

# 가상 수술 의료 시뮬레이션을 위한 실시간 출혈 애니메이션 기법

이정진<sup>†</sup>, 서채환<sup>\*\*</sup>, 이 호<sup>\*\*\*</sup>, 계획원<sup>\*\*\*\*</sup>, 이민선<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 요 약

가상 의료 시뮬레이션을 통한 실습 교육은 학습 효과를 높이는 장점이 있기 때문에 최근 실제 의료 환경에 도입이 확대되고 있다. 특히 최소 침습적 수술 분야에서 가상 수술 의료 시뮬레이션의 필요성이 증가하고 있다. 하지만, 가상 수술 의료 시뮬레이션 환경에서 자주 발생하는 출혈 특수 효과를 현실감이 있게 표현하기 위한 출혈 애니메이션 기술은 아직까지 제안되지 않고 있다. 본 논문에서는 사실적인 실시간 출혈 애니메이션 기법을 제안한다. 제안 기법은 출혈 시뮬레이션을 위해서 주 출혈 방향 벡터 방향을 기준으로 주 출혈 영역과 유효 출혈 영역을 계산하여 자연스러운 출혈 효과의 표현이 가능하다. 또한, 출혈 렌더링을 위해서 정점들의 불투명도 값을 시그모이드 함수를 이용한 가중치 부여로 부드러운 불투명도 변화를 통하여 사실적이고, 자연스러운 출혈 애니메이션이 가능하다. 본 논문에서 제안한 기법은 가상 수술 의료 시뮬레이션의 현실감, 몰입감을 증진시켜 이러한 시뮬레이션을 사용하는 의사 혹은 의대생들에 대한 교육의 효과를 증진시킬 수 있다.

## Real-time Bleeding Animation for Virtual Surgery Medical Simulation

Jeongjin Lee<sup>†</sup>, Che Hwan Seo<sup>\*\*</sup>, Ho Lee<sup>\*\*\*</sup>, Hee-Won Kye<sup>\*\*\*\*</sup>, Min Sun Lee<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Recently, practice education using virtual medical simulation has been applied to real clinical environment by enhancing the learning efficiency. Specially, in minimally invasive surgery, the necessity of virtual surgery medical simulation has been increased. Realistic bleeding animation, which represents bleeding special effects frequently occurred in virtual medical simulation environment, has not been proposed yet. In this paper, we propose realistic real-time bleeding animation. For bleeding simulation, proposed method calculates main and effective bleeding regions along the main bleeding direction vector to represent naturalistic bleeding effect. In addition, for bleeding rendering, proposed method uses sigmoid function to impose weights of vertex opacities for the smooth opacity change so that the results of bleeding animation is realistic. Proposed method improves the sense of the real and absorption in virtual surgery medical simulation so that the education efficiency of doctors and students using medical simulation can be enhanced.

**Key words:** Virtual surgery medical simulation(가상 수술 의료 시뮬레이션), Minimally invasive surgery(최소 침습적 수술), Bleeding animation(출혈 애니메이션), Special effect(특수 효과)

※ 교신저자(Corresponding Author): 서채환, 주소: 서울특별시 강동구 천호2동 대우한강베네시티 102동 1608호, 전화: 02)2164-4944, E-mail: chseo@catholic.ac.kr  
접수일: 2011년 11월 12일, 수정일: 2011년 12월 30일  
완료일: 2012년 2월 29일

<sup>†</sup> 계획원, 가톨릭대학교 디지털미디어학부 조교수  
(E-mail: imagination@catholic.ac.kr)

<sup>\*\*</sup> 계획원, 가톨릭대학교 디지털미디어학부 조교수

<sup>\*\*\*</sup> 계획원, 스탠포드대학교 방사선종양학과 박사후연구원  
(E-mail: leeho@stanford.edu)

<sup>\*\*\*\*</sup> 계획원, 한성대학교 정보시스템공학과 조교수  
(E-mail: kuei@hansung.ac.kr)

<sup>\*\*\*\*\*</sup> 계획원, 선문대학교 통합의학대학원 주임교수  
(E-mail: kinesiolee@hanmail.net)

※ 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원과제임. 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2011-0014041).

## 1. 서론

최근 다양하고, 새로운 질병들이 발생하고, 수많은 의료 장비와 기술들이 개발되어 임상에 적용되고 있으므로 경험이 많지 않은 의사와 의대생들에게는 이에 맞는 새로운 의료 기술의 학습이 요구된다. 교육에 있어서 가장 효과가 높은 방법은 실제와 유사한 상황을 재현하여 직접 실습해 보는 시뮬레이션이므로 가상 의료 시뮬레이션을 통한 실습 교육은 의료 기술의 학습 효과를 높일 수 있다[1].

