

가상현실(Virtual Reality, VR) 기반 소방 훈련 시뮬레이터 개발 동향

최병일* · 한용식** · 김명배***

1. 서 론

다수의 사람들이 이용하는 공간에서의 화재발생시 화재의 급속한 성장으로 인하여, 소화 및 구조 활동 등의 제약을 받게 되어 막대한 인명 및 재산 피해가 발생할 가능성이 높다. 또한 급격한 화재성장, 고온의 열기류, 연기에 의한 시야의 제약 등으로 화재진압 및 인명구조에 투입된 소방관들의 안전에도 큰 위협이 발생할 수 있다.

2001년 서울 홍제동 주택화재의 경우, 진화중이던 소방관 6명이 사망하는 등 국내에서도 끊임 없이 소방관 순직사고가 발생하고 있는 실정이다.

미국의 경우 1999년 12월 3일 6명의 소방관이 미국 메사츄세츠허 워체스터지역의 방치된 냉동창고 화재로 순직했다. 이들 소방관들은 냉동창고 내에 2명의 노숙자가 남아있다는 제보를 듣고 건물안으로 진입하여 인명 검색 중 길을 잃고, 피난구를 찾지 못하고 결국 사망했다. 또한, 1991년 12월 20일 새벽, 미국 펜실베니아주의 건축물 화재시 1층의 부분적 붕괴로 고립되었던 4명의 의용소

방대원이 사망한 사고가 발생하였다. 이들은 2층 건물의 화재현장에서 지하로부터 1층으로의 연소확대를 방지하는 임무를 부여 받고 있었고, 공기 호흡기와 완전한 화재진압복을 입고 있었지만 1층 바닥이 지하층으로 붕괴될 때 일어난 강렬한 화세에 희생되었다. 사고 분석결과 건물이 붕괴되어 그들의 주요 피난로가 차단되고 수관까지 불에 타 불길로부터 보호될 수 없었다는 사실을 알 수 있었다.

이런 소방관 순직상황으로부터 얻어진 교훈은 다음과 같이 정리할 수 있다.

(1) 방치된 건물에 대한 경방조사를 통한 경방 계획이 미리 갖추어져야 한다. 건물구조 및 내부 시설물, 위험물 등 사전에 조사되지 않으면 진압 계장(현장지휘관)은 화재시 정보에 기초한 작전을 할 수 없다.

(2) 사고현장 지휘체계(ICS)대로 지휘가 이루어져야 한다.

(3) 안전간부는 사고현장의 안전에 대한 현장 지휘관의 역할과 책임을 보좌하기 위한 고도의 전문성과 집중력을 가지고 있는 전문가인데 대형 화재에 반드시 안전간부가 지명되어야 한다.

(4) 표준작전절차가 수립되어야 하며 표준작전절차가 활용되어야 한다. 특히 대형화재시 통신관리가 효율적으로 이루어져야 한다.

※ 교신저자(Corresponding Author) : 한용식, 주소 : 대전광역시 유성구 장동 171(305-343), 전화 : 042)868-7478, FAX : 042)868-7355, E-mail : yshan@kimm.re.kr

* 한국기계연구원 선임연구원 (E-mail : cbisey@kimm.re.kr)

** 한국기계연구원 책임연구원

*** 한국기계연구원 책임연구원 (E-mail : mbkim@kimm.re.kr)

(5) 사고현장지휘관은 계속해서 대원을 관리해야 한다.

(6) 건물 진입 시 유도 로프를 사용해야 하며 진입한 대원들이 출입구를 찾는데 용이하도록 건물 입구 쪽으로 투광기를 집중 사용해야 하며 열상카메라를 적극 활용해야 한다.

상기한 소방관 순직사례에서 보듯이 실제 화재 훈련장에서의 소방관 훈련 필요성이 늘어나고 있으나, 고층빌딩, 다중이용시설, 지하역사 등 대형 소방대상물에서의 화재 대응 훈련은 실제 화재를 재현하는 것이 불가능하기 때문에 현실감이 있는 훈련을 수행하는 데 문제가 따른다. 따라서 가상 현실기반 소방훈련 시뮬레이터와 같은 훈련효과가 큰 새로운 개념의 소방훈련 시스템 개발이 절실히 요구된다.

