

도로터널 화재 훈련 시뮬레이터 개발

방재연구

한 용 식 / 한국기계연구원 책임연구원(연구실장)
차 무 현 / 한국기계연구원 선임연구원

I. 배경 및 목적

다수의 사람들이 이용하는 도로터널 특히 길이가 긴 장대 도로터널은 공간 특성상 외부와 차단, 고립되어 있는 것과 같으며, 화재발생시 화재의 급속한 성장, 배연 및 피난로 확보 등의 어려움 등으로 인해 소화 및 구조 활동의 제약 등을 받게 되어 막대한 인명 및 재산 피해가 발생할 가능성이 높다. 인명구조 및 화재확대로 인한 물적 피해(터널 손상)의 감소를 위하여 터널에 진입할 소방관에 대한 꾸준한 소방훈련이 필수적이지만 현실적으로 터널에서의 소방 훈련은 운행 중인 터널을 정지시키고 수행되어야 하며, 이 경우 터널 차단으로 인한 사회적 비용이 매우 크다. 실제 터널에서의 소방훈련을 대체하기 위하여 개발된 가상현실(Virtual Reality) 기반 도로터널 화재 훈련 시뮬레이터는 터널 내부를 HMD(Head Mounted Display)에 3차원 영상기법을 사용하여 사실적인 몰입감을 가지도록 구현하였으며, 과학적인 수치 해석 시뮬레이션을 통해 얻어진 화염, 연기 전파 현상들을 가시화하여 훈련자들이 실제 도로터널을 움직이면서 화재상황을 체험할 수 있도록 제작하였다. 시스템은 일반인 또는 소방관 2인 1조가 훈련과정을 체험할 수 있도록 구성되었으며, 네트

워킹 기반의 멀티 시뮬레이터 시스템을 채용하여 관리자가 전체적인 상황 관제가 가능하도록 하였다. 훈련 후에는 화재의 발생과 진행과정, 훈련자의 임무수행 현황 등에 대한 모니터링뿐 아니라, 훈련 완료시 그 결과를 정량적으로 평가하여 출력할 수 있도록 하였다.

II. 핵심기술

사고 훈련 시나리오

본 시뮬레이터는 양방향 연장이 각 4,600m인 죽령터널을 대상으로 하였으며, 그림 1과 같이 부분적인 간략화 모델을 사용하였다. 또한 터널화재 훈련시스템의 시나리오로 표 1과 같이 화재 크기, 제트팬에 의한 유속, 훈련 종류, 컨트롤 방식, 시작 지점 등의 총 5가지 종류의 상세 시나리오를 정의하였고, 이를 조합하여 다양한 훈련을 선택 수행할 수 있도록 하였다.

Hardware 시스템 설계 기술

본 시스템은 미국 NIST가 개발하여 배포한 FDS를 이용한 전산해석 및 데이터처리를 포함하는 전처리 과정과, 이를 이용하여 실시간 가상환경을 구동하고 사용자 상호작용을 처리하는 실시간

인적재난안전기술개발

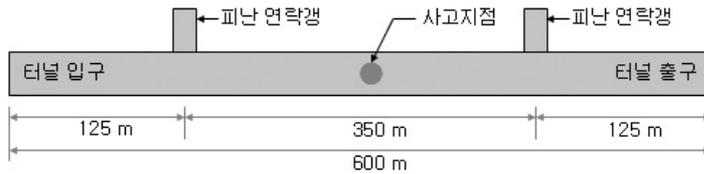


그림 1. 시뮬레이션 대상터널의 간략화 모델

표 1. 화재 시나리오의 정의

시나리오 종류	상세 시나리오
화재 크기	6MW 18MW
터널내 유속	0 m/s 2.5 m/s
훈련 종류	사고상황 오버뷰 일반인 화재 체험·대피 소방관 인명 구출
컨트롤	자동모드 수동모드
시작위치	터널 입구 터널 출구 첫 번째 피난 연락갱 두 번째 피난 연락갱

과정으로 나뉜다.

전처리 과정에서는, 주어진 터널형상 및 시나리오에 대한 Fire-Modeling을 수행하고, 그 결과를 실시간 렌더링에 적합한 형태로 변환한 후, 각 Time-Step에 대한 데이터블록을 이진(Binary) 스트림의 형태로 데이터베이스에 저장한다. 실시간 과정에서는, 대용량 데이터베이스로부터 현재 필요한 블록데이터 집합을 버퍼링(Buffering)한 후, Octree 데이터구조를 순회하며 최적의 LOD(Level of Detail) 선택을 수행한다. 이렇게 선택된 블록데이터는 매 프레임마다 보간되어, 현재의 공간 물리량 분포를 생성해 내게 되고, 볼륨 렌더링(Volume Rendering)을 거쳐 3D 기하모델과 함께 가시화된다.

