



FDS를 이용한 지하철 객실 화재시 성능위주의 배연능력 분석

김재연 · 김성수 · 이동호[†]

인천대학교 대학원 · 인천대학교 소방방재연구소[†]

Performance-based analysis of smoke exhaust performance by using FDS in case of fire in subway

Jae-Yeon Kim · Sung-Soo Kim · Dong-Ho Rie[†]

Graduate School of safety Engineering, University of Incheon

Fire Disaster Prevention Research Center, University of Incheon[†]

요 약

본 연구는 지하철 객실 화재시 배출가스나 연기에 의한 사망사고에 대해서 FDS(ver. 5.0) 사용코드를 이용해 객실내 화재의 유동현상을 검토한다. 시뮬레이션 모델로 인천메트로 송도연장선을 기준 모델로 설정하였으며 객차 화재발생시 측창문의 개방개소에 따른 배연능력을 검증하기 위하여 측창문 개방조건에 따른 배연특성을 시뮬레이션 하여 인체의 유해성 여부에 따른 위험성 평가에 대한 결과를 도출 하였다. 본 연구결과는 지하철의 성능위주 설계를 적용한 기초자료로 활용됨으로써 지하공간 화재시 인명피해 최소화를 목표로 한다 .

1. 서 론

최근 고도화된 산업사회의 발달과 함께 산업사회의 근간을 이루는 시설물의 안전에 대한 관심이 증가되고 있다. 산업사회를 위협하는 많은 재해 중에서도 화재로 인한 피해는 인명손실 뿐만 아니라 엄청난 경제적 손실과 사회적 혼돈을 야기한다. 특히 철도교통은 대규모 대중교통수단으로서, 폐쇄된 공간에서 화재사고가 발생하면 대규모의 인명손실과 막대한 재산피해로 귀결된다. 대구지하철 참사 이래로 지하철차량 화재시 피해를 최소화시키기 위해 방화시설(조기탐지/자동소화장치)과 내장재의 재질(불연재)의 개발에 따라 발화원의 조기진압과 2차 발화 방지에 기여한 바가 크다. 그러나 연소 가스에 의한 질식예방 기술개발 및 연구가 필요한 상태이며 폐쇄된 지하공간인 지하철 내부 화재시 배연의 필요성 및 개연성을 가지고 있다. 지하철 출입문이 개방 되지 않았을 때 비상출입문 개방 스위치를 통해서 탈출과 배연이 가능하지만, 대구지하철때와 마찬가지로 위치와 사용방법

에 대해서 무지하다면 지하철 내부 화재시 탈출과 배연은 불가능하며 출입문 추가적 배연 방식으로 측창문을 개방함으로써 배연이 가능하다. 지하철 측창문 구조는 통유리(특수강화유리)로 되어 있어서 창문을 파손시키지 않고서는 개방이 불가능하다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 인천메트로 신조전동차는 측창문에는 비상탈출장치가 설치되어 있으며 소량의 폭약에 의해 측창문은 파괴되어 개방하는 방식을 채택함으로써 탈출 및 연기배연을 동시에 수행 가능하게 운영되고 있다.¹⁾ 이러한 비상탈출장치는 측창문 개방 위치에 따라 배연성능을 최적화함으로써 지하철 화재시 인명피해 및 재산피해를 최소화 시키기 위함이다.

2. 본 론

2.1. 비상탈출장치 동작원리 및 설치위치

측창문은 특수강화유리로 제작되어 있기 때문에 인력으로 창문을 개방시키기가 사실상 불가능하다. 그림1의 기폭장치는 소량의 폭약이 내장되어 있어서 동작을 시키면 내부의 회로에 따라 DC 6V의 건전지 전압이 폭약의 뇌관에 가압 되어 측창문 유리를 파괴시킬 수 있는 폭발을 발생시켜 인력으로 개방이 가능하게 된다. 지하철 1량 기준으로 측창문은 10개소가 있는데, 비상탈출장치는 2개소에 대각선으로 설치되어 있다.



그림 1. 인천메트로 1호선 신조전동차 비상탈출장치

2.2. 모델링 및 수치해석 조건

본 연구의 수치해석은 미국 NIST에서 개발한 CFD프로그램인 FDS ver 5.0을 사용하였다. 대상 모델 인천메트로 신조전동차는 길이 18m, 높이 2.7m, 폭 2.7m로 기존의 중량전철에 비해서 작은 크기를 적용하였으며 호흡선 높이인 바닥으로부터 1.5m 지점²⁾에 1㎡ 당 한 개소의 연기 감지기를 설치하였다. 연기농도, CO농도, 객실온도를 측정하여 위험성 평가 항목으로 하였다.

