

촉감을 이용한 판화와 탁본 기법의 가상 시뮬레이션

이동욱 박예슬[○] 박진아

한국정보통신대학교

aalee@icu.ac.kr, ystopia@icu.ac.kr jinah@icu.ac.kr

Virtual Engraving and Frottage Simulation with Haptic Feedback

Dongwook Lee Yeseul Park[○] Jinah Park

Information and Communications University

요 약

현대 그래픽스 장치의 발전은 수년전까지 Pre-Rendered 방식을 사용해서 볼 수 있었던 영상들을 Real-Time Rendering을 통해 실시간으로 인터랙티브하게 제공하고 있다. 이러한 장치의 발전은 게임, 시뮬레이션, 미디어 아트 등의 많은 분야에서 변화를 불러 일으켰으며, 앞으로도 많은 변화를 촉진시킬 것이다. 이러한 변화 중 하나로 기존까지 실시간으로 영상을 생성하기 힘들었던 분야 중의 하나인 미술 기법들의 실시간 재생이 가능해졌다. 본 논문은 미술 기법 중 판화기법과 탁본기법을 가상의 환경에서 모사할 수 있는 어플리케이션인 Virtual Engraving 과 Virtual Frottage를 제안한다. Virtual Engraving은 3차원 공간상의 가상의 물체에 대해 3차원 입출력장치와 Bump Mapping을 이용하여 조각행위에 대한 경험을 사용자에게 제공하며, Virtual Frottage는 탁본의 대상을 영상으로 받아들이어 영상 처리 기법과 Pixel Shader를 통한 렌더링을 통하여 사용자에게 흥미로운 프토타주 기법의 경험을 제공한다. 두 어플리케이션 모두 시각적인 정보를 통해 사용자에게 미술 기법의 경험을 제공하며, Virtual Engraving의 경우 3차원 입출력장치를 통해 촉각적인 정보를 제공하였고 Virtual Frottage 역시 촉각 피드백을 제공할 수 있도록 연구 중이다. 이러한 미술 기법의 모사 연구는 사용자에게 보다 더 실감적인 경험뿐만 아니라 실 공간에서는 가능하지 않은 여러 효과를 제공할 수 있다.

1. 서 론

현대 컴퓨터 그래픽스 장치와 컴퓨터 연산속도의 발전은 실제 미술 기법을 가상적으로 모사하려는 여러 그래픽스 기법들이 보다 현실적이고 세밀한 이미지 및 영상들을 생성할 수 있는 길을 열어주고 있다. 이러한 그래픽스 기법들은 수채화, 유화, 판화 등 여러 가지 미술 기법들의 붓이나 유체의 움직임을 물리적으로 모사함으로써 시각적인 정보로 결과를 도출하려는 목적을 가지고 있다. 이와 같은 시각적 정보를 통한 미술 기법의 모사 방법뿐만이 아니라 인간의 감각 중 촉각에 기반하는 미술 기법 모사 방법 또한 여러 방법으로 제안되고 있다. 특히 스타일러스 인터페이스를 이용하여 촉각적 피드백을 경험할 수 있는 지렛대 방식의 햅틱 장치의 경우에 이를 이용한 다양한 접근이 가능하다. 실제로 지렛대 방식의 햅틱 장치 중 대표적으로 알려져 있는 PHANTOM 장치는 미술기법의 가상 체험에서부터 가상 수술 등 3차원 입력장치 및 촉각 피드백장치로 다양하게 사용되고 있다.

사용자에게 미술 기법을 경험할 수 있도록 하는 연구는 우선적으로 시각적 정보의 제공이 주된 목표가 된다. 이에 추가적으로 사용자에게 촉각적 정보를

제공함으로써, 그 경험을 보다 극대화하는 방법들 또한 다양한 방법으로 제안되고 있다. 본 연구에서 우리는 실제 존재하는 미술 기법들 중 판화기법인 Engraving과 탁본기법인 Frottage를 가상의 환경에서 구현하여 사용자에게 실제와 유사한 경험을 제공하고자 하였다.