2. 가상현실 기반 화재시뮬레이터 개요

가상현실(VR, Virtual Reality)기술은 컴퓨터에 의해 시뮬레이션 되는 3차원 가상환경을 통해, 인간에게 현실감 및 몰입감을 제공해 주는 기술으로써, 데이터의 시각화/시뮬레이션/교육/의료/오락 등 다양한 분야에 걸쳐 폭넓게 응용되고 있다. 특히 화재현장과 같이 상황이 매우 위험하거나 인위적 연출이 어려운 경우에 가상현실 기술을 적용할 경우 교육생이 위험에 직접 노출되지 않으며, 적은 비용으로 다양한 시나리오에 대하여 반복 훈련을 할 수 있는 장점을 가지기 때문에 가상현실 기술은 화재에 대응할 수 있는 훈련용 시뮬레이터로 가장 적합한 기술이라 할 수 있다.

화재에서 발생한 연기는 연기의 독성 및 질식성에 의한 사상과 불투명성에 의한 피난자의 공포심 유발, 가시거리 감소 등 원활한 피난활동에 중대한 장애 요소로 작용하는데, 우리나라와 일본의

경우 화재 시 연기에 의한 사상자 비율이 약 50%로 조사되고 있다. 따라서 화재 발생으로 생성되는 열, 연기, 다양한 화재가스 등의 유동 및 분포현상을 사전에 공학적으로 해석하고 이를 VR로 구현하여 소방대응 훈련을 수행함으로써 종합적인 소방대책을 수립할 필요가 있다.

미국, 유럽 및 일본 등에서는 산불화재, 일반화재, 고층건물화재, 항공화재, 테러 및 지진과 같은 재난에 대비하여 훈련할 수 있는 다양한 매체를 개발하여 사용하고 있으며, 그 중 가상현실을 이용한 시뮬레이터의 활용이 가장 활발한 편이나, 국내에서는 가상현실 시뮬레이터를 통한 훈련이 거의 전무한 실정이다. 국내 중앙소방학교에서는 소방방재청의 신설로 인해 재정립되는 긴급구조통제단 체계(ICS)에 대한 교육 및 훈련을 위해 재난 관리 VR 시뮬레이터의 수요가 증가하고 있는 추세에 있다.

VR 기반 소방안전 대응 시뮬레이터는 모델링 및 시뮬레이션 기술, 실시간 가시화 기술, 상호작용을 위한 인터페이스 기술 등이 필요하며, 다양한 공학분야에 근간한 시뮬레이션 및 가상현실 S/W, H/W를 활용하여 구축되어야 한다. 따라서, 시스템 구축에 필요한 각 요소기술들의 확보 및 이들을 효과적으로 구성, 제어하는 시스템 통합기술의 확보가 반드시 필요하며, 가상현실 기반 시뮬레이터 개발을 위한 필요기술은 다음과 같다.

- 소방대응 VR 시뮬레이터는 크게 시나리오를 생성할 수 있는 모듈, 화재모델 같은 재난 형태의 진행을 수리식을 통해 계산해 주는 다이내믹 모듈, 영상을 생성하는 모듈, 교육 후 평가를 위한 디브리핑(debrifing)용 모듈, 다수의 교육생이 팀으로 훈련이 가능하도록 하기 위한 네트워크 모듈로 구성할 수 있다.

- 시나리오 생성기는 광범위한 범위에 걸쳐 교

육훈련에 관한 기본 조건을 만들어 사용자 훈련 목적에 맞는 시나리오를 작성하며, 사고유형, 사고현장의 환경적 상황, 가용한 자원 및 사고현장 주변 시민의 수나 행동 등을 설정하여 훈련 상황 시나리오를 생성하기 위한 모듈로 사용자가 훈련 시나리오를 다양하게 생성할 수 있는 기술이 필요하다.