최근에는 전통적인 절개술보다 회복 시간이나 통증을 획기적으로 줄일 수 있는 최소 침습적 수술법의 적용이 확산되고 있다[2]. 최소 침습적 수술은 수술 부위를 최소로 절개한 후에 절개 부위를 통하여 내시경과 수술 기구를 삽입하여 수술하는 방법이다. 그러나 이 방법은 수술 기구의 조작이 어렵고, 수술 부위를 긴 기구들을 통해 접촉하기 때문에 전통적인 절개술보다 촉감의 전달이 둔해진다. 또한, 기구들은 절개 부위를 중심으로 회전하기 때문에 지렛대 효과로 실제 내부 움직임은 반대가 되어 조작이 어렵고, 동작이 증대되어 전달되기 때문에 미세한 제어가 어렵다. 따라서 최소 침습적 수술 기술은 환자에게는 전통적인 절개술보다 장점이 많으나 의사에게는 전통적인 절개술보다 습득하기 어려운 단점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최소 침습적 수술 분야에서는 가상 공간에서의 가상 수술 의료 시뮬레이션을 통한 학습 방법들이 도입되기 시작하였다[3]. 시각 및 햅틱 인터페이스를 통하여 최소 침습적 수술을 충실하게 재현할 수 있으며, 환자들의 안전에 대한 위험 부담이 없이 학습을 할 수 있는 환경을 제공할 수 있다. 또한, 언제나 학습이 가능하여 학습의 빈도를 높일 수 있으며 수술 환경을 변화시키면서 여러 가지 조건과 상황에 대한 대응도 훈련할 수 있다. 하지만, 가상 수술 의료 시뮬레이션 기술들은 현실감과 몰입감이 부족하다는 문제점을 갖고 있다[1]. 특히 가상 수술 의료 시뮬레이션을 구성하는 다양한 요소 기술 중 시각적 가시화 기술이 아직까지 수술 환경을 현실감있게 재현하지 못하고 있다.

가상 수술 의료 시뮬레이션을 위한 출혈 애니메이션 기법에 대해서는 다음과 같은 기존 연구들이 수행되었다. Müller 등은 유체를 입자의 집합으로 표현하고, 각 입자들의 물성치를 평활화 커널(smoothing

kernel)에 의하여 주변 영역에 중첩하여 적용하는 Smoothed Particle Hydrodynamics 기법[4,5]을 사용하여 Navier-Stokes 방정식을 고속으로 해석하는 출혈 애니메이션 기법을 제안하였다[6]. 이 기법은 유체의 표면 장력을 모델링하였고, 혈관 벽과 같은 변형이 있는 물체와 유체와의 상호작용을 물체의 표면에 모조 입자(pseudo particle)를 배치하여 상호 변형이 가능하게 하였다. 또한, 새로운 평활화 커널을 제안하여 상호 작용이 가능한 응용에 적용이 가능하도록 시뮬레이션 속도를 향상시켰다. 하지만, 이 기법은 약 3000개 정도의 입자를 사용하여 실시간 응용이 가능한 속도를 보여주었지만, 유체 입자들이 점성이 강한 밀집된 형태로 움직여 사실감이 부족하였다. Andersson은 입자를 이용한 기법과 그리드를 이용한 기법[7]을 사용한 출혈 애니메이션 기법을 피가 유출되는 효과(splash), 방울(drop), 유체 내부의 출혈 등의 다양한 효과에 적용하여 비교하였다[8]. 이 논문은 특수 효과의 종류에 따라서 각각 다른 기법을 사용해야한다는 결론을 보여주었다. 하지만, 논문에 제안된 기법들의 가시화 결과가 사실감이 부족하였다. Daenzer 등은 수술 시뮬레이터 환경에서 입자와 텍스처 기법을 사용한 출혈 애니메이션 기법을 제안하였다[9]. 이 기법은 속도가 빠르고, 피가 떨어지는 효과(dripping)와 피가 고이는 효과(pooling)를 표현하였지만, 가시화 결과의 사실감이 부족하였다. Zátanyi 등은 가상 자궁경경사(virtual hysteroscopy) 훈련 시스템을 위한 Navier-Stokes 방정식과 3차원 텍스처 매핑을 이용한 사실적인 출혈 애니메이션 기법을 제안하였다[10]. 하지만, 이 기법은 좁은 영역에서만 실시간 응용이 가능하다는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 가상 수술 의료 시뮬레이션을 위한 실시간 출혈 애니메이션 기법을 제안한다. 제안 기법은 출혈 시뮬레이션을 위해서 주 출혈 방향 벡터 방향을 기준으로 주 출혈 영역과 유효 출혈 영역을 계산하여 자연스러운 출혈 효과의 표현이 가능하다. 또한, 출혈 렌더링을 위해서 정점들의 불투명도 값을 시그모이드(sigmoid) 함수를 이용한 가중치 부여로 부드러운 불투명도 변화를 통하여 사실적이고, 자연스러운 출혈 애니메이션이 가능하다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 2장에서는 본 논문에서 제안한 실시간 출혈 애니메이션

