

스테인드 글라스 렌더링을 위한 유리 타일 생성에 관한 연구

나현철¹, 지용재², 윤경현³

중앙대학교^{1 2 3}

{hcnah¹, yj1023², khyoon³@cglab.cse.cau.ac.kr

A Study on Glass Tile Generation for Stained Glass Rendering

Hyeon Cheol Nah¹, Yong Jea Gi², Kyung Hyun Yoon³
University of Chung Ang^{1 2 3}

요약

본 연구에서는 영역 분할 알고리즘과 3 차 스플라인 보간법을 이용하여 스테인드 글라스 렌더링을 위한 개선된 유리 타일 생성 알고리즘을 제안하였다.

먼저 유리 타일의 초기 형태를 추출하기 위하여 입력 영상에 Mean shift 분할 알고리즘을 적용하였다. Mean shift 분할 알고리즘은 영상의 각 픽셀(pixel)에서의 지역 밀도 최대 점(local density maximum)을 찾아 클러스터링(clustering)하는 알고리즘으로 영상을 효과적으로 분할할 수 있다. 그리고 분할된 영역에서 영역을 사용자 입력으로 병합하고, 영역에서 부적절한 형태를 없애기 위해 본 연구에서는 형태론적 연산(morphological operation)을 이용하였다.

추출된 영역으로부터 유리 타일의 형태로 만들기 위하여 추출된 각각의 영역에 3 차 스플라인 보간법(cubic spline interpolation)을 적용하여 경계가 완화된 영역과 납틀(leading)의 형태를 얻는다. 그 다음 영역을 스플라인 곡선(spline curve)을 이용하여 재분할하고, 각 영역에 변환(transformation)된 색상을 적용하여 최종적인 유리 타일을 만들어낸다.

본 연구에서는 3 차 스플라인 보간법을 이용하여 실제 스테인드 글라스에서 생길 수 있는 부드러운 경계를 갖는 유리 타일의 형태를 만들어 이를 스테인드 글라스 렌더링에 이용하였다. 이 방법은 기존의 영역 분할 알고리즘에 형태론적 연산만을 적용하여 유리 타일의 형태를 생성하는 것보다 효과적으로 유리 타일의 형태를 생성할 수 있다. 또한, 생성된 영역에 재분할 과정을 거쳐서 작은 유리 타일이 모여서 이루는 조형적인 형태를 이룰 수 있도록 하였다.

Keyword : Stained Glass, NPR, Computer Graphics, Rendering

1. 서론

본 연구는 2 차원 영상을 입력으로 하여 예술가들이 손으로 제작한 듯한 스테인드 글라스 영상을 만들어 내는 연구이다. 스테인드 글라스 렌더링은 비사실적 렌더링의 한 분야로 기존의 사실적 렌더링과 큰 차이가 있다. 사실적 렌더링은 렌더링의 기본 단위(rendering primitive)가 픽셀인 반면에 스테인드 글라스 렌더링에서는 픽셀의 집합으로 이루어진 영역(region)을 기반으로 하고 있다. 따

라서 스테인드 글라스 렌더링의 결과 영상은 영역의 크기와 모양에 따라서 달라질 수 있으며, 본 연구에서는 스테인드 글라스 렌더링의 각각의 영역을 생성해가는 새로운 방법에 대해 소개한다.

스테인드 글라스는 유리로 잘라 붙여서 제작하는 것이고, 유리 타일이 하나의 단위가 된다. 기존의 스테인드 글라스 렌더링 알고리즘에서는 단순히 영역 분할(region segmentation)만을 이용하여 유리 타일을 생성 하였기 때문에 영역 분할이

적절히 이루어지지 않으면 실제의 스테인드 글라스와 같은 느낌을 떨어뜨리게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 스테인드 글라스 렌더링을 위한 유리 타일을 생성하는데 있어서 단순히 분할된 영역을 바로 적용하는 것이 아니라 영역의 경계를 보간(interpolation)하고, 각각의 영역을 재분할(re-segmentation)하여 유리 타일을 이룰 수 있는 영역을 생성하였다. 그리고 생성된 영역을 이용하여 실제 스테인드 글라스에서 나타나는 유리 타일을 생성하였다.



