

# 실제 작품의 분석을 통한 점묘화의 색상병치

서상현<sup>0</sup>                      윤경현

중앙대학교

{shseo, khyoon}@cglab.cau.ac.kr

## The Color Juxtaposition of Pointillism Based on Real-Works Analysis

SangHyun Seo<sup>0</sup>                      KyungHyun Yoon

ChungAng University, Seoul, Korea

### 요약

본 논문에서는 점묘주의에서 화가들이 사용했던 색상이론을 기반으로 색상병치의 특징 및 패턴을 분석하고 얻어진 분석 데이터를 회화적 렌더링에 적용해 점묘화를 생성하는 알고리즘을 제안한다. 점묘화의 병치를 분석하기 위해서, 실제 작품에 나타나는 스트로크의 색상을 추출하고 그 색상의 분포도를 잘 알려진 확률분포함수와 적합도 검정을 통해 최적의 분포도 함수를 얻는다. 이러한 분포도 함수를 이용해 색상 병치를 함으로써 2D 입력영상을 점묘화풍의 영상으로 효과적으로 변환할 수 있었다. 우리의 연구는 실제 작품을 통해 얻어진 데이터를 사용함으로써 보다 신뢰성이 있으며 합리적이라고 할 수 있다.

### Abstract

In this paper, we proposes a method that analyzes the characteristics and patterns of color juxtaposition based on the color wheel used by pointillism painter and an algorithm that generates pointillistic images by applying obtained analysis data. In order to analyze color juxtaposition of pointillism, we extract the stroke colors of real painting and find the most similar probability density functions(PDFs) through applying good-of-fit tests for the probabilistic distribution of stroke colors. By performing the juxtaposition of color based on the found PDFs, we can convert input image to pointillistic image effectively. It can be seen that this study shows reliability in the use of data obtained from actual paintings and that leads to perform a reasonable work.

**키워드:** 비사실적 렌더링, 점묘화, 색상 병치, 회화적 렌더링

**Keywords:** Non-Photorealistic Rendering, Pointillism, Color Juxtaposition, Painterly Rendering

## 1. 서론

비사실적 렌더링(Non-Photorealistic Rendering)에 대한 관심이 증가하면서 여러 가지 스트로크 기반의 회화적 렌더링(Painterly Rendering)기법이 제안되었다 [1]. 하지만 대부분이 페인팅의 절차적인 과정을 시뮬레이션하는 것에 초점을 맞추고 있다. 이러한 연구들 중에 실제 유명한 작가의 개성을 심도있게 연구하여 표현한 알고리즘

은 대단히 적다. 작가의 특징은 예술적인 요소이며 사람들로 하여금 독특한 심리적 감명을 주는 근원이다.

우리는 감히 특정 화파에 속해있는 예술작가의 특징을 시뮬레이션하고자 한다. 우리는 그림의 특징이 명확한 점묘화가 쇠라를 선택했다. 쇠라는 그림을 그리는데 있어서 가장 과학적인 접근방법을 고민했으며 특히 색에 대한 많은 연구를 통해 얻은 지식을 실제 작품에 적용시켰기 때문이다. 점묘화는 캔버스를 작은 브러쉬 스트로크로 가득 채워서 그림을 그리는 화풍이다. 우리는 점묘

주의에서 화가들이 사용했던 색상이론을 바탕으로 색상 병치의 특징 및 패턴을 분석하는 방법과 얻어진 분석 데이터를 회화적 렌더링에 적용해 점묘화를 생성하는 알고리즘을 제안한다.

점묘화의 표현 매개체는 색점이다. 하지만 이러한 색점은 단순히 색의 정보만을 포함하고 있지 않다. 색점사이의 서로 관계를 갖고 있으며 색점의 병치특징은 점묘화가의 생각과 사상을 대변하고 있다. 이러한 색점도 회화적 렌더링 알고리즘에서는 브러시 스트로크로 표현된다. 브러쉬 스트로크는 회화의 기본 요소이며 화풍과 화가의 개성에 따라 다양한 형태로 만들어진다. [2].

회화에서 브러쉬 스트로크의 색상은 아주 중요한 요소이다. 특히 점묘화가에게는 가장 중요한 요소이다. 점묘의 색상의 병치 패턴은 점묘주의 화가의 사상을 내포하고 있기 때문이다. 색의 병치혼합을 위해 랜덤 값을 사용하는 단순한 방법으로는 점묘화를 정확하게 재현할 수 없다.

점묘주의 화가들은 브러쉬 스트로크들의 색상을 선택할 때, 화가의 직감에 의존한 색상 선택을 지양하고, 과학적인 색상이론에 근거해서 색을 선택하려고 했다. 이를 위해 다양한 19세기 Rood[3], Blanc[4] 그리고 Chevreul[5]의 색상이론들은 학습하여 색의 병치혼합에 적용시켰다. 이 이론을 이용했기 때문에 점묘화의 브러쉬 스트로크들에서는 보색대비나 명도대비 같은 동시대비(simultaneous contrast)를 명확하게 볼 수 있다.

많은 문헌들에서 많은 미술 비평가들이 점묘화의 특징에 대해서 서술하고 있다. 그렇지만 어느 것도 정량화되어 있지 않으며 단순히 추상적인 말로 그 특징을 기술하고 있다. 이러한 작품의 특징들이 공학적 알고리즘으로 표현되기 위해서는 그 패턴들이 수치화 되어야 한다.

우리는 실제 쇠라의 점묘화 작품의 분석을 통해 색상 병치의 특징을 정량화 한다. 이를 위해 예술가의 색상모델인 RYB 모델에 기반하여 쇠라의 병치 패턴분석을 위한 색상모델을 디자인한다. 이때 쇠라의 팔레트 사용 습관을 참고한다. 이렇게 설계된 색상모델을 기반으로 우리는 통계학적 접근법을 사용하여 병치 색상 분포의 특징들을 파악하고 수치화 한다. 이렇게 얻어진 통계학적 데이터는 색상분할 과 병치에 사용된다. 분할된 색상은 브러시 스트로크 생성 모듈을 통해 렌더링되어 최종 결과영상을 얻게 된다.

