

## 대형 복합건물을 대상으로 하는 소방관 팀 훈련용 시뮬레이터 개발

이재경\*, 차무현\*\*, 최병일\*\*\*, 김태성\*\*\*\*

### A Team-based Firefighter Training Simulator for Complex Buildings

Jai-Kyung Lee\*, Moohyun Cha\*\*, Byungil Choi\*\*\* and Taesung Kim\*\*\*\*

#### ABSTRACT

The increasing complexity of complex buildings, such as high-rise buildings and underground subway stations, presents new challenges to firefighters. In a fire in complex buildings, the importance of the collaboration between firefighters is clear. The increased demand on firefighter training for such environment is now evident. Due to cost, time, and safety issues, it is impossible to experience a real fire in such environments for training. In addition, the use of real fire for training does not enable repeatable training and the evaluation of the training is difficult. We developed a team-based firefighter training simulator for complex buildings using the virtual reality technology. It provides the training and evaluation of firefighting and mission-based team training. To model real fire phenomena in virtual space, a numerical analysis method based on fire dynamics is used. To achieve an immersive virtual environment, an augmented reality technique for the compensation of real world image and a haptic technique for heat experience are adopted. The developed training simulator can help the firefighter to respond to large and complex firefighting scenarios, while maintaining the safety of the trainees.

**Key words** : FDS (Fire Dynamics Simulator), Firefighter training, Team training, Virtual reality

#### 1. 서 론

고층빌딩, 지하역사와 같은 대형 복합건물은 건물 자체의 복잡도 증가와 더불어 이에 따른 위험요소(hazard)의 복잡도를 증가시키고 있으며, 위험상황에 대처해야 할 소방관들의 대응기술 및 훈련도 고도화 되어야 한다. 대형 복합건물은 공간 특성상 외부와 차단, 고립되어 있으며, 다수의 사람들이 이용하는 공간으로 화재발생시 화제의 급속한 성장, 고온의 열기류, 연기에 의한 시야의 제약, 피난로 확보의 어려움 등으로 인해 막대한 인명 및 재산 피해가 발생할 가능성이 높다. 화재 위험도가 높은 대형 복합건물의 화재 발생 시 대피경로의 파악, 진화 훈련, 특히 화재현상 대응 훈련과 같은 전문지식 습득 및 의사결정을 위한 소방

훈련은 소방관 안전 및 재난 대처 능력 향상을 위하여 필수적이다. 또한 투입된 소방관들의 상호 작용 및 팀 단위 임무수행 능력이 중요하기 때문에 팀 단위 소방 훈련이 필요하다.

대형 복합건물과 같은 대상물에 대한 대형 화재를 재현하는 것은 소방관 안전확보가 어렵고 훈련 비용 및 시간이 증가할 뿐만 아니라 반복적인 훈련 및 평가가 수행되지 못하기 때문에, 최근에는 가상현실(Virtual Reality, VR) 기술을 이용한 훈련 시스템이 개발되고 있다. VR 기반 소방훈련 시스템은 훈련대상에 따라 현상에 투입되는 소방관을 대상으로 하는 시스템<sup>[1]</sup>, 소방지휘관을 대상으로 하는 시스템<sup>[2]</sup>과 어린이, 일반인을 대상으로 하는 시스템<sup>[3]</sup>으로 분류할 수 있다.

현장에 투입되는 소방관을 위한 훈련 시스템은 정의된 화재 시나리오에 기반하여, 훈련자가 미리 지정된 소방활동 명령들을 컴퓨터로 구현된 가상 공간 내에서 3차원 아바타를 통해 수행하는 형태로, 화재상황의 사실감 있는 묘사를 위해 화재전산분석 등을 사용하고 소방관 단독 또는 소방대응 지킴인 "two-in,

\*교신저자, 정회원, 한국기계연구원 시스템스피싱연구소

\*\*정회원, 한국기계연구원 시스템스피싱연구소

\*\*\*비회원, 한국기계연구원 플랜트안전연구소

\*\*\*\*비회원, 에이알비전 기술연구소

- 논문투고일: 2011. 04. 04

- 논문수정일: 2011. 08. 01

- 심사완료일: 2011. 08. 29

two-out” (응급상황 대응을 위해 소방관 2명이 한 팀으로 행동)에 따라 2명이 동시에 훈련을 수행하고 CAVE(Computer Aided exploration of Virtual Environment), HMD(Head-Mounted Display)와 같은 몰입형 사용자 인터페이스를 제공하고 있다.

소방지휘관을 위한 훈련 시스템인 ADMS(Advanced Disaster Management Simulator)는 소방 장비, 인력 등 자원의 효율적인 배치와 팀 단위의 의사소통 훈련 환경을 제공하며 국내 중앙소방학교에 설치, 운영되고 있다. 소방지휘관의 소방계획 수립과 지휘체계 습득을 목적으로 소방자원들의 효율적인 배치 및 운영 훈련을 제공하며 화재현상은 사고상황의 시각적 인식만을 위해 단순한 그래픽으로 구현되었다.

실제 대형화재 현장에서는 팀 단위의 상호작용 및 협업을 필요로 한다는 점에서 다수의 소방관이 동시에 참여할 수 있는 팀 단위 소방훈련 시스템의 개발이 요구되며 훈련에 참여하는 소방관들에게 개별적인 CAVE, HMD 등을 통한 몰입감 제공이 어렵기 때문에 이를 대체할 방법이 필요하다.

본 논문에서는 고층빌딩 및 지하역사로 구성된 대형 복합건물의 화재 진압 및 안전대응 훈련을 목표로 개발된 소방관 팀 훈련용 시뮬레이터(이하 훈련 시뮬레이터)에 대하여 소개한다. 2장에서는 팀 훈련을 위한 가상환경, 시스템 구조 및 기능, 화재 시나리오 설계, 화재현상 묘사를 위한 화재전산해석, 화재전산해석결과를 이용한 시뮬레이터 기능에 대하여 소개하고 3장에서는 시스템 구현환경 및 구성 시스템의 주요 기능에 대하여 소개한다.