1.1. 시각적 정보를 이용한 기법

실제 미술 기법인 수채화, 유화, 스케치, 수묵화 등을 가상공간 상에서 나타내기 위한 접근방법은 크게 시뮬레이션과 NPR (Non-Photorealistic Rendering) 기법으로 구분할 수 있다. 시뮬레이션의 경우 실제 미술 기법 요소들의 물리적인 움직임을 기반으로 시각적 효과를 생성하며, 복잡한 알고리즘과 비교적 많은 량의 계산을 필요로 하지만 사실적인 물성을 고려한다는 장점을 가지고 있다. 시뮬레이션의 대표적인 예로는 수채화 또는 유화에서 사용되는 물감과 물이 종이의 물리적인 요소들에 어떻게 반응하는지를 시뮬레이션하여 시각적 정보를 나타내는 예로 MoXi[1]가 있다. 이 연구는 동양의 붓과 먹을 통한 미술 기법의 시뮬레이션을 목표로 하였으며, 흡수력이 있는 종이에 잉크가 닿았을 때 분산되는 물리적인 원리들을 렌더링에 적용시키고 있다. 이와 비슷한 예로 Sousa 와

Buchanan[2]의 경우 연필과 종이간의 물리적인 움직임을 3차원적으로 구성 및 시뮬레이션 하여 시각적 정보를 제공하고자 하였다.

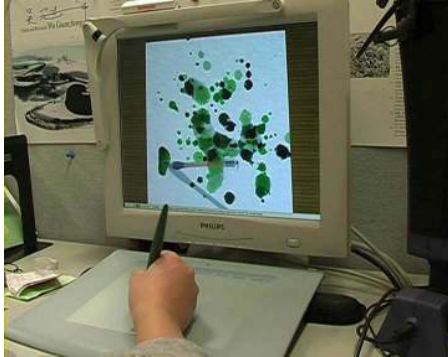


그림 1. 미술 효과의 시뮬레이션 예 (Moxi) [1]

이에 반하여 시뮬레이션과 구별할 수 있는 NPR의 경우에는 미술적인 효과를 시각적인 결과로 나타내는데 치중하며, 물리적인 접근을 비교적 배제하여 실시간 효과에 중점을 두고 있다. NPR 기법으로는 스타일을 중시하여 표현하는 Painterly Rendering, Pen-and-Ink 등 다양한 연구가 있다. [3]

1.2. 촉각적 정보를 추가적으로 이용한 기법

앞서 언급한 예들은 미술 기법을 시각적으로 제공하는 것에 그 목적을 두고 이를 위해서 시각적 정보의 생성에 연구의 중점을 두었다. 이와는 다르게 사용자의 미술 기법의 경험에 중점을 둬서 따라 사용자에게 시각적 정보와 함께 촉각적 정보를 같이 제공하는 시도를 찾아 볼 수 있다. 이러한 접근의 경우 대부분이 사용자에게 촉각을 제공하기 위해 추가적인 촉각 피드백 장치를 사용하는데, 미술기법의 모사라는 측면에 있어 실제 미술도구와 비슷한 펜 스타일의 촉각적 장치들을 많이 사용한다. 입력 장치 또한 위의 예와는 다르게 3차원 장치들을 주로 사용하며 이에 따라 사용자의 입력 자유도가 크게 상승하는 것을 볼 수 있다. 따라서 사용자에게 제공할 수 있는 미술 기법의 종류가 보다 더 다양해질 수 있다. 대표적인 예가 가상공간에서 3차원 점토를 조작하는 Virtual Clay [4]는 3차원 공간상의 점토를 물리적 모델을 시뮬레이션 함으로써 사용자에게 실제 점토의 조작의 경험을 제공한다. 이와는 다르게 3차원 공간상에서의 조작이 아닌, 2차원 공간상에서의 조작에 대해 초점을 맞추고 이를 보다 더 세밀하게 하기 위해서 3차원 입출력장치를 사용하는 경우도 있다. 이 경우 실제 미술 기법을 수행할 때 경험할 수 있는 붓의 끌림이나, 접촉면의 느낌 등을 제공할 수 있다 [5].

