

# 텐서 기반 스트로크 생성에 의한 펜화기법

신도경<sup>†</sup>, 안은영<sup>\*\*</sup>

## A Pen Drawing Method by Tensor-based Strokes Generation

Do-kyung Shin<sup>†</sup>, Eun-young Ahn<sup>\*\*</sup>

### ABSTRACT

We present a non-photo realistic pen-ink drawing method for outlining and shading of the input image. Especially, we focus on the detailed illustration of the image of which stroke's direction is important. The pen-ink renderer is an alternative display models user can generate traditional illustration renderings of their photo realistic image. The previously proposed pen drawing methods produce feasible description in general image but it is difficult to express in detail for the sophisticated images that need to consider the direction of stroke for each image region. In order to overcome the disadvantages of the conventional method, a direction vector is extracted from a tensor field and we determine a stroke's direction in consideration of not only an edge area but also a gradient of a surrounding area in the image. For more detailed description for the sophisticated image, we generate white noises based on the light and shade of the input image and determine the direction and length of the stroke by using the tensor field for each generated white noise. The proposed method works particularly well for traditional architectural images where the direction and detailed description of the pen is important.

**Key words:** Pen Drawing, Non-photo Realistic Rendering, Stroke, Virtual Reality, Augmented Reality

### 1. 서 론

비사실적 렌더링(NPR, Non-photo Realistic Rendering)은 인간 친화적인 회화적 느낌의 영상을 생성하기 위해서 사람이 직접 손으로 그릴 때의 특징과 사실감이 그대로 부여된 영상을 생성하는 것을 목적으로 한다[1]. NPR기술은 1990년대 초부터 주목을 받기 시작한 연구로서 현재는 컴퓨터 그래픽스의 중요한 부분을 차지하고 있으며 많은 NPR연구들은 예술 매체의 표현을 구현하고자 시도되어 왔다. 또한 NPR 기술은 애니메이션(animation), 광고(adver-

tisement), 게임(game), 의료(medical), 건축(architecture) 등 다양한 분야에서의 응용이 증가되고 있다[2,3].

NPR기술은 다양한 회화를 표현하기 위해서 대부분 스트로크(stroke)를 기반으로 최종 영상을 생성하기 때문에 스트로크의 방향 결정이 필수적이다. 2차원 영상에서 스트로크 방향을 결정하기 위해 일정한 방향 필터가 사용이 되기도 하고, 기울기(gradient) 기반 방향 필터가 사용되기도 한다. 일정한 방향필터는 영상의 전체적인 특징을 반영하지 못하고 모두 일정한 방향의 방향 필터가 적용 되기 때문에 영상

\* Corresponding Author: Eun-young Ahn, Address: (305-719) Dongseodae-ro 125, Yuseong-gu, Daejeon city, Korea, TEL: +82-42-821-1750, FAX: +82-42-821-1595, E-mail: aey@hanbat.ac.kr

Receipt date: Jan. 21, 2017, Revision date: Mar. 5, 2017  
Approval date: Mar. 30, 2017

<sup>†</sup> Avionics R&D Lab, LIG Nex1

E-mail: dokyung.shin@lignex1.com

<sup>\*\*</sup> Dept. of Information Communication Engineering, Hanbat National University

\* This research project was supported by the Sports Promotion Fund of Seoul Olympic Sports Promotion Foundation from Ministry of Culture, Sports and Tourism and supported by National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology through the Basic Science Research Program(NRF-2015R1C1A2A01052427).

의 특징을 적용하지 못한 부자연스러운 결과를 보인다. 또한 기울기 기반 방향 필터는 기울기 차가 큰 에지 부분에서만 주로 발생하고 해당 픽셀의 기울기 값만으로 스트로크 방향이 결정이 되기 때문에 주변의 윤곽선 방향과의 불일치로 영상에서 섬세한 표현이 불가능하다는 문제점을 갖는다.