## 2. 시뮬레이터 설계

### 2.1 팀 훈련을 위한 가상환경의 설계

시뮬레이터 구현을 위한 가상환경은 화재를 재현하고, 채취 및 소방훈련을 수행할 수 있는 컴퓨터로 구현된 3차원 가상 공간으로 이를 구현하기 위해서는 화재 시나리오가 설계되어야 한다. 화재 시나리오는 대상 건축물과 화재 규모, 형태를 정의하는 것으로 대상 건축물에 대한 VR 모델 및 화재 재현을 위한 수치 모델은 생성하게 된다. 실제 화재 상황과 유사한 화재 재현을 위해서는 화재 유동현상의 시뮬레이션이 필요하며 이를 위해서 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics) 기반의 대표적인 화재전산해석 도구인 FDS(Fire Dynamics Simulator)<sup>8)</sup>를 사용하였다. 화재전산해석을 이용하여 시간진행에 따른 화재성장, 연기전파, 정량적인 물리량 파악이 가능하며 이를

VR 모델에 반영하여 훈련 시나리오를 생성한다. 팀 단위 훈련은 소방관들에게 팀별 임무(인명구조, 소화활동, 배연활동 등)를 부여하여 훈련 시나리오를 생성한다.

소방관에게 효과적인 훈련을 제공하기 위하여 사용자 인터페이스는 VR로 구현된 3차원 공간 내의 소방 훈련 프로그램 화면 및 증강현실 화면으로 구성된 듀얼 디스플레이와 열기체현 보드를 사용하였다. 팀 단위 소방훈련은 VR 기반 소방훈련 프로그램에서 수행되며, 실제 화재상황 인지 및 몰입감 증대를 위하여 소방관의 위치에 따라 해당 공간에서 화재 진행상황에 따른 화재체현 효과의 제공을 위해 실사(real image) 위에 연기를 부여하는 증강현실 기법<sup>10)</sup>과 소방관 현재 공간 내 온도를 체현할 수 있는 열기체현 보드를 사용하여 실제 훈련과 같은 가상환경을 제공하고자 하였다.

### 2.2 시뮬레이터 구조 및 기능

훈련 시뮬레이터는 훈련을 계획하고 평가하는 운영자(소방지휘관)와 소방훈련에 참여하는 훈련자(소방관)가 상호 통신하면서 훈련을 진행하는 가상공간을 제공하기 위한 시스템이다. 훈련자는 2인 1조로 구성되며 화재상황에 따라 훈련에 투입되는 팀 구성 및 규모가 결정된다. 운영자는 각 팀에게 임무(인명구조, 소화활동, 배연활동 등)를 부여하고, 부여된 임무의 처리 상황을 보고 받으며, 후속조치를 명령한다. 각 훈련조는 운영자의 지시에 따라 가상공간을 이동하면서 정해진 임무를 수행한다. 훈련자 모니터에는 전산해석결과를 토대로 한 화재상황(화원, 연기)이 소방대상물의 가상공간 및 실감영상으로 재현된다. 훈련상황

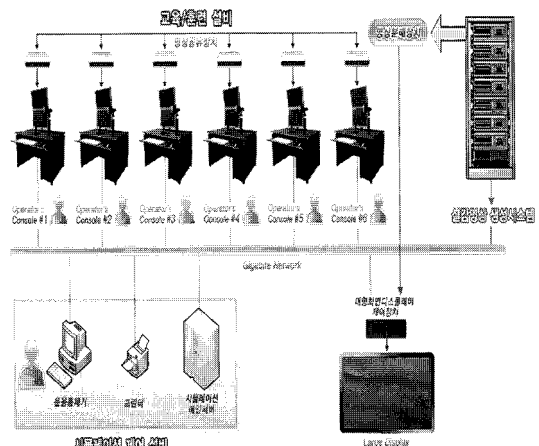


Fig. 1. 소방관 팀 훈련용 시뮬레이터 구조도.

Table 1. 시스템 기능

항목		기능
운영 통제기	시나리오 생성 모듈	화재유형별 훈련시나리오 생성 □ 화재상황(화재위치/크기, 재실자분포, 훈련인원) □ 훈련절차 생성
	새어 모듈	- 각 훈련시나리오의 제어 및 통신 : 훈련자 스테이션, 실감영상생성시스템 제어 : 시나리오 지식사항, 음성/도면 안내 제어 : 교육훈련 과정 저장 및 리플레이
	훈련관리모듈	- 훈련 시나리오 실행 - 교육훈련 과정/결과 평가
시물레이션 메인서버		- 훈련 시나리오 지상 - 훈련용 콘텐츠 (3D모델, 실사 이미지) 저장 - 화재/연기 모델링 데이터 저장 (FDS 데이터) - 교육훈련 과정/이벤트 데이터 저장
실감영상 생성시스템		훈련시나리오에 따른 실시간 실감영상 생성 □ 화재/연기 모델링 데이터를 이용한 실시간 CG 영상 생성 및 훈련용 콘텐츠와 실시간 CG영상 매칭
훈련자용 스테이션		- 듀얼 디스플레이 화면 : 실시간 실감영상을 이용한 화재상황 영상 : VR 기반 소방훈련 (현장정보 표시, 훈련자 의사결정, 인터랙션 입력 등) - 조이스틱, 키보드 등을 이용한 인터랙션 제어 및 물리제형 모듈을 이용한 인터페이스 제공
대형화면 디스플레이		교육훈련 개요, 진행과정, 결과 및 평가 Display

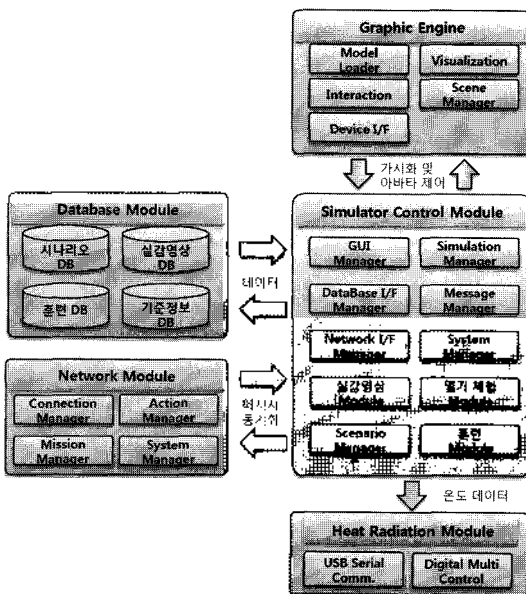


Fig. 2. 소프트웨어 구성도.