대부분의 회화적 렌더링 알고리즘은 일반적인 페인팅 과정을 모사하고 있으며 최종 결과영상의 품질만을 눈으로 보고 평가해야만 하기 때문에 알고리즘의 좋고 나쁨을 평가하기 어렵다. 하지만 우리의 연구는 실제 작품을 통해 얻어진 데이터를 사용함으로써 보다 신뢰성이 있다. 그리고 실제 작품의 정량화된 분석데이터를 실제로

사용한 알고리즘은 회화적 렌더링 분야에서 흔하지 않다.

## 2. 관련 연구

우리의 연구 목표는 2차원 영상을 입력으로 받아 점묘화를 생성하는 것이다. 그렇기 때문에 많은 NPR관련 연구 중에 점묘화와 관련된 연구에 초점을 맞추어 관련연구를 소개한다.

먼저 많은 사람들이 스티플링과 점묘화를 명확하게 구분하지 않고 있다. 우리는 먼저 스티플링과 점묘주의를 구분할 필요가 있다. 스티플링은 주로 대상의 명암을 명확하게 표현하기 위한 방법들이 사용된다. 어두운 명암 부분에서는 점의 밀도가 높아지고 그렇지 않은 부분에서는 점의 밀도를 낮추어 표현한다[6]. 그리고 대부분의 스티플링 방법은 단일 색상, 단일크기, 단일모양의 점을 사용한다. 하지만 점묘화는 대상의 명암보다는 색상을 표현하는 것에 목적을 두고 있으며 다른 색상, 크기, 모양을 갖는 점을 이용해 대상을 표현한다. 그리고 색의 가산혼합을 표현하기 위해 색점들을 사용한다.

본 연구가 포함된 회화적 렌더링 알고리즘에서 점묘화 표현을 위한 연구는 그리 많지 않다. 연구의 대부분이 회화적 렌더링의 부가적인 결과물로서 점묘화를 다루고 있기 때문이다. Hertzmann [7]은 스플라인 곡선을 이용해 브러시 스트로크를 생성하고, 입력영상을 여러 레이어로 나누고 각 레이어는 크기가 다른 브러시 스트로크를 생성해 렌더링한 후 각 레이어를 겹쳐 표현함으로써 최종결과 영상을 생성하는 멀티 레이어 시스템을 제안했다. 이 알고리즘에서는 브러시 크기를 줄이고, 길이가 0인 스트로크를 사용하여 점묘 스트로크를 생성했으며 브러시 색상에 랜덤요소를 추가함 스트로크의 색상을 표현하였다. 이후 Hays[8]는 회화적 렌더링을 애니메이션에 적용하는 기법을 제안했다. 이 기법은 스트로크의 방향을 설정하기 위해 입력영상의 그라디언트 정보를 보간하기 위해 Radial Basis Functions(RBFs)을 이용한다[5]. Hays 알고리즘 또한 스트로크 텍스처의 모양을 원형으로 하고 스트로크의 색상에 랜덤값을 사용함으로써 점묘화를 표현하였다.

앞서 언급한 스트로크기반의 회화적 렌더링 알고리즘에서 점묘화의 표현방법은 단순히 스트로크의 모양을 점으로 했을 뿐 실제 신인상과화가가 고려했던 색의 병치에 대한 것은 전혀 고려하지 않고 있다. 스트로크의 색상을 결정하기 위해서 입력영상의 색상을 그대로 활용하거나 약간의 랜덤을 추가하여 사용하였다. 이러한 방법

으로는 점묘화에서 나타나는 여러 가지 특징들을 표현할 수 없다.

이후 인상파의 색상분해의 관점에서 연구한 두 개의 논문이 있다. Luong[9]과 Jing[10]은 인상파가 사용했던 색상분할을 위해 사용될 수 있는 색분할 기법을 제안한다. 이것들은 인상파의 색상분할 뿐만 아니라 Chuck Close의 모자이크 스타일을 시뮬레이션 하기위한 색상분할 기법이다. 이후 Hausner[18]는 Error-Diffusion 방법을 통해 점묘화의 Half-toning 패턴을 생성하는 알고리즘을 제안하였다. 그의 연구 또한 점묘화의 실제 작품에 대한 분석을 수행하지 않았으며 다른 작품의 특징을 표현하고 있지 않다.

최근에 Yang[11]은 점묘화의 시뮬레이션을 위한 논문을 발표하였다. 그들은 쇠라의 점묘화에서 나타나는 중요한 특징들을 심도있게 관찰하고 각 특징을 표현할 수 있는 절차적인 알고리즘을 소개하고 있다. 이 논문은 특정화가의 스타일을 표현하고자 하는 몇 개 안되는 논문 중의 하나이며 특히 자동화된 회화적 렌더링 분야에서는 첫 시도라는데 아주 큰 의미가 있다. 이 논문에서는 쇠라의 점묘화 작품에서 눈에 보이는 특징들은 아주 잘 표현하였다. 하지만 쇠라작품의 주요 특징 중에 하나인 보색점묘의 밀도가 전체 영역에 단일하게 적용되고 있다. 또한 점묘의 색상의 결정과정에서 랜덤 변이를 사용함으로써 이전의 점의 색상결정 방법과 크게 달라진 것을 볼 수 없다. 무엇보다도 주어진 파라미터들에 의한 렌더링 결과가 실제 쇠라의 작품을 얼마나 잘 모사하고 있는지 그리고 그 특징은 실제작품과 얼마나 유사한지 검증할 어떠한 방법도 소개하고 있지 않다.

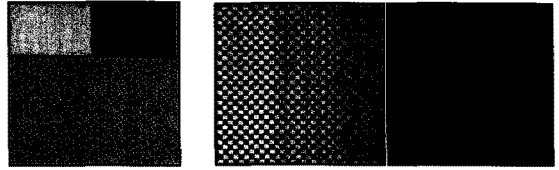
### 3. 신인상파 작품의 색상병치 분석

#### 3.1 신인상파의 색상병치 특징

19세기 초 프랑스 화가 쇠라는 동시대의 칼라이론에 대한 연구를 통해 새로운 화법을 창안하였다. 이를 점묘주의 또는 분할주의라고 부른다. 점묘화는 신인상주의(Neo-Impressionism)가 사용하는 독창적인 기술이다.

