수집한 시각적 주의 데이터를 기반으로 배치하는데, 형태를 인지할 때 시선이 집중되는 영역을 사용자들이 어떻게 이해하고 있는지 상세하게 분석하기 위한 것이다. <그림 65>는 Bumps 모델에서 시각적 주의가 나타나는 부분에 교차형 측정기를 배치하는 실험 환경의 예이다.

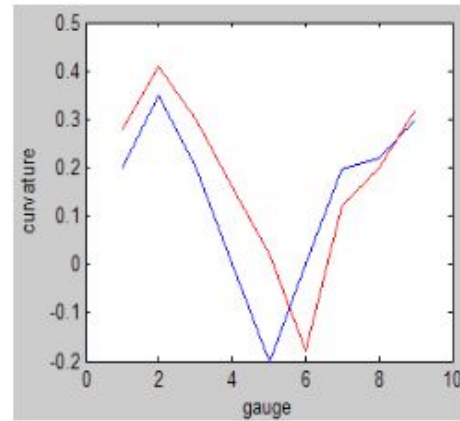
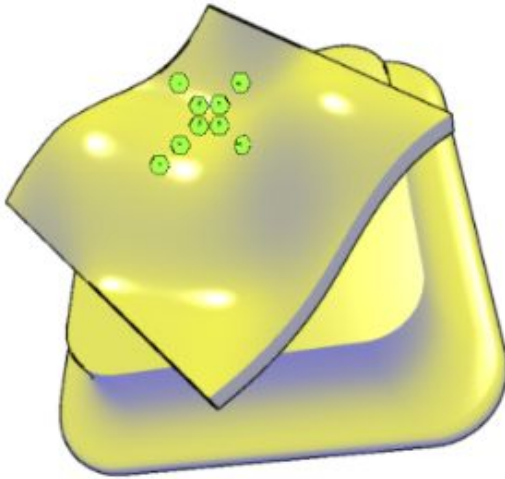


<그림 65> Bumps 모델에서의 시각적 주의와 교차형 측정기를 배치하는 실험 환경

아래 <그림 66>의 왼쪽은 Bumps 모델에 Pen-and-Ink 렌더링을 적용한 결과와 Cool-to-Warm을 적용한 결과에 교차형 측정기를 배치한 실험 데이터이며, 오른쪽은 교차형 측정기가 위치한 좌표 상의 실제 3D 물체의 곡률(파란색 실선)과 사용자들이 조정한 측정기의 곡률(빨간색 실선)을 나타낸다. x축은 가로 5개, 세로 4개의 각각의 측정기를 의미하며, y축의 곡률 데이터가 음수인 경우는 오목한 형태, 양수인 경우는 볼록한 형태, 그리고 0인 경우는 평평한 형태를 의미한다.



Pen-and-Ink 렌더링을 적용한 Bumps 모델에서의 교차형 측정기 배치 결과 및 곡률 그래프



Cool-to-Warm을 적용한 Bumps 모델에서의 교차형 측정기 배치 결과 및 곡률 그래프

**<그림 66> Bumps 모델에 다른 음영 알고리즘을 적용했을 때의
교차형 측정기 배치 결과 및 곡률 그래프**

위의 그래프에서 알 수 있듯이 사용자들은 Cool-to-Warm이 적용된 결과에서 오목하고 볼록한 3D 모델의 입체적인 형태를 잘 인지하고 있는 반면,

Pen-and-Ink 렌더링이 적용된 결과에서는 평평한 형태로 인지하고 있다. 교차형 측정기는 사용자들이 3D 모델의 형태를 인지할 때 나타나는 시각적 주의 데이터를 기반으로 배치한 것이므로, 실제 3D 모델의 곡률과 사용자들이 교차형 측정기를 배치한 결과에서 큰 오차를 보인다는 것은 해당 음영 알고리즘이 형태를 인지하는데 효과적인 단서를 제공하지 못한다는 것으로 이해할 수 있다. 즉, Cool-to-Warm이 Pen-and-Ink 렌더링보다 효과적인 형태 전달이 가능하다는 것이다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 Cole의 연구를 확장하여 물체에서 나타나는 음영과 사용자 인지 간의 상관관계에 대해 연구하였다. 미술가들의 음영 표현 특성과 기존의 CG 음영 알고리즘에 초점을 맞추고, 미술가들이 형태를 효과적으로 전달하기 위해서 어디에 어떤 특성을 가지고 음영을 표현하는지 정량적으로 분석하였다. 또한, 어떤 CG 음영 알고리즘이 형태를 가장 효과적으로 전달하는지 평가하기 위하여 형태를 측정하는 사용자 인지 실험을 수행하였다. 실험에 시선 추적 장비를 도입하여 사용자들이 주로 응시하는 영역인 시각적 주의에서 나타나는 음영 알고리즘의 특징을 집중적으로 비교함으로써 보다 사용자 인지에 초점을 맞춘 평가 연구를 수행하였다.

미술가들이 음영을 유사하게 표현하고 있는지 음영 표현 비율, 위치, 그리고 톤 단계를 기준으로 분석한 결과, 미술가들은 전반적으로 유사한 음영 표현 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 미술가들은 물체의 전체 영역에 음영을 표현하는 것이 아니라 부분적으로 음영을 표현하는데 78.5%의 유사도를 보였다. 그러나 음영을 표현하는 위치는 유사한 반면 음영 표현 비율과 사용된 톤 단계는 표현 도구에 따라서 다르게 나타났다. 기존의 CG 음영 알고리즘이 미술가들의 음영 표현 특성을 얼마나 반영하고 있는지 분석한 결과에서는 음영 표현 비율과 위치는 유사했으나 톤 단계는 CG 음영 알고리즘에 따라 큰 차이를 보였다.

