

P-07

화재발생 위치 및 switch mode 운전에 따른 제연 성능 예측 연구

장희철 1, 윤경범 2, 박리진3, 김태국 4*, 박원희 5**, 손봉세 6***
 중앙대학교 대학원 1, 2, 3, 중앙대학교 기계공학부 4*, 한국철도기술연구원 5**,
 경원대학교 소방시스템학과 6***

Numerical study on the smoke removal performance for different fire locations and switch mode operations

Hee-Chul Chang 1, Kyung-Beom Yoon 2, Lee-Jin, Park 3, Tae-Kuk Kim 4*,
 Won-Hee Park 5**, Bong-Sei Son 6***
 Graduate School, Chung-Ang University 1, 2, 3, School of Mechanical Engineering,
 Chung-Ang University 4*, Track & Civil Engineering Research Department 4**,
 Fire Protection System Engineering Department, Kyung-Won College 5***

1. 서론

지하철과 같은 폐쇄적인 공간에서 화재가 발생할 경우에는 심각한 인명 및 재산피해를 초래할 수 가 있다. 따라서 이러한 지하공간에서의 화재거동을 예측하고 제연방법 및 대피방법을 마련하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인체에 직접적인 피해를 주는 열과 연기 거동 특성 및 기타 화재로 인한 현상 등의 특성을 가장 정확하게 분석하는 방법은 실제 역사, 터널 및 전동차 내부에서 실험실시험일 것이다. 그러나 실제 운영 중인 대상에서 화재실험을 수행하는 것은 위험 요소가 매우 많기 때문에 현실적으로 어렵다고 판단된다. 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 수치해석이 이용되고 있으며, 컴퓨터 시뮬레이션은 시간 단축, 경비 축소 및 최소의 인력 사용 등의 장점을 가지는 있기 때문에 지하철 화재에 대한 열 및 연기 거동 특성을 예측하는 연구가 활발히 진행되고 있다¹⁻⁴⁾. 본 연구는 기존에 수행한 수치해석 결과 배연성능이 다소 뛰어나게 나타난 Switch mode로 운전시 화재발생위치에 따른 제연 성능 예측을 위함이다. 여기서 Switch mode란 승강장 배기(승객 피난 중)후 터널 배기(승객 피난 완료)로 작동되는 운전방법을 말한다.

2. 본론

2.1 해석 대상 개요

본 연구의 해석 대상은 승강장과 상·하행 방향의 터널 일부이다. 승강장에는 화재가 발생한 열차가 정차된 것으로 가정하였으며, 승강장 및 터널의 급·배기구, 기둥, 내부 계단 등을 고려하였다. 승강장의 특징은 상대식 구조를 고려하였으며, 내부 계단은 총 8개가 위치한다. 모델링에 고려된 환기구는 비상시 작동되는 승강장 급기구와 상부 배기구 및 터널의 배기구이다. 해석 대상 크기는 승강장: 20.4m[x]×205.0m[y]×6.0m[z], 터널: 8.0m[x]×10.0m[y]×6.0m[z]×2(양쪽 터널), 열차: 3.2m[x]×195.0m[y]×4.3m[z]이다. 전

동차 내부 재료는 벽과 천장: Aluminum, 의자 커버: Stainless Steel, 바닥: Synthetic Rubber로 고려하였으며, 승강장 및 터널의 환기시스템 제원은 표1과 같다.

표 1 환기시스템 제원

디퓨저 명칭 - 기능	유속	디퓨저 규격 및 수량
승강장 급기구 - 배기	3.748m/s	0.25m × 0.4m (106개)
상부 배기구 - 배기	3.942m/s	0.6m × 0.7m (12개)
터널 배기구 - 배기	2.5m/s	4.0m × 4.0m (2개-양쪽 터널 각각 1개씩)

2.2 CFD 모델링

본 연구에서 사용된 상용프로그램은 NIST(National Institute of Standards and Technology) 에서 개발한 FDS(Fire Dynamic Simulator) V 4.06⁵⁾ 을 수정 없이 사용하였다. 승강장 내부 구조물(디퓨저, 기둥, 내부 계단 등) 크기, 성능, 위치 그리고 열차 크기, 형태 그리고 내부 재료특성 및 터널 등을 실제와 유사하게 모델링하여 보다 정확한 해석 결과를 얻고자 하였다. 격자구성은 약 100만개로 생성하였으며 대표적인 격자 크기는 $\Delta x=0.2m$, $\Delta y=0.5m$, $\Delta z=0.2m$ 간격으로 그림 1과 같다.