회화의 방법은 서양의 경우, 그림의 재료에 따라서 유화, 수채화, 펜화, 연필화, 파스텔화, 크레용화 등으로 논리적이며 화면에 덧바르거나 깎는 식의 층 구성과 투시원근법(liner perspective)과 명암 기법을 사용한다. 반면에 한국을 비롯한 중국과 일본은 수천 년간 붓으로 기록하는 회화 방식을 고집하였다. 또한 동양화는 직관적이며 한 번의 터치로 그려지는 기법으로 주로 먹을 사용한 수묵화가 있으며, 투시원근법의 사용 대신 명암터치와 선, 여백의 표현을 강조한다. 펜(pen)은 서양을 대표하는 필기구이고, 붓은 동양을 대표하는 필기구이다. 펜은 갈대나 거위 깃털의 뾰족하고 딱딱한 성질을 이용하여 가늘고 날카로운 선을 표현할 수 있기 때문에 정밀한 건축이나 기계의 설계도면(floor plan)을 그리기 위해 많이 사용되며, 정확한 묘사력으로 세밀한 표현이 가능하다. 동양의 붓(brush)은 동식물의 털을 주재료로 사용함으로써 부드럽고 몽툰한 느낌을 표현하기 위해서 주로 사용된다.

펜화(pen and ink sketch)는 반복적인 선의 생성을 기본으로 하며, 다른 미술 작품과는 다르게 명암, 질감, 형태 등 모든 표현에 있어서 빛을 받은 영역이나 형태가 복잡하지 않은 영역, 강조가 되지 않은 영역에 대해서는 스트로크를 표현하지 않는 암시법(indication)을 사용한다.

Fig. 1은 김영택 화백의 펜화 작품 중 하나로써 한국을 대표하는 건축 문화재를 대상으로 붓이 아닌 펜의 정확한 묘사력과 세밀한 표현으로 한국의 정서를 아름다운 건축 문화재를 통해서 독창적으로 표현한 펜화 작품이다.

Fig. 2는 한국의 전형적인 전통가옥을 촬영한 사진을 포토샵의 펜화 기능을 이용하여 처리한 사례이다. Fig. 2의 (b)에서 보는 바와 같이 기존의 스트로크 표현방식으로는 벽이나 지붕기와 등을 세밀하게 표현하지 못하는 한계를 가지고 있다. 이는 기존의 펜화 영상 생성 기법이 모든 영역에 대해 동일한 방향의 스트로크로 표현함으로써 영역의 특성이 무시되

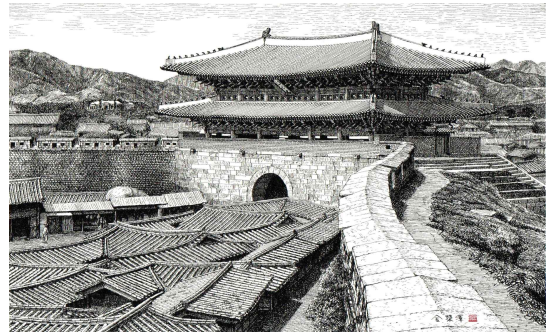
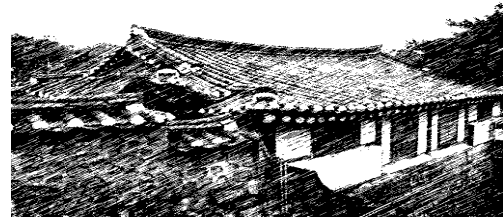


Fig. 1. Pen-ink hand drawing by an artist.



(a) Photo Image



(b) Pen drawing effect in Photoshop

Fig. 2. The example of pen style drawing using an industrial application.

기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 김영택 화백의 한국적 펜화 기법을 모티브로 하여 한국의 전통 건축을 주제로 하는 영상에 대해서 스트로크의 방향이 고려된 새로운 펜화 기법을 제안하고자 한다.

## 2. 관련 연구

기존의 NPR기술을 이용한 펜화는 표현하고자 하는 대상의 형태, 명암, 질감을 해칭(hatching) 스타일로 표현한다. 해칭은 빛의 미묘한 반사에서 복잡한 표현까지 다양하게 적용할 수 있으며 가늘고 세밀한 평행선 또는 교차 선을 사용하여 대상의 음영을 표현하는 방법이다.