신인상파의 가장 독특한 특징은 캔버스를 작은 브러시 스트로크로 가득 채워서 그림을 그렸다는 것이다. 다시 말해 눈에 보이는 색조를 대상의 색과 대상에 닿는 빛의 색, 근접한 대상들에 의해 반사되는 색으로 각각 분해한 후 그 색들을 아주 작은 색점으로 바꾸었다는 것이다. 이러한 특이한 기법은 분할된 부분들이 색채구성을 한다는 의미에서 분할주의 또는 점묘주의라고 불리게 된다. 이렇게 그려진 그림을 멀리 떨어져서 보면 각각의 작은 스트로크는 보이지 않고, 눈의 착시현상에 의해 혼합된

색상으로 보이게 된다. 이것을 병치혼합이라 하는데, 물감을 직접 혼합하여 그리는 것보다 색상의 채도를 높여 순수하고 강렬하게 보이게 한다.



(a)안료의 혼합 (b)병치혼합

[그림 1] 안료의 물리적 혼합과 병치 혼합에 의해 생성되는 색

그림 1은 빨간색과 노란색 안료를 물리적 혼합했을 경우와 병치했을 경우 눈에 보이는 색을 보여주고 있다. 병치혼합의 채도가 높음을 알 수 있다. 이러한 표현을 위해 그들은 자연의 색을 스펙트럼에 가장 가까운 순색만을 팔레트위의 안료로 사용하였으며 순색안료의 명암 표현을 위해 흰색의 안료만을 섞어 색을 사용하였다. 또한 병치혼합의 효과적인 표현을 위해 스트로크의 크기를 아주 작게 하여 표현하였다. 점묘화는 일반적으로 단순히 브러시 스트로크의 형태를 작은 점으로 그리는 화법으로 알려져 있지만 실제적인 점묘화의 궁극적인 목표는 순색끼리 이루어진 점을 병치혼합 함으로써 보는 이로 하여금 새로운 색으로 인식되게 하는 것이다.

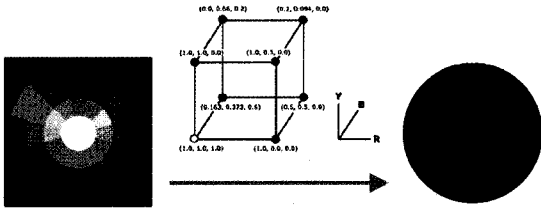
#### 3.2 예술가의 색상모델 : RYB

전통적으로 쇠라를 포함한 대부분의 화가들은 빨강, 노랑, 파랑의 삼원색을 사용하는 RYB 색상모델을 기본으로 하여 자신의 팔레트에서 색상의 관계를 정의하고 선택하여 그림을 그렸다. RYB 색상모델은 감산혼합 즉 안료의 물리적 혼합에 대한 색상모델이며 19C에는 RYB 모델이 색상 이론의 기본적인 논리였다. 이 모델은 RGB, HSV, Lab 색상모델과 같은 현재의 수학적 변환이 가능한 일반적인 색상 모델이 아니라 페인팅에 사용되는 물감의 혼합으로 얻어지는 개념적인, 경험적인 모델이라고 할 수 있다. 현대의 과학적인 색상 모델들은 서로 변환이 가능하지만 RYB모델은 디스플레이를 목적으로 RGB 모델로 수학적 변환식을 정의하기 매우 어렵다.

하지만 Gossett와 Chen[12]은 빨강, 노랑 그리고 파랑을 삼원색으로 하고 각각의 색을 대표하는 색을 각축으로 하는 육면체를 정의함으로써 RYB 모델을 모니터로 표현가능한 RGB로 변환할 수 있는 근사방법을 제안하였다. 이 모델에서는 빨강, 노랑, 파랑의 1차 기본색 외에 2차 기본색인 보라색, 주황색, 녹색의 2차 기본색, 그리고 흰색, 그리고 1차 기본색이 물리적으로 혼합되었

을 경우 생성되는 검은색에 가까운 색, 이렇게 8가지의 색상을 대표하는 안료의 RGB 색상을 육면체의 각 꼭짓점에 위치시키고 그리고 중간 값들을 비선형 보간기법을 이용하여 계산함으로써 RYB 색상을 RGB 색상으로 변경 가능 하였다.

그림 2는 Gosset와 Chen에 의해 제안된 RYB공간을 나타내는 육면체와 그것에 의해 생성되는 RYB 색상환을 보여주고 있다. 그림 2의 왼쪽 이미지는 가산혼합 모델인 RGB 모델을 보여주고 있으며 오른쪽은 제안된 방법에 의해 생성된 RYB 모델을 보여주고 있다.



[그림 2] RYB 색상모델

### 3.3 신인상과의 팔레트 설계

본 논문에서는 앞 장에서 설명한 RYB 색상모델이 예술가들이 사용하는 모델이며 또한 19C의 쇠라가 습관적으로 사용했던 색상모델이기 때문에 이 모델을 사용하면 쇠라의 색상모델을 어느 정도 근사화할 수 있다는 결론을 얻었다. 이러한 감색혼합 모델, 즉 RYB모델을 이용함으로써 얻을 수 있는 장점은 쇠라의 큰 특징 중 하나인 보색사용의 명확성이다.

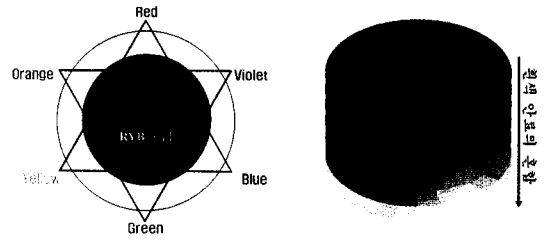
일반적으로 현대에 사용되고 있는 색상(Hue)을 기준으로 하는 모델인 HSV 모델에서의 보색은 예술가들이 사용하는 보색이 아닌 실제 측정에 의한 과학적인 보색이다. Yang[11]의 논문 또한 이 모델을 사용하였다. 하지만 19C에 예술가들이 사용했던 보색은 그와 다른 전통적인 RYB모델에 그 기반을 두고 선택된다. 그러므로 보색을 특히 많이 사용한 쇠라의 색상 병치를 위해서는 RYB모델이 적합하다. 실제 HSV모델에서 빨강의 보색은 하늘색인 반면 RYB모델에서 빨강의 보색은 녹색을 나타낸다 [13].