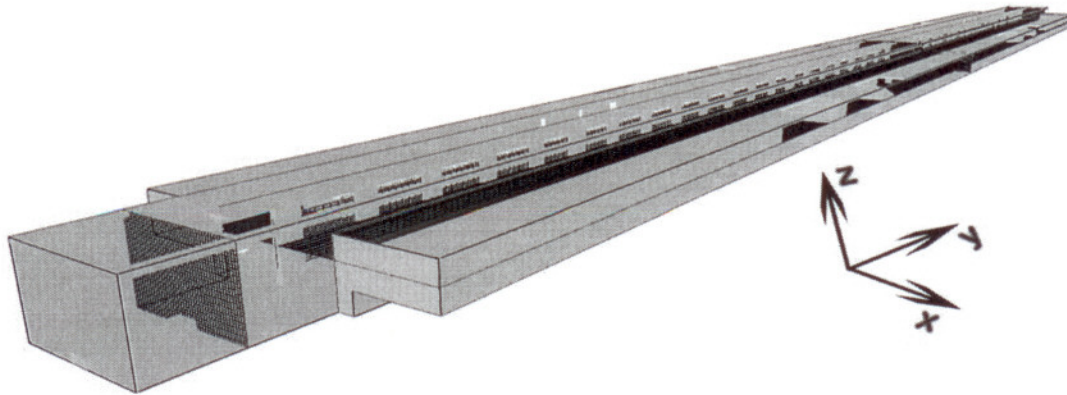


그림 1. 좌표계 및 격자 구성

2.3 화재 시나리오 및 수치해석 조건

화재가 발생한 전동차가 승강장에 정차되었을 경우에는 역사별 배연 운전 모드의 차이를 보이지만, 대표적인 운전모드는 화재구역 배기, 비 화재구역 급기 또는 정지이며, 국내에서는 적용되지 않았지만 승객이 승강장에서 피난이 완료 전까지 승강장에서 배연을 하며, 피난이 완료된 후 양쪽 터널에 설치된 팬이 작동함으로 열 및 연기를 터널로 배출시키는 Switch mode⁴⁾ 운전 방식이 있다. 일정 시간 승강장 배연 후 터널에서 배연을 수행하는 Switch mode의 경우 화재발생 위치에 따라 열 및 연기분포의 차이가 클 것으로 예상되기 때문에 가장 열악한 열차 중앙 화재와 가장 유리할 것으로 판단되는 열차 첫 번째 량의 화재를 고려하여 비교 검토하여 보았다. 본 모델링에 고려된 화재발생위치, 터널 환기구 및 크기 등을 그림 2에 나타내었다. 화재 크기 1[m]×1[m]의 구획에서 발생된 것으로 설정하였고 반응연료는 헵탄(C_7H_{16})을 사용하였다. 화재 성장 속도는 발화 5분경과 후 최대 열방출량인 15MW에 도달하며, 이 후 변화 없이 유지되도록 설정하였고 화재의 성장 속도는 Power Law Relation⁶⁾ 공식을 사용하였다. 열차 내부 재료 특성 및 유속 경계조건은 2.1절에 설명한 바와 동일하게 고려하였으며, 열차

의 출입문은 승강장과 연결된 방향의 문만 개방된 것으로 설정하였다. 초기 온도는 20℃이며, 내부계단은 개방된 것으로 고려하였다. 결과 비교 위치는 그림 3과 같이 승강장의 정 중앙 지점을 길이방향으로 고려하였다. 10m 간격으로 총 42개의 Zone(한쪽 승강장에 21개 Zone)으로 구분하였으며, 1개의 존에는 3개의 해석결과의 수치를 얻기 위한 포인트를 고정시켰다. 3개의 해석 결과 수치 측정 포인트를 평균한 값을 각 Zone의 평균값으로 고려하여 결과를 예측하였다. 시뮬레이션 수행시간은 15분(900초)이다. 본 연구는 표2와 같은 수치해석 조건으로 열, CO 및 가시거리 분포를 비교 분석하는데 목적이 있다.