기존의 CG 음영 알고리즘 중에서 형태를 가장 효과적으로 전달하는 방법이 무엇인지 평가하기 위하여 측정기를 배치하는 사용자 인지 실험을 수행하였다. 사용자들은 BRDF나 Phong, Pencil 렌더링과 같은 톤 단계 수가 많고 톤 단계가 전반적으로 균일하게 분포되어 있는 음영 알고리즘에서 형태

를 효과적으로 인지하는 것으로 나타났다. Cool-to-Warm은 다양한 톤 단계를 사용하는 것은 아니지만 형태를 효과적으로 전달하는 것으로 평가되었는데, 이는 적은 수의 톤 범위 내에서 부드럽게 톤이 연결되는 특성을 가지기 때문이다. 반면, 톤과 Pen-and-Ink 렌더링과 같이 톤 단계 수가 적어서 음영 표현을 단순화시킨 경우에는 정확한 형태를 전달하지 못하는 것으로 평가되었다. 즉, BRDF, Phong, Cool-to-Warm, Pencil 렌더링은 형태를 전달하기 위한 목적으로 사용 가능하지만, Toon과 Pen-and-Ink는 형태 전달의 목적 보다는 예술적인 측면의 목적으로 이용되는 것이 적합하다고 할 수 있다. 본 연구 결과를 통해서 사용자들은 톤 단계를 이용하여 형태를 인지하는 것을 알 수 있으며, 이는 음영을 통해서 물체의 형태를 표현할 때 톤의 단계가 가장 중요하다는 설문조사 결과와도 일치한다.

본 논문은 음영과 사용자 인지 간의 상관관계를 분석하고자 다양한 인지 실험을 수행하고 이를 정량적으로 분석하는 방법론을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 또한, 사용자 인지 실험을 통하여 사용자들이 음영을 통해서 형태를 인지할 때 톤 단계를 가장 중요한 단서로 활용하고 있음을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 기존의 CG 음영 알고리즘이 형태를 효과적으로 전달하고 있는지 평가함으로써 애플리케이션의 목적에 따라 어떤 음영 알고리즘을 적용하는 것이 적합한지에 대한 실험적인 데이터를 제공하였다. 본 연구에서 수집한 실험 데이터는 형태 정보 전달을 목적으로 하는 새로운 CG 음영 알고리즘을 설계하는데 활용 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [Ada00] LAKE, A., MARSHALL, C., HARRIS, M., AND BLACKSTEIN, M., "Stylized Rendering Techniques for Scalable Real-Time 3D Animation", NPAR, 2000.
- [Col08] COLE, F., GOLOVINSKIY, A., LIMPAECHER, A., BARROS, H. S., FINKELSTEIN, A., FUNKHOUSER, .T., AND RUSINKIEWICZ. S., "Where Do People Draw Lines?", SIGGRAPH, 2008.
- [Col09] COLE, F., SANIK, K., DECARLO, D., FINKELSTEIN, A., FUNKHOUSER, .T., RUSINKIEWICZ. S., AND SINGH, M., "How Well Do Line Drawings Depict Shape?", SIGGRAPH, 2009.
- [Die02] DIEPSTRATEN, J., WEISKOPF, D., AND ERTL, T., "Transparency in interactive technical illustration", EUROGRAPHICS, 2002.
- [Goo98] GOOCH, A., GOOCH, B., SHIRLEY, P., AND COHEN, E., "A Non-Photorealistic Lighting Model for Automatic Technical Illustration", SIGGRAPH, 1998.
- [Goo99] GOOCH, B., SLOAN, P. J., GOOCH, A., SHIRLEY, P., AND RIESENFELD, R., "Interactive Technical Illustration", SIGGRAPH, 1999.
- [Jam95] HOFFMAN, J. E., AND SUBRAMANIAM, B., "The Role of Visual Attention in Saccadic Eye Movements", Perception &

Psychophysics, Vol. 57, No.6, 1995.

- [Jan05] JANG, H., LEE, I., "The Recent Trends of Rendering Technologies for Realistic Scene Representation", 전자통신동향분석 제 20권 제 6호, 2005.
- [Kim08] KIM, S., LEE, J., KIM, B., KIM, H., AND KOO, B., "Recent Trends in Non-Photorealistic Rendering", 전자통신동향분석 제 20권 제 4호, 2008.
- [Lee06] LEE, H., KWON, S., LEE, S., "Real-Time Pencil Rendering", NPAR, 2006.
- [Mar00] SOUSA, M., C., AND BUCHANAN, J., W., "Observational Models of Graphite Pencil Materials", Computer Graphics Forum, Vol.19, No.1, 2000.
- [Pra01] PRAUN, E., HOPPE, H., WEBB, M., AND FINKELSTEIN, A., "Real-Time Hatching", SIGGRAPH, 2001.
- [Rös00] RÖSSL, C., AND KOBBELT, L., "Line-Art Rendering of 3D-Models", Pacific Graphics, 2000.
- [Son07] SON, C., LEE, M., LEE, C., AND HA, Y., "Physical-based Photon Mapping for LED Backlight Lighting Simulator," Journal of the Society for Information Display, vol. 15, no. 9, 2007.
- [Sny98] SNYDER, W. C. AND WAN, Z., "BRDF Models to Predict Spectral Reflectance and Emissivity in the Thermal Infrared", IEEE, VOL. 36, 1998.