우리는 이러한 예술가의 모델인 RYB모델에 쇠라가 팔레트를 사용한 습관을 접목하여 색상환을 설계하였다. 쇠라의 팔레트에서 각 순색에 흰색의 안료를 섞어서 색상을 표현하였다. 그 이유는 색상의 순수성(Purity)을 가장 떨어뜨리지 않고 혼합하는 방식이 순색에 흰색만을 섞는 것이라는 Rood[3]의 조언을 따랐기 때문이다. 우리는 이러한 문헌 및 쇠라 팔레트에 나타나는 특징들을 기초로 하여 우리의 예술적 색상환을 설계하였다. 그리고

색상의 분포 특징 분석 및 색상 분할에 제안된 색상환을 사용하였다. 이러한 생성 과정은 [그림 3]에서 보여주고 있다.

색상환은 색의 가시광선의 스펙트럼을 고리형태로 연결하여 색을 배열한 것을 말한다. 모든 색은 몇 가지의 기본 요소를 바탕으로 한 혼합으로 표현 될 수 있다는 생각에서 출발한다. 즉, 색을 표현하는 기본 요소에 의해 표시할 수 있는 모든 색 중에서 대표적인 색을 고리모양으로 연결하여 나타낸 것이다.

우리의 모델은 기본적으로 원에 내접하는 정육각형의 각 꼭짓점에 6개의 기본색(빨, 주, 노, 초, 파, 보)을 위치시킨다. 그리고 원의 중심에는 RYB의 세 가지 색의 혼합된 색상이 위치한다[14]. [그림 3-3(a)]는 이렇게 구성된 색상환을 보여주고 있다.



(a) RYB 색상환

(b) 흰색안료에 의한 RYB 색상환

[그림 3] RYB 색상환의 확장

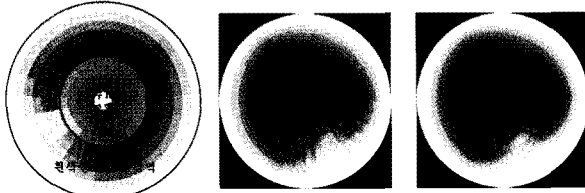
이렇게 만들어진 모델은 감색혼합만을 의미한다. 우리는 RYB 색상환에 흰색 물감을 혼합하는 모델이 필요하다. 그림 3(b)는 RYB모델에 흰색 안료를 혼합하였을 경우 생기는 3차원 형태의 색상모형을 보여준다.

여기서 우리는 쇠라의 팔레트 사용습관을 다시 한 번 검토할 필요가 있다. 쇠라는 스펙트럼 상에 나타나는 순색에 해당하는 안료를 팔레트에 일렬로 배치하고 그 밑에 흰색 안료를 배치함으로써 팔레트를 구성하였다. 이러한 사실에 기반을 두어 우리는 그림 3(b)의 3차원 색상환을 2차원으로 축소할 수 있다. 색상환을 구성하는 원의 바깥에 위치한 기본색에만 흰색물감을 증가시킴으로써 완성된 쇠라의 색상환을 얻을 수 있는 것이다. 그렇게 되면 쇠라가 의도했던 흰색물감에 의해 생성되는 파스텔 색을 생성할 수 있고 이것을 이용해 각 기본색들의 명암을 조절할 수 있다. 원주에 위치한 6개의 기본색을 기초로 하여 중간색들은 보간하여 계산한다. 이렇게 되면 원의 각도는 색상(Hue)을 의미하게 되고 중심으로 부터의 거리는 흰색물감에 의한 밝기(Brightness)를 의미하게 된다.

본 논문에서 제안된 쇠라의 팔레트를 모사한 색상환은 의미적으로 연속적이다. 하지만 각도와 반지름을 이산적

으로 샘플링한 후 최종 색상환,  $W(H_{num}, B_{num})$ 을 구축한다.  $H_{num}$ 은 색상환의 각도를 샘플링한 개수를 의미하고  $B_{num}$ 은 반지름의 샘플링 개수를 의미한다. [그림 4]는  $H_{num}$ 과  $B_{num}$ 의 파라미터를 다양한 경우의 예술적 색상환을 보여주고 있다.

본 논문에서는  $H_{num}$ 과  $B_{num}$ 을 변화시켜가며 작품을 분석하고 분석된 데이터와 제안된 색상환을 기준으로 점묘화의 병치혼합을 시뮬레이션한다.



(a) 제안된 색상환 (b)  $W(36, 24)$  (c)  $W(72, 48)$

[그림 4] 제안된 RYB 색상환 및 샘플링 예

본 논문에서 제안하는 RYB모델 기반 색상환은 그 색상의 색영역(Gamut)의 제한을 갖는다. 왜냐하면 RGB모델에 있는 모든 색이 RYB모델로 일대일 매핑이 이루어지지 않기 때문이다. RYB의 모든 색은 RGB모델로 매핑이 이루어지지만 RGB의 색공간의 특정위치의 색들은 RYB로 매핑이 이루어지지 않는다. 이는 RYB모델에서 사용하는 기본색 중에서 주황색, 녹색, 파랑색, 보라색, 그리고 검은색은 안료를 대표하는 색이지 RGB의 순수한 색이 아니기 때문이다. RGB상에서 순수한 녹색은 (0.0, 1.0, 0.0), 파랑색(0.0, 0.0, 1.0), 보라색은 (1.0, 0.0, 1.0), 그리고 검은색은 (0.0, 0.0, 0.0) 이지만 RYB모델에서는 Itten[Itten61]이 제안한 안료의 색으로 녹색은 (0.0, 0.66, 0.2), 파랑색은 (0.163, 0.373, 0.6), 보라색은 (0.5, 0.5, 0.0), 그리고 검은색은 순수한 검은색이 아닌 RYB의 혼합색(0.2, 0.094, 0.0)을 사용한다. 이러한 안료 색을 기본색으로 사용한 RYB 모델이기 때문에 색 영역이 RGB모델의 색 영역 안에 포함된다.

### 3.4 색상 병치 분석

우리는 3.3절에서 설명한 색상환을 기반으로 쇠라의 작품을 영상처리 기술과 통계학적 방법을 통해 분석한다. 쇠라의 작품을 시뮬레이션 하기 위해서는 쇠라 작품에 나타나는 특징들을 정량화된 분석데이터가 필요하다. 이는 쇠라의 가장 중요한 특징이 병치혼합이기 때문이다. 우리는 분석대상으로 쇠라의 완성작에 가까운 습작작품의 디지털 이미지로 결정했다. 쇠라의 색상 병치의 특징을 분석하기 위해서는 하나하나의 점묘 스트로크를 구분할

수 있어야 한다. 그러기 위해서는 완성된 작품의 스트로크들을 구분할 수 있을 정도의 초고화질의 영상이 필요하다. 하지만 현실적인 이유로 우리는 그것을 구할 수 없었다. 그래서 우리는 우리가 구할 수 있는 완성도 높은 습작 4가지를 이용하였다[그림 5].