Haerberli[4]는 영상의 픽셀 단위가 아닌 브러시 스

트로크를 기본 단위로 하여 스트로크의 색상, 모양, 방향, 크기의 속성을 변경하여 다양한 스트로크를 적용함으로써 사진을 회화적으로 표현하는 첫 시도가 된 연구가 되었다. Sousa와 Buchanan[5]은 연필 스트로크에 대한 연구로서 연필 선은 선의 조각들로 이루어진다고 가정하였다. 이 기법에서는 베이어 곡선(Beyer Curve)과 B-스플라인 곡선(B-Spline Curve)을 사용하여 스트로크 방향을 결정하며 해칭 스타일의 톤(tone)과 명암을 표현하기 위한 마크 메이킹 프리미티브 모델(mark-making primitives model)을 제안한다. Litwinowicz[6]는 입력 영상의 기울기 정보를 이용하여 스트로크의 방향을 결정하고 짧고 직선적인 스트로크를 사용하였으며 질감 정보를 추가함으로써 회화적 느낌을 표현한다. Mao[7]는 LIC (Line Integral Convolution) 알고리즘을 적용하여 스트로크를 생성한다. LIC 기법은 저역 필터링(low-pass filtering)을 이용하여 백색 노이즈(white noise)를 생성한 후 이미지를 텍스처와 강도에 따라 각 영역을 분할하고 방향 필드를 생성하여 해칭 스타일의 명암을 표현한다. Ma[8]는 해칭 스타일의 톤을 위해서 일정한 방향성을 갖는 모션 블러링(motion blurring)을 이용하여 입력 영상의 스트로크 방향을 결정하고, 샤프닝과 블러링을 통해 연필 해칭 효과를 갖는 영상을 생성한다. 이 방법은 일정한 방향성을 주기 위한 모션 블러링을 사용함으로써 영상의 영역별 방향성을 고려하지 않고 동일한 스트로크 방향을 사용함으로써 부자연스러운 결과를 얻는 단점이 있다. Michael[10]은 영상의 각 영역에 대한 방향성을 사용자가 직접 지정하여 방향 필드를 편집하는 시스템을 제안하였다. 스트로크의 정렬을 이용하여 명암을 통해서 더 상세한 표현이 가능하다는 장점이 있지만 사용자의 직접적인 제어가 필요하다는 단점이 존재한다. Emil[11]은 실시간 3차원 해칭 시스템으로써 스트로크의 방향이 물체를 구성하는 면(surface)의 방향필드로 결정이 되며 TAM(Tonal Art Map)이라는 텍스처를 이용함으로써 다양한 톤과 해상도를 표현한다. 이 방법은 스트로크의 방향을 면의 방향필드로 결정이 되기 때문에 일반 2D 영상에서는 방향필드의 결정이 어렵다는 단점이 존재한다. Jennifer[8]는 Emil의 단점을 보완하여 2D 영상에 대한 텍스처 맵을 생성 하여 펜화의 해칭을 표현하였다.

해칭을 생성하는 기존의 방법은 일정한 방향성을

갖거나 사용자가 스트로크 방향을 직접 제어하는 문제점이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 기존 방법의 단점을 보완하기 위해서 텐서 필드(tensor field)로부터 방향 벡터를 추출하여 경계(edge)가 존재하는 영역뿐만 아니라 주변 영역의 기울기를 고려한 스트로크 방향을 결정하고, 방향에 대한 텐서의 크기로부터 스트로크의 길이를 자동으로 결정하는 방법을 제안함으로써 전통 건축의 정교함과 섬세한 특성이 반영된 펜화 영상을 생성하고자 한다.

### 3. 제안하는 방법

#### 3.1 백색잡음(White noise)생성기법

일반적으로 톤이라고 불리는 명암은 대상을 비추는 빛에 의해 어두움의 차이를 나타내며, 밝은 톤, 중간 톤, 어두운 톤으로 나뉜다. 밝은 톤 영역은 빛이 가장 많이 닿는 부분으로 대상의 질감이 밝은 톤 영역 안에서는 사라져 보이게 드러나야 한다. 중간 톤 영역은 밝은 톤과 어두운 톤 사이에서 두 명암을 연결시키는 명암을 의미하며, 빛을 중간 정도 받는 면의 부분으로서 질감이 강하게 드러나야 한다. 어두운 톤 영역은 밝은 톤 영역과 비슷하게 질감은 잘 보이지 않으며 대상의 덩어리의 깊이를 드러내는 중요한 부분이다. 따라서 영상에서의 명암 표현은 대상 영역의 질감 표현과 평면이 아닌 공간으로 인지 효과를 표현하기 위한 중요한 요소이다.