- [Sun08] SUNDSTEDT, V., STAVRAKIS, E., WIMMER, M., AND REINHARD, E., A "Psychophysical Study of Fixation Behavior in a Computer Game", APGV, 2008.
- [Win94] WINKENBACH, G., AND SALESIN, D. H., "Computer-Generated Pen-And-Ink Illustration", SIGGRAPH, 1994.
- [Win07] WINNEMÖLLER, H., FENG, D., GOOCH, B., AND SUZUKI, S., "Using NPR to Evaluate Perceptual Shape Cues in Dynamic Environments", NPAR, 2007.

ABSTRACT

Evaluation of Shading based on Perceptual User Study

Park, Yoon Young

Department of Computer Science

Graduate School

Sungshin Women's University

In this thesis, we present the results of perceptual user studies in which users evaluated various existing shading algorithms using gauge placement system. Cole et al. presented the results in which artists made line drawings and computer-generated line drawing algorithms. We extend line drawings to shading representation and compare artists' drawings focused on shading with computer-generated line-art images.

We evaluate various existing shading algorithms such as BRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function), Phong, Cool-to-Warm, and Line-Art rendering algorithms such as Pen-and-Ink and Pencil rendering. We research that what is the

best shading algorithm to effectively convey the exact shape.

Our findings suggest that people similarly interpret shapes from shadings and BRDF and Cool-to-Warm can effectively convey shape because these shading algorithm presents using various tone level.

부록

<부록1> 미술가들의 음영 표현 데이터 수집을 위한 실험 환경

Artist의 스타일을 반영하는 새로운 line-art 렌더링 알고리즘 연구

- 본 실험은 artist의 스타일을 반영하는 새로운 렌더링 알고리즘을 제안하기 위한 데이터 수집의 목적으로 진행됩니다.
- Artist가 3D 물체의 어느 부분을 중시하여 어떻게 이해하는지 알아보기 위해서 시선을 추적하기 위한 아이프리커 장비가 도입되었습니다. 작업이 다소 불편하시더라도 양해 부탁드립니다.
- 총 10개의 물체를 보고, 드로잉 시트에 있는 물체의 외곽선 위에 음영을 표현해주세요. 아래 그림 이미지 시트의 1번 칸에 있는 그림이 드로잉 시트에 그려야 할 대상이며, 나머지 2~5번 칸에 있는 그림은 참조 이미지입니다.

<이미지 시트>

<드로잉 시트>

예시)

< 기본 정보 >

성명 : _____ 나이 : _____ 학과 : _____

그림 경력 : _____년 (_____개월)

실험에 소요된 시간 : _____분 (하나의 물체당 평균 _____분)

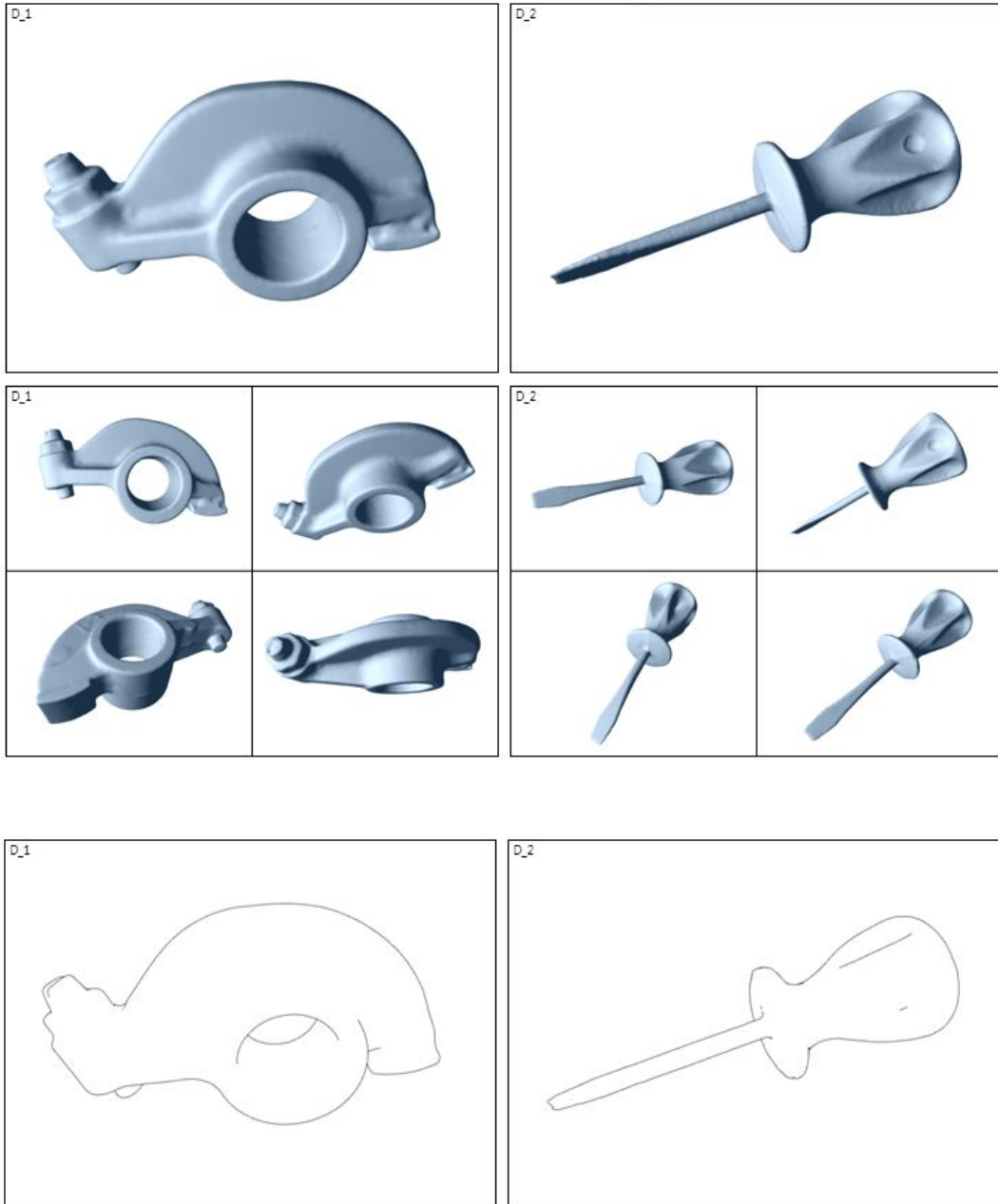
실험에 사용한 도구 : 연필(HB, 2B, 4B, 기타: _____), 펜, 지우개, 자 (모두 체크해주세요)