(습작1) "Les Poseuses"의 습작,1886-88



(습작 2) "La Parade"의 습작,1888



(습작 3) "Le Chahut"의 습작,1889-90

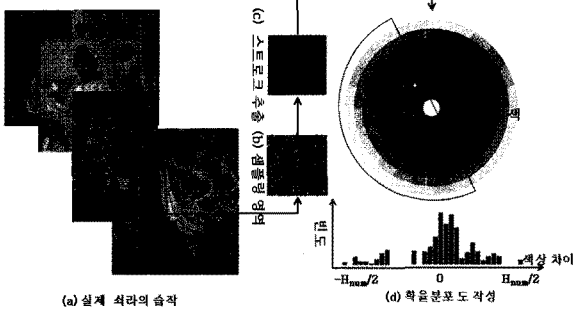


(습작 4) "Young Woman Powdering Herself"의 습작, 1889-90

[그림 5] 작품분석에 사용된 4가지 습작

그림 6은 분석과정을 보여주고 있다. 먼저 작품의 분석 방법은 다음과 같다. 대상이 되는 습작영상을 격자단위로 조밀하게 샘플링한다 [그림 6-(a)]. 그리고 각 샘플링영역을 Mean Shift 영역분할 기법[17]을 이용해 영역분할하면 같은 색을 갖는 스트로크단위로 구분된다[그림 6-(b)]. 각각의 분할된 모든 스트로크의 색상들을 제안된 색상환상에 위치시킨다.[그림 6-(c)]. 그리고 샘플링 영역에 위치한 스트로크들의 평균색상을 이용해 쇠라가 분해하기 이전의 인지색(Perceived color)을 추측한다. 그리고 색상환 상에서 인지색을 기준으로 반대편에 위치한 스트로크들은 제외시킨다. 이는 분석 대상이 되는 샘플링 영역에 이미 보색(그림 3)이 포함되어 있기 때문에 보색에 해당하는 인지색의 반대편 색상들을 분석과정에서 사용하지 않기 위함이다. 보색에 대한 별도의 분포도는 향후 추출할 필요가 있다. 이렇게 반대편 스트로크 색상들을 제외한 나머지 색점들의 평균을 이용해 최종 인지색을 다시 계산한다. 이것이 실제 쇠라가 분해하고자 했던 색상이다. 색상환상에서, 우리는 제외되고 남은 스트로크의 색상위치들을 인지된 색의 색상을 중심으로 상대적인 편차를 계산할 수 있다. 인지색을 중심으로 검출된 스트로크의 위치에 대한 색상의 차이를 x축으로, 그리고 x에 대한 빈도수를 y축으로 하여 누적 도수 분포도(CFD, cumulative frequency distribution)를 구성한다. 4개의 쇠라의 작품에 대해 이와 같은 실험을 실시한다. 이렇게 해

서 각 작품에 대한 관측된 이산적인 확률분포(PD, Probability Distribution)이 만들어진다.



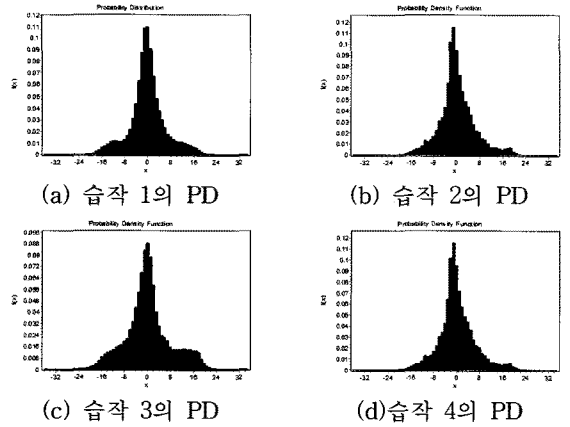
[그림 6] 작품 분석 프로세스

### 3.5 적합도 검정에 의한 색상 병치 분석결과

본 연구에서는 실험대상이 되는 네 가지의 습작으로 부터의 확률분포들을 얻었다. 이 확률 분포도를 많이 알려진 다양한 확률밀도함수(PDF, Probability Density Function)와 적합도 검정을 실시하여 가장 유사한 일반적인 확률밀도함수를 찾아낸다[Hog06]. 우리는 상용 소프트웨어인 Mathwave사의 EasyFit Professional 5.0의 도움을 받아 적합도 검정을 실시하였다. 이 소프트웨어는 실험데이터로부터 얻어진 확률 분포와 실존하는 55개 이상의 확률분포 함수와의 비교를 통해 가장 적합한 모델을 찾아준다.

본 연구에서는 적합도 검정을 위해 콜모고로프-스미르노프(K-S) 검정방법을 이용하였다. 이 방법은 후보 가정된 분포함수와 관측된 분포함수의 차가 얼마나 큰가 가정된 분포함수와 동일성을 검정하는 방법으로 어떤 누적 분포 함수와 3.4절에서 얻어진 각 확률분포에 의해 생성되는 경험적 누적 분포 함수를 이용해 계산한다 [15]. 적합도 검정에 통과한 PDF들 가운데 가장 잘 알려지고 시각적 평가로 가장 유사하다고 판단되는 것들을 후보로 선정하였다. 이는 실험을 통해 얻어진 평균과 분산에 의해 표현 가능한 확률분포함수들이다. 선택된 PDF는 정규(Normal)분포, 코시(Cauchy)분포, 라플라스(Laplace)분포 그리고 유니폼(Uniform) 분포이다. 본 연구에서는 각 습작에 대해서 3.2절에서 소개된 색상환의  $H_{num}$ 과  $B_{num}$ 의 값을 다양화하여 적합도 검정을 실시하였다.