그림 1. 「수태고지」 샤르트르 대성당의 창문

2. 스테인드 글라스 분석

스테인드 글라스 렌더링은 중세 시대에 교회 건축의 일부분으로 실내를 장식하려는 목적으로 표현하고자 하는 영상을 유리 타일을 끼워 넣어서 유리자체의 화려한 색채감과 유리 타일들이 갖는 조형적인 아름다움을 주기 위한 것이었다. 이러한 스테인드 글라스를 시뮬레이션 하기 위하여 스테인드 글라스의 특징을 분석해 본다.

일반적으로 스테인드 글라스가 보여주는 특징은 다음과 같다.

1) 유리 타일 경계의 부드러움

유리 타일들은 대부분 부드러운 곡선으로 이루어져 있으며, 이것은 유리라는 재료의 특성상 복잡한 면으로 잘라낼 수 없기 때문이기도 하다.

2) 유리 타일의 조형적인 아름다움

중세 시대의 스테인드 글라스의 유리 타일은 하

나의 색유리가 하나의 대상(object)를 나타내는 것이 아니라, [그림 2]의 ②에서 볼 수 있듯이 여러 조각의 색유리가 모여서 하나의 대상을 나타내는 조형적인 아름다움을 보여주고 있다.

3) 스테인드 글라스의 에지의 불규칙함

스테인드 글라스에서 곡선 형태의 경계를 갖는 유리 타일만으로는 완전히 채워질 수 없었는데, 이러한 사이를 채우는 용도로 납(lead)이 사용되었다. 납은 유리 타일과 함께 스테인드 글라스의 조형미를 이루고 있는데, 이러한 제작 과정으로 인하여 납은 일정한 굵기를 유지할 수가 없었다.

4) 강한 색상의 대비

중세 시대에는 유리 제작 기술의 한계로 인하여 유리의 색상이 거의 원색에 가까운 색상의 색유리가 사용되어졌다. 이러한 색상들이 색채 대비를 이루어 강한 시각적인 효과를 주게 되었다.

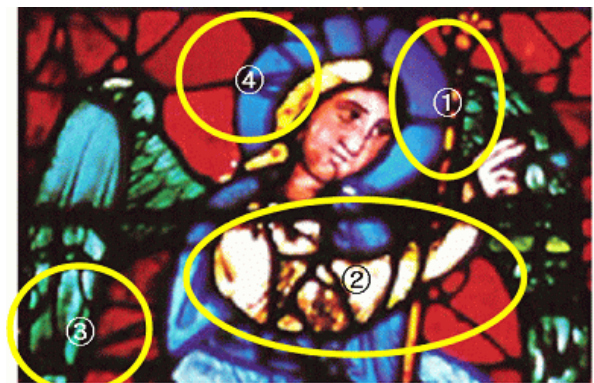


그림 2. 중세 시대 스테인드 글라스의 특징

이러한 스테인드 글라스의 특징들을 시뮬레이션 하기 위하여 본 연구에서는 스테인드 글라스 영상을 위한 유리 타일의 생성에 초점을 두고 4 절에서 설명하는 것과 같은 과정을 통하여 기존의 연구보다 향상된 스테인드 글라스 영상을 만들수 있도록 하였다.

3. 관련 연구

비사실적 렌더링에 관한 연구가 시작된 이래로 현재 많은 분야에 관한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 스테인드 글라스는 아직 연구가 진행이 되지 않고 있다. 그러나 다른 비사실적 렌더링의 연구가 이루어지면서 부가적인 수준으로 접근이

되어왔고, 최근에는 컴퓨터를 이용한 스테인드 글라스 영상을 만들어내려는 시도가 점차 이루어지고 있다.