은 대형화면을 통하여 제공되며, 운영자 컴퓨터에 저장되어 훈련평가를 위해 활용된다. Fig. 1은 시물레이터 구조도를 나타내며 Fig. 2는 소프트웨어 구성도를 나타낸다. 시스템 기능은 Table 1과 같다.

2.3 화재 및 훈련 시나리오 설계

2.3.1 소방대상물 선정

인명피해 위험성이 높은 고층빌딩과 지하역사가 함께 있는 국내의 대형 복합건물을 선정하였다. 대상건 축물은 지하 5층, 지상 14층의 쇼핑몰과 지하에는 지하차역사가 있다. 쇼핑몰은 대형 영화관, 스포츠 센터 등으로 구성된다.

2.3.2 가상현실 모델 생성

선정된 소방대상물의 내부 및 지하역사를 방문하여

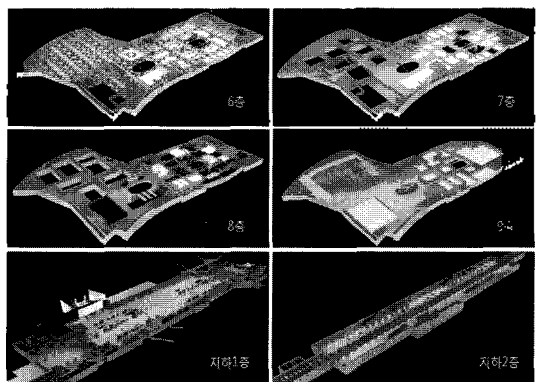


Fig. 3. 고층빌딩 및 지하역사 가상현실 모델.

내부 영상을 촬영하고, 노면 및 내부 구조도를 바탕으로 Fig. 3과 같은 VR 모델을 생성하였다. 소방대상물 전체를 모델링 하는 것은 VR 모델의 복잡도 증가, 훈련 시뮬레이터 실시간 성능 확보 측면에서 바람직하지 않으며, 화재 시나리오에 따라 고층건물은 7, 8층 영화관 화재의 영향을 받는 직하층(6층)부터 직상층(9층)까지를 지하역사는 열차 화재의 영향을 받는 지하 1, 2층에 대하여 모델링을 수행하였다.

2.3.3 소방대상물 화재 시나리오 및 화재전산해석

가상환경에서 화재 상황을 실시간으로 구현하기 위해서는 대상 공간내의 시간별 화재상황 자료, 즉 화재 성장, 연기열기 전파상황, 관련 물리량을 정량적으로 파악할 수 있어야 한다. 이를 위하여 고층빌딩과 지하역사 화재에 대하여 FDS를 이용한 화재전산해석을 수행하였으며, 해석자료는 후처리 과정(post processing)을 거쳐 시뮬레이션 메인 서버에 저장되며 가상공간 내 연기농도, 온도, 유해가스 농도 등으로 실시간으로 가시화 된다.

화재 시나리오의 경우 고층빌딩은 7, 8층에 위치한 영화관에서 지하역사는 정차된 열차에서 화재가 발생한 것으로 설정하였으며, Table 2와 같이 네 가지의 화재 시나리오에 대한 화재전산해석을 수행하였다. 화재 성장곡선은 미국 NFPA(National Fire Protection Association) 모델을 사용하였고 화재크기는 단위시간당 화재 발달량의 단위로 표현되며 1 MW(Mega Watt)는 10<sup>6</sup> J/sec이다.

FDS를 이용한 화재전산해석은 오랜 계산시간이 필요로 하며, 소방관의 소화활동 및 방재시설 가동 등의 훈련자 실시간 인터랙션을 통한 화재전산해석은 불가능하다. 일례로 Table 2의 고층빌딩 대형 화재는 해석 격자(grid) 수는 1,000,000개, 격자크기는 1 m\*1m\*0.25 m, 화재진행 시간은 2,400초로 모델링 되었을 경우 FDS 계산시간이 72시간 정도가 소요되므로 실시간 해석을 통한 훈련 시나리오 변경이 불가능하다.

소방대상물의 방재시설(환기장치, 고정식 소화장치 등)에 대한 모델링은 다음과 같이 수행되었다. 환기장치는 화재전산해석의 경계조건으로 작동하며 화재 시나리오에서는 정전을 가정하여 모든 환기장치를 멈추고, 상하층 계단, 9층의 외부 출입문을 개방한 상태로 화재전산해석을 수행하였다. 필요 시 화재 시나리오에 특정 환기장치 가동을 포함한 수 있으나 실시간 계산은 불가능하다. 고정식 소화장치(스프링클러, 워터 미스트 등)는 필요 시 계산에 적용 가능하나 본 시뮬레이터에서는 화재연기 및 화원에 대한 대응을 위주로 다루고 있어 따로 계산하지 않았으며 다만 가동을 전제로 회차 약화상황을 시나리오에 반영하였다. 훈련 시뮬레이터의 개념상 고정식 소화장치의 경우 소방관이 가동하지 않고, 훈련 시나리오에서는 소화전 및 소화기를 이용하여 화재진압을 수행하며 전송한 바와 같이 소화장치에 의한 화원 및 연기유동의 변화를 실시간으로 계산하여 반영할 수 없는 기술적 한계가 존재하며 소화활동의 경우에는 일정시간 이상 훈련자가 소화장치를 발화점에 작동하면 화재 소화가 완료되는 것으로 판단한다.

