

**B-10**

**가상현실 기반 도로터널 화재체험 시뮬레이터 개발**

**Development of virtual reality based simulator for road tunnel fire-training**

한용식\*, 최병일\*\*, 김명배\*\*, 차무현\*\*, 김병수\*\*\*

Yong Shik Han\*, Byung Il Choi\*\*, Myung Bae Kim\*\*, Moo Hyun Cha\*\*, Byung Su Kim\*\*\*

abstract

An fire simulator has been developed for examining possibility of future engineering applications in the fire research field. This system composed of workstation on XP OS and HMD(Head Mounted Display) and visualized 3D walk-through type virtual reality graphics inside a tunnel in case of fire. By using a joystick and a viewpoint tracer, subjects can be experience interactive changes occurred both in graphics and surrounding sound.

key words : Simulator, Virtual reality, Tunnel fire

**1. 서론**

다수의 사람들이 이용하는 도로터널 특히 길이가 긴 장대 도로 터널은 공간 특성상 외부와 차단, 고립되어 있는 것과 같으며, 화재발생시 화재의 급속한 성장, 배연의 어려움, 피난로 확보의 어려움 등으로 인해 소화 및 구조 활동의 제약 등을 받게 되어 막대한 인명 및 재산 피해가 발생할 가능성이 높다. 인명구조 및 화재확대로 인한 물질 피해(터널 손상)의 감소를 위하여 터널에 진입할 소방관에 대한 꾸준한 소방훈련이 필수적이다. 실제로 스위스 몽블랑 터널 화재(1999. 3.24.)의 경우 화재진압 및 인명구조를 위하여 터널에 진입한 소방대원이 연기에 갇혀 추가 구조팀에 의해 구조되었으며, 그중 소방관 1명이 순직하기도 하였다. 그러나 현실적으로 터널에서의 소방 훈련은 운행 중인 터널을 정지 시키고 수행되어야 하며, 이 경우 터널 차단으로 인한 사회적 비용이 매우 크다.

실제 터널에서의 소방훈련을 대체하기 위하여 최근에 비약적으로 발전한 가상현실 기술을 활용할 필요가 있다. 가상현실(VR, Virtual Reality)기술은 컴퓨터에 의해 구현된 3차원 가상환경을 통해, 인간에게 현실감과 몰입감을 제공해 주는 기술로서, 데이터의 시각화/시뮬레이션/교육/의료/오락 등 다양한 분야에 걸쳐 폭넓게 응용되고 있으며, 그 파급효과도 크다.

개발하고자 하는 가상현실 화재 시뮬레이터는 터널 내부와 같은 고립된 환경에서의 화재 발생시, 수치해석 시뮬레이션 해석결과를 가상현실 기법을 통해 가시화하고 시스템 상호작용을 구현함으로써, 화재 대피 및 진화와 관련된 의사결정 정보를 효과적으로 제공할 수 있다. 본 원고에서는 가상현실 기반 화재 시뮬레이터의 구성 및 모델링 및 시뮬레이션 기술, 실시간 가시화 기술, 상호작용을 위한 인터페이스 기술 등을 소개하고자 한다.

**2. Hardware 시스템 설계**

**2.1 시뮬레이터 시스템 요구사항 도출**

일반적인 가상현실(VR) 시스템은 그림 1과 같이, 형상모델/시뮬레이션 데이터 등을 포함하는 가상현실 데이터베이스 (Database)와 이를 이용하여 실시간 가상환경을 구동하는 가상현실 엔진(VR Engine), 그리고

\* 종신회원 · 한국기계연구원 에너지기계연구본부 · 책임연구원 · E-mail : [yshan@kimm.re.kr](mailto:yshan@kimm.re.kr)  
\*\* 한국기계연구원  
\*\*\* AR-Vision

사용자와 컴퓨터간의 상호작용을 담당하는 입출력 인터페이스 장비(I/O Devices) 등으로 구성된다.

### 2.2 가상현실 S/W, H/W 체계 및 도구조사, 선정

시뮬레이터 시스템 특히 VR 그래픽 엔진의 개발을 위해, 현재 다수의 연구분야에서 활용되고 있는 Windows 기반의 실시간 렌더링 요소기술 및 도구에 대한 사전 조사를 수행하였으며<sup>1</sup>, 본 개발에 활용될 도구들을 선정하였다. 그림 2는 가상환경 데이터베이스로부터 VR모델을 로딩하고, 입출력 인터페이스를 통해 사용자와 상호작용하는 VR시스템, 특히 그래픽 시스템의 단계적 요소기술 체계를 나타내고 있으며, 운영체제/Graphics API/SceneGraph API/VR Toolkit API/VR Application 등으로 구성된다.