가시화 플랫폼 구축 기술

- 대용량 데이터 처리 : 전처리과정을 통해 생성된 Octree Database는 화재종류별 각 14G이상의 파일들로 구성되며, 총 시뮬레이션 시간(1,800초)동안의 데이터 중 100초 분량(약 787MB)의 데이터 블록 집합을 필요시 마다 시스템 메모리에 복사하여 버퍼링한 후, 각 Octree를 구성하는 노드들을 순회하며 최적의 데이터블록을 선택한다. 선택된 현재 데이터블록과 다음 Time-Step에 해당하는 데이터블록은 현재 시뮬레이션 시간을 기준으로 선택 보간되어 연속적인 데이터를 생성하게 된다.
- 실시간 볼륨 렌더링 : 본 시스템에는 격자기반의 Plot3D 데이터를 3차원 상의 작은 복셀(Voxel)기반 텍스처로 표현하고 이를 2차원 평면에 투영 및 합성하여 화재현상을 가시화 할 수 있는 Splatting 기술을 사용하였으며, 각 복셀에 적용될 텍스처는 해당 영역에 대한 정규분포를 가지는 가우시언(Gaussian) 텍스처 이미지를 적용하였다.

Ⅲ. 공공안전 기여도

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 훈련도구로서 그 활용 범위가 점점 더 확

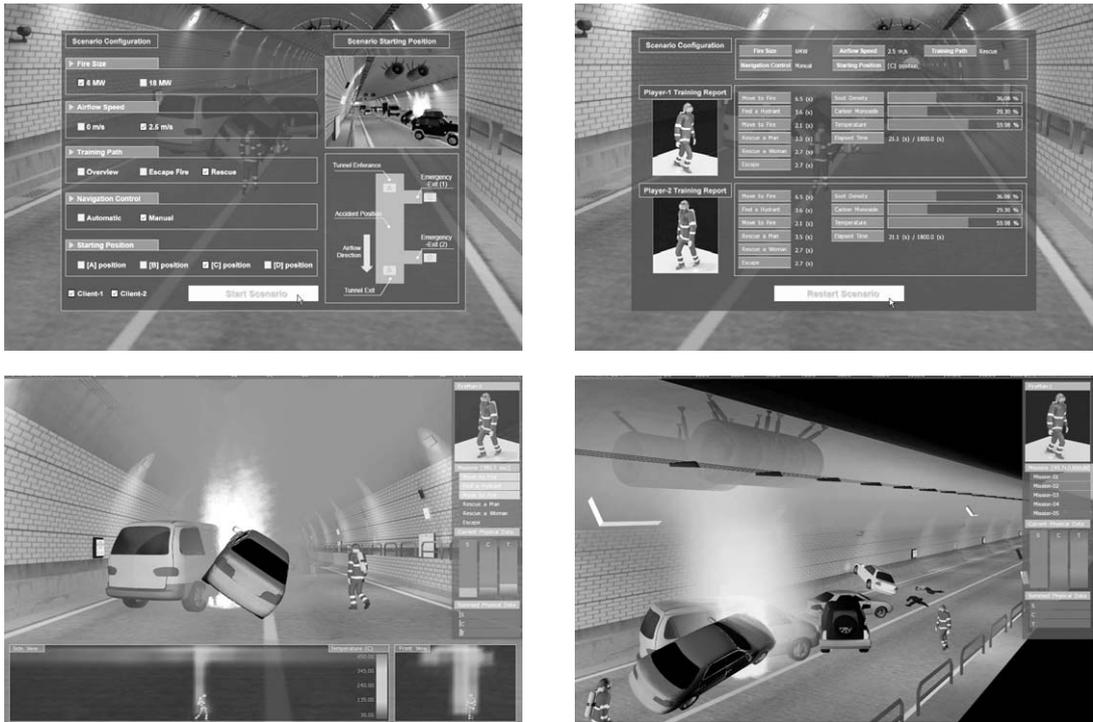


그림 2 가상공간에 구현된 시뮬레이터의 훈련 장면

대될 전망이다. 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.

IV. 미래 파급 효과

VR기술을 활용한 화재 대피 및 소방 훈련 시스

템이 구축될 경우, 재난 발생 시 신속한 의사결정을 내릴 수 있는 공간체형 기반의 교육장소가 확보되며, 많은 시민들이 손쉽게 위급상황 대처법을 교육받을 수 있어, 사회 전반적인 안전요구 충족도가 향상되리라 기대된다. 국가차원에서도 소방공무원에 대한 훈련과정의 안전성을 확보할 수 있으며, 다양한 화재 특성에 대한 전문 소방기술의 확보가 가능할 것이다.