기법에 대하여 설명한다. 3장에서는 실험 결과를 기술하고, 4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 실시간 출혈 애니메이션 기법

본 논문에서 제안한 실시간 출혈 애니메이션 기법은 다음과 같이 수행된다. 먼저 가상 수술 환경에서 의사의 수술 도구와 인체 장기가 접촉하면, 의사가 화면 상에 선택한 2차원 점에 대응되는 3차원 공간 상의 중심 메쉬를 계산한다. 다음으로 사용자가 조정할 수 있는 주 출혈 방향 벡터를 중심으로 출혈 효과 시뮬레이션을 위한 주 출혈 영역과 유효 출혈 영역을 모델링한다. 다음으로 주 출혈 방향 벡터의 방향으로 영역을 조금씩 늘려가면서 해당 영역에 대한 출혈 렌더링을 수행하면 출혈 애니메이션이 가능하다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 기법의 전체적인 과정을 보여준다.

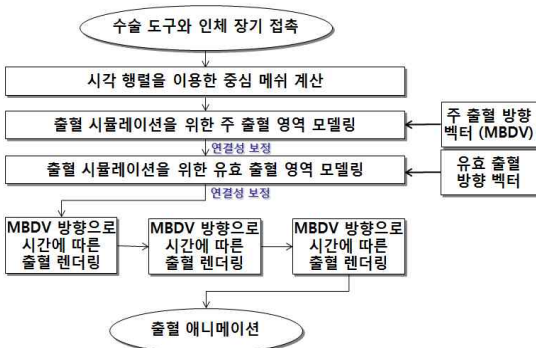


그림 1. 본 논문에서 제안한 기법

### 2.1 출혈 시뮬레이션

가상 수술 의료 시뮬레이션에 많이 사용되는 가상 복강경 수술의 경우 인체를 컴퓨터 단층 촬영 (Computed Tomography, CT)한 후에 CT 데이터 상에서 영상 정보를 바탕으로 영상 처리 기법을 이용하여 간 영역을 자동으로 분할할 수 있다. 이와 같이 분할된 3차원 간 볼륨 데이터의 표면을 추출하고, 삼각형 메쉬 모델로 변환하여 가상 수술 의료 시뮬레이션에 사용한다. 다른 장기를 대상으로 하는 가상 수술 의료 시뮬레이션의 경우에도 인체 장기 모델을 구성하는 메쉬는 비슷한 절차로 생성할 수 있다.

다음으로 가상 수술 의료 시뮬레이션 환경에서 의

사의 수술 도구와 인체 장기가 접촉하면, 출혈 시뮬레이션을 위한 주 출혈 영역(main bleeding region) 모델링을 수행한다. 먼저 의사가 화면 상에 선택한 2차원 점  $P_{doctor}(x, y, 0)$ 로부터 3차원 공간 상의 메쉬에 해당하는 점  $P_{mesh}(x', y', z)$ 를 계산해야 한다. 3차원 메쉬 모델을 2차원 화면에 렌더링하기 위한 시각 행렬  $M_{view}$ 은 3차원 공간 상의 좌표  $(x', y', z)$ 을 화면 상의 2차원 화면 좌표  $(x, y, 0)$ 로 다음의 식과 같이 투영하는 행렬이다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix} = M_{view} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}. \tag{1}$$

3차원 공간 상의 점을 2차원 화면 상의 점으로 투영하는 과정에서 화면 좌표  $(x, y, 0)$ 에서 출발하여 화면 내부로 사용자가 물체를 바라보는 방향에 있는 모든 3차원 점들은 동일한 2차원 화면 좌표  $(x, y, 0)$ 로 투영된다. 따라서 화면 내부의 가상 깊이  $k$ 에 대하여  $(x, y, k)$ 는  $M_{view}^{-1}$ 을 이용하여  $(x', y', z)$ 로 다음과 같이 역변환될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = M_{view}^{-1} \begin{pmatrix} x \\ y \\ k \end{pmatrix}. \tag{2}$$