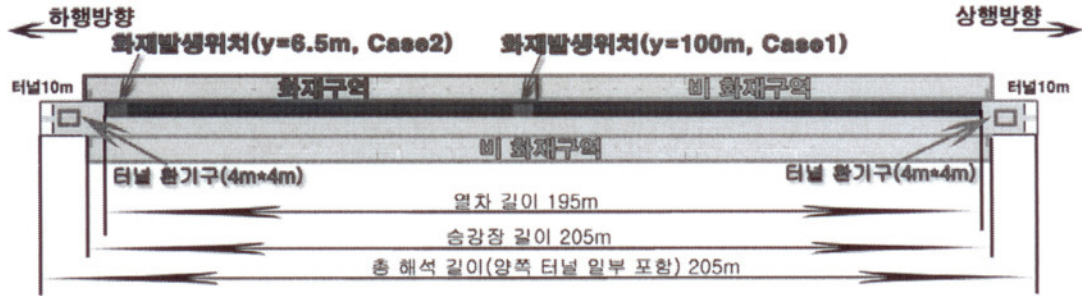


그림 2. 화재발생지점 및 제연시스템 구역

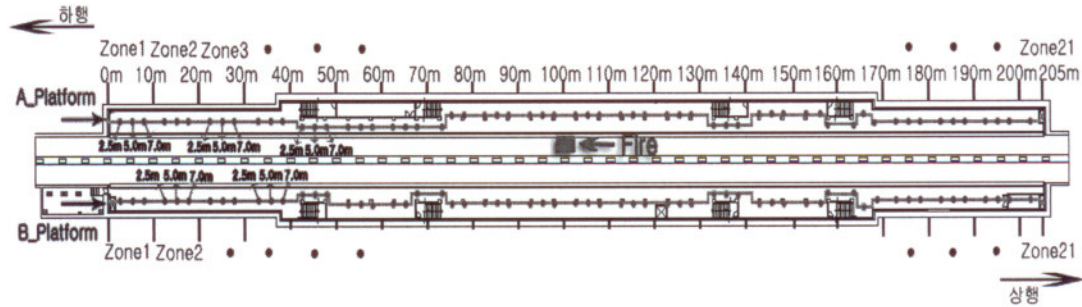


그림 3. 승강장 Zone view 및 결과 측정 포인트

표 2. 수치해석 조건

		화재구역 (승강장 팬)	비 화재구역 (승강장 팬)	터널 팬	화재발생 위치
Case 1 (switch mode)	0 ~ 2 분	배기	정지	정지	5번째 객차 (중앙)
	2 ~ 4 분	배기	배기	정지	
Case 2 (switch mode)	4 ~ 15 분	정지	정지	배기	1번째 객차 (승강장 끝단)

3. 결과 및 고찰

본 연구는 Switch mode로 운전할 경우 화재발생위치에 따른 영향을 예측하기 위하여 주요 배기 운전 변환 시간인 화재구역만 배기에서 승강장 전 구간으로 전환되는 발화 120초 후, 승강장 전 구간에서 터널 배기로 전환되는 발화 240초 후, 최대 열방출율에

도달하는 발화 300초 후, 발화 600초 및 900초에서의 온도, CO 및 가시거리분포를 1.7m 높이(호흡 높이)에 대하여 비교 분석하였다.