일반인들도 쉽게 접할 수 있는 소프트웨어인 포토샵(Photoshop)에서는 사용자가 입력 영상에 다양한 변화를 줄 수 있는 필터(filter)를 적용시킬 수 있다. 그 중 스테인드 글라스 필터도 있는데 이것을 적용시킨 영상은 [그림 3]의 (a)와 같다. 포토샵의 스테인드 글라스 필터는 기본적으로 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)을 사용하여 영상을 만들어낸다. 그러나 이 방법은 영상의 특성을 고려하지 않고 랜덤(random)한 위치에서 보로노이 사이트(Voronoi site)를 생성하고 보로노이 다이어그램을 만들기 때문에, 표현된 유리 타일이 입력 영상을 적절히 표현하기 힘들다.

Mould[2]는 스테인드 글라스에 관한 연구를 기존의 다른 비사실적 렌더링과는 다른 방법으로 접근하였는데, 이는 그전의 연구에서 주로 사용되었던 보로노이 다이어그램에 의존한 타일 생성을 탈피한 것이었다. 입력 영상을 색상에 기반한 영역 분할 기법을 사용하여 분할하고, 이렇게 분할된 영역을 형태론적 연산(morphological operation)을 적용하여 완화시킨다 그러나 Mould[2]의 방법으로 생성된 영역들은 영역 분할만을 기반으로 하여 스테인드 글라스의 유리 타일들이 모여서 이루는 조형적인 구조 형태와는 거리가 멀다. 또한 같은 분할된 영역에 단순한 형태론적 연산만을 적용하였기 때문에 유리 타일이 가질 수 없는 부드럽지 못한 영역의 경계가 만들어지는 단점을 갖는다.

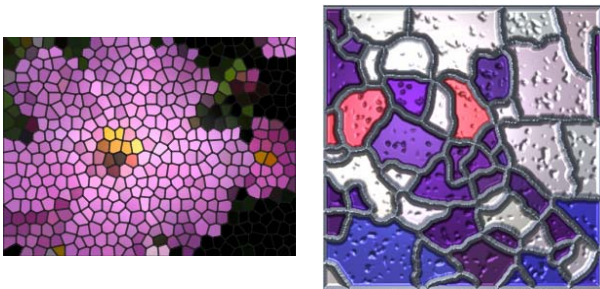


그림 3. 관련 연구 결과 영상
a) Photoshop의 결과 영상
b) Mould[2]의 결과영상

본 연구에서는 이러한 기존 연구에서의 문제점을 해결하기 위하여 개선된 유리 타일의 생성 방법을 제안하였다. 이를 위하여 입력 영상으로부터 영역 분할 기법을 기반으로 하여 스테인드 글라스의 특징에 맞는 유리 타일을 생성하고 이를 이용하여 렌더링하여 결과 영상을 만들어냈다.

4. 스테인드 글라스의 유리 타일 생성

실제 스테인드 글라스와 같은 영상을 만들어 내기 위하여 본 연구에서는 [그림 4]와 같은 스테인드 글라스 렌더링 시스템을 구성하였다.