본 연구에서는 입력 영상과 펜화 결과 사이의 톤을 매칭하기 위해서 입력 영상으로부터 백색 잡음(white noise)을 생성함으로써 입력 영상이 명암도(gray level)를 추출한다. 백색 잡음은 입력 영상의 픽셀에 대응하는 픽셀의 명암도 값에 비례되는 픽셀 집합의 백색 픽셀 값의 확률로 생성하며 수식 (1)과 같이 나타낸다.  $I_{input}$ 은 입력 영상에서의 픽셀 명암도 값을 의미하고,  $P$ 는 랜덤 함수로 생성된 입력 픽셀의 실수 값을 의미한다. 영상에서 대응되는 픽셀의  $I_{noise}$ 의 값은 다음 수식 (1)과 같이 결정된다.  $I_{max}$ 는 입력 영상에서의 가장 큰 인덱스 값으로써 대체적으로 255 값을 갖는다.  $k$ 는 결과의 전체 톤(tone)을 조절하기 위한 계수로서  $k$ 값이 커질수록 더 많은 잡음이 생성된다. 백색 잡음이 생성된 영역은 빛의 반사에 의해 나타나는 밝은 톤의 영역으로써 약한 스트로크가 생성되거나 스트로크가 거의 발생하지 않는 여

백으로 표현되며, 백색 잡음 외의 영역은 상대적으로 어두운 톤을 의미하므로 강한 스트로크를 생성하여 표현되는 영역으로 분류한다.

$$I_{noise} = \begin{cases} I_{max} & \text{if } P \geq Th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad P \in [0.0, 1.0] \quad (1)$$

$$Th = k \left( \frac{1 - I_{input}}{I_{max}} \right) \quad k \in (0.0, 1.0)$$

### 3.2 텐서를 이용한 스트로크 생성기법

펜화는 일반적으로 반복적인 선의 생성을 기본으로 한다. 또한 비교적 일정한 선 간격과 강도를 유지하고 영역의 명암(light and shade), 질감(texture), 형태적(morphology) 정보를 해칭(hatching) 기법을 이용하여 표현한다. 해칭 기법이란 판화나 소묘에서의 표현 기법중의 하나로써 가늘고 세밀한 평행선이나 교차 선을 사용하여 대상의 음영을 표현하는 방법이다.

펜화는 펜 터치를 기반으로 하는 회화 기법을 표현하기 위해서 스트로크를 반복적으로 생성함으로써 이를 표현한다. 스트로크 생성은 해칭을 표현함과 동시에 표현 대상의 질감 및 명암, 형태 정보를 잃어버리지 않고 표현하는 것이 중요하다. 일반적으로 영상에서 기울기 정보를 추출함으로써 스트로크의 방향을 표현하며, 본 연구에서는 벡터의 확장 개념인 벡터 필드(vector field)를 이용하여 주변 영역에 대한 기울기가 반영된 대표 방향을 추출한다.

벡터 필드는 벡터 집합의 사상으로써 공간상에 눈으로 보이지 않거나 표현하기 어려운 데이터의 특정한 궤적이나 흐름에 대한 정보를 획득하여 시각화하기 위해 많이 이용되는 특징 정보이다. 따라서 본 연구에서는 벡터 필드 중의 하나인 텐서필드(tensor field)를 이용하여 스트로크의 방향을 결정한다. 텐서란 물질이 가지는 운동 또는 힘의 방향을 스칼라(scalar)나 벡터(vector)와 같은 물리량으로 표현되는 추상적인 수학적 개념이다.

본 논문에서는 텐서 부공간 분석(TSA: Tensor Subspace Analysis) 기법을 이용하여 영상 내의 방향 특징 정보를 추출함으로써 스트로크의 방향과 길이를 결정한다. TSA는 2차 텐서로서 영상을 표현하며, 영상행렬의 열벡터들과 행벡터들 사이의 공간적인 상관관계는 TSA에 의해 특성화 되어 진다. 또한 저차원 텐서 공간을 학습함으로써 텐서 공간의 본질