< 설문조사 >

1. 실험 이미지에서 물체의 형태 또는 음영을 쉽게 이해할 수 있었는가?
2. 가장 음영을 표현하기 쉬운 물체는 무엇인가? (이미지 시트 상단에 있는 번호 기입)
이유는?
3. 반대로 가장 음영을 표현하기 어려운 물체는 무엇인가? (이미지 시트 상단에 있는 번호 기입)
이유는?
4. 물체의 형태를 표현할 때 가장 중요한 것은? (예, 외곽선, 음영, 그림자, 질감 등.)
5. 물체의 음영을 표현할 때 가장 중요한 것은? (예, 음영 톤의 단계, 하이라이트, 가장

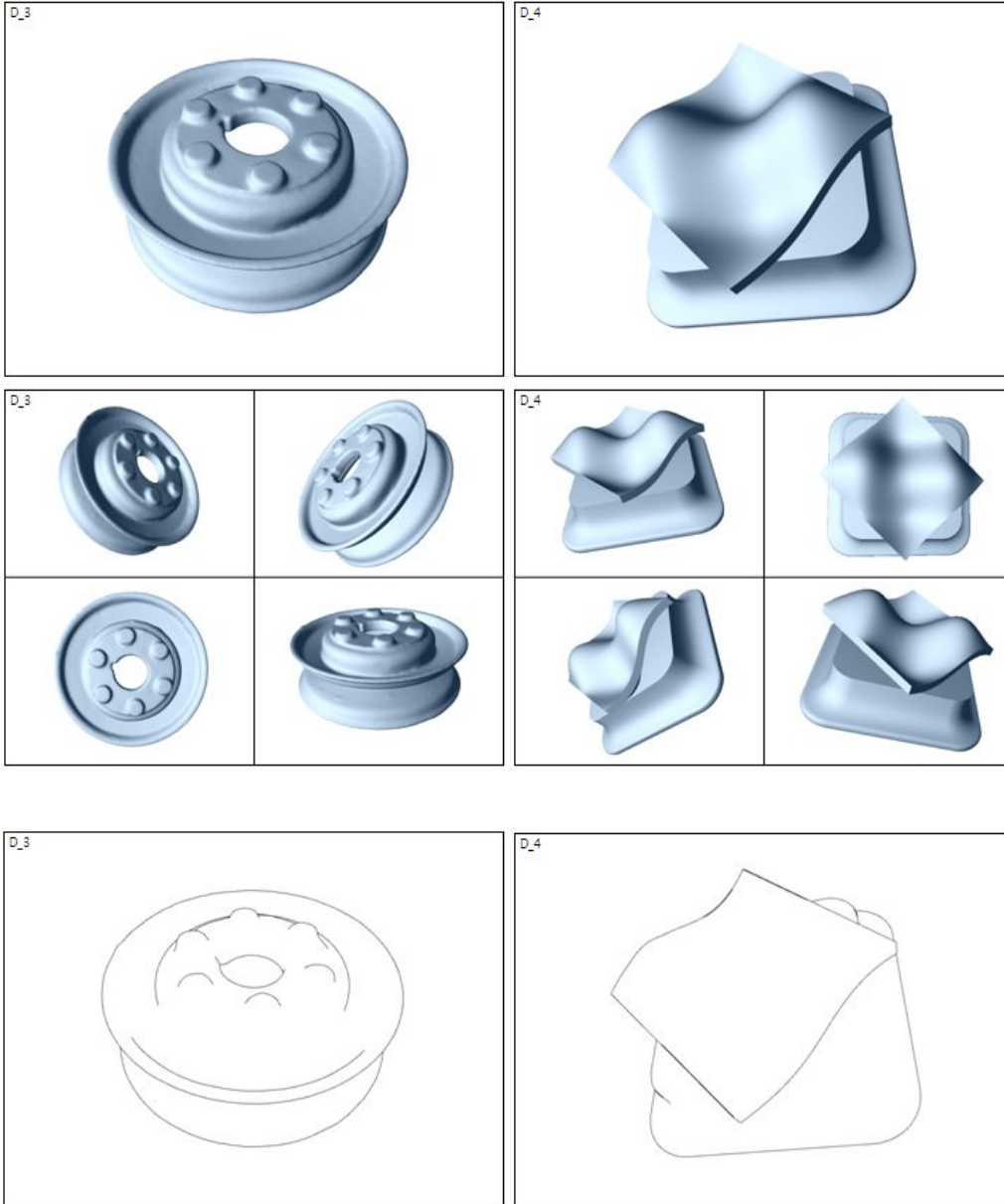