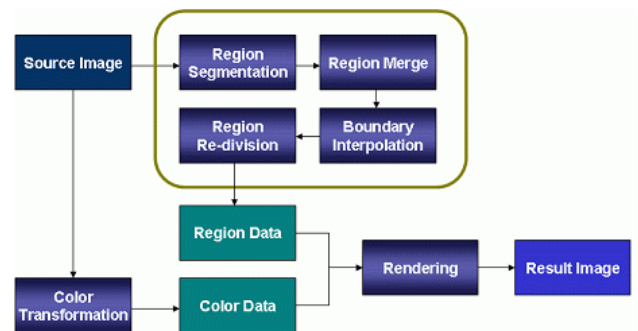


그림 4. 스테인드 글라스 렌더링 시스템 구성도

본 연구에서는 스테인드 글라스의 유리 타일의 형태를 갖는 영역을 생성하기 위하여 입력 영상에 영역 분할 알고리즘을 적용하여 초기 영역과 영역 인덱스 맵을 얻는다. 다음 단계로, 얻어진 인덱스 맵에 사용자의 입력을 통한 방법을 사용하여 영역을 병합하여 하나의 색상을 갖게 될 영역들을 만들어낸다. 그리하여 얻어진 영역들의 경계를 형태론적 연산과 3 차 스플라인 보간법을 적용하여 실제 유리 타일에 맞는 부드러운 경계를 갖는 영역들을 생성한다. 그 후에 영역을 재분할하고 분할된 영역들의 경계에 다시 3 차 스플라인 보간법을 적용하여 경계를 부드럽게 하며, 굵기가 불규칙한 스테인드 글라스 에지의 특성을 살렸다.

위와 같이 생성된 각각의 영역의 평균 색상을 계산하고, 중세시대 스테인드 글라스에 사용되어졌을 팔레트를 설정하여 계산된 평균 색상을 팔레트에 맞추어 변환하였다. 이러한 변환은 실제 스테인드 글라스의 색상이 주는 강렬한 색상대비 효과를 표현하기 위한 것이다.

4.1 기본 영역의 생성

입력 영상으로부터 스테인드 글라스 영상을 만들어내기 위해서는 기본적으로 유리 타일로 표현할 수 있는 영역들을 추출하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 유리 타일을 생성하는 기본 영역의 추출을 위하여 Mean shift 분할 알고리즘을 사용하였다. Mean shift 분할 알고리즘은 지역 밀도 최대점을 찾아서 유사한 최대점을 갖는 그룹을 클러스터링하는 알고리즘이고, 입력 영상에서 유사한 색상을 갖는 영역을 분할하기에 적절하다.

또한 분할 알고리즘의 적용 과정에서 사용자가 의도하지 않은 영역의 형태가 발생할 수 있기 때문에, 사용자가 입력을 통하여 영역을 병합할 수 있도록 하였다. 스테인드 글라스는 사람이 창조해내는 예술 작품이고, 예술가의 의도에 따라 생략과 단순화 등의 요소가 크게 작용하기 때문에, 본 연구에서는 이러한 사용자의 의도를 결과 영상에 적용할 수 있는 방법을 선택하였다.

4.2 영역의 경계 보간

각각의 영역을 정제하기 위한 과정으로 형태론적 연산과 3 차 스플라인 보간법을 적용하였다. 이것은 추출된 영역들이 아직 Mean shift 분할 알고리즘으로 인하여 생성된 적절하지 않은 형태의 영역과 노이즈(noise) 형태의 거친 경계를 갖고 있기 때문이다.

Mould[2]는 이 단계에서 형태론적 연산만을 이용하여 이 두 가지 문제점을 해결하려고 하였지만, 본 연구에서는 적절하지 않은 형태의 영역을 없애기 위한 방법으로만 사용하고, 거친 경계를 부드럽게 하는 문제를 3 차 스플라인 보간법을 이용하여 해결하였다. 여기서 형태론적 연산은 침식(erosion)과 팽창(dilation) 연산을 이용한다.

다음으로, 형태가 완화된 영역의 경계를 부드럽게 하기 위하여 3 차 스플라인 보간법을 적용하였다. 3 차 스플라인 보간법을 계산하기 위해서는 기준점(control point)을 선택해야 하는데, 기준점을 선택하는 방법으로는 미리 기준점의 거리를 정의하고 경계 상에서 현재의 기준점에서 정해진 거리만큼 떨어진 경계상의 점을 다음 기준점으로 선

택하는 방식을 사용하였다(그림 5).