Fig. 4는 고층빌딩 화재전산해석 결과의 일부인 연기전파 상황을 나타내며 Fig. 5는 온도분포를 나타낸

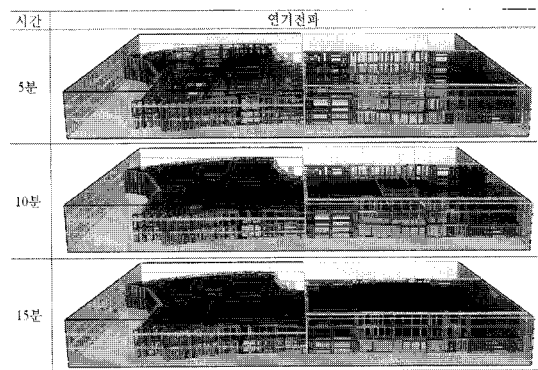


Fig. 4. 고층빌딩 화재해석 결과: 연기전파 - 6~9층.

Table 2. 화재전산해석 시나리오

항목	고층빌딩		지하역사	
	소형	대형	소형	대형
화원	방화			
진행 상황	스프링클러 가동으로 화재성장 억제	스프링클러 미가동으로 화재성장 및 전파	water mist 가동으로 화재성장 억제	화재성장
화재크기	2MW	30MW	2MW	14MW
화재성장곡선	NFPA slow fire	NFPA slow fire	NFPA slow fire	NFPA fast fire
노딜시간	825초	790초	825초	540초

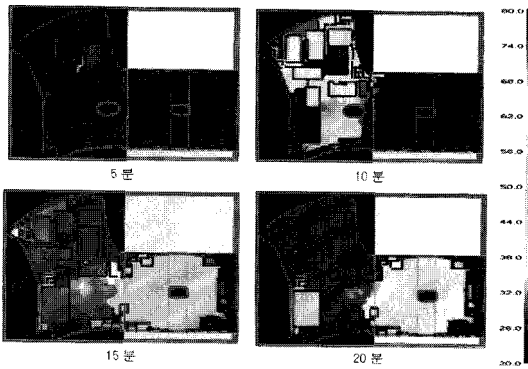


Fig. 5. 고층빌딩 화재해석 결과: 온도분포 - 8층.

다. 고온부분은 붉은색으로 표시되며 파란색이 저온부분을 나타내고 있다.

2.3.4 화재 특이현상 재현을 위한 화재전산해석

일반적인 화재 현상과 달리 건물 내 화재 현상 중 특이한 상황으로는 flash over(플래시 오버), back draft(백 드래프트) 현상이 있다. 플래시 오버란 건물 화재에서 발생한 가연가스가 일시에 인화하여 화염이 충만하는 단계로 순간적인 연소 확대현상 또는 폭발적인 착화현상이며 백 드래프트는 적절하게 배연이 되지 않는 상태에서 화재로 인하여 산소가 결핍된 실내에 산소가 급격하게 유입되었을 때 발생하는 고열(화재)가스의 폭발 또는 급격한 연소가 발생하는 현상이다. 화재 특이현상은 실제 화재 상황에서 소방관의 생명을 위협할 수 있는 중요한 훈련 대상이며 화재전산해석을 수행하여 훈련 시나리오에 포함하였다. 가상공간 내 화재해석 자료를 삽입하기 위하여 10 m\*10 m\*5m 크기의 구역을 실내로 한정하여 출입구와 창문이 있고 바닥, 천장, 벽면을 가연물로 한정하여 계산을 수행하였다.

화재 특이현상은 훈련 시나리오에 정적으로 명시되지 않고 훈련자가 특정장소에 도착(플래시 오버) 또는 방문 개방(백 드래프트) 등의 특정 이벤트를 발생시키면 해당 화재특이현상이 작동하게 된다.

플래시 오버의 경우 출입문이 열려있는 상태에서 화재가 발생하여, 화재가 성장하고 천장으로 화재가 전파되어 방안의 온도가 높아져서, 창문이 파열된과 동시에 방 전체로 화재가 전파되는 경우를 선정하였다. Fig. 6은 플래시 오버 전산해석 결과이며, 360초 이후에 화재가 급속도로 성장하여 410초에 유리창이 파괴되며 플래시 오버가 발생함을 알 수 있다.

백 드래프트는 폭발을 동반하는 화재현상으로 현재

의 화재 시뮬레이션 기술로 건축물 크기의 공간에서 재현하는 것은 불가능하다. 다만 비슷한 현상을 보이기 위하여 산소공급 개구부를 매우 작게 주어 화재가 성장한 후 방안의 온도가 충분히 높은 상태에서 산소 부족으로 화재가 더 이상 성장하지 못하다, 소방관에 의해 출입구 분이 열려 급속히 화재가 성장하면서 출입문으로 화원이 퍼지는 현상만을 모사하였다. Fig. 7과 같이 내부에 가연가스가 충만한 상태에서 300초에 문 개방과 함께 산소 유입이 되어 연기, 화염이 분출되는 백 드래프트가 발생하였음을 알 수 있다.

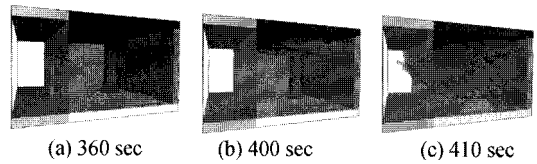


Fig. 6. Flash over 전산해석 결과.

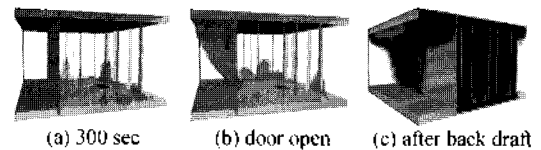


Fig. 7. Back draft 전산해석 결과.