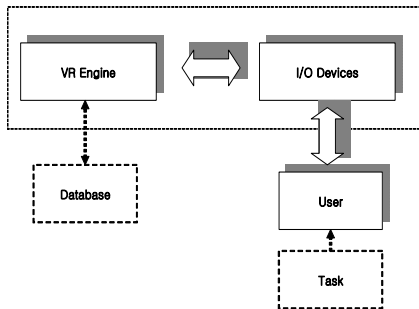


그림 1 일반적인 가상현실(VR) 시스템 구성도

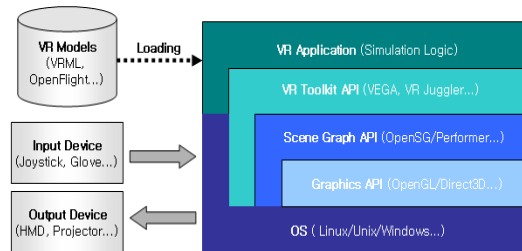


그림2 VR 그래픽 시스템 단계별 구성 체계

### 2.3 시스템 선정

가상현실 시뮬레이터의 주요 하드웨어 시스템은 계산을 수행하는 PC Workstation과 그래픽을 담당하는 그래픽카드로 구성된다. 본 연구에서는 PC Workstation으로 확장성과 신뢰성이 확보된 Dell Precision 690을 선정하였고, 그래픽 카드로는 Ultra High-End 급에 전문적인 3D 어플리케이션인 CAD, DCC에서 최고의 성능을 보여주는 워크스테이션 그래픽카드 Quadro FX5500를 사용하였다.

### 2.4 사용자 시점 추적장치

훈련 혹은 체험효과를 증대시키기 위해서는 훈련자의 시야에 따른 화재영상의 구현이 필수적인데, 사용자 시점 추적 장치는 사용자의 머리의 움직임을 실시간으로 트래킹할 수 있는 장치로서 MEMS 타입의 자이로, 가속도계 및 자기력계(Magnetometer)를 각각 3조씩 사용하여, 이의 출력을 이용하여 roll, pitch, yaw의 자세데이터를 출력하는 시스템이다.

## 3. 시뮬레이터 가시화 플랫폼구축

### 3.1 가시화 플랫폼 기초설계 안

본 시뮬레이터 시스템은 먼저 터널 공간에서의 화염 확산 및 연기 전파에 대해 3차원 시뮬레이션을 수행하여야 한다. 즉, 계산 영역 및 grid를 설정하고, 화재시나리오 및 여러 가지 경계조건들에 대한 모델링을 완료한 후, FDS(Fire Dynamics Simulator) simulation code를 이용하여 시뮬레이션을 수행한다. 또한 시뮬레이션 결과물은 가상현실 가시화 시스템에서 이용 가능한 형태로 처리된 후 데이터베이스에 저장된다.

가상현실(VR) 엔진은 도로 및 터널 구조물 등의 정적 형상 모델에 대한 가시화 과정과 화염 및 연기의 전파를 표현하는 FDS 결과물에 대한 가시화 과정으로 나뉘며, 이들은 OpenGL/DirectX 등의 그래픽전용 라이브러리 및 볼륨렌더링/입자렌더링 구현코드들로서 구현된다. 또한 입체 렌더링모듈 / 인터랙션제어모듈 / 입체음향 생성모듈 / 물리현상 제어모듈 등을 구현하여 입출력장비를 통한 사용자 상호작용을 수행한다.

또한 사용자의 화재현상체험 및 소방훈련을 위한 입출력장비는, 2채널 양안차에 의한 입체영상 생성이 가능한 입체가시화 장비(HMD, 입체프로젝터 등), 3자유도 시점추적기, 입체스피커, 물리현상발생기 등을 포함

하는 하드웨어 장비 등으로 구현될 수 있다.

### 3.2 가시화 플랫폼의 구성

도로터널 화재 체험 시뮬레이터는 사용자 시점 변화에 따른 도로터널 내 화재 현상을 실시간으로 렌더링 하면서 Navigation 기능을 활용, 사용자가 시점을 움직이면서 화재상황을 체험할 수 있는 시스템으로서 HMD (Head mounted display)방식과 Stereo Projector방식에 적용이 가능하며, 본 연구에서는 HMD방식으로 구현하였다. 표 1은 가상현실 가시화 플랫폼의 구성을 나타낸다.