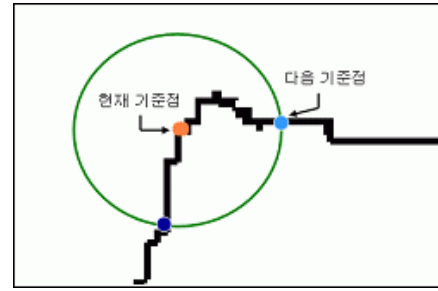


그림 5. 3 차 스플라인 보간법을 위한 기준점의 선택

각 영역의 경계를 보간하는 과정에 실제 스테인드 글라스에서 유리의 사이를 채워주는 납틀(leading)을 같이 생성하기 위한 방법을 함께 적용하였다. 기본 영역보다 작은 스플라인 곡선을 생성하여 적용함으로써 영역들이 생성되지 않은 부분을 납틀로서 추출하는 것이다. 이 과정은 실제 스테인드 글라스를 제작하는 과정과도 일치하는 것으로 매우 타당한 것이다.

4.3 영역의 재분할

영역을 재분할 하는 과정은 실제 스테인드 글라스가 보여주는 조형미를 위해 제안한 과정이다. 본 연구에서는 작은 유리 타일이 모여 단일 색상을 갖는 큰 타일을 형성하는 것을 시뮬레이션 하기 위해 위의 과정에서 생성된 큰 영역들을 재분할한다. 그러나 실제 스테인드 글라스에서 작은 타일들이 큰 영역을 구성하는 형태가 매우 불규칙하여 규칙을 정의하기가 불가능하기 때문에, 재분할 과정에서는 무작위의(random) 곡선을 생성하여 그 곡선을 기준으로 분할하도록 한다.

재분할을 위한 곡선을 생성하는 과정은 다음과 같다. 우선, 영역 위의 임의의 한 점을 선택하고, 선택된 점을 기준으로 주변 경계에서 가까운 두 점을 찾아 기준점으로 사용한다. 선택된 세 점을 기준으로 하여 3 차 스플라인 보간법을 이용하여 곡선을 생성하게 된다(그림 6). 여기서 기준점을 세 개로 제한한 것은 영역상의 점을 생성할 때 많은 수의 기준점을 선택하게 되면 오히려 곡선이 휘어짐을 크게 가질 수 있고, 이러한 것은 스테인드 글라스 렌더링에 적용하기 부적절하기 때문이다.

이런 과정을 거쳐 작게 세분화된 각 영역들은 스테인드 글라스의 유리 타일의 양식(style)을 나타낼 수 있도록 영역들의 경계를 보간하여 스테인드 글라스의 작은 유리 타일의 형태로서 완성한다.

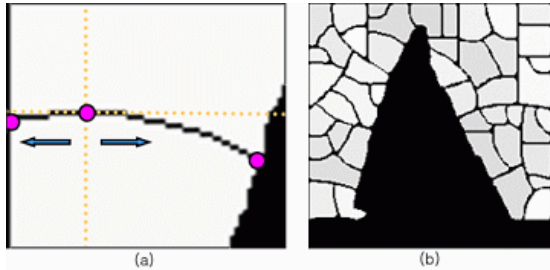


그림 6. 영역을 재분할 하는 과정과 영역을 재분할한 결과 영상

4.4 영역의 색상 결정

Mould[2]는 이러한 유리 타일의 색을 정하기 위하여 입력 영상의 색상을 중세 시대 사용될 수 있었던 색상들로 변환하여 적용하였고, 본 연구에서도 이를 적용하였다. 이러한 과정을 통하여 스테인드 글라스가 갖는 강한 색상대비 효과를 가질 수 있도록 하였다.

5. 결론

본 연구에서 실제 스테인드 글라스 영상을 시뮬레이션 하기 위하여 영역의 경계 보간을 통하여 실제 유리 타일이 이루는 것과 유사한 매끄러운 유리 타일의 형태를 만들어 냈고, 유리 타일의 사이에서 나타나는 불규칙한 굵기의 납틀의 형틀을 만들어 냈다. 또한 영역의 재분할 과정을 거쳐서 여러 작은 유리 타일들이 모여서 의미를 갖는 영역을 형성하는 조형적인 특징을 만들어냈으며, 색상의 변환 과정을 이용하여 강한 색상의 대비 효과를 나타내었다(그림 7).