3.1 온도 분포 비교

- 발화 120초: 모든 경우 화재발생위치에서 약간의 온도 상승.
- 발화 240초: 모든 경우 화재발생 주변에서 높은 온도를 나타내며 유사한 분포.
- 발화 300초: Case1의 경우 화재지점에서 최고온도 60℃를 초과하지만 Case2는 35℃를 나타내며 화재지점 주변의 온도도 Case1과 비교하여 낮음.
- 발화 600초: Case1은 화재지점을 중심으로 열이 빠르게 주변으로 확산되며 Case2는 Case1과 비교하여 열 확산이 일부 구간에 한정되어있으며, 온도 역시 낮게 나타남.
- 발화 900초: Case2는 터널에서 배연으로 열이 터널로 빠르게 배출됨으로 Case1에 비하여 승강장 내부로의 열 확산 범위도 매우 좁고 온도 상승폭도 낮게 나타남.

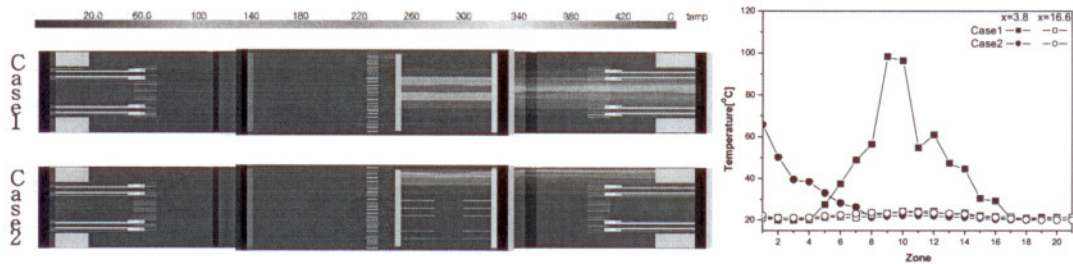


그림 4. 승강장 1.7m 높이에서의 온도 분포(발화 600초 후)

3.2 연기농도 비교

- 발화 120초: 화재 성장 단계, 모든 경우 화재지점에서 유사한 일산화탄소 농도분포
- 발화 240초: 화재지점과 주변을 중심으로 일산화탄소의 농도가 증가하기 시작하며, 반대편 승강장(B_Platform)에는 거의 영향이 없음.
- 발화 300초: 화재지점에서 Case2의 경우 Case1과 비교하여 상대적으로 낮은 일산화탄소 농도분포를 보이며, 반대편 승강장에서는(B_Platform) Case2의 경우 CO의 분포가 거의 없음.
- 발화 600초: Case1은 화재지점과 상행터널의 승강장 벽에서 높은 일산화탄소 농도분포를 보이며, Case2는 일산화탄소의 농도가 전반적으로 상승하는 경향을 보이지만 Case1과 비교하여 낮은 분포임
- 발화 900초: 승강장 전 구역에 일산화탄소가 확산되며 Case2의 경우 Case1에 비하여 낮은 농도분포를 보임

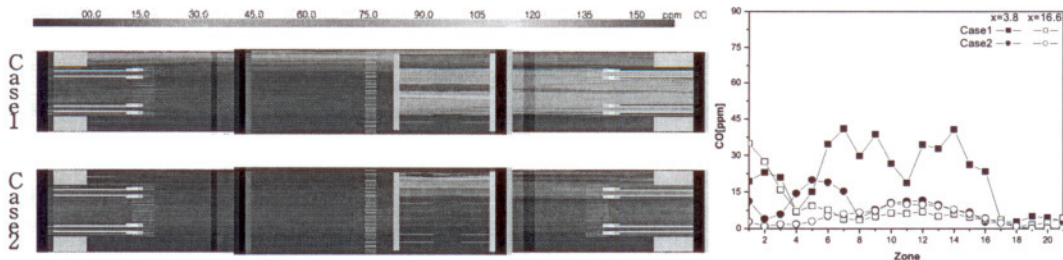


그림 5. 승강장 1.7m 높이에서의 일산화탄소 농도 분포 (발화 600초 후)