2.3.5 화재전산해석 데이터 처리 및 실시간 가시화 FDS 해석 결과자료 중 PLOT3D 데이터는 특정 시각에서 해당 격자 공간에 대한 물리량인 Soot Density(연기), HRRPUV(Heat Release Rate Per Unit Area, 단위체적당 열방출율), CO(일산화탄소), 온도 등을 포함하고 있다. PLOT3D 데이터는 비균등 격자 데이터이며 VR 가시화를 위해서는 불투명 렌더링에 적합하도록 균등한 격자 간격으로 변환하는 재-샘플링(Re-

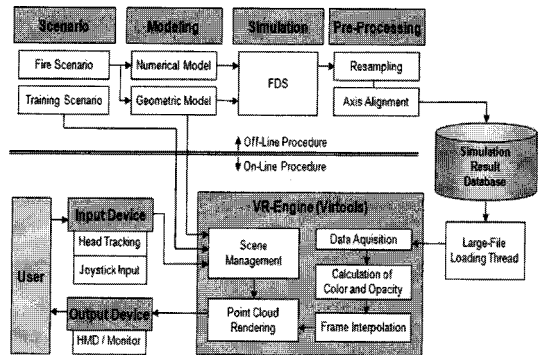


Fig. 8. 화재전산해석 데이터 처리절차.

sampling) 과정과 서로 다른 FDS 해석모델 좌표축과 VR 모델의 좌표축을 보정하는 축 보정(Axis alignment) 과정을 거쳐, 시뮬레이션 메인시너에 저장되며 Fig. 8과 같은 흐름으로 처리된다.

실시간 가시화 과정에서는 대용량 PLOT3D 데이터를 효과적으로 가시화 하기 위해 대용량 파일처리 쓰레드(thread)를 사용하여 데이터 로드(load) 시 걸리는 부하를 최소화 하였고, 3차원 그래픽 소프트웨어인 Virtools<sup>TM</sup>의 포인트 클라우드(Point Cloud) 기술을 적용하여 3차원 공간 내의 물리량에 대한 볼륨 렌더링을 수행하였다. 또한 연기의 경우 해당 물리량 값을 바탕으로 색상 및 투명도를 직접 매핑할 수 있지만, 온도나 유독가스의 값이 무색 투명한 물리량의 경우 인체에 유해한 정도를 비딩으로 값을 성장화 하고 이를 색상 및 투명도로 매핑하는 과정을 거쳐 볼륨 렌더링을 수행하였다. 이를 통해 훈련자 및 운영자가 해당 가상 공간에서의 유해도를 시각적으로 경험할 수 있다. Fig. 9는 볼륨 렌더링을 이용하여 표현된 유해 가스의 실시간 가시화 화면이다. 훈련 중 누직되는 유해 기스는 훈련평가에 반영되어 훈련자 안전평가에 활용된다. 화염 가시화는 화재 특이현상 및 화원 가시화르 분리하여 구현하였다. 실제 현상과 가까운 화재 상황을 제공하기 위해 화재 특이현상에 대한 화염 가시화에서는 단위체적당 일방출출(HRRPUV) 데이터를 이용한 볼륨 렌더링 기법을 사용하였으며, 건물 및 지하 공간 내부 화원 가시화는 시뮬레이터 성능 향상을 위하여 화재 발원지를 중심으로 하는 Virtools의 파티클(Particle) 시스템을 사용하였다. Fig. 10은 볼륨 렌더링 기법과 파티클 시스템을 사용한 화염 가시화화 나

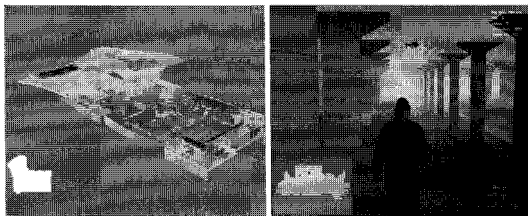
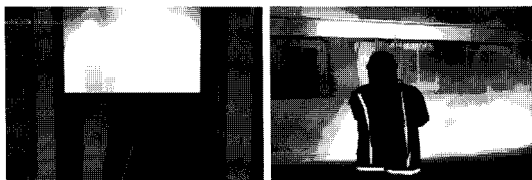


Fig. 9. 볼륨 렌더링을 이용한 유해가스 가시화.



(a) 볼륨 렌더링 (b) 파티클 시스템

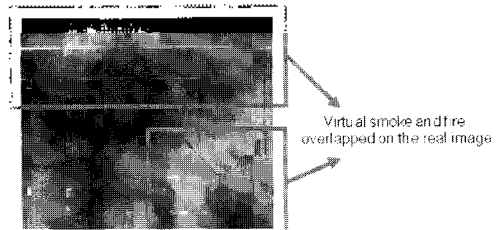
Fig. 10. 화염 가시화.

타낸다.

데이터베이스에 저장된 화재선산해석 결과는 화재 진행에 따른 현장상황 체험을 제공하기 위한 실사 이미지(real image) 위에 연기를 두영하는 증강현실 화면의 생성에 활용된다. 실사 이미지는 훈련 대상물의 주요 위치에 대하여 미리 촬영하여 실감영상 생성 시스템에 저장하였으며 훈련 시 훈련자의 현재 위치에 따라 해당 공간의 실사 이미지를 로드하고 화재선산 해석 결과에서 연기 크기를 추출하여 Fig. 11과 같은 증강현실 화면이 실시간으로 생성되어 훈련자에게 제공된다. 이를 통하여 훈련자는 실제 화재 상황에 대한 이해와 현장감을 느낄 수 있다.



AR image generation according to time from simulation results  
(a) 시간변화에 따른 연기 생성을 통한 증강현실



(b) 화염과 연기 생성을 통한 증강현실

Fig. 11. 증강현실 생성 예.

화재진산해석 결과로부터 가시화를 위한 데이터 처리과정과 훈련 평가를 위한 데이터 처리과정의 연관 관계는 Fig. 12와 같다. 화재선산해석 결과는 VR 환경에서 화재현상의 시각화를 위한 가시화용 데이터로 활용되며 동시에 훈련자의 이동 경로에 대해 훈련자별 고온영역 및 유해가스 고농도 영역 통과 시간, 축

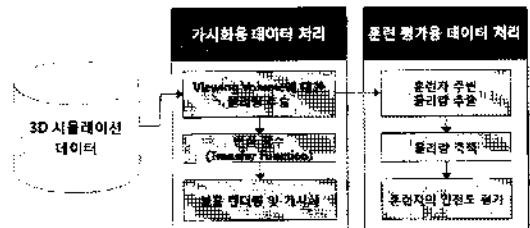


Fig. 12. 시뮬레이션 데이터 처리 과정.