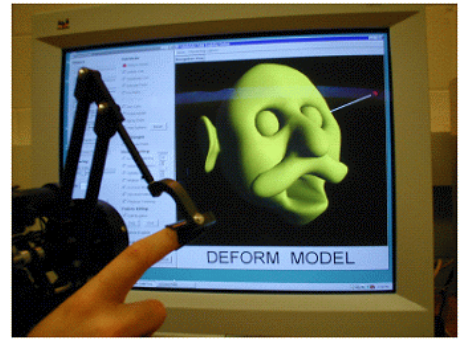


그림 2. 3차원 공간상의 물체 조작의 예 (Virtual Clay) [4]

1.3. 본 연구에서 다룬 미술 기법

본 연구의 목표는 미술의 판화와 탁본기법을 시각적 효과로서 시뮬레이션 하고자 하며, 이러한 기법들의 시뮬레이션과 더불어 촉각적 정보를 제공하고자 하였다. 즉, 시각적 효과를 구현함에 있어 시뮬레이션으로 Virtual Engraving과 Virtual Frottage를 구현하였으며 현실적이고 세밀한 인터랙션을 제공하기 위해 PHANToM Omni와 같은 햅틱 피드백 장치를 이용하여 촉각적 정보를 동시에 사용자에게 전달한다.

Virtual Engraving은 미술의 판화 기법을 시뮬레이션 하기 위해 Omni를 통해 가상으로 판에 조각을 내어 그림을 그리고 그 결과물로서 접촉이 있는 곳은 파이게 되어 그림자를 가지는 시각적 효과를 얻는다. Virtual Frottage는 탁본기법으로 오브젝트의 양각과 음각을 이용하여 오브젝트의 모습을 연필이나 크레파스와 같은 미술 도구를 이용, 종이 위에 전사하는 미술 기법을 가상공간에서 새롭게 재현할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

Virtual Engraving과 Virtual Frottage 시스템을 설명하기 위해, 먼저 구현된 내용을 설명하고 햅틱 장치의 활용, 각 시스템의 전체 구성도를 보일 것이며, 각 구성요소들의 역할과 연결 관계에 대해서 언급하도록 하겠다. 마지막으로 각 시스템에 의한 결과물을 제시한다.

2.1. 시스템 구성도 및 구현

2.1.1. Virtual Engraving

Virtual Engraving은 3차원 햅틱 입출력장치를 이용, 3차원 공간상에서 가상의 물체와 상호작용하는 어플리케이션이다. 가상의 3차원 물체가 존재할 때, 3차원 움직임이 가능한 입력장치로 그 물체의 표면에 접촉함으로써 3차원 물체의 표면을 조각하는 경험을

사용자에게 제공하는 기능을 갖는다. (그림 7 참고) Virtual Engraving은 크게 Texture Manipulator, Object Renderer, Collision Manager의 3가지 부분을 통해 구현되어 있는데, OpenGL을 이용하여 시각적인 효과를 제공하였으며, OpenHaptics를 이용하여 촉각적인 피드백을 생성하였다.

2.1.1.1. Texture Manipulator

Virtual Engraving에서 제공하는 조각 경험의 시각적 효과는 Bump Mapping을 기반으로 제공된다. 사용자가 움직이는 3D 커서가 가상의 오브젝트와 부딪칠 경우, 3차원 오브젝트의 폴리곤 내부에서 커서의 상대적인 위치를 찾아 그 부분의 노말 맵 텍스처에 커서의 모양을 그려주게 된다. 이렇게 수정된 노말 맵을 기반으로 Object Renderer에서는 Bump Mapping을 적용함으로써, 시각적인 조각 효과를 낼 수 있다.

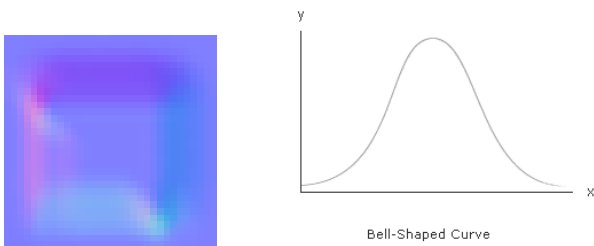


그림 3. 커서 텍스처와 외곽 조정 그래프

그림 3은 노말맵에 적용되는 커서 텍스처를 보이고 있다. 어플리케이션 초기의 3차원 오브젝트의 노말맵은 기본값인 128, 128, 255의 값을 가지고 있다. 3차원 커서가 오브젝트의 표면과 접촉할 경우 오브젝트의 노말맵에 그림 3의 왼쪽의 커서 텍스처가 그려지게 된다. 커서 텍스처의 사이즈는 48 pixel X 48 pixel 이며, 커서 텍스처의 외곽 부분의 수치 조정은 그림 3의 오른쪽에 보이는 커브를 통해 계산하였다.