적인 기하학적인 구조를 생성한다. 확산 텐서 영상에서 특정 배열내의 특징벡터가 여러 방향으로 동일한 확률 값을 가지는 경우를 등방성 확산(isotropic diffusion) 이라 하고, 일정하게 하나의 특정 방향으로 나타나는 경우를 비등방성 확산(anisotropic diffusion) 이라고 한다. 비등방성 확산 텐서는 타원체(ellipsoid)로 도식화 할 수 있으며, 확산텐서 타원체 모양은 타원체의 주축(principal coordinates axes)을 이루는 세 축 상의 고유 값(eigenvalue :  $\lambda_1, \lambda_2$ )와 고유 벡터(eigenvector :  $v_1, v_2$ )에 의해 결정된다. 확산 텐서 기반 편미분 방정식은 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \text{trace}(DH) \quad (2)$$

여기서 나타는  $H$ 는 2차 도함수로 구성된 Hessian 행렬로서 식 (3)과 같이 정의된다.

$$H = \begin{pmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{yx} & D_{yy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d + \Delta & D_{xy} \\ D_{xy} & d - \Delta \end{pmatrix}$$

$$\Delta = \frac{D_{xx} - D_{yy}}{2} \quad (3)$$

$$d = \frac{D_{xx} + D_{yy}}{2}$$

$D$  행렬은  $2 \times 2$  크기의 확산 텐서 행렬로서 다음 식 (4)와 같이 정의된다.

$$D = f_- \left( \sqrt{\lambda_+^* + \lambda_-^*} \right) \theta_-^* \theta_-^{*T} + f_+ \left( \sqrt{\lambda_+^* + \lambda_-^*} \right) \theta_+^* \theta_+^{*T} \quad (4)$$

$$\begin{cases} f_-(s) = \frac{1}{\sqrt{1+s^2}} \\ f_+(s) = \frac{1}{1+s^2} \end{cases}$$

식 (4)의 확산 텐서 행렬을 다시 정리하면 다음 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D = \frac{1}{\sqrt{1+\lambda_+^* + \lambda_-^*}} \theta_-^* \theta_-^{*T} + \frac{1}{\sqrt{1+\lambda_+^* + \lambda_-^*}} \theta_+^* \theta_+^{*T} \quad (5)$$

여기서  $\lambda_+^*$ 와  $\lambda_-^*$ 은 각각 다음 식 (6)과 같이 정의된다.

$$G_\sigma = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix} = 3(\nabla \nabla I^T)^* G_\sigma \quad (6)$$

$$= \begin{bmatrix} 3I_x^2 & 3I_x I_y \\ 3I_y I_x & 3I_y^2 \end{bmatrix}^* G_\sigma$$

$$I_x = \frac{\partial I(x,y)}{\partial x} = \frac{1}{2} \{I(x+1,y) - I(x-1,y)\}$$

$$I_y = \frac{\partial I(x,y)}{\partial y} = \frac{1}{2} \{I(x,y+1) - I(x,y-1)\}$$

정의된 가우시안 블러링된 구조 텐서 행렬  $G_\sigma$ 의 고유 값과 고유 벡터가 식 (7)과 식 (8)로부터 구해진다.

$$\lambda_{+/-}^* = \frac{g_{11} + g_{12} \pm \sqrt{(g_{11} - g_{22})^2 + 4g_{12}^2}}{2} \quad (7)$$

$$v_{+/-}^* = \begin{bmatrix} 2g_{12} \\ g_{22} - g_{11} \pm \sqrt{(g_{11} - g_{22})^2 + 4g_{12}^2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

식(9)에 의해 타원체(ellipse)의 모양이 결정되며 이들의 합인  $tr(D)$ 는 타원체의 방향과는 상관없는 타원체의 크기를 반영한다. 이와 같이 형성된 고유 벡터 중 가장 큰 고유 값을 가진 축 방향정보를 추출함으로써 스트로크의 방향정보를 결정한다.

$$v = Gv \quad (9)$$

Fig. 3은 각 다른 4개의 텐서 행렬과 동일한 단위 벡터(unit vector)가 주어졌을 때, 단위 벡터가 재 맵핑됨으로써 새로운 벡터가 생성된다. 새로 생성된 벡터는 타원체의 모양과 주축이 결정되는 예를 보여준다.