직된 유해 가스량 등을 계산할 수 있기 때문에, 훈련 평가지표 및 개선 활동에 활용된다.

### 2.3.6 화재전산해석 데이터를 이용한 열기체험 모듈

훈련에 참여하는 다수의 소방관들에게 개별적인 CAVE나 IIMD 제공 등을 통한 몰입감 제공이 어렵기 때문에 훈련자의 위치에 따라 공간 내 온도를 체험할 수 있는 열기체험 모듈을 통하여 몰입감 및 현실감을 높이고자 하였다. 시뮬레이터는 화재전산해석의 온도 데이터를 활용하여 훈련자의 현재 위치별 온도를 USB 시리얼 통신으로 연결된 열기체험 모듈에 송신하며 운영 온도범위는 20~80도(섭씨기준)로 설정되어 있다. 80도 이상의 고온은 화상 위험이 있어 제한하였고, 정확한 온도를 재현하기 보다는 훈련자가 고온 영역에 들어가는 경우 열기를 보강해 주는 역할을 수행한다. 열기체험 모듈은 220V 단상 전원, Digital Multi Control, 250W 적외선 램프를 사용하였고 온도는 255단계까지 제어된다. Fig. 13은 열기체험 모듈 및 운영 화면이다.

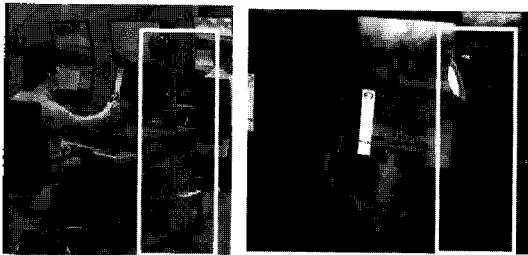


Fig. 13. 열기체험 모듈 및 운영.

### 2.3.7 훈련 시나리오

대형 복합건물 화재와 같은 응급상황에서 화재피해를 최소화하기 위해서는 사고현장 지휘체계(ICS, Incident Command System)에 따라 소방지휘관을 중심으로 진압작전이 수행되어야 하며, 작전에 투입된 소방대원의 임무 및 역할을 규정하는 표준작전절차(SOP, Standard Operating Procedure)가 수립되어야 한다.

훈련 시뮬레이터는 사고현장에 투입되는 소방관의 표준작전절차<sup>11)</sup>에 따라 2인 1조로 구성된 3개 팀 6명과 지휘관 1명을 훈련 대상인원으로 설계하였다. 훈련 시작조건은 화재신조에 의하여 소방대가 출동하였고, 화재층이 파악된 상황으로 설정하였으며 각 팀은 인명구조(인명탐색, 피난안내, 의식불명자 구조), 탐색(지역 분담), 소화활동(소화전, 소화기), 배연활동(창

및 출입문 파괴), 화재 특이현상(플래시 오버, 백 드래프트) 대응 등의 팀 단위 임무를 고충빌딩 및 지하역사를 대상으로 훈련하도록 시나리오를 구성하였다.

팀 단위 훈련 평가는 훈련활동 종료 후 평가모듈에서 훈련내용 재생, 결과 평가를 수행하도록 하였으며 각 팀별 임무에 따라 화원탐색에 걸리는 시간 및 화원탐색 후 소화활동 여부, 인명탐색 및 구조에 걸리는 시간, 훈련활동 중 고온 및 유해가스 고농도 영역 통과시간, 화재 특이현상에 대한 적절한 대처 여부 등을 평가지표로 설정하였다.

## 3. 시뮬레이터 구현

### 3.1 구현 환경

시뮬레이터 개발을 위해 활용된 S/W 환경을 Table 3에 정리하였다. 운영체제는 Windows XP Pro, Server 2003을 사용하였고 시스템, 사용자 훈련데이터 처리를 위하여 Oracle DBMS를 사용하였다. 화재전산해석 S/W는 FDS 4.0과 FDS 전처리기 PyroSim 2006을 사용하였다. 네트워크 기반 팀 훈련 제어, 실감영상 생성, 열기체험 모듈 제어를 위하여 Visual Studio .Net을 사용하였고, VR 구현을 위한 S/W는 실시간 데이터 처리, 대용량 모델, Point Cloud 기반의 볼륨 렌더링, 화염 가시화를 위한 파티클 시스템을 제공하는 3차원 그래픽 소프트웨어인 Virtools 4.0을 사용하였다.

Table 3. 시스템 구현 S/W 환경

Category	Specification
OS	Windows XP Pro (훈련사용 스테이션) Windows Server 2003 (제어기, 서버)
DBMS	Oracle 10g R2
Fire Simulation	FDS 4.0
FDS Preprocessor	PyroSim 2006
Graphics Lib	Virtools 4.0, XE Player
Compiler	Visual Studio 2005

시뮬레이터 구축을 위한 H/W 구현환경은 Table 4와 같으며, 시뮬레이터 룸 구축을 위한 냉공조 장치, 스크린 등 관련설비 및 장비는 생략하였다. 시뮬레이터가 설치된 공간은 가로 6m, 세로 12.5m 크기에, 소방관 6인이 동시에 훈련에 참가할 수 있는 훈련 공간, 훈련 준비 공간, 시뮬레이터 조작을 위한 오퍼레이터 공간, 훈련 참관 및 평가를 위한 모니터링 공간으로 계획을 설계하였다.