3.3 가시거리 비교

- 발화 120초 - 두 Case에서 유사한 가시거리분포 경향
- 발화 240초 - 화재지점에서 가시거리가 급격히 줄어들며 하락 폭은 Case1의 경우가 Case2와 비교하여 매우 큼.
- 발화 300초 - Case1의 경우 Case2와 비교하여 가시거리가 급격히 감소되며, 감소되는 구간도 매우 넓음.
- 발화 600초 - 모든 Case에서 상행터널과 가까운 승강장을 제외한 나머지 구역에서 가시거리의 감소하며, Case2는 전 승강장 구역에서 가시거리가 5m 이상을 유지.
- 발화 900초 - 발화 600초와 유사한 경향, Case2의 가시거리가 다소 빠르게 감소.

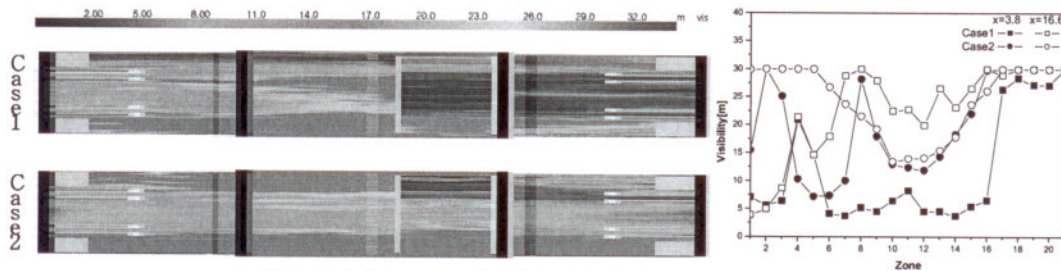


그림 6. 승강장 1.7m 높이에서의 가시거리 분포 (발화 600초 후)

4. 결론

본 연구는 배연 운전방식인 Switch mode에서 전동차 내 화재위치에 따른 열, CO 및 가시거리분포 예측을 위하여 NIST에서 개발한 FDS v4.06을 이용하였다. 실제 역사와 유사하게 모델링하였으며, 화재발생위치는 배연에 유리할 것으로 판단되는 첫 번째 량내에서의 화재 및 가장 불리할 것으로 판단되는 열차 중간 화재를 고려하여 비교 검토 하였다.

기존에 수행한 열차 중앙에서 화재발생시 국내의 배연 운전방식인 화재구역 배기, 비 화재구역 급기 및 정지와 Switch mode의 비교 결과 Switch mode로 배연을 할 경우 다소 유리할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Switch mode로 배연을 수행한 경우 화재의 발생위치가 터널에 인접할 경우 터널의 환기팬의 작동으로 더욱 신속하게 열 및 연기를 배출하여 보다 효과적일 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 “지하공간 환경개선 및 방재기술 연구사업”의 일환으로 시행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박원희, 김동현, 장희철, 김태국, ' 지하철 역사 승강장 화재발생시 열/연기 거동 분석을 위한 실험

- 및 수치 연구 (I) -실험적 접근-, 한국화재·소방학회, 제20권, 제3호, pp9-14 (2006)
2. 장희철, 김태국, 박원희, 김동현, '지하철 역사 승강장 화재발생시 열/연기 거동 분석을 위한 실험 및 수치 연구 (II) -수치적 접근-', 한국화재·소방학회, 제20권, 제3호, pp15-20 (2006)
 3. 장희철, 김태국, 박원희, 김동현, '지하역사에서 화재발생시 자연풍 및 강제배연의 유무에 따른 열 및 연기거동 특성 연구', 한국 화재소방학회논문지, 제19권, 제1호, pp80-86 (2005)
 4. Kai Kang, 'A smoke model and its application for smoke management in an underground mass transit station', Fire Safety Journal, v42, no3, pp218-231 (2007)
 5. McGrattan K, "Fire Dynamics Simulator (Version 4) Technical Reference Guide", NIST, (2005)
 6. National Fire Codes, "Guide for smoke movement system in malls, atria and large area", NFPA 92B, 2005 Edition.