- 화재 대상물의 특성과 환경 조건에 따른 화재 상황을 사실적으로 재현하기 위해, 물리적 해석(실험, 전산해석, 이론해석)에 근거한 다이내믹 모듈이 필요하다.

- 영상생성 모듈은 사실적인 현장의 모습을 보고 임무수행을 할 수 있도록, 다이내믹 모듈에서 계산된 값을 이용하여 훈련생이 보고자 하는 LOS(Line of Sight)에 따라 3차원으로 현실감 있게 실시간으로 영상을 생성할 수 있도록 하는 기능을 가지며, 이를 위해 VR 영상생성 기술이 필요하다.

- 디브리핑(debriefing)용 모듈은 훈련 후 객관적으로 훈련과정을 평가하기 위한 모듈로, 화재의 경우, 화재크기, 강도, 약제 사용량, 화재온도, 부상자의 수 및 부상의 정도 등 구체적인 수치를 이용하여 훈련 후에 임무 수행 결과를 평가하고, 임무수행 과정에서 발생한 잘못을 개선하고, 보다 개선된 지휘체계의 개발을 위한 평가 소프트웨어를 개발할 수 있는 경험이 필요하다.

- 네트워크 모듈은 다수의 소방대원 훈련자가 동일한 화재 상황에 동시에 참여하여 훈련할 수 있도록 하는 기능을 가지며, 분산형 네트워크 구성이 필요하다.

가상현실 시뮬레이터 기술은 국가기술지도의 '비전 I 정보·지식·지능화 사회 구현'의 '그래픽스' 분야에 속하는 기술이며, 그래픽스 분야별 요

소기술 중 자연현상 모델링, 실시간 고품질 렌더링, 체감형 VR객체 생성 기술에 해당하는 기술로써 미래유망산업 중 하나이다.

3. 국외 기술개발 동향

국외의 경우, 화재진압 및 대피훈련을 위한 가상현실기반 시스템이 개발되고 있으나, 공학 데이터에 기반한 인터랙션 형태의 VR시스템 개발 사례는 미비한 단계에 있다.

화재 안전기술 분야에서 가장 앞선 연구기관은 미국 NIST의 BFRL(Building and Fire Research Laboratory)이다. NIST BFRL에서는 "Advanced Fire Service Technology", "Advanced Measurement and Prediction Methods for Fire Loss Reduction", "Reduced Risk of Flashover"의 3개 연구분야에 대해 수십 개의 연구 과제를 수행 중에 있으며, NIST에서 개발한 화재 시뮬레이션용 해석도구인 FDS를 활용한 VR기반 시뮬레이터 관련 연구가 많은 곳에서 수행되고 있다 [1-5]. 또한 일본 소방연구소에서는 가시화 개념이 아닌 화재체험 시뮬레이터 FireCube[6]를 2005년 개발하였으며, 화재 훈련과 관련된 상용프로그램들이 화재관련 전시회를 통해 소개되고 있다.

3.1 Firefighter Command Training Virtual Environment (2003)[1]

이 연구에서는 주택에 발생된 화재를 다양한 시각에서 관찰하고 네비게이션을 수행하며, 미리 정해진 다양한 시나리오로서 소방관의 소방훈련 명령을 체험할 수 있는 가상현실 기반 시스템을 개발하였다.

먼저 주택(165×80×20m, 20cm³ grid, 264,200 voxels)에 대한 FDS 모델링 후, 전체 불륨에 대해

1초 단위로 시뮬레이션을 수행하였으며, 미리 정해진 시나리오대로 시뮬레이션 된 결과물을 저장하였다. 1초당 2MB의 Plot3D 데이터를 얻었으며, RLE(Run Length Encoding)을 통해 160KB로 데이터를 압축하여 실시간 성능을 확보하였다. 화재현상 렌더링은 복셀기반의 Splatting Renderer를 사용하였고, Transfer Function으로 Gaussian Filter를 채용하였으며, 각 렌더링 단위의 색상값은 Plot3D의 HRRPUV, 투명도는 Soot Density로서 표현하였다(그림 1).