본 연구에서는 적합도 검정과정에서 계산되는 검정통계량을 이용해 후보 PDF들 가운데 가장 적합하다고 판단되는 PDF를 찾았다. K-S 검정과정에서 생성되는 검정통계량을 이용한다. 검정 통계량이 작다는 것은 가정된 PDF와 실제 관측된 확률분포간의 차이가 작다는 것을

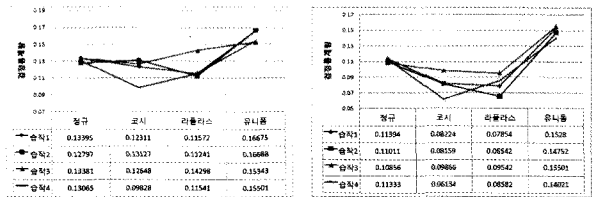


[그림 7] 4가지 습작에 대한 색상(Hue)의 확률분포도

그림 7은 색상환,  $W(36, 24)$ 와  $W(72, 48)$ 상에서 이루어진 실험에 대한 검정통계량과 그에 해당하는 그래프를 보여주고 있다.그림은 의미있는 결과를 보여준다. 4가지 PDF 모두 적합도 검정은 통과했지만 라플라스 분포도의 검정통계량이 네 작품 중 세 작품에서 가장 적게 나왔다. 일반적으로 검정통계량 값이 작다는 것은 두 개의 PDF가 더 유사하다는 것으로 해석될 수 있다.

본 연구에서는 적합도 검정을 통해 쇠라의 작품에 나타나는 색상 병치의 특징, 즉 분해된 스트로크의 색상(Hue)은 라플라스의 확률 분포를 따른다는 결론을 얻었으며 4장에서 소개될 색상병치 과정에 얻어진 분포도를 사용하였다.

마지막으로 결정된 라플라스 분포의 파라미터를 결정해야 한다. 라플라스 분포도는 평균과 분산으로 정의할 수 있다. 사실상 분해하고자 하는 색상이 중심이 되므로 색상의 분해를 위해서는 평균값은 0을 사용한다. 그러면 분산 값도 결정을 해야 한다. 이는 후에 색상분해에 사용될 색상환,  $W(H_{num}, B_{num})$ 의  $H_{num}$ 의 해상도에 따라 결정되어야 한다. 분산 값은  $H_{num}$ 의 각 해상도에 따른 분산의 평균값을 이용하였다.



(a)  $W(36, 24)$

(b)  $W(72, 48)$

[그림 8] 확률밀도함수에 따른 작품의 검정통계량

표 1은 4가지 작품의 색상 해상도 별 분산 값을 보여

주고 있다. 표를 보면 해상도가 2배씩 증가할 때마다 분산은 4배씩 증가함을 볼 수 있다.  $H_{num}$ 이 72일 경우를 기준으로  $H_{num}$ 에 따른 분산(Variance)은 다음의 수식과 같이 계산된다.

$$Variance = \frac{40.0}{Power(72/H_{num}, 2)} \quad [식 1]$$

본 연구에서는 발견된 파라미터들을 색상의 변이를 발생시킨다.

[표 1] 색상환의 해상도에 따른 작품별 분산 값

작품	색상환의 해상도	분산
습작 1	18×12	2.63
	36×24	9.97
	72×48	40.72
습작 2	18×12	2.52
	36×24	9.33
	72×48	38.15
습작 3	18×12	2.95
	36×24	12.08
	72×48	49.18
습작 4	18×12	2.05
	36×24	8.16
	72×48	33.14
평균	18×12	2.54
	36×24	9.89
	72×48	40.30

## 4. 색상 병치 및 렌더링

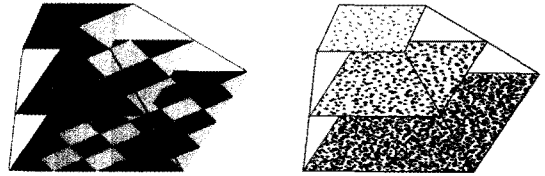
### 4.1 계층적인 점 구조

쇠라의 작품분석 과정에서 도출된 라플라스 확률 분포 함수를 위해서는 입력영상의 색상을 분해할 수 있는 기준이 되는 유연하고 해상도에 독립적인 기본 데이터 구조가 필요하다. 본 연구에서는 입력영상을 계층적인 점의 구조로 재구성하는 방법을 이용하였다. 비사실적 렌더링 분야에서 입력영상을 샘플링하고 점을 생성하는 것은 매우 중요하고 기본적인 작업 중에 하나이다. 점묘화의 점 스트로크의 표현과 색상의 병치를 위해서는 더욱더 중요한 문제가 된다.

쇠라의 작품과 같은 해상도를 표현하기 위해서는 어마어마하게 많은 점묘 스트로크를 생성해야 하고 점의 생성 속도 또한 빨라야 한다. 이러한 이유로 인해 우리는 점의 분포를 생성하는 방법으로 Kopf의 재귀적 왕타일(Recursive Wang Tile)을 사용하였다[6]. 이 방법은 비정규적인 밀도(Non-Uniform Density)를 갖는 청색 잡음 점 집합(Blue Noise Point Set)을 실시간으로 생성할 수 있었다. 계층적인 점구조를 생성하는 알고리즘은 [16]의 논문을 참고하기 바란다. 계층구조의 깊이(Depth)에 따라서

점의 밀도를 제어할 수 있다. 그림 9는 구성 예를 보여 주고 있다.

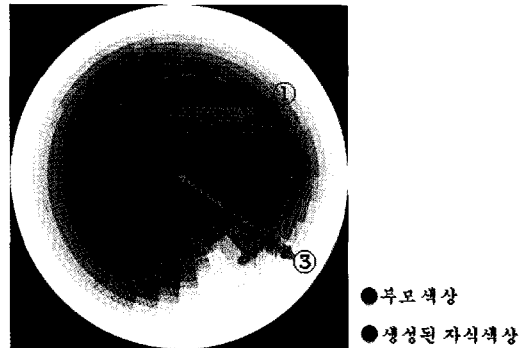
계층화된 점집합은 상위레벨에서 하위레벨로 점의 색분해가 이루어진다. 우리는 3장에서 쇠라의 팔레트 사용의 습관을 이용해 색상환 모델링 했고 이 색상환을 기반으로 하여 쇠라작품에서 나타나는 색상 분포의 특징분석을 통해 쇠라의 색상분포가 라플라스 확률 밀도함수와 가장 유사함을 발견하였다. 우리는 이러한 특징을 색상 분해 과정에 적용시킨다.