2.1.1.2. Object Renderer

Object Renderer는 3차원 오브젝트를 3차원 공간상에서 렌더링하는 것을 그 목적으로 가진다. 여기에 추가적으로 매 프레임마다 변경되는 오브젝트의 노말맵을 기반으로 Bump Mapping을 적용시켜 주는 역할을 가지고 있다. 3차원 오브젝트의 렌더링은 3차원 공간상에서 오브젝트를 렌더링 하였으며, Pixel Shader를 기반으로 Bump Mapping을 구현하였다.

2.1.1.3. Collision Manager

Collision Manager는 3차원 입력장치의 움직임을 제어하고 관리한다. 본 연구에 사용된 3차원

입력장치는 햅틱 피드백을 제공할 수 있는 PHANToM Omni 장치에 대한 전반적인 제어를 관리하는 모듈이며 이와 더불어 가장 큰 역할인 3차원 오브젝트와 3차원 입력장치간의 충돌 또한 관리한다. 3차원 오브젝트에 대해 3차원 입력장치를 움직여 부딪칠 경우, 사용자에게 제공될 힘의 크기와, 3차원 커서의 위치에 대한 계산이 Collision Manager를 통해 진행된다. 3차원 커서와 3차원 오브젝트간의 충돌의 계산은 그림 4와 같은 방식으로 계산되며, 이후 3차원 입력장치의 커서의 움직임도 그림 4에서와 같은 방식으로 보정된다. 이를 통해서 사용자는 3차원 입력장치를 통해 조각 행위에 대한 촉각적인 경험을 체험할 수 있게 된다.

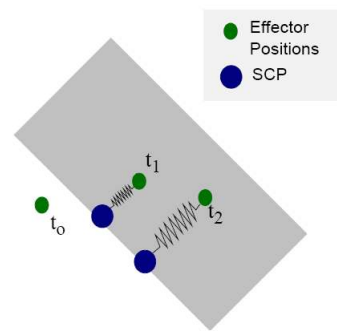


그림 4. 충돌계산 [6]

그림 4의 SCP(Surface Contact Point)는 End-Effector Position에 이끌려 따라가는 포인트로 오브젝트의 표면에 제약을 받는다. 오브젝트에 부딪혔을 때, SCP는 표면을 방해하지 않고 End-Effector Position을 향하여 움직이는 마지막 SCP에 의해서 계산된다. 또한 힘은 End-Effector Position에서 SCP까지 잡아당겨진 스프링의 시뮬레이션에 의해 계산된다. t0는 입력장치의 커서가 되며, 스프링은 t2에서 더 많이 잡아당겨져 사용자는 t1에서보다 더 강한 저항력을 느끼게 된다.

2.1.2. Virtual Frottage

가상의 3차원 공간상에서 마우스를 통해 탁본기법을 경험해 볼 수 있는 Virtual Frottage는 크게 Object Captor, Scratch Processor, Frottage Renderer의 3가지 부분으로 구성되어 있다. Object Captor를 통해 오브젝트의 영상을 촬영, 프로타주 기법에 사용되는 Height Map을 생성하며, Scratch Processor를 통해 종이, 연필, 오브젝트들 간의 물리적 움직임을 모사한다. 여기서 생성된 Processed Map은 Frottage Renderer에 전달되어 최종 렌더링 된 이미지를 생성한다. Virtual Frottage는 DirectX를 이용하여 시각적 효과를 표현한다.