화면 내부의 가상 깊이  $k$ 를 0부터 1씩 증가시키면서 2차원 입력  $(x, y, k)$ 에 해당하는 3차원 좌표  $(x', y', z)$ 을 식 (2)에 따라 계산하면서 메쉬와 처음으로 교차하는 점  $P_{mesh}(x', y', z)$ 를 탐색하면, 그 점이 위치한 곳의 메쉬는 의사의 수술 도구와 인체 장기가 접촉한 중심 메쉬가 된다. 다음으로 2차원 화면 내에서 수술 도구와 인체 장기가 접촉한 메쉬를 시작 위치로 하는 그림 2(b)와 같은 주 출혈 방향 벡터 (main bleeding direction vector)의 방향과 크기를 설정한다. 주 출혈 방향 벡터는 중력 방향으로 설정되지만, 애니메이션의 목적에 맞게 임의로 설정될 수도 있다. 주 출혈 방향 벡터 내에 존재하는 2차원 점들에 대하여 식 (2)에 따라서 대응되는 3차원 메쉬를 순차적으로 계산하면, 이러한 3차원 메쉬들의 집합이 주 출혈 영역이 된다(그림 2b).

다음으로 그림 3에서와 같이 주 출혈 영역에 포함된 3차원 메쉬들을 주 출혈 방향 벡터 방향으로 순차적으로 검사하여 주 출혈 영역 내의 인접 메쉬들 사이에 선분을 공유하지 않는 한 쌍의 메쉬를 연결하는 메쉬를 추가로 포함시켜 주 출혈 영역 내에 부자연스러운 영역이 존재하지 않도록 주 출혈 영역의 연결성

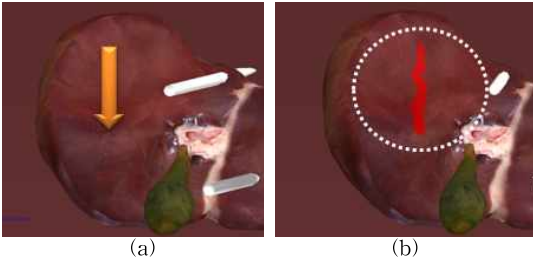


그림 2. 출혈 시뮬레이션을 위한 주 출혈 영역 모델링 과정  
(a) 주 출혈 방향 벡터 (b) 주 출혈 영역

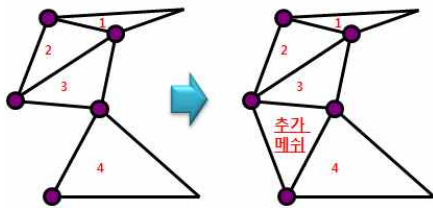


그림 3. 주 출혈 영역에 대한 연결성 보정 과정

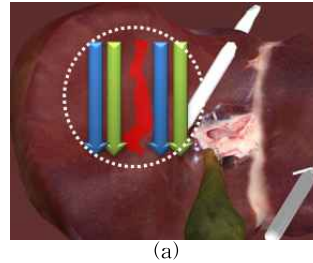
을 보정한다.

다음으로 주 출혈 영역에 인접하여 실제 출혈이 가시화되는 유효 출혈 영역을 계산한다. 주 출혈 방향 벡터의 시작점을 중심으로 주 출혈 방향 벡터에 수직한 방향으로 오프셋(offset)을 준 가상으로 선택한 점(virtually picking point)들을 계산한다. 이러한 점들을 중심으로 주 출혈 방향 벡터와 같은 방향과 크기를 같은 그림 4(a)와 같은 유효 출혈 방향 벡터(effective bleeding direction vector)들에 대하여 유효 출혈 방향 벡터 내에 존재하는 2차원 점들에 대하여 식 (2)에 따라서 대응되는 3차원 메쉬를 순차적으로 계산하면, 이러한 3차원 메쉬들의 집합이 유효 출혈 영역이 된다(그림 4b, 4c).

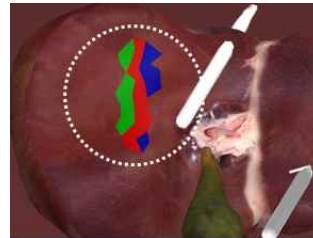
마지막으로 유효 출혈 영역에 포함된 3차원 메쉬들을 유효 출혈 방향 벡터의 방향으로 순차적으로 검사하여 유효 출혈 영역 내의 인접 메쉬들 사이에 선분을 공유하지 않는 한 쌍의 메쉬를 연결하는 메쉬를 추가로 포함시켜 유효 출혈 영역 내에 부자연스러운 영역이 존재하지 않도록 유효 출혈 영역의 연결성을 보정한다.