3.2 Serious Color Fluid Dynamics in Fire Simulation (2005)(2)

이 연구에서는 주방에서 발생한 화재에 대한 Backdraft 현상의 시뮬레이션을 위해 12×18×10(m)의 공간에 대한 FDS해석을 수행하고,

HRRPUV 및 Mixture Fraction을 통한 Soot Density를 이용하여 광학적 속성을 추출하였다. 또한 속도장을 이용하여 16×16×16(pixel) 크기의 작은 텍스처를 생성하고 이를 볼륨 렌더링(3D Texture Slicing) 기술을 사용하여 가시화하였다(그림 2).

3.3 Application of Virtual Reality Technology to Evacuation Simulation in Fire Disaster (2006)(3)

이 연구는 지하철 역사와 같은 밀폐된 공간에서의 화재 발생시, 정확하고 신속한 대피 체험을 위한 시뮬레이터 시스템을 개발하였다. FDS를 이용하여 다양한 화염발생 시나리오에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, Temperature/Soot Density/ Height of Smoke Layer/HRRPUV 등의

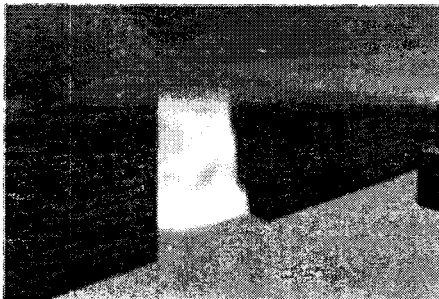


그림 1. 화재현상체험 및 소방훈련 시뮬레이터

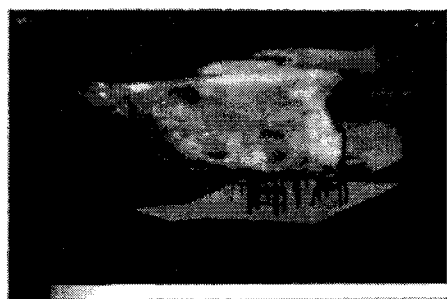
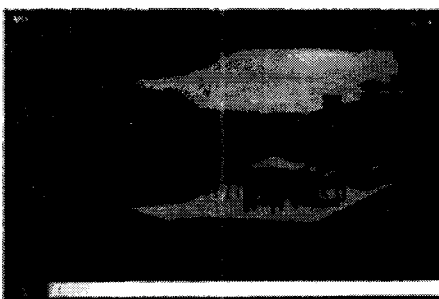


그림 2. 주방화재 시뮬레이션 및 가시화

정보를 데이터베이스에 저장하였다. 실제 화재 구현은 상용 VR구현 엔진(Vega Prime 및 Multigen Creator)을 이용한 입자시스템으로 구동하였으며, 화원의 위치/입자갯수/속도/생명주기 등을 FDS결과로부터 유추하여 조율하는 과정을 포함한다(그림 3).

3.4 Understanding Fire and Smoke Flow Through Modeling and Visualization (2003)(4)

이 보고서는 NIST FDS 수치 해석 데이터를 그래픽적으로 가시화하는 SmokeView에 대한 자세한 구현 정보를 설명하고 있다. SmokeView는 연기의 현실감 있는 표현을 위해 보간 및 단순화 기술을 사용하였으며, Soot Density로부터 투명

도 추출하고 이를 2D Texture Slicing 기술로서 볼륨 렌더링을 수행하였다(그림 4).

3.5 Interfire (www.usfa.dhs.gov)

미국 소방청은 다양한 화재 Data Base를 토대로 훈련자가 화재상황을 판단할 수 있도록 모니터 기반으로 훈련하는 프로그램인 Interfire를 개발하였으며, 훈련내용은 다음과 같다.

- Should the fire scene be examined immediately or should witness interviews begin?
- What is the best way to quickly identify high impact witnesses?
- What physical evidence is present?
- How should evidence be documented and collected?