표 1 가시화 플랫폼의 구성

번호	명칭	내용
1	사용자 시점 추적장치 인터페이스 S/W	사용자 시점 추적장치와 렌더링 모듈과의 인터페이스 모듈
2	사용자 입력장치 인터페이스 S/W	사용자 입력장치(Joy Stick, Keyboard, Mouse)와 렌더링 모듈과의 인터페이스 모듈
3	3D Model Importer 모듈	3D 오브젝트 모델(OBJ file등)을 Load하여 렌더링에 사용할 수 있도록 변환하는 모듈
4	Multi GPU 처리 모듈	2개 또는 4개의 GPU를 이용하여 하나의 화면을 렌더링 하는 모듈
5	실시간 렌더링	시점 변화 데이터로서 가상환경의 카메라 동작을 제어하는 모듈
6	사용자 시점 변화에 따른 실시간 렌더링 H/W시스템	H/W 시스템 • 렌더링용 그래픽 워크스테이션 • 사용자 시점추적장치 성능 • 영상 해상도 : 1280x1024 • 렌더링 속도 : 30 fps • 영상출력 형식 : 좌,우 시점에 따른 Stereo영상 출력

### 3.3 3D 가시화 플랫폼 모듈

3D 가시화 플랫폼 모듈은 렌더링 H/W 시스템위에 탑재되어 동작하는 S/W로서 사용자 시점 추적 장치로부터 사용자 시점 방향정보를 입력 받아 사용자의 위치, 방향에 대응하는 영상을 실시간으로 렌더링하여 Stereo 영상으로 출력한다. 최종 출력 결과는 HMD 또는 Stereo projector를 통하여 확인 할 수 있다.

#### 가. 주요 기능 및 특징

- 렌더링 과정은 많은 버텍스의 변환과정이 필요하므로 변환되는 버텍스의 양을 최적화하여 렌더링 성능향상을 향상 시킨다.
- GPU를 이용한 렌더링, 셰이딩 언어를 이용한 렌더링 및 멀티쓰레딩 기술을 적용하여 최적화 한다.
- 실시간 가시화에 필요한 데이터 구조 정립 및 변환
  - . 렌더링 모듈에서 사용할 데이터 구조 정립(Position, Velocity, Temperature 등)
  - . Raw 데이터의 변환/압축/전처리 계산 등의 기술 적용
- 파티클 렌더링에 의한 화재 데이터(연기, 불)를 표현하는 기술 적용
- 도로 터널 3차원 렌더링
  - .도로 터널 내부 및 기타 부수 장비에 대한 3차원 모델링
  - .이러한 정적 가상환경 모델을 실시간 가시화하는 렌더링 모듈 구현
- 3D 모델을 Import하여 사용자 시점, 모델의 위치, 조명의 위치를 실시간으로 인터랙티브하게 변화시키면서 렌더링한다.

#### 나. 사용자 시점 추적장치 연동

사용자 시점 추적장치와 시뮬레이션 프로그램과의 연결은 실제 시뮬레이션 프로그램에서는 센서와 연동하는 방법과 그냥 키보드를 사용한 방법 두 가지를 다 지원하며 실시간으로 이를 선택할 수 있다. 따라서 프로그

램에서 센서를 통하여 시점 변환을 하기 위해서는 센서로 인터페이스를 선택할 때마다 센서를 리셋 시켜야 한다.



그림 3 시점변화에 따른 3D 렌더링 결과

### 3.4 PC 기반 3D 렌더링 가상화 플랫폼 구축

본 연구의 불류/입자렌더링 모듈의 적용 및 사용자 인터랙션 구현을 위해, 상용 그래픽 엔진(Vega Prime 및 OGRE3D)을 사용하여 기본적인 렌더링 가상화 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램에서는 OpenGL/DirectX 그래픽 라이브러리를 사용하였고, 기본적인 표준 VR 형상모델을 가상화하며, Rule에 기반한 입자렌더링 시스템을 구현하였다.

그림 4는 도로터널 내 차량 충돌로 인한 화재 발생 및 연기 전파 현상을 1초에 10개의 입자생성 및 이동으로서 구현한 결과물이며, 마우스 및 조이스틱으로 시점변경이 가능하고, 화원부터의 거리에 따른 음향 생성이 가능하다.



그림 4 완성된 도로터널 화재 시뮬레이터

술개발사업단에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. R. Bukowski, etal, "The Fire Walk System:Fire modeling in Interactive Virtual Environment", Proceeding of the 2nd International Conference on the Fire Research and Engineering, NIST,(1998)

## 4. 결론

본 원고에서는 가상현실 기반 화재 체험 시뮬레이터의 구성 및 모델링 및 시뮬레이션 기술, 실시간 가상화 기술, 상호작용을 위한 인터페이스 기술 등을 소개하였다. 개발된 화재 체험 시뮬레이터가 기능적인 면에서의 개선 및 보안을 통해 도로터널 화재사고 피해를 감소시키는 데 일조를 담당할 수 있기를 기원한다.

## 감사의 글

본 연구는 2007년도 소방방재청의 인적재난 안전기술개발사업 연구비로 수행된 내용으로 본 연구를 가능케한 소방방재청과 인적재난안전기