## 2.2 출혈 렌더링

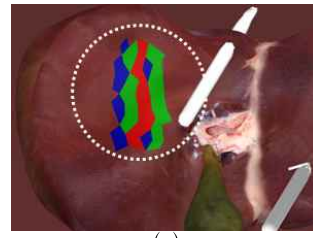
다음으로 전단계의 출혈 시뮬레이션 과정을 통해서 계산된 주 출혈 영역과 유효 출혈 영역에 대하여



(a)



(b)



(c)

그림 4. 출혈 시뮬레이션을 위한 유효 출혈 영역 모델링 과정  
(a) 유효 출혈 방향 벡터 (b) 유효 출혈 영역 생성 과정 (c) 최종 생성된 유효 출혈 영역

아티스트가 생성한 2차원 출혈 텍스처들을 텍스처 매핑 기법을 기반으로 하여 출혈 렌더링을 수행한다. 먼저 유효 출혈 영역 내의 x축 방향의 최외곽 메쉬들을 제외한 나머지 주 출혈 영역과 유효 출혈 영역 내의 메쉬들의 정점들을 2차원 화면으로  $M_{view}$ 를 이용하여 투영한 후 그림 5에서와 같이 2차원 경계 상자를 계산한다. 이 경계 상자 내부에 2차원 출혈 텍스처가 매핑되게 된다.



그림 5. 유효 출혈 영역에 대한 경계 상자 설정

다음으로 유효 출혈 영역 내부의 메쉬들의 정점에서의 불투명도 값은 의사가 화면 상에서 선택한 중심 메쉬로부터 거리에 따라 점진적으로 할당한다. 수술 도구로 의사가 선택한 메쉬에 가까운 메쉬는 불투명도를 1로 할당하고, 이를 기준으로 유효 출혈 영역 내부의 메쉬의 정점의 불투명도를 시각적으로 현실감있고, 자연스러운 표현이 가능하도록 점진적으로 변화시킨다. 중심 메쉬의 무게 중심으로부터 유효 출혈 영역 내부의 메쉬 정점까지의 거리  $d$ 에 따라서 다음의 0부터 1사이의 값을 갖는 시그모이드 함수를 가중치로 두어 각 인접 메쉬들의 정점의 불투명도를 변화시킨다.

$$Sigmoid(d) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{d-\beta}{\alpha}}} \quad (3)$$

시그모이드 함수는  $\alpha$ 와  $\beta$ 에 따라서 다양한 변화의 모델링이 가능하여 최적의 가시화 효과를 얻을 수 있다. 이 때,  $\alpha$ 값이 커질수록 거리에 따른 색상 변화는 부드럽게 모델링되고,  $\beta$ 는 거리에 따라서 중심 메쉬의 색상 변화를 기준으로 50%의 색상 변화를 보이는 위치를 결정한다(그림 6).

출혈 애니메이션은 주 출혈 영역 생성과 유효 출혈

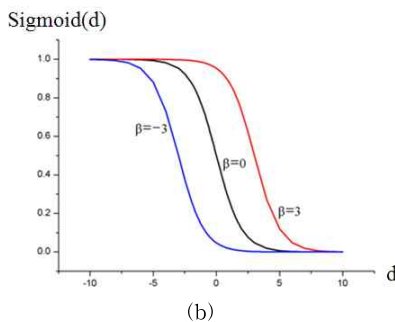
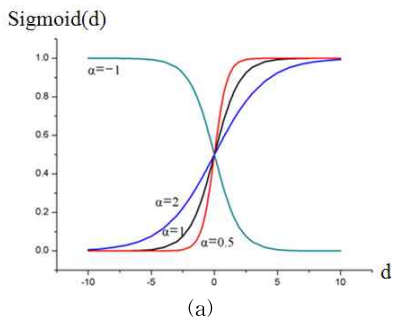


그림 6. 시그모이드 함수의 변화  
(a)  $\alpha$ 에 따른 변화 (b)  $\beta$ 에 따른 변화

영역 생성 시에 부여된 메쉬의 순서에 따라서 중심 메쉬로부터 주 출혈 방향 벡터와 유효 출혈 방향 벡터의 방향으로 시간에 따라서 렌더링하여 수행된다.

### 3. 실험 결과

제안 기법에 대한 실험은 Intel Core2Duo Q8400 2.66GHz CPU와 4GB 메모리를 갖는 시스템에서 Nvidia GeForce GT 230 그래픽스 하드웨어를 사용하여 수행되었다. 그래픽스 라이브러리는 OpenGL을 이용하여 구현되었다. 제안 기법은 간과 담낭을 절제하는 복강경 가상 수술 의료 시뮬레이션 시스템에 적용되었다. 제안 기법으로 출혈 애니메이션을 수행하기 위하여 필요한 시그모이드 함수 인자는  $\alpha$ 는 -1로,  $\beta$ 는 5로 설정되었다.