추가로, 조형적인 형태를 강조하기 위하여 재분할되기 이전의 영역의 경계를 굵게 강조하였다. 그리고 스테인드 글라스가 창문에 주로 사용되기 때문에 결과 영상에 원형의 광원 효과를 주어 빛과의 효과도 나타낼 수 있도록 하였다. 이 결과 영상을 Mould[2]의 결과 영상과 비교한 것은 [그림 8]과 같다.

실제 스테인드 글라스는 색유리를 사용하여 제

작된다. 본 연구에서는 각 유리 타일을 단일한 색으로 나타내어 유리의 재질감을 볼 수 없기 때문에 각 유리 타일의 텍스처화(texturing)이 필요하다. 또한, 실제 스테인드 글라스의 각 유리 타일에서는 세부 표현 부분이 나타나기도 하는데, 이를 위해 입력 영상에서 에지를 추출하여 적용하면 이러한 세부 표현을 할 수 있을 것이다.

References

- [1] Thomas Strothotte and Stefan Schlechtweg, Non-Photorealistic Computer Graphics: Modeling, Rendering and Animation, 2002, Morgan Kaufmann, ISBN: 1-558-6078-70
- [2] David Mould. "A Stained Glass Image Filter". In the proceedings of the 14th EUROGRAPHICS Workshop on Rendering, pp. 20~25.
- [3] Grodecki, L., Brisac, C. "Gothic Stained Glass". Thames and Hudson, London, 1985,
- [4] Comanicu, D., Meer, P. "Mean shift: a robust approach toward feature space analysis". IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, 24, 4 (May 2002), 603~619.
- [5] Meer, P., Georgescu, B. "Edge detection with embedded confidence". IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 23, 12 (December 2001), 1351~1365.
- [6] Hoff, K., Keyser, J., Lin, M., Manocha, D. and Culver, T. "Fast Computation of Generalized Voronoi Diagrams Using Graphics Hardware". In the proceedings of SIGGRAPH 99: 277-286.
- [7] Richard L. Burden and J. Douglas Faires "Numerical Analysis 6th", 1997, Brooks/Cole, ISBN: 0-534-95532-0
- [8] Gonzalez, Woods. "Digital Image Processing", Addison Wesley, 1993.
- [9] Adam Finkelstein, Marisa Range, "Image Mosaics", Technical Report of Princeton Univ., 1998