Rockerarm

Screwdriver



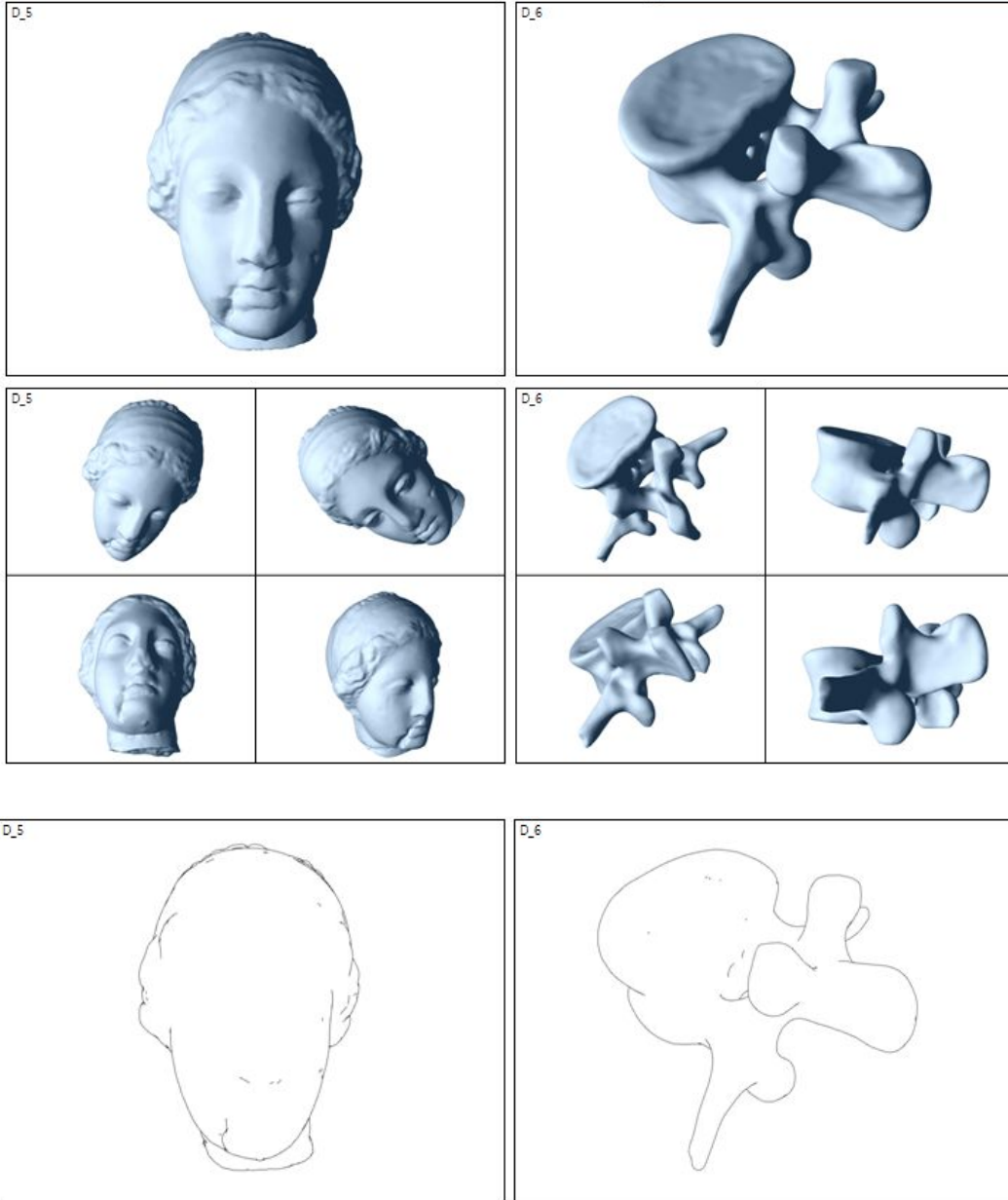
Pulley

Bumps



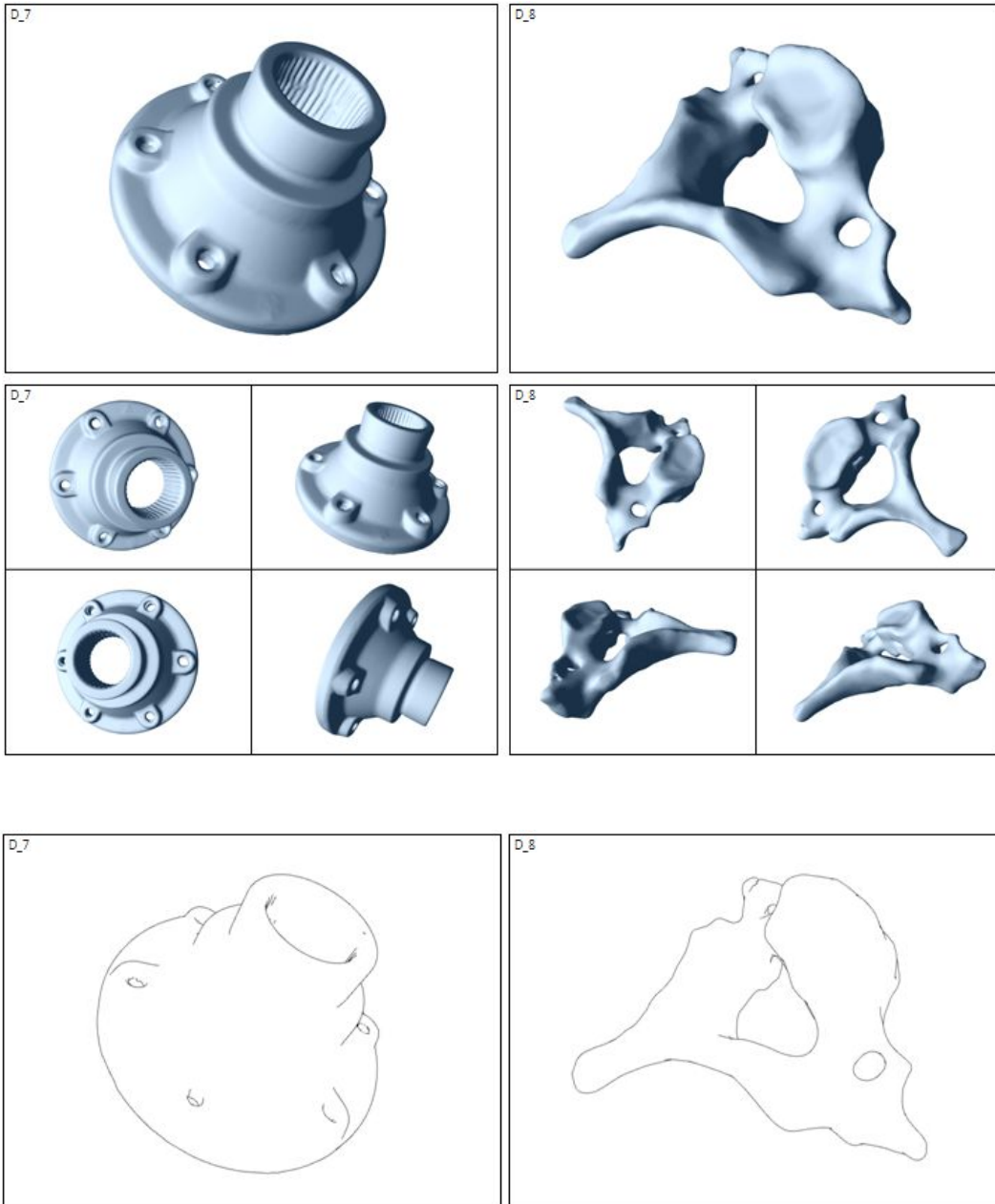
Venus