(a) 재귀적 왕타일링 (b) 계층적인 점구조

[그림 9] 왕타일에 의한 점의 계층구조

부모에서 자식으로의 색상분해 과정은 다음과 같다. 부모 포인트의 색상,  $P_c$ 는 정의된 ( $H_{num}$ ,  $B_{num}$ )의 해상도를 갖는 색상환( $W$ )에서 특정 위치, ( $H_i$ ,  $B_j$ )에 놓이게 된다. 부모 포인트,  $P_c$ 가  $N$ 개의 자식,  $C_1, C_2, \dots, C_n$ 을 갖고 있다면,  $H_i$ 를 평균값으로 하여 라플라스 분포를 갖는  $N$ 개의 색상 인덱스를 생성한다. 여기서 색상환은 원형좌표계를 따른다는 것을 참고해야 한다. 이렇게 하면 색상환에서의 자식의 색상 인덱스가 정해진다. 각각의 색상 인덱스에서 밝기 인덱스는  $P_c$ 의 밝기값과 가장 가까운 인덱스를 선택한다. 이는 인접하는 점들이 동일한 밝기값을 갖도록 하기 위해서이다. 모든 부모 점들에 대해서 같은 방법의 색상분해가 이루어진다. 그 과정을 다시 정리하면 다음과 같으며 색상분해 과정은 그림 10에서 설명하고 있다.



[그림 10] 색상분해 과정

- (1) 부모 점의 색상환 위치  $(H_i, B_j)$ 를 계산한다.
- (2)  $H_i$ 를 기준을 라플라스 랜덤 값을 자식점의 개수만큼 생성한다.
- (3) 자식점들의 색상인덱스(Hue Index)에서 부모 점과 같은 밝기를 갖는 밝기 인덱스를 계산한다.

라플라스 분포를 따르는 인덱스의 생성은 다음의 라플라스 난수 발생기를 이용한다. 해당 분포를 따르는 난수  $X$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$X = \mu - \frac{\sqrt[3]{Var}}{2} \times \text{sgn}(U) \times \text{Log}(1 - 2 \times |U|) \quad [\text{식 2}]$$

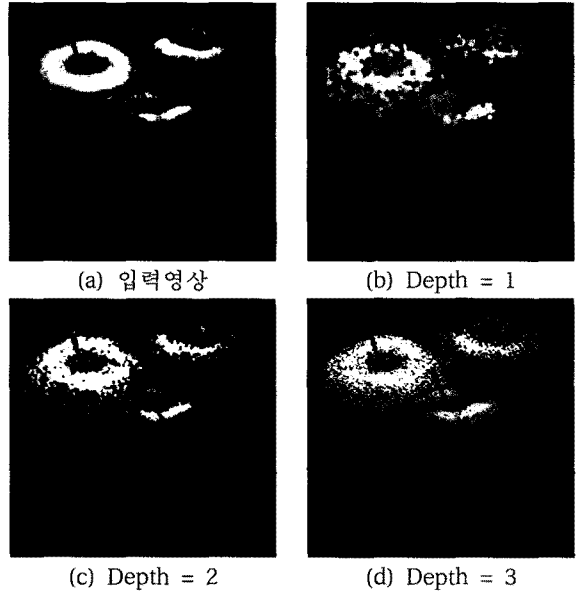
여기서,  $U$  값은 -0.5에서 0.5사이에서 생성되는 랜덤 값이며,  $\mu$ 는 평균값을 의미한다. 여기서 평균값이란 부모 점의 색상이 위치한 색상환의 색상 인덱스 값이다. 그리고 스케일 파라미터,  $\sqrt[3]{Var}/2$ ,는 3.5절의 분석과정에서 얻어진 분산,  $Var$ 을 이용하여 얻을 수 있다.

## 5. 실험 결과

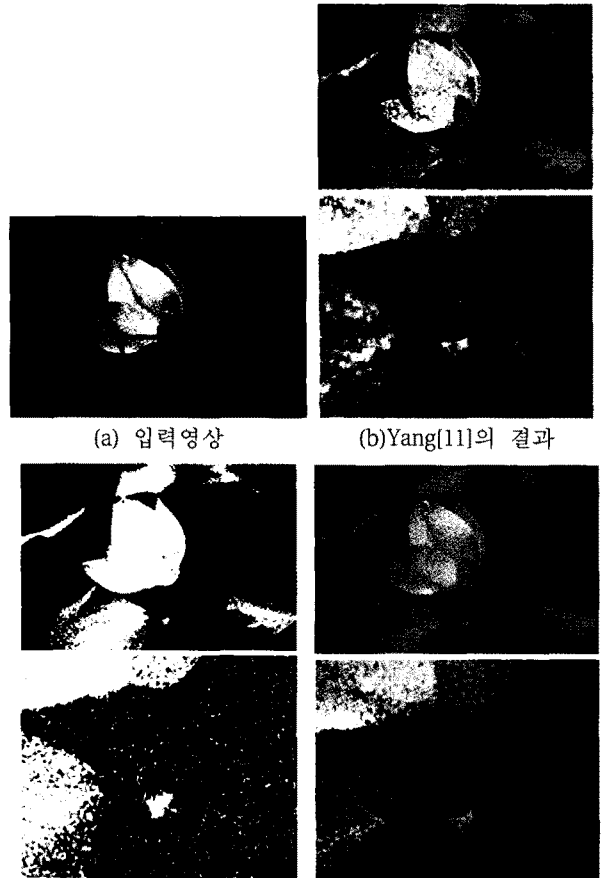
우리의 실험 결과를 회화적 렌더링 알고리즘에 적용하여 결과를 얻었으며 몇 개의 렌더링 인수의 변화를 통해 렌더링 결과를 다양화 할 수 있다. 회화적 렌더링에 일반적으로 사용되는 파라미터를 제외하고 점묘화의 특징표현에 많은 변화를 줄 수 있는 파라미터인 RYB 색상환의 해상도와 계층구조의 깊이를 변화시키면 실험하였다.

그림 11은 점의 밀도를 점차 늘려가며 렌더링한 결과를 보여주고 있다. 점의 밀도가 낮을 경우는 하나하나의 색점들을 구분할 수 있고 그 색들이 도드라져 보인다. 그리고 점이 많아질수록 점묘의 색상이 가산혼합에 의해 쇠라가 의도했던 대로 섞여 보임을 할 수 있다. 그림 12는 이전 연구와의 결과를 비교한 영상이다. Hayz의 결과는 입력이미지의 색상에 단순한 지터링을 적용하였다. 특히 Yang의 경우는 HSV 색상모델을 사용하였다. 여기서 Yang은 보색점묘와 Halo효과를 표현하여 특징표현 부분에 있어서는 본 연구보다 다양하다고 하겠다. 하지만 본 연구는 예술가의 색상모델인 RYB 모델을 사용함으로써 결과의 생상을 예술가의 색상표현 범위로 제한함으로써 보다 예술적인 결과물을 얻을 수 있었다.