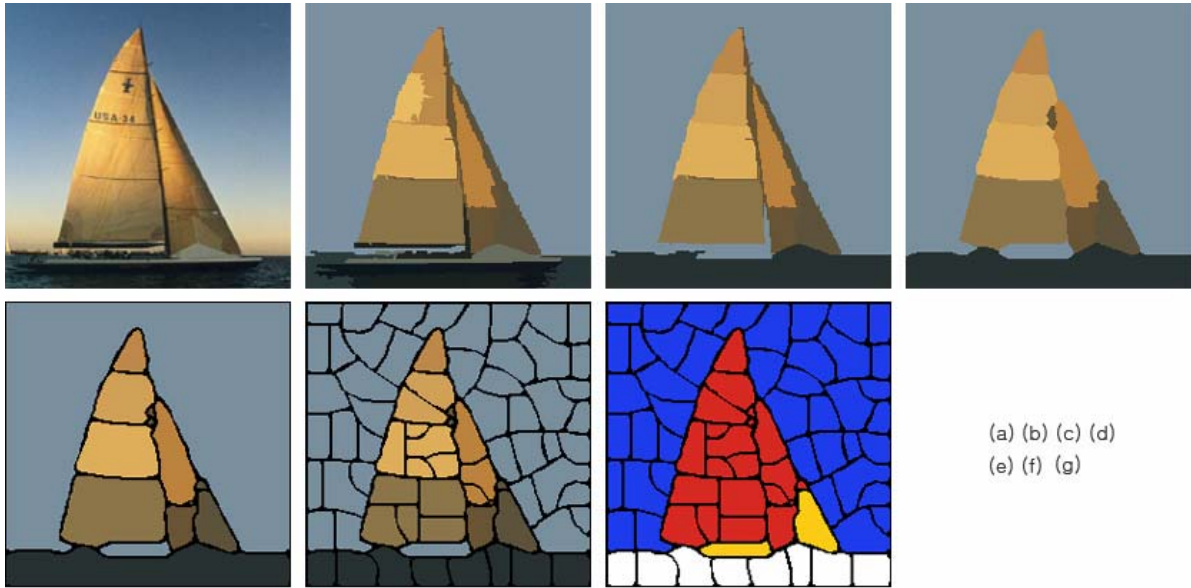


그림 7 제안된 스테인드 글라스 렌더링 과정

(a) 입력 영상 (b) Mean shift 분할 알고리즘을 적용한 영상 (c) 영역 합병을 적용한 영상 (d) 형태론적 연산을 적용한 영상 (e) 영역의 보간을 각 영역별로 적용하여 합쳐진 영상 (f) 영역을 재분할한 결과 (g) 타일의 색상을 변환하여 최종 렌더링한 결과 영상

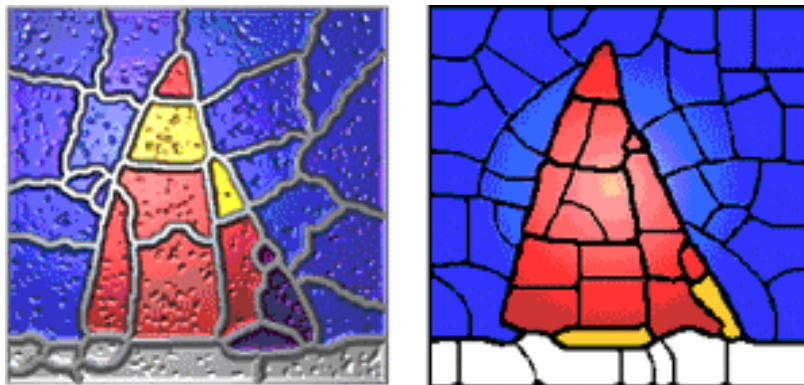


그림 8 Mould[2]의 결과 영상과의 비교

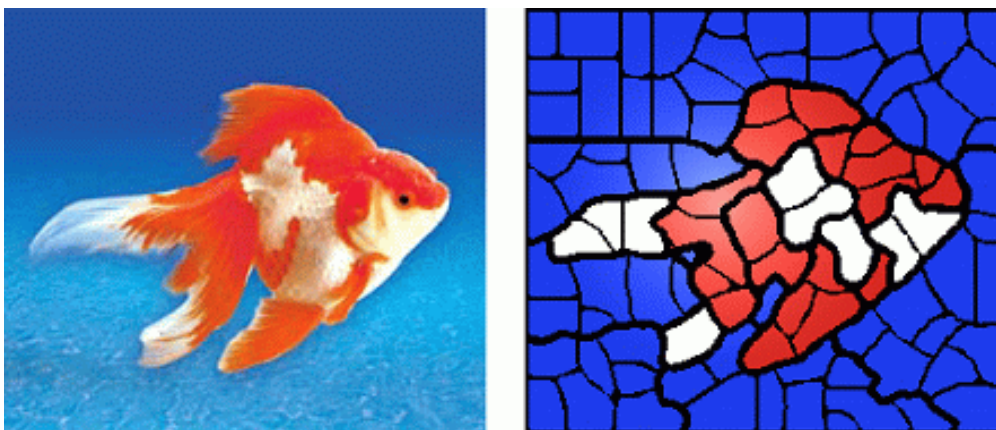


그림 9 본 연구의 결과 영상