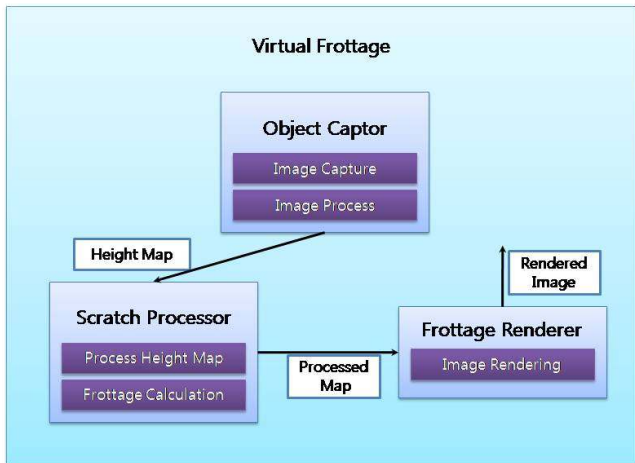


그림 5. Virtual Frottage 시스템의 전체 구성도

2.1.2.1. Object Captor

Object Captor의 역할은 카메라를 이용한 실제 오브젝트의 촬영과 촬영된 이미지에 기반하여 Height Map을 생성하는 것이다. Height Map은 촬영된 오브젝트에 영상처리를 적용시켜서 생성한다. 영상처리를 위해 OpenCV를 이용, Gaussian Filter와 Laplace, Canny Filter를 적용, 영상의 외곽선을 추출하였다. 생성된 Height Map은 0부터 255까지의 값을 가지고 있으며, 완전히 평평한 부분이 0을 굴곡이 심한 부분이 255의 값을 가진다.



그림 6. 촬영 이미지와 Height Map 생성을 위하여 영상 처리된 가상 탁본 대상물

2.1.2.2. Scratch Processor

Scratch Processor는 Object Captor로부터 넘어온 Height Map을 기반으로, 프로타주 기법을 모사하는 역할을 가지고 있다. 커서의 위치를 연필과 같은 미술 도구의 위치로 사용, 커서가 클릭 되었을 때, Height Map에서의 커서의 위치에 대해서 Processed Map의 값을 계산한다. Processed Map은 Height Map과 같은 크기를 가지며, 이 또한 0부터 255까지의 값을 가진다. Processed Map의 계산은 현재 Processed Map의 값, 즉 이전에 칠해진 값과, 현재 선택되어 있는 연필의 강도 및 분포에 따라서 값이 정해진다. 종이 질에 의한

계산은 Frottage Renderer 부분에서 실제 색을 적용 시키면서 수행된다.

2.1.2.3. Frottage Renderer

Scratch Processor에서 생성된 Processed Map은 Frottage Renderer를 통해 실제 색을 가지게 된다. 이 부분에서 종이가 가지는 값, 연필의 색 그리고 Processed Map의 값을 계산하여 사용자에게 보여질 실제 픽셀값을 계산한다. 이를 위해서 픽셀 셰이더를 사용, 시각적 효과를 보다 사실적으로 생성하고자 하였다. 또한 2가지의 다른 렌더링 타입을 이 부분에서 적용, 다양한 효과를 구현하였다. 첫 번째 효과는 보통의 프로타주를 모사한 것으로 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Object Height Map: } h$$

$$\text{Paper Property: } p$$

$$\text{Stroke Property: } s$$

$$\text{Pixel Value} = s * h + s * p * \text{weight}$$

카메라를 통해 촬영한 오브젝트의 하이트 맵인 h값과 펜의 스트로크 강도인 s값을 곱한 값을 종이가 가지고 있는 질감에 따른 값, 펜의 강도 그리고 가중치의 세 값을 곱한 값에 더함으로써 실제 프로타주 효과를 간단하게 모사하였으며 이 값을 통해, 최종 화면에 재생될 픽셀의 값을 계산한다.

두 번째 효과는 보다 간단한 계산식으로 번짐의 효과를 두드러지게 나타낸 효과이다. 먹지를 사용했을 때와 비슷하게 펜의 번짐을 강하게 나타낸다. 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Object Height Map: } h$$

$$\text{Paper Property: } p$$

$$\text{Stroke Property: } s$$

$$\text{Pixel Value} = s * h * \text{constant value} + s * p$$

위 식은 첫번째 식과는 다르게 상수 값을 펜과 오브젝트의 하이트 맵에 적용시켰다. 펜의 움직임이 강하게 나타내기 위해 가중치 값을 제하고 상수 값을 곱하였다.

2.2. 햅틱 장치의 활용

햅틱 장치는 힘피드백 장치로 쓰이는 Omni를 적용하여 3차원 출력으로 얻게 되는 결과값을 토대로 촉각적 효과를 나타내고 있다. 이는 SensAble

Technologies PHANToM® Omni™ 제품으로 가상 오브젝트들을 사용자가 터치하고 조절 가능하게 하는 햅틱 장치 중의 가장 효율적인 비용을 갖는 장비이다. 손목을 피봇으로 한 손의 움직임이 가능한 범위 내에서 움직일 수 있고 위치 감지는 x, y, z, pitch, roll, yaw의 6자유도를 갖고, 힘피드백을 x, y, z값, 즉 3차원으로 갖는다. 또한 PHANToM® Desktop™보다 비용면에서는 훨씬 절약적인 특성이 있다.