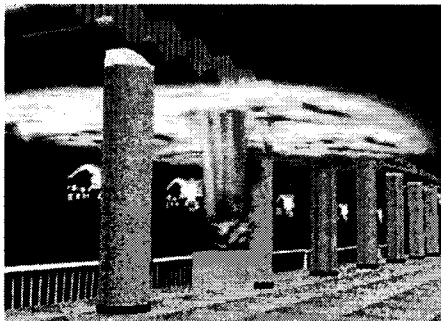


그림 3. 지하철 대피 체험 시뮬레이션 및 가시화

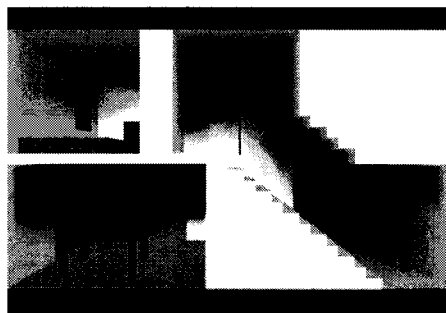
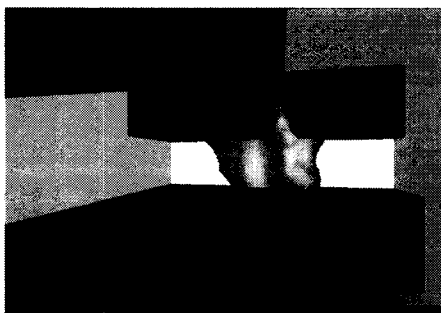


그림 4. SmokeView에 의한 화염 및 연기 가시화

- What assistance may be needed?
- The computer program keeps track of choices and compares them to “best practices” recommended by a panel of experts.
- If the investigator determines that the fire was intentionally set, he or she must conduct a follow-up investigation with insurers and others who have important information. This program has a large section on insurance fraud investigation, underwriting against arson and other information of vital interest to the insurance industry.

3.6 FireWalk (1998)(5)

R. Bukouski에 의해 개발된 FireWalk(1998)은 화재 안전분야에서 가상현실기반이 최초로 적용된 사례로, 연기전파 결과를 화재현상 시뮬레이션 프로그램으로부터 받아들여 가상현실 화재공간에 재현한 것으로 훈련자가 마치 화재 현장에 있는 것처럼 걸어다니며 볼수 있는 Walkthrough 모델이다. 사용된 화재현상 시뮬레이션 프로그램은 NIST BFRL에서 Zone Model로 개발된 CFAST로 각 화재실의 연층변화를 계산할 수 있다.

VR로 PC에 구현한 FireWalk는 현실감은 충분하지 않지만 당시의 PC 능력을 고려하면 상당한 결과이며, 이 시스템에는 이미 화재시뮬레이션 결과와 VR을 결합하는 개념이 들어 있다.

3.7 일본 소방연구소 FireCube(6)

일본 소방연구소에서는 가시화 개념이 아닌 화재체험의 개념으로 2005년 FireCube를 개발하였다. Fire Cube란 특정한 방에 VR 기술로 화재상황을 구현하고, 이방에 들어간 체험자가 이를 체

험하는 시스템으로 영상장치로는 Projector를 사용하였다.

화재 체험 현실감을 높이기 위하여 공조, 가습, 조명, 연발생, 배기, 열방사, 음향 시스템을 활용하였으며, 이를 이용하여 호텔 뉴재팬 화재 재현(피난 Navigation, Two Layer Zone Model), 사무소 화재(화재연기, Two Layer Zone Model : BRI2002), 대구지하철 화재 재현(CFD, 피난 유도등 유무, 유도등 위치에 따른 피난시간 평가) 연구를 수행하였다. 이 시스템은 일인 혹은 다수의 체험자가 FireCube안에서 동일한 화재상황을 체험하는 것으로 팀훈련 등 소방대응 훈련은 불가능한 시스템이다.

3.8 상업 프로그램

현재 국내외에서 판매되는 VR과 관련된 소방 훈련 시뮬레이터 프로그램은 아직 시장이 형성되지 않고 있다. 지금까지 시장 혹은 화재관련 전시회를 통해 소개된 프로그램은 다음과 같다.