그림 7(a)-(e)는 가상 수술 환경에서 출혈 효과를

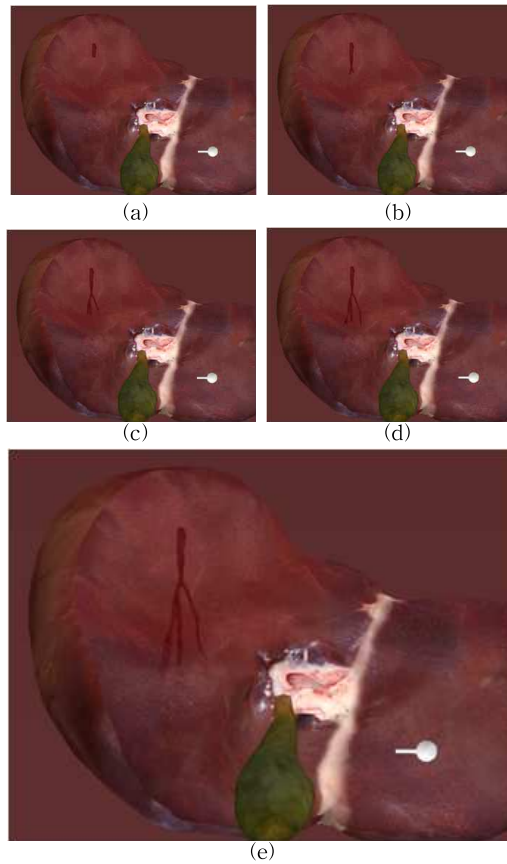
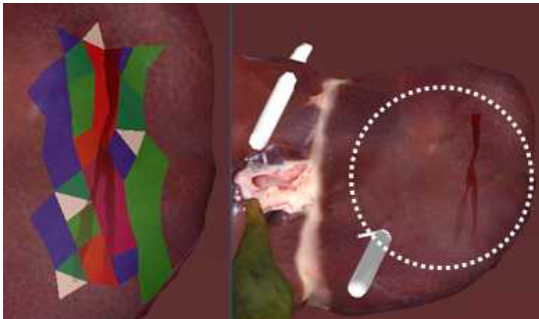


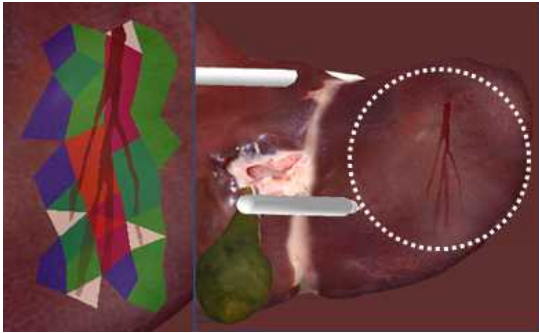
그림 7. 가상 수술 환경에서 출혈 효과를 제안 기법으로 애니메이션한 결과 예시  
(a)-(e) 시간에 따른 출혈 효과 애니메이션



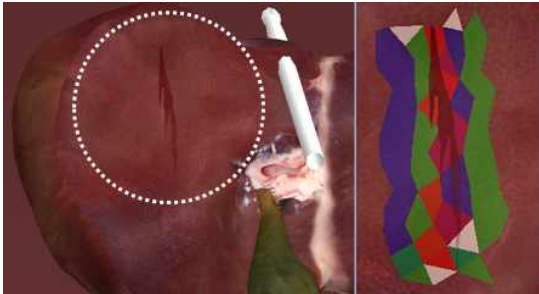
제안 기법으로 시간에 따라서 애니메이션한 결과 예시를 보여준다. 그림 8은 다양한 출혈 효과를 보여준다. 그림 7, 8에서와 같이 의사가 수술 도구로 선택한 부위로부터 실제 물리적인 출혈 효과와 유사한 현실



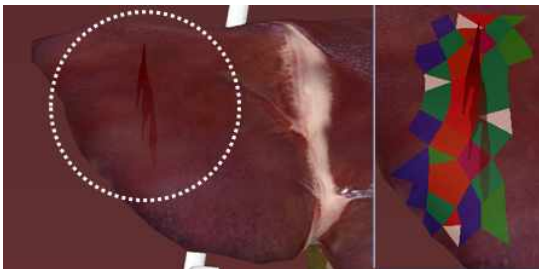
(a)



(b)



(c)