Table 4. 시스템 구현 H/W 환경

	Category	Specification
시뮬레이션메인서버	CPU	Quad-Core Xeon 2.4GHz, 2CPU
	RAM	8GB
	HDD	1 TB
운영통제기	CPU	Quad-Core Xeon 2.4 GHz, 2CPU
	RAM	4GB
	VGA	NVIDIA Quadro FX5500
	HDD	600 GB
훈련자용스테이션	CPU	Core2Duo 2.66 GHz
	VGA	NVIDIA Geforce 8800 GTS
	HDD	300 GB
	Monitor	24"LCD x 2EA (dual display)
대형화면디스플레이	Projector	Mitsubishi XD3500U
영상분배기	Splitter	NMV-200H
Network	Hub	Giga LAN Hub 16 port

3.2 구성 시스템별 주요 기능 소개

Fig. 14는 훈련에 참여하는 훈련자에게 제공되는 훈련자용 스테이션을 나타낸다. 훈련자는 듀얼 디스플레이를 제공 받으며 상당은 현재 위치에 따라 생성된 증강현실 화면이며 하단은 VR 기반 소방훈련 프로그램 화면으로 좌측에는 가상공간 내 현재 위치에서의 온도에 따라 열기체험 모듈이 작동되고 있음을 알 수 있다. 훈련자는 조이스틱을 이용하여 가상공간(고층빌딩, 지하역사)에서 이동 및 부여 받은 훈련 임무를 수행한다. Fig. 15는 VR기반 소방훈련 프로그램으로 훈련자가 부여 받은 소화활동을 수행하는 화면이다. 훈련자는 산소탱크 용량인 15분 내에 부여된 임무를 수행하여야 하며 훈련 시에 발생하는 화재 특이현상(백 드래프트, 플래시 오버)에 적절한 대처를 하여야 한다.

Fig. 16은 벽면에 설치된 대형화면 디스플레이를 통해 각 팀별 훈련상황이 운영자 및 훈련 참관자에게 중계되는 화면으로 운영자 시스템의 훈련통제 화면과 훈련 팀의 VR 기반 소방훈련 화면이 영상분배기를 통하여 4분할 화면으로 합성되어 표시된다. Fig. 17은 운영자 시스템에 표현된 현재의 훈련상황으로 훈련에 참여하는 소방관의 이름, 위치/온도 파악, 각 훈련생의 이동 경로, 팀별 임무수행현황, 평면도(minimap), 발화심, 현재 훈련시각 등 현재 훈련상태 등을 파악할 수 있도록 구성되었으며 운영자는 훈련자가 보지 못

하는 종합적인 훈련상황, 화재현황 등을 추가적으로 확인할 수 있으며 운영자 프로그램을 이용하여 훈련의 시작, 진행, 종료, 평가 등을 수행한다.

Fig. 18은 완성된 훈련 시뮬레이터를 나타낸다. 훈련에 참여하는 소방관은 2인 1조로 구성되며 동시에

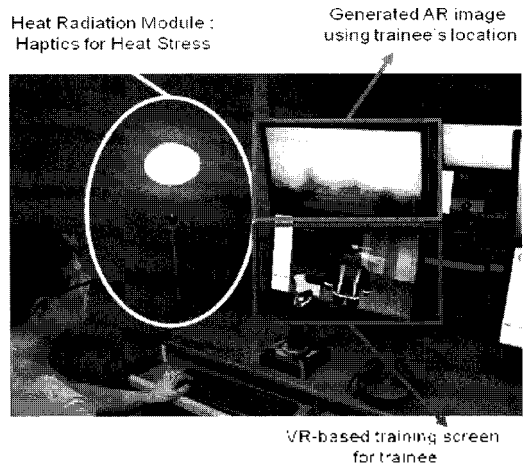


Fig. 14. 훈련자용 스테이션.

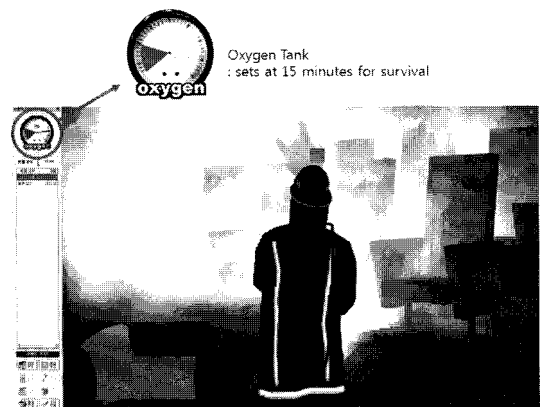


Fig. 15. 훈련자용 시스템 - VR기반 소방훈련 화면.



Fig. 16. 대형화면 디스플레이 - 팀별 훈련상황.



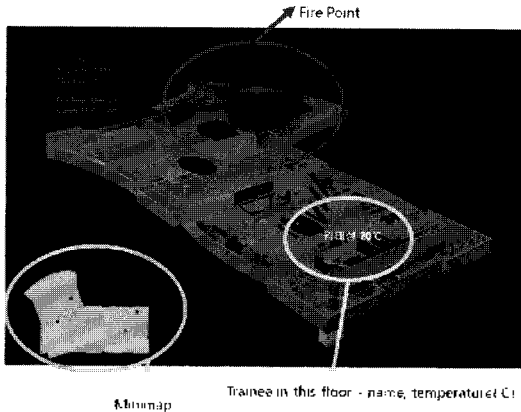


Fig. 17. 교관용 시스템 - 훈련통제 화면.



Fig. 18. 소방관 팀 훈련용 시뮬레이터 뷰.

훈련이 가능한 소방관은 6명으로 현재는 3개의 팀이 팀별 임무수행을 훈련하도록 한정되어 있으나, 향후 확장이 가능하며 각 소방관들의 위치 및 임무 수행여부는 운영자 시스템 및 대형화면 디스플레이에서 실시간 모니터링이 가능하다. 훈련 과정인 개인별 이동 경로, 임무수행 경과, 이산화탄소, 온도 등의 각종 물리량에 대한 개인별 누적 결과는 데이터베이스에 기록되어, 훈련 종료 후에 교관이 훈련 평가 및 디브리핑(de-briefing)을 수행하며 훈련자는 개인별 훈련 내용을 데이터베이스로부터 확인하고 훈련 시뮬레이터에서 제공하는 별도의 플레이어를 이용하여 훈련자별 훈련상황을 재생할 수 있다.

Fig. 19는 훈련 시뮬레이터에서 훈련을 수행하는 화면으로 실제 훈련에서는 소동환경 하에 운영된다. 시스템 성능 관점에서 훈련 시나리오에 따른 시스템 동작, 각 훈련자별 VR 기반 소방훈련 프로그램 기능성, 실감영상 생성, 열기체험 모듈 동작 등을 검증하였고



Fig. 19. 소방관 팀 훈련.