그림 7은 PHANToM Omni를 사용하여 가상 꽃병에 Virtual Engraving을 하고 있는 모습이다. PHANToM Omni를 통해 커서 모양이 노말 맵에 그려지고, 이것을 기반으로 Bump Mapping을 적용시키면 꽃병 표면에 Engraving 표현이 가능하다.

본 연구에 적용시키고자 하는 다른 햅틱 장치로는 “ActivePen”이라고 명명되어진 펜 기반의 햅틱 장치가 있다. 이 장치는 현재 한국정보통신대학교 HCI랩에서 개발완료된 장치로, 사용자에게 펜촉을 이용한 햅틱 피드백을 제공할 수 있는 장치이다. 현재 개발된 Virtual Engraving과 Virtual Frottage 어플리케이션에 적용시킬 예정이며, 펜촉을 이용하는 장치의 특성 상, Virtual Engraving 어플리케이션에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

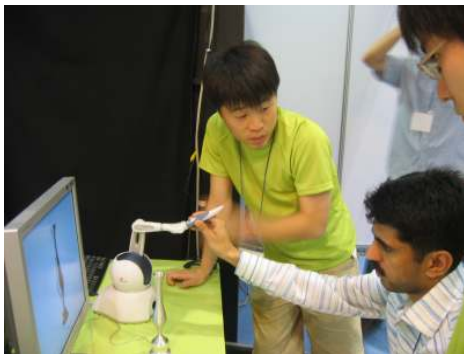


그림 7. PHANToM® Omni™와 연동된 Virtual Engraving 시물레이션

2.3. 결과

미술 기법을 가상 환경을 통해 사용자로 하여금 경험할 수 있게 하기 위한 연구 결과로써 Virtual Engraving과 Virtual Frottage가 개발되었다. 그림 7은 Virtual Engraving이 3차원 입출력장치인 PHANToM Omni장치와 함께 연동되어 작동되는 모습을 보인다. 그림 8은 가상공간의 3차원 꽃병에 Virtual Engraving을 적용시켜 파여진 효과를 얻은 결과이다. 그림 9는 Virtual Frottage의 결과를 보여주고 있으며, 그림 10에서 보여주는 프로타주에 적용되는 대상, 종이의 속성, 실시간으로 사용자가 움직인 스트로크의 모양의 세가지 요소를 통해 결과물을 시물레이션한다.

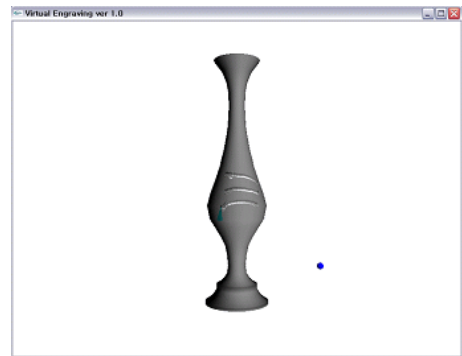


그림 8. Virtual Engraving 결과



그림 9. Virtual Frottage 결과

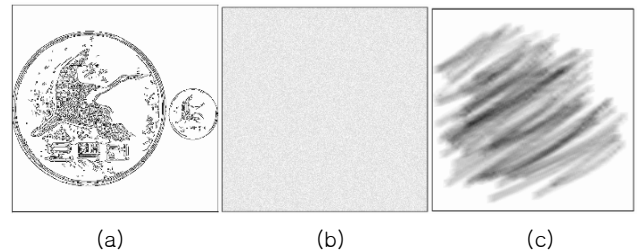


그림 10. (a) 프로타주에 적용되는 대상, (b) 종이의 속성, (c) 사용자가 실시간으로 움직인 스트로크의 모양

시각적 효과를 특화시키기 위하여 프로타주 펜의 색, 프로타주 펜의 크기, 프로타주 펜의 강도와 같은 요소들을 제어할 수 있게 함으로써, 보다 흥미로운 프로타주 기법을 체험할 수 있도록 하였다. 또한 먹지와 비슷한 렌더링 스타일을 추가적으로 적용하여, 사용자에게 다양한 효과를 제공한다. 그림 11은 Virtual Frottage의 여러 요소들의 조정에 따라 달라지는 렌더링 화면을 보이고 있다.