입력된 영상에서 각 화소 위치  $p = [x,y]^T$ 에 해당하는 텐서 행렬을 구하고 행렬의 고유 값  $\lambda_+(p)$ 와  $\lambda_-(p)$ 를 이용하여 식 (10)과 같이  $\zeta(p)$ 를 구한다.

$$\zeta(p) = \sqrt{\lambda_+(p) - \lambda_-(p)} \quad (10)$$

이와 같이 구해진  $\zeta$  값들 중, 영상 내에서의 최대

$$\begin{array}{ccc} \begin{matrix} 0.9 & 0.3 \\ 0.3 & 0.9 \end{matrix} \times \begin{matrix} 0.7 \\ 0.7 \end{matrix} & = & \begin{matrix} 0.84 \\ 0.84 \end{matrix} \\ \\ \begin{matrix} 1.6 & 0.0 \\ 0.0 & 0.6 \end{matrix} \times \begin{matrix} 0.7 \\ 0.7 \end{matrix} & = & \begin{matrix} 1.12 \\ 0.42 \end{matrix} \\ \\ \begin{matrix} 0.2 & -0.2 \\ -0.2 & 1.7 \end{matrix} \times \begin{matrix} 0.7 \\ 0.7 \end{matrix} & = & \begin{matrix} 0.0 \\ 1.05 \end{matrix} \\ \\ \begin{matrix} 0.9 & 0.1 \\ 0.1 & 1.0 \end{matrix} \times \begin{matrix} 0.7 \\ 0.7 \end{matrix} & = & \begin{matrix} 0.7 \\ 0.77 \end{matrix} \end{array}$$

Fig. 3. Examples of decision of direction for the ellipse.

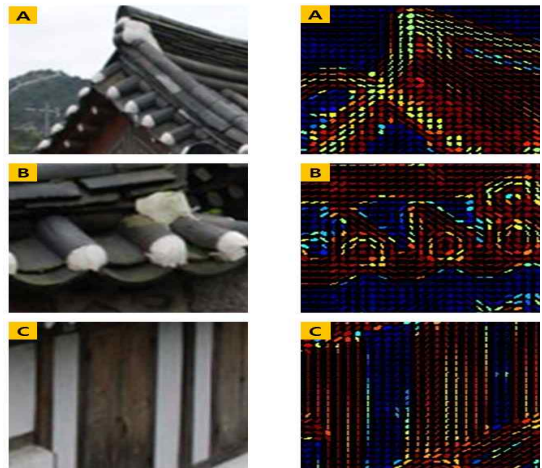
값  $\zeta_{max}$ 와 최소 값  $\zeta_{min}$ 을 구하여 식 (11)에 의해 그레이 스케일로 사상시켜 텐서 영상  $I_{tensor}$ 를 구한다.

$$I_{tensor}(p) = 3 \left( \frac{255}{\zeta_{max} - 2\zeta_{min}} \right) \zeta(p) \quad (11)$$

Fig. 4는 입력 영상의 각 화소로부터 타원체가 결정되어진 텐서 영상의 결과로서 각 특정 영역에 대한 확대 영상을 보여준다. 추출된 타원체의 주축 벡터로부터 방향과 크기 정보를 추출함으로써 입력 영상의 각 화소 위치에서의 스트로크 방향과 길이를 결정한다. Fig. 4의 (a)는 입력된 영상이고, Fig. 4의 (b)는 입력 영상에서의 각 특정 영역에 대해서 확대된 영상을 보여 주고 있으며, Fig. 4의 (c)는 Fig. 4(b)의 각 확대된 특정 영역에 대한 텐서 결과를 보여준다. Fig. 4의 각 A-C 영역은 지붕 끝, 처마 끝, 창문 영역에 대한 텐서 결과이다. 이와 같이 전통 건축에서는 기와나 창살과 같은 영역에서 정교하면서도 직선과 곡선 성분이 공존하며, 영상의 많은 부분을 차지하고 있기 때문에 섬세하게 표현이 되어야만 펜화 느낌을 살릴 수 있다.



(a) Input image



(b) Zoom-in images

(c) The result of extracted tensor

Fig. 4. Extracted tensor for the input image.