실제 작가의 모사에 대한 결과는 평가하기 모호한 부분이 많이 있다 하지만 그를 위한 도전은 계속되어야 하며 본 논문이 그 시작이 될 것이다



[그림 11] 점의 밀도에 따른 점묘화 결과 ( $W(36, 24)$ )



(b) Hays[8]의 결과 (c) 우리의 결과

[그림 12] 이전 연구와의 비교 영상  
( $W(36, 24)$ , Depth=3)



## 6. 결론 및 향후 연구

우리는 쇠라작품에서 나타나는 색상의 병치 특징을 추출하는 통계학적 방법을 제안했다. 이를 위해 예술가의 색상 모델인 RYB 모델에 기반하여 쇠라의 병치 패턴 분석 및 색상 분포를 위한 색상환을 디자인했다. RYB 모델을 사용함으로써 예술가의 색상 즉, 물감이 표현할 수 있는 색상의 영역만으로 결과를 표현함으로써 더 회화같은 느낌을 갖을 수 있다. 이렇게 설계된 색상모델을 기반으로 우리는 통계학적 접근법을 사용하여 병치 색상 분포의 특징들을 파악하고 수치화 한다. 이렇게 얻어진 통계학적 데이터는 색상분할에 사용했다. 점묘화에 나타나는 무수히 작은 점들을 표현하기에 적절하고 색상분할에 적합한 자료 구조로서 재귀적 왕 타일을 이용해 계층화된 점을 구성했다.

이러한 방법으로 우리는 쇠라의 작품에 나타나는 색의 분포를 가깝게 시뮬레이션할 수 있었다. 실제 작품에 나타나는 색상의 패턴을 통계학적 검증하고 활용한 우리의 연구는 특징화가 나 화풍을 시뮬레이션하는 연구의 시작이 될 수 있으며 회화적 렌더링 분야에서 새로운 시도라 할 수 있다.

그럼에도 불구하고 우리 연구의 결과는 여전히 쇠라의 실제 작품과 많은 차이를 보인다. 이것은 쇠라의 작품에서 나타나고 있는 보색에 의한 명암표현, 객체의 경계를 보다 명확하게 표현하기 위한 할로 효과 그리고 보색 테두리 효과 등을 표현하지 않고 있기 때문이다. 향후 점묘화작품에서 나타나는 다른 특징들을 회화적 렌더링 알고리즘에 적용가능 하도록 다양한 기법들의 개발이 필요할 것이다.

## 감사의 글

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0083169).

## 참고 문헌

- [1] B. Gooch and A. Gooch, "Non Photorealistic Rendering", *A K Peters, Ltd.* 2001.
- [2] J. Hauptman, B. Karl, and D. Hubert, "'Georges Seurat: The Drawings", *Distributed Art Pub Inc.* 2007.
- [3] Rood, "Modern Chromatics", *An Nostrand Reinhold Company*, 1973.
- [4] Charles Blanc, "The Grammar of Painting and engraving", *Cambridge: The Riverside Press*, 1874
- [5] Chevreul M. E., "The Principles of Harmony and Contrast of Colors", *SCHIFFER Publishing Ltd*, 1987.
- [6] Kopf J., Cohen-or D., Deussen O., Lischinski D. "Recursive wang tiles for real-time blue noise", *In Proc. of SIGGRAPH06*, pp.509-518, 2006.
- [7] Hertzmann A., "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes", *In Proc. of SIGGRAPH98*, pp. 453-460, 1998.
- [8] J. Hays and I. Essa, "Image and Video Based Painterly Animation", *In Proc. of NPAR2004*, pp.113-120, 2004.
- [9] Luong T. Q., Seth A., Klein A., Lawrence J., "Isolating color picking for non-photorealistic rendering", *In Proc. of Graphics Interface 2005*, pp.233-240, 2005.
- [10] Jing L., Inoue K., Urahama K., "An npr technique for pointillistic and mosaic images with impressionist color arrangement", *LNCS*, Vol3804, pp. 1-8. 2005.
- [11] Yang C. K., Yang H. L., "Realization of seurat's pointillism via non-photorealistic rendering", *The Visual Computer*, Vol.24, No.5, pp.303-322, 2008.
- [12] Gossett N., Chen B., "Paint inspired color mixing and compositing for visualization," *In Proc. of INFOVIS04*, pp. 113-118, 2004.
- [13] GAGE J., "Color and Culture," *Thames and Hudson*, 1973.
- [14] Johannes Itten. "The Art of Color", *Van Nostrand Reinhold*, New York, 1961.
- [15] Hogg, "Introduction to Mathematical Statistics", *Prentice Hall*, 2006.
- [16] 서상현, 윤경현, "사용자 정의 팔레트에 기반한 점묘화 렌더링에 관한 연구", *한국멀티미디어학회 논문지*, 11권 4호, pp. 554-565, 2008.
- [17] Gonzalez R. C., "Digital Image Processing", *Prentice Hall*, 2006.
- [18] Hausner A, "Pointillist halftoning", *In Proc. of Computer Graphics and Imaging*, pp.134-139, 2005

## 〈저자소개〉



서상현

- 1998년 중앙대학교 공과대학 컴퓨터공학과 졸업
- 2000년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 석사졸업
- 2003년~2005년 (주)지노시스템 기술연구소 선임연구원
- 2010년 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사졸업
- 2010년~ 현재 중앙대학교 박사후과정
- 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 비사실적 렌더링, Proceduralism, GIS



윤경현

- 1980년 중앙대학교 공과대학 전자계산학과 졸업
- 1983년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 석사
- 1983년~1985년 한국전기연구소 연구원
- 1988년 University of Connecticut 전자계산학과 석사
- 1991년 University of Connecticut 전자계산학과 박사
- 1991년~ 현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
- 관심분야 : 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 렌더링, Proceduralism, GIS, 영상기반모텔링과 렌더링, 비사실적 렌더링