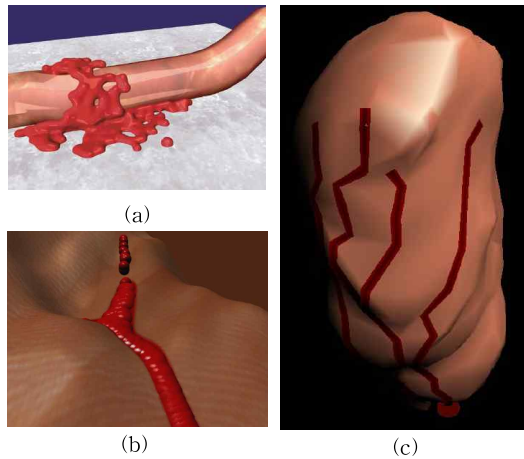
(d)

그림 8. 다양한 출혈 애니메이션 결과와 유효 출혈 영역

감을 갖도록 애니메이션이 되어 가상 수술 의료 시뮬레이션 환경에서의 현실감과 몰입감을 높일 수 있었다. 또한, 주 출혈 방향 벡터, 유효 출혈 방향 벡터들의 크기와 방향은 사용자가 지정해준 특정 값을 중심으로 랜덤 변화를 주어 더욱 다양한 표현이 가능하였다.

제안 기법은 2,978개의 삼각형으로 구성된 메쉬에 대하여 평균 30 fps(frame per second)의 속도를 보여주어 실시간 성능이 필요한 가상 수술 의료 시뮬레이션 시스템에 적용이 가능하였다. 메쉬를 구성하는 삼각형 숫자에 따른 속도 변화를 평가하기 위하여 삼각형 숫자를 1,489개로부터 5,956개까지 변화시키면서 렌더링 속도를 측정하였다. 이 때, 렌더링 속도의 범위는 평균 22 fps로부터 평균 45 fps까지의 성능을 보여주었다.

그림 9에 제안 기법과 기존 출혈 애니메이션 기법의 가시화 결과의 정성적 비교를 위하여 Müller et al.[6], Andersson et al.[8], Daenzer et al.[9] 기법의 결과를 제시하였다. Müller et al.[6] 기법은 제안 기법에 비하여 유체의 점성이 지나치게 강하게 표현되어 덩어리 형태로 가시화가 되었고, Andersson et al.[8] 기법은 제안 기법에 비하여 구 형태가 드러나게 가시화가 되었고, Daenzer et al.[9] 기법은 사실성이 부족하였다. 결과적으로 제안 기법은 기존 기법들 [6,8-9]에 비하여 실제 물리적인 출혈 효과와 유사한 현실감을 갖도록 애니메이션이 가능하였다. 특히 가상 수술 의료 시뮬레이션 환경에 필요한 장기 벽면을



(a)

(b)

(c)

그림 9. 기존 기법들과의 비교 (a) Müller et al.[6] (b) Andersson et al.[8] (c) Daenzer et al.[9]

표 1. 제안 기법의 임상 사용자 평가

(++: 매우 우수, +: 우수, 0: 보통, -: 나쁨, --: 매우 나쁨)

	렌더링 결과의 현실감	애니메이션 효과의 자연스러움	가상 의료 시뮬레이션 환경 사용자 평가
의사 1	++	++	+
의사 2	+	+	++
의사 3	+	++	++

타고 흘러 내리는 출혈 효과의 표현에 있어서 기존 결과인 그림 9(b), (c)보다 제안 기법은 그림 7, 8과 같이 가상 수술 의료 시뮬레이션 환경에서의 현실감과 몰입감을 높일 수 있었다.

본 연구에서 제안된 기법에 대하여 표 1과 같은 임상 사용자 평가를 5년 이상의 복강경 수술 경험이 있는 외과 의사 3명을 대상으로 수행하였다. 렌더링 결과의 현실감, 애니메이션 효과의 자연스러움, 가상 의료 시뮬레이션 환경을 가정한 사용자 평가에 대하여 수행되었고, 각 항목들에 대하여 평균적으로 우수한 평가 결과를 얻었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 가상 수술 의료 시뮬레이션을 위한 실시간 출혈 애니메이션 기법을 제안하였다. 제안 기법은 출혈 시뮬레이션을 위해서 주 출혈 방향 벡터 방향을 기준으로 주 출혈 영역과 유효 출혈 영역을 계산하여 자연스러운 출혈 효과의 표현이 가능하였다. 또한, 출혈 렌더링을 위해서 정점들의 불투명도 값을 시그모이드 함수를 이용한 가중치 부여로 부드러운 불투명도 변화를 통하여 자연스러운 출혈 애니메이션이 가능하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 가상 수술 의료 시뮬레이션의 현실감, 몰입감을 증진시켜 이러한 시뮬레이션을 사용하는 의사 혹은 의대생들에 대한 교육의 효과를 높일 수 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] 박진아, “의료 시뮬레이션: 가상 수술,” 한국정보과학회 학회지, Vol.23, No.10, pp. 49-52, 2005.