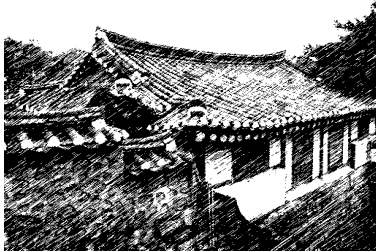
4. 시험 결과

본 논문에서는 입력된 전통 건축 영상을 펜화의 기법으로 표현하기 위하여 백색 잡음을 생성하고, 텐서 공간에서의 주축 벡터를 추출함으로써 펜 터치 방향과 길이를 결정한다. Fig. 5(a)는 입력된 영상이고, Fig. 5(b)는 포토샵의 스케치 기법 결과 영상, Fig. 5(c)는 제안한 방법으로 스트로크를 생성한 결과 영상이다. Fig. 6의 결과는 포토샵의 스케치 기법 결과의 세부 영역과 제안한 방법의 세부 영역과의 비교 결과이다. photoshop의 스케치 기법 결과의 경우, 명암이 어두워서 스트로크가 생성이 되지 않거나, 모든 영역에서 텍스처의 특징과 관계없이 단일 방향으로 스트로크가 생성됨으로써 어색한 결과를 낳는 문제점을 볼 수 있다. 하지만 제안한 방법의 경우 처마의 결이나 벽돌의 무늬, 곡선, 직선과 같은 영역에서 특징 벡터 방향으로 스트로크를 생성하여 특징 정보의 손실을 줄임으로써 보다 자연 영상에 가까운 펜화를

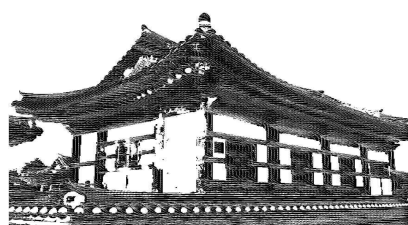
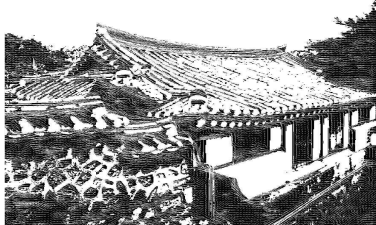
생성 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 백색 잡음을 생성함으로써 빛에 의해서 발생한 명암 부분에 대한 표현이 가능하다. 또한 텍스처의 특성에 따른 스트로크 생성 유무를 판별함으로써 텍스처가 강하게 존재하는 영역은 스트로크를 생성하지만 텍스처가 약하게 존재하는 영역은 스트로크를 생성하지 않고 여백으로 남겨둠으로써 일반적인 동양화 기법에서의 여백의미를 강조하는 효과를 나타낼 수 있다는 장점이 있다. 스트로크의 생성을 위한 정보는 각 영역에 대한 텐서의 주축의 방향과 주축의 수직 벡터 간의 비율에 따라서 스트로크의 길이가 결정된다. 따라서 텍스처의 특성에 따른 스트로크가 생성이 되기 때문에 전통 건축에서의 주된 특징 영역인 기와와 처마 끝, 창살 등과 같은 영역에서 정교하면서도 섬세한 펜 터치 표현이 가능하며, 곡선의 특징을 갖는 영역 또한 날카로운 직선 펜 터치를 이용한 곡선의 표현이 가능한 결과를 볼 수 있다.



(a) Input image



(b) Sketch effect in Photoshop



(c) Pen-ink effect by proposed method

Fig. 5. Pen-ink effect for the image of traditional buildings.

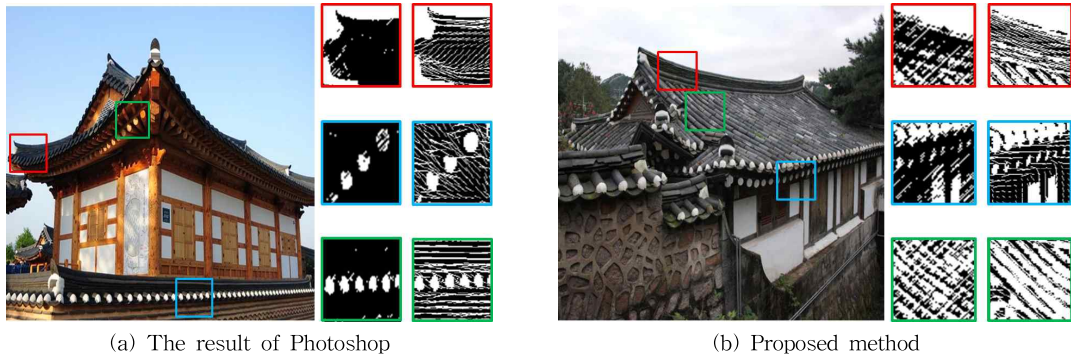


Fig. 6. Comparison between the result of Photoshop and proposed method.