시스템에 대한 사용자 피드백을 수행하였다. 훈련 시뮬레이터에 설정된 4개 훈련 시나리오에 대한 운영 결과, 훈련 시나리오별 시스템 기능을 검증하였고 전체적인 시스템 성능의 안정성을 확인하였다. VR 기반 소방 프로그램의 경우 WXGA(1280\*768) 해상도 기준 초당 50-60 프레임으로 안정적인 가시화, 대용량 화재전산해석 데이터 연동, 임무/팀별 훈련 빛 평가 기능 등을 검증하였고 가상환경 내 훈련자 현재 위치에 따른 실감영상 생성 및 열기체험 모듈 동작 등을 검증하였다. 훈련 몰입도에 대한 사용자 피드백 결과에서는 시뮬레이터 씬이 휼소하여 훈련자별 독립적인 공간 부족과 팀간 의사소통이 분리되지 못하여 훈련자별 공간 확보 및 팀별 공간 분리 등의 시스템 개선이 필요한 것으로 제시되었다.

#### 4. 결 론

고층빌딩, 지하철역사와 같은 대형화재 현장에서는 개별 소방관의 능력과 함께 소방관 팀 단위의 대응능력 향상 및 훈련이 필요하다. 본 논문에서는 실제 화재현상의 묘사를 위한 수치적 모델링, 3차원 가상 공간 구현을 위한 VR기반 소방훈련 프로그램, 훈련에 대한 몰입감 증대를 위한 실감영상 생성 기법 및 불리체험 기법을 적용하여 개발된 소방관 팀 훈련용 시뮬레이터를 소개하였다. FDS를 활용한 사실적인 화재현상 시뮬레이션 및 가시화가 가능하여 소방훈련 효과를 극대화 할 수 있으며 네트워크를 통한 팀 훈련, 화재 종류별 체험 및 대응 등의 모의훈련이 가능한 시뮬레이터를 구축하였고, 개발된 시뮬레이터를 통한 소방훈련으로 응급상황 시에도 신속한 의사결정과 안전하고 계획적인 활동이 가능할 것으로 판단된다.

향후에는 현장 수요자인 소방관의 의견 수렴 후 개

발전 시뮬레이터의 개선점을 도출, 보완할 예정이며, 구축된 훈련 콘텐츠는 일반인에게 화재 체험 및 대피 훈련을, 소방관에게는 화재발생 현상의 열 및 연기진과 진행상황, 화재 특이상황 전개 등을 제공하여 진화 지점 파악 및 화재 진압 활동 등을 훈련할 수 있는 시스템으로 활용할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No.00041642-1)과 산업기술연구회에서 지원하는 대형 기계설비 안전기술 개발사업의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

### 참고문헌

1. Julien, T. U. and Shaw, C. D., "Firefighter Command Training Virtual Environment," *Proc. of the 2003 Conference on Diversity in Computing*, pp. 30-33, 2003.
2. Dugdale, J., Pavard, B., Pallamin, N. and Jed, M., "Emergency Fire Incident Training in a Virtual World," *Proc. of the 1st Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, pp. 167-172, 2004.
3. 차부현, 이재경, 박성환, 최병일, "신산수지해석 데이터 기반 화재훈련 시뮬레이터의 개발," 한국CAD/CAM학회 논문집, Vol. 14, No. 4, 2009.
4. ADMS -- The Advanced Disaster Management Simulator, EIC USA, <http://www.admstraining.com/index.php>
5. Ren, A., Chen, C., Shi, J. and Zou, L., "Application of Virtual Reality Technology to Evacuation Simulation in Fire Disaster," *Proc. of the 2006 International Conference on Computer Graphics & Virtual Reality*, pp. 15-21, 2006.
6. Ericson, E. R., "Development of an Immersive Game-based Virtual Reality Training Program to Teach Fire Safety Skills to Children," *Master's Thesis of Iowa State University*, pp. 1-73, 2007.
7. Chittaro, L. and Ranon, R., "Serious Games for Training Occupants of a Building in Personal Fire Safety Skills," *Proc. of 2009 Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, pp. 76-83, 2009.
8. McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J., Baum, H. and Rehm, R., "Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide," *NIST Special Publication 1018-5*, NIST, 2008.
9. Ryder, N. L., Sutula, J. A., Schemel, C. F. and Hamer, A. J., "Consequence Modeling Using the Fire Dynamics Simulator," *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 115, pp. 149-154, 2004.
10. Hughes, C. E., Stapleton, C. B., Hughes, D. F. and Smith, E. M., "Mixed Reality in Education, Entertainment, and Training," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 25, No. 6, pp. 24-30, 2005.
11. 3DVIA Virttools, <http://www.3ds.com/products/3dvia/3dvia-virttools/>
12. 재난현장 표준작업절차, 중앙소방학교, 2006.



#### 이재경

1995년 아주대학교 컴퓨터공학과 학사  
1997년 아주대학교 컴퓨터공학과 석사  
2008년 충남대학교 컴퓨터공학과 박사  
1997년~현재 한국기계연구원 선임연구원  
관심분야: 엔지니어링 기반 VR 시스템, 인간-기계 상호 작용



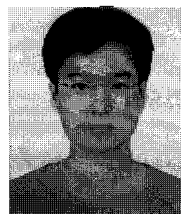
#### 차무현

2000년 포항공과대학교 기계공학과 학사  
2006년 한국과학기술원 기계공학과 석사  
2006년~현재 한국기계연구원 선임연구원  
관심분야: 모델링&시뮬레이션, 엔지니어링 기반 VR 시스템



#### 최병일

1990년 한국과학기술원 기계공학과 학사  
1992년 한국과학기술원 기계공학과 석사  
2000년 한국과학기술원 기계공학과 박사  
2001년~현재 한국기계연구원 책임연구원  
관심분야: 플랫폼인식체계, 화재안전



#### 김태성

2003년 전북대학교 분자생물학 학사  
2005년~현재 에이알비전 기술연구소  
과장  
관심분야: VR 기반 시뮬레이션, Mobile 소프트웨어