[2] 김종혁, 전경철, “부인과 복강경수술에서의 최소 침습적 접근,” 대한산부인과내시경학회지, Vol.21, No.2, pp. 101-106, 2009.

[3] 최수미, 김정식, “3차원 의료영상의 가시화: 기술, 응용, 전망,” 멀티미디어학회논문지, Vol.8, No.1, pp. 47-57, 2004.

[4] M. Müller, D. Charypar, and M. Gross, “Particle-Based Fluid Simulation for Interactive Applications,” *Proc. of the ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, pp. 154-159, 2003.

[5] T. Harada, S. Koshizuka, and Y. Kawaguchi, “Smoothed Particle Hydrodynamics on GPUs,” *Proc. of Computer Graphics International*, pp. 63-70, 2003.

[6] M. Müller, S. Schirm, and M. Teschner, “Interactive Blood Simulation for Virtual Surgery Based on Smoothed Particle Hydrodynamics,” *Technology and Health Care*, Vol. 12, No.1, pp. 25-31, 2004.

[7] J. Stam, “Stable fluids,” *Proc. of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 121-128, 1999.

[8] L. Andersson, “Real-Time Fluid Dynamics for Virtual Surgery,” *Master’s Thesis, Chalmers University of Technology*, 2005.

[9] S. Daenzer, K. Montgomery, R. Dillmann, and R. Unterhinninghofen, “Real-Time Smoke and Bleeding Simulation in Virtual Surgery,” *Studies in Health Technology and Informatics*, Vol.125, No.1, pp. 94-99, 2007.

[10] J. Zátönyi, R. Paget, G. Székely, M. Grassi, and M. Bajka, “Real-Time Synthesis of Bleeding for Virtual Hysteroscopy,” *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.2878, No.1, pp. 67-74, 2003.



**이 정 진**

2000년 2월 서울대학교 기계항공  
학부 학사  
2002년 2월 서울대학교 컴퓨터공  
학부 석사  
2008년 8월 서울대학교 컴퓨터공  
학부 박사

2007년 10월~2009년 2월 울산대학교 의과대학 영상의  
학과 연구교수  
2009년 3월~현재 가톨릭대학교 디지털미디어학부 조  
교수  
관심분야: 영상 정합, 영상 분할, 컴퓨터 보조 수술, 가상  
내시경, 컴퓨터 애니메이션



**서 채 환**

1992년 2월 중앙대학교 예술대학  
조소과 학사  
1998년 2월 중앙대학교 예술대학  
원 조소과 석사  
2002년 12월 Academy of Art  
University Computer Arts  
전공 석사

2006년 2월 중앙대학교 영상대학원 영상예술학과 박사  
수료  
2003년 3월~2007년 12월 청강문화산업대학교 3D 그래  
픽과 교수  
2008년 3월~현재 한국 만화 애니메이션학회 이사  
2009년 9월~현재 한국 문화콘텐츠기술 학회 이사  
2008년 3월~현재 가톨릭대학교 디지털미디어학부 조교수  
관심분야: 디지털 영상, 3D 애니메이션, 특수 효과, 영상  
합성, 미디어 아트



**이 호**

2000년 8월 숭실대학교 전자전기  
정보통신공학부 학사  
2002년 8월 숭실대학교 정보통신  
공학과 석사  
2009년 2월 서울대학교 컴퓨터공  
학부 박사

2009년 9월~현재 스탠포드대학교 방사선종양학과 박  
사후연구원  
관심분야: 삼차원 재구성, 영상 정합, 의료 영상 처리,  
컴퓨터 그래픽스



**계 희 원**

1999년 2월 서울대학교 전산과학  
과 학사  
2001년 2월 서울대학교 전기컴퓨  
터공학부 석사  
2005년 8월 서울대학교 전기컴퓨  
터공학부 박사

2006년 1월~2007년 3월 서울대학교 컴퓨터연구소 연구원  
2007년 9월~현재 한성대학교 정보시스템공학과 조교수  
관심분야: 볼륨 가시화, 실시간 렌더링, 대용량 영상처리



**이 민 선**

1984년 2월 연세대학교 이과대학  
체육학 학사  
1986년 2월 연세대학교 이과대학  
체육학 석사  
2005년 2월 연세대학교 이과대학  
체육학 박사

2005년 2월 가톨릭대학교 의과대학 의학과 신경해부학  
전공 석사  
2005년 3월~2009년 2월 한서대학교 건강관리학과 겸  
임교수  
2005년 3월~현재 선문대학교 통합의학대학원 주임교수  
관심분야: 동적 MR 영상, 통합 의학