- ADMS (Advanced Disaster Management Simulator), USA: 공항사고, 테러, 화재 등의 재난/사고 대처교육 위한 가상현실 훈련 시스템, 중앙소방학교에서 도입을 고려하고 있다.

- DiabloBR, Nederlands: ADMS보다는 다소 단순한 프로그램으로 주택, 지하철 화재, 차량사고 등에 적용 가능한 프로그램으로 조이스틱과 PC 모니터 기반 훈련 시스템이다.

- INFISIM (www.infisim.com) : 소규모 화재 상황에 대한 화재진압 교육을 위한 프로그램으로 PC 모니터 기반의 화재 훈련 콘텐츠 제공한다.

- IFOPSE (www.ifopse.com): 소화기 사용 훈련에 중점을 둔 스크린 기반 가상 화재 재현 시스템이다.

4. 국내 기술개발 동향

국내에서의 최초의 화재관련 국가 연구사업은 '95년 12월에 시작된 과기부의 방재기술사업으로 화재안전과 관련된 연구시설 및 연구인력이 극히 제한되어 있어, 중장기적인 연구계획에 의하지 않고 주어진 상황에 대응하는 방식으로 연구를 수행하고 있는 현실이다.

소방훈련 시스템 개발과 관련하여 국내에서는 중앙소방학교(1999~2003)에서 “화재진압시뮬레이션에 관한 연구”가 최초로 수행되었으며, 건물 내부 또는 탱크로리에 대한 화재 특성 분석, 화재진압모델 구축 및 교육용 대피 프로그램을 개발하였으나, 사용자의 체험기반 시뮬레이터가 아닌, 소방 전문가의 결과 분석 및 이해를 필요로 하는 시스템이다.

이후 중앙소방학교에서는 2004년부터 2005년까지 소방지휘관을 대상으로 하는 소방 지휘훈련 시뮬레이터[7]를 개발하였다.(그림 5) 이 시뮬레이터에는 지휘관이 가상화재 현장에서의 대규모 소방력이 동원되는 상황을 부여하여 지휘관이 상황처리를 선협하면서 사고현장 지휘체계를 습득 가능하게 한다. 그러나 이는 화재상황(열기, 연기)의 직접 체험보다는 소방자원의 활용 측면에서의 대처 요령을 주로 훈련하기 위한 것으로 실제 화재현장을 재현하지 못하는 한계를 지니고 있어 실제 화재현장에 투입되는 소방관의 화재진압훈련용으로 사용하는 것은 불가능하다.

국내에서는 2006년 소방방재청 인적재난안전 기술개발사업의 일환으로 도로터널 화재체험 시뮬레이터 개발[8]이 개발 중에 있다.(그림 6) 이 화재 체험 시뮬레이터는 사용자 시점 변화에 따른 도로터널 내 화재 현상을 실시간으로 렌더링하면서 Navigation 기능을 활용, 사용자가 시점을 움직이면서 화재상황을 체험할 수 있는 시스템으로서



그림 5. 중앙소방학교의 소방 지휘훈련시뮬레이터

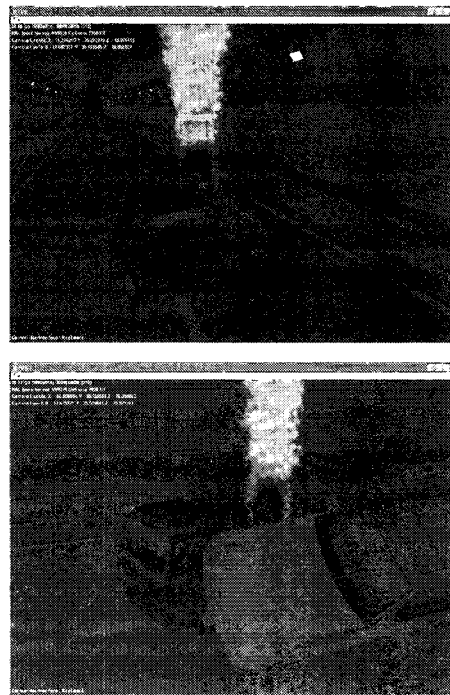


그림 6. 도로터널 화재체험 시뮬레이터

HMD (Head Mounted Display)방식을 채용하였다. 추후 팀 훈련이 가능한 시스템 개발까지 추진 예정으로 시스템 개발이 완료될 경우 터널화재에 대한 유용한 훈련시스템으로 활용 가능할 것이다.