Vertebra



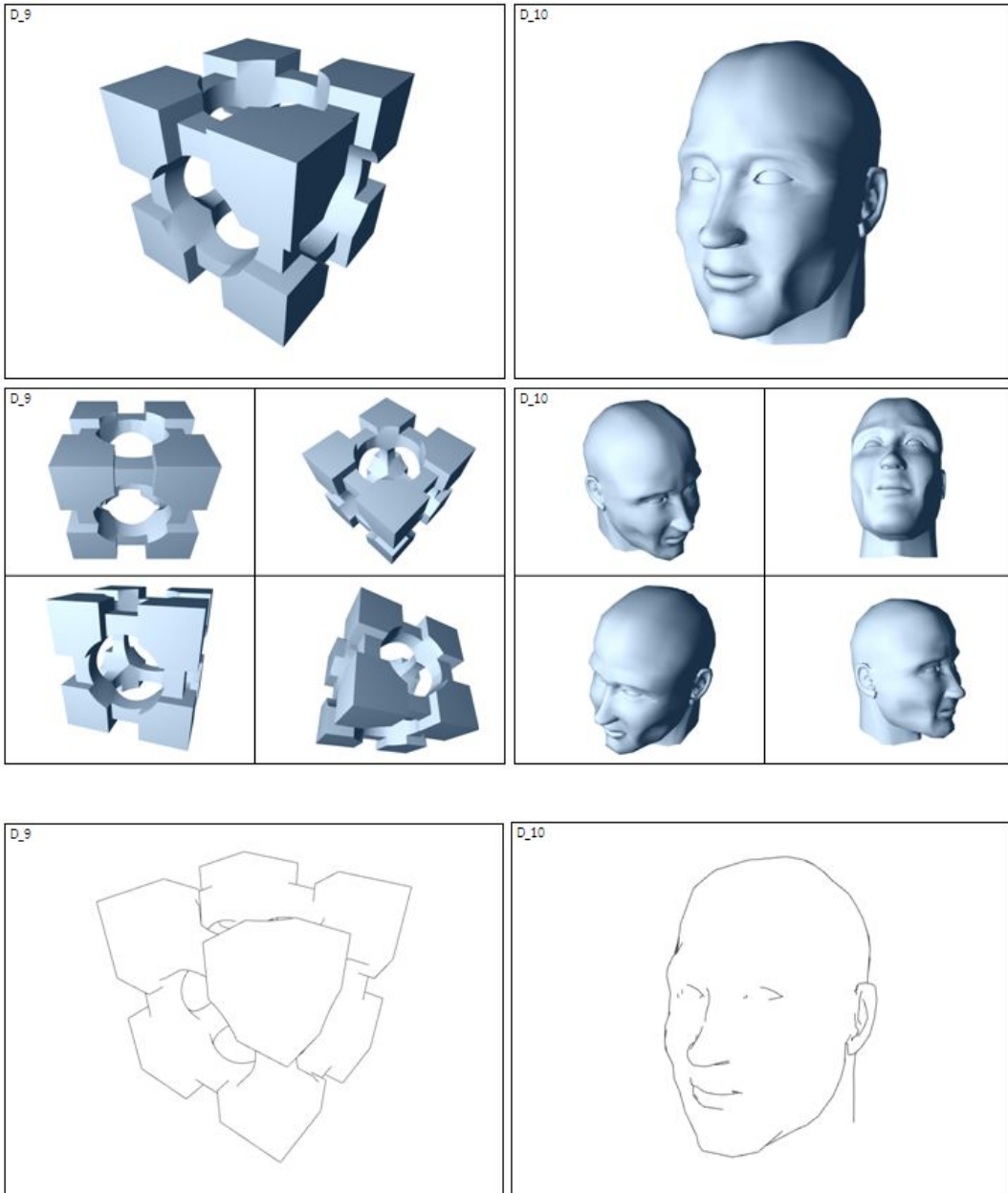
Flange

Cervical

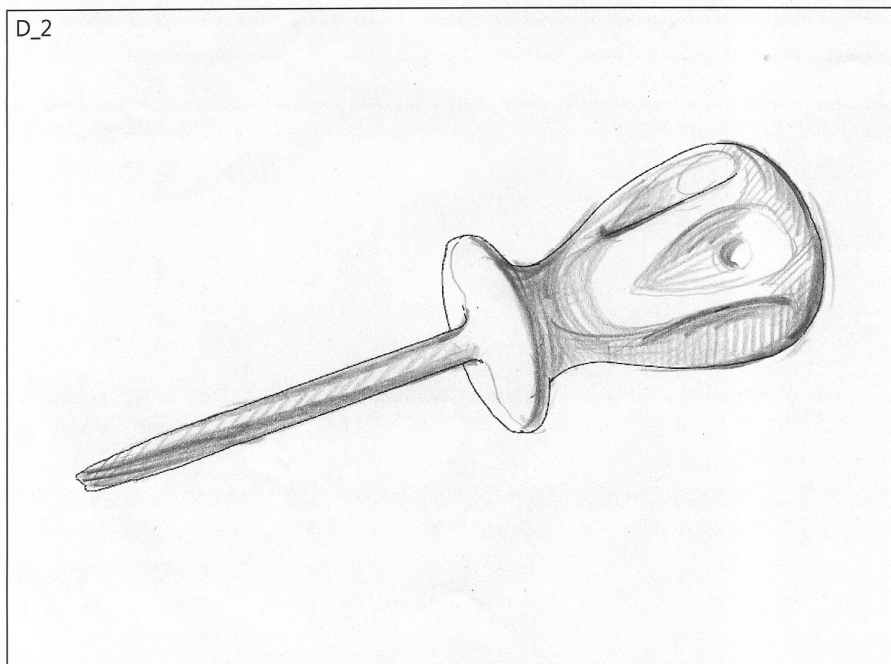
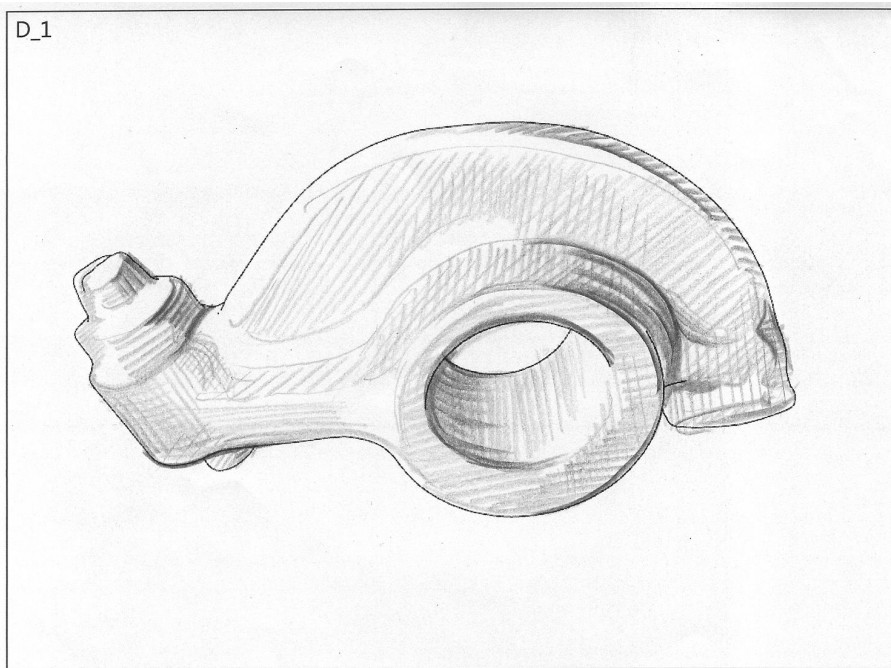