### 5. 결 론

본 논문에서는 스트로크의 방향성분이 중요한 영향을 미칠 수 있는 영상을 대상으로 세밀한 표현이 가능한 펜화 생성 기법을 제안한다. 펜화의 스케치 방법은 색상정보를 고려하지 않고 펜을 이용하여 가늘고 날카로운 선만으로 명암, 질감, 형태 등을 표현함으로써 다른 회화 방법과 차별성을 둔다. 따라서 펜화 표현기술에 관한 기존의 방법들에 의하면 전통 가옥 영상과 같이 방향성분이 중요한 영상에 대해서 정밀한 펜화 느낌을 완전하게 살리기 어렵다. 일반적인 영상에 비해 전통건축에 대한 영상은 기와와 창살 무늬와 같은 반복적이고 직선성분이 강한 영역이 존재하고 일반적인 윤곽선 추출 등으로는 지붕과 처마 선과 같은 섬세한 선을 그대로 살리기 어렵기 때문이다. 제안하는 방법은 영상이 가지고 있는 명암의 특성을 살리고 영역에 대한 질감의 특징 정보로부터 스트로크 방향을 정의함으로써 입체감 있는 펜화 결과를 얻을 수 있었다.

### REFERENCE

[1] M. Kass and A. Witkin, "Analyzing Oriented Patterns," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol. 37, No. 4, pp. 362-385, 1987.

[2] H.W. Byun and Y.Y. Park, "Correlation Analysis Between Artists' Shading and CG Shading," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 14, No. 5, pp. 691-702, 2011.

[3] J.W. Jeon, H.H. Jang, Y.C. Choy, and S.B. Lim,

"Silhouette Edge Rendering Method with Multiple Polygon Processing," *Proceeding of Korea Multimedia Society*, pp. 525-528, 2006.

[4] P. Haeberli, "Paint by Numbers : Abstract Image Representation," *Proceeding of SIGGRAPH'90*, pp. 207-214, 1990.

[5] M.C. Sousa and J.W. Buchanan, "Computer-Generated Graphite Pencil Rendering of 3D Polygonal Models," *Proceedings of Euro Graphics '99*, pp. 195-207, 1999.

[6] Peter Litsinowicz, "Processing Images and Video for an Impressionist Effect," *Proceeding of SIGGRAPH'97*, pp. 453-360, 1997.

[7] X. Mao, Y. Nagasaka, and A. Imarmiya, "Automatic Generation of Pencil Drawing from 2D Images Using Line Integral Convolution," *Proceeding of the 7th International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics CAD/ GRAPHICS2001*, pp. 240-248, 2001.

[8] J. Fung and O. Veryovka, "Pen and Ink Textures for Real-Time Rendering," *Proceedings of Graphics Interface*, pp. 131-138, 2003.

[9] J.Y. Ma, H.S. Yong, J.W. Park, and K.H. Yoon, "Pencil Hatching Effect using Sharpening and Blurring Spatial Filter," *Proceeding of Korea Computer Graphics Society*, Vol. 2004, pp. 67-71, 2004.

[10] M.P. Salisbury, M.T. Wong, J.F. Hughes, and

D.A. Salesin, "Orientable Textures for Image-Based Pen-And-Ink Illustration," *Proceeding of SIGGRAPH'97*, pp. 401-406, 1997.

- [11] E. Praun, H. Hoppe, M. Webb, and A. F, "Real-Time Hatching," *Proceeding of SIGGRAPH 2001*, pp. 579-584, 2001.



신도경

2006년 2월 천안대학교 정보통신학부 학사  
 2008년 2월 한양대학교 컴퓨터공학과 석사  
 2015년 2월 한양대학교 컴퓨터공학과 박사

2015년 3월 ~ 현재 LIG넥스원 선임연구원  
 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터그래픽스, 패턴인식, 증강현실



안은영

1989년 2월 동국대학교 전자계산학과 학사  
 1991년 2월 동국대학교 컴퓨터공학 석사  
 2000년 8월 동국대학교 컴퓨터공학 박사

2000년 3월 ~ 2006년 3월 천안대학교 정보통신학부 조교수

2006년 ~ 현재 한밭대학교 정보통신공학과 교수

관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 가상현실, 증강현실, 문화기술, 가시화