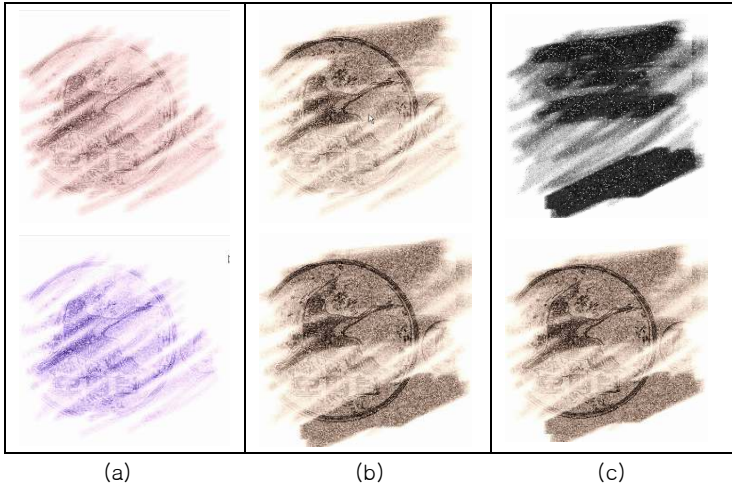


그림 11. (a) 색 조절, (b) 펜 타입(위: 펜 사이즈, 아래: 강도), (c) 렌더링 스타일(위: 먹지, 아래: 프로타주)

3. 결 론

본 연구를 통해 우리가 사용자에게 제공하고자 하는 것은 앞서 언급한 바와 같이 시각적 정보와 촉각적 정보를 함께 제공함으로써 가상공간에서 판화와 프로타주 기법의 수행을 경험하게 하는 것이었다. 이를 위해서 우리는 Omni을 이용한 가상공간상에서의 판화와 프로타주 기법을 구현하였다.

Virtual Engraving과 Virtual Frottage는 크게 가상공간상에서의 미술 기법 경험이라는 측면과 가상의 물체에 대한 미술 기법 경험에 의의를 가지고 있다. 따라서 실 공간에서 가능하지 않은 미술적 체험을 새롭게 가상공간을 이용하여 교육과 더불어, 미술적 효과를 위한 도구로서의 확장방안을 가질 수 있다.

또한 Virtual Engraving과 Virtual Frottage의 연관적 미술기법을 응용하여 가상의 조각 칼로 판화를 그리고 이의 결과를 프로타주 방법으로 출력해 볼 수 있도록 연계시킨 경험을 촉각적 효과와 함께 제안할 연구방안을 모색하고 있다. 이 두 가지 기법의 연계적 방안은 가상공간에서 판화를 그리고 출력하는 과정을 체계적으로 체험할 수 있는 미술 교육의 도구로써 사용될 수 있으며, 그 외에도 다양한 가상적 미술 활동에 적용 가능할 것으로 기대된다.

4. 사사

본 연구는 한국정보통신대학교 디지털 미디어 연구소 지원으로 수행되었다.

5. 참고 문헌

[1] Nelson S.-H. Chu, Chiew-Lan Tai, Moxi: Real-Time Ink Dispersion in Absorbent Paper, ACM

Transactions on Graphics, Vol. 24, No. 3, August 2005.
 [2] Sousa, M. C. and Buchanan, J. W., Observational Model of Graphite Pencil Materials, Computer Graphics Forum, 2000
 [3] Bruce Gooch and Amy Gooch, Non-Photorealistic Rendering, A K Peters, Ltd., 2001
 [4] Kevin T. McDonnell, Hong Qin and Robert A. Wlodarczyk: Virtual Clay: A Real-time Sculpting System with Haptic Toolkits, 2001
 [5] Bill Baxter, Vincent Scheib, Ming C. Lin, Dinesh Manocha: DAB: Interactive Haptic Painting with 3D Virtual Brushes, 2005
 [6] SensAble technologies, OPENHAPTICS™ TOOLKIT VERSION 2.0 PROGRAMMER'S GUIDE, 2005