Cubehole

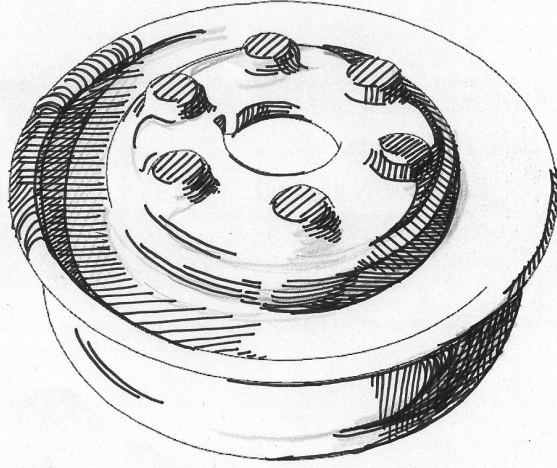
Man



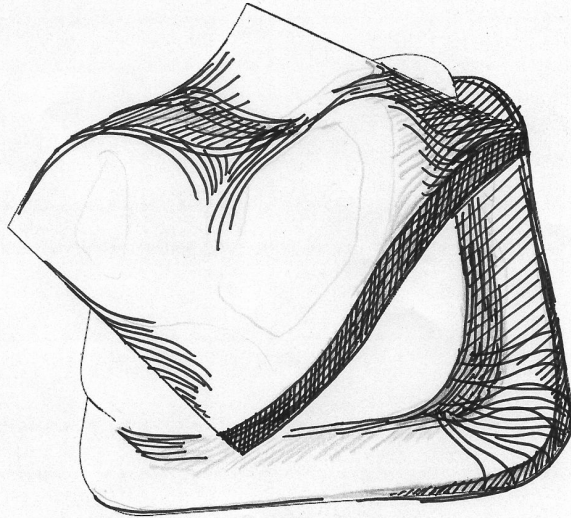
<부록 2> 미술가들의 음영 표현 데이터



D_3



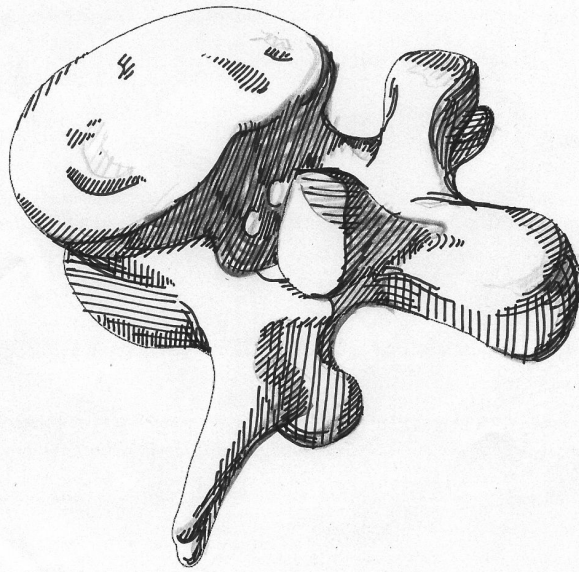
D_4



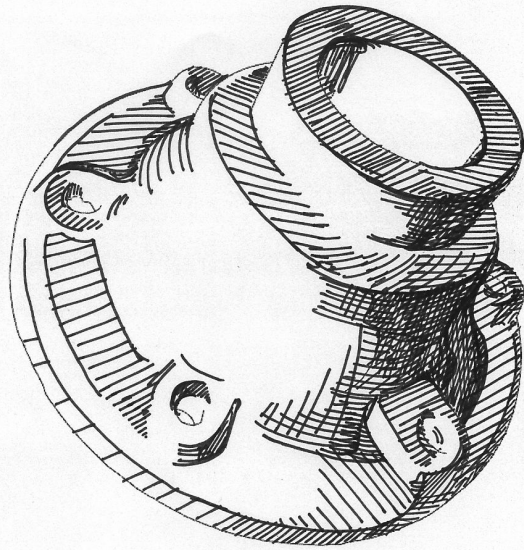
D_5



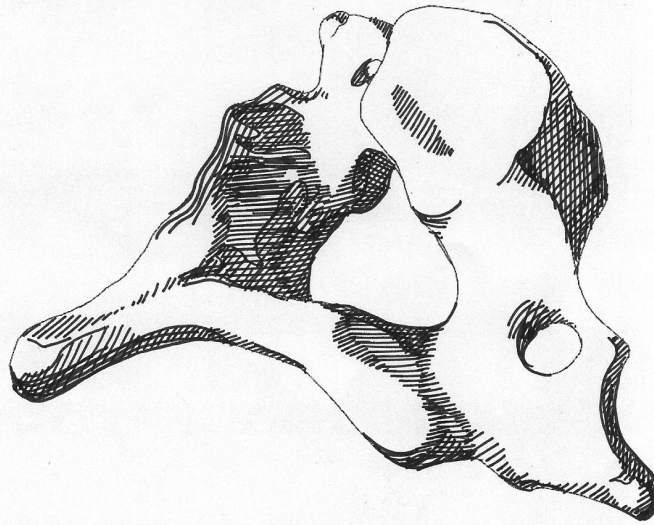
D_6



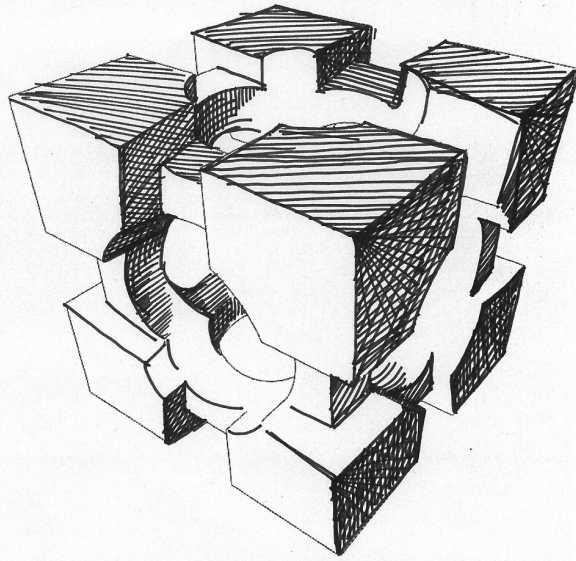
D_7



D_8



D_9



D_10