5. 맺는말

소방훈련용 가상현실(VR) 시뮬레이터는 가상현실 기술의 매우 중요한 응용 분야로 대두되고 있으며, 대규모의 인명피해를 가져올 수 있는 화재사고에 대비하여 그 피해를 최소화시킬 수 있는

가장 효율적인 훈련도구로써 그 활용 범위가 점점 더 확대될 전망이다.

VR기술을 활용한 화재 대피 및 소방 훈련 시스템이 구축될 경우, 재난 발생 시 신속한 의사결정을 내릴 수 있는 공간체험 기반의 교육장소가 확보되며, 많은 시민들이 손쉽게 위급상황 대처법을 교육받을 수 있어, 사회 전반적인 안전요구 충족도가 향상되리라 기대된다. 국가차원에서도 소방 공무원에 대한 훈련과정의 안전성을 확보할 수 있으며, 다양한 화재 특성에 대한 전문 소방기술의 확보가 가능할 것이다.

또한 앞서 개발된 시스템이 화재 뿐 아니라, 다양한 재난 대처 및 진압을 위한 교육 및 훈련시스템으로의 발전할 경우 사회적 기본 인프라 구축에 중요한 역할을 하리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 소방방재청의 인적재난 안전기술개발사업과 차세대 핵심소방안전기술개발사업의 연구비로 수행된 내용으로 본 연구를 가능케한 소방방재청, 인적재난안전기술개발사업단 및 차세대 핵심소방안전기술개발사업단에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] Tazama. U. St. Julien, Chris D. Shaw, "Firefighter Command Training Virtual Environment," Proceedings of the 2003 Conference on Diversity in Computing, pp. 30-33, 2003.

[2] Barrero, D., Abanto J., Hardy J-P., Reggio M., "Serious color fluid dynamics in fire simulation," 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, pp. 10339-10350, 2005.

[3] Aizhu Ren, Chi Chen, Jianyong Shi, Liang Zou, "Application Of Virtual Reality Technology To Evacuation Simulation In Fire Disaster," Proceedings of the 2006 International Conference on Computer Graphics & Virtual Reality, pp. 15-21, 2006.

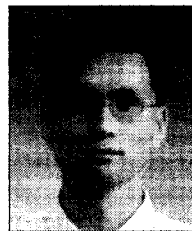
[4] G. P. Forney, D. Madrzykowski, K. B. McGrattan, L. Sheppard, "Understanding fire and smoke flow through modeling and visualization," Computer Graphics and Applications, Vol.23, No.4, pp. 6-13, 2003.

[5] 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.

[6] T. Yamada, N. Abe and Masaaki Suga, "Development of Fire Simulator by using Walkthrough Virtual Reality Model," Report of Natlanal Research Institute of Fire and Disaster, No.100 pp. 280-290, 2006.

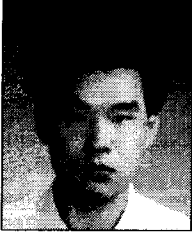
[7] <http://www.kcei.co.kr/>

[8] 한용식, 최병일, 김명배, 차무현, 김병수, "가상현실 기반 도로서널 화재체험 시뮬레이터 개발" 한국화재소방학회 2008년 춘계학술논문발표회 논문집, pp. 214-217, 2008



최 병 일

• 2001년 4월 ~ 현재 한국기계연구원 에너지기계연구본부 선임연구원



한 용 식

• 1989년 3월~현재 한국기계연구원 에너지기계연구본부
책임연구원



김 명 배

• 1982년 3월~현재 한국기계연구원 에너지기계연구본부
책임연구원