2.3. 화원설정 조건

가솔린 화원의 발열량³⁾은 표1의 물성치를 기준으로 식(1)과 (2)에 의해 계산하였으며, 화원 면적은 0.5㎡로 발열량은 1092KW/㎡로 설정하였다. 연소시간은 4리터 휘발유의 질량 감소율을 고려하여 100초로 설정하였다.

$$Q = m'' \cdot A \cdot \Delta H \quad (1)$$

$$m'' = \frac{\Delta W}{\Delta t \cdot A} \quad (2)$$

표1. 가솔린 연료의 물성치

Fuel	Gasoline
Mass Loss Rate(m'')	50~60 g/m ² · s
Specific Gravity	0.72~0.76
Effective Heat of Combustion(ΔH _c)	43.7kJ/g
Maximum Heat Release Rate per Unit Area(q'')	2185 kW/m ²

2.4. 시나리오 구성

본 시뮬레이션의 시나리오는 가솔린 4ℓ에 의해 화재가 발생되고 차량은 전원이 차단되어 출입문은 개방되지 않는 조건으로 설정하였다. 측창문 개방조건은 화재 발생후 20초후에 측창문은 개방되며 화재는 100초간 진행이 된다. 상대식 승강장⁴⁾에는 스크린도어가 설치되어 있으며 터널 내부에는 터널풍(2m/s)이 존재한다. 측창문 2, 4, 6, 10개소 개방의 4가지 조건을 제시하였고, 바닥으로부터 1.5m의 높이에서 시간이 지남에 따라 위험성 항목에 따라서 시뮬레이션을 진행하였다.

2.5. 측창문 개방조건에 대한 위험성 평가

그림3, 4, 5는 측창문 개방 조건에 따른 연기농도, CO농도, 객실온도 그래프이다. 화재 및 피난시뮬레이션의 시나리오 작성기준⁵⁾에 의하면 연기농도는 기준값(65mg/m³이하)보다 상회하는 것으로, CO농도는 기준값(1400ppm이하)보다 상회하는 것으로, 객실온도는 기준값(60℃이하)보다 상회하는 것으로 분석 되었다. 이상의 결과로 지하철 측창문의 비상탈출 장치의 개방 조건에 따른 배연능력은 개방개소의 증가에 따라 증가하는 변화는 보이고 있으나 성능위주설계의 기준값에 못미치는 것으로 나타났다.

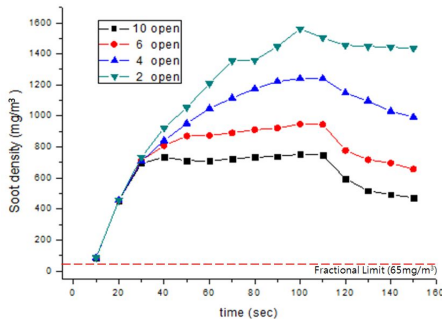


그림3. 측창문 개방 조건에 따른 연기농도

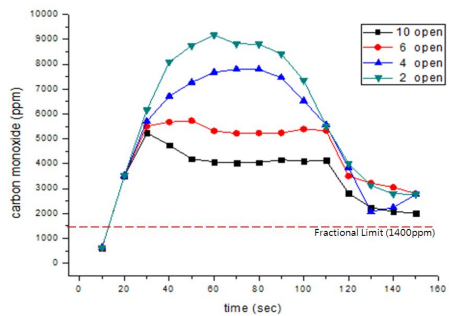


그림4. 측창문 개방 조건에 따른 CO농도

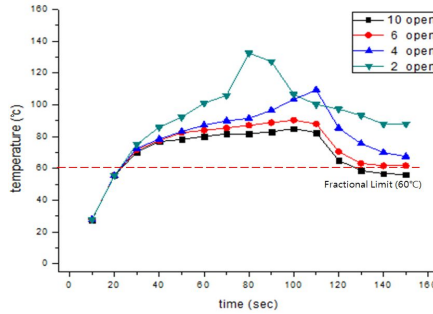


그림5. 측창문 개방 조건에 따른 객실온도

3. 결론

지하철 내부화재 발생시 최적의 배연을 통해 질식사로부터 안정성을 확보하기 위한 방안중의 하나로 비상탈출장치에 의한 측창문의 개방조건에 따른 배연능력분석 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 화재 및 피난시물레이션의 시나리오 작성기준⁽⁵⁾에 의하면 연기농도는 기준값(65mg/m³이하)보다 상회하는 것으로, CO농도는 기준값(1400ppm이하)보다 상회하는 것으로, 객실 온도는 기준값(60℃이하)보다 상회하는 것으로 분석 되었다.
2. 인천메트로 송도연장선(72량)에 량당 2개소에설치되어 있는 비상탈출장치는 배연을 수행하기 위한 장치로 활용되기 어려움을 입증 하였다.
3. 현재 적용되고 있는 측창문 배연효과는 지하철 대상의 성능위주 설계 기준의 위험성 평가 결과에 미치지 못하므로 객실 화재에 대한 위험성 평가는 배연능력을 향상시키기 위한 설비가 추가적으로 설치 되어야 함을 밝혔다.

참고문헌

1. 인천도시철도 1호선 송도국제도시 연장에 따른 전동차제작(72량) 운전 및 정비지침서 제2권 IV-10 창문 비상 탈출장치, pp.1~12, 2008
2. 김정엽, 이동호 , “지하철 승강장 급배기 조건에 따른 화재 위험성 평가” 한국건설기술 연구원, 인천대학교 소방방재연구소, pp2, 2008
3. 김치훈외 2, “FDS를 이용한 경량철도 지하역사의 피난시간 연구, 한국철도기술연구원, 2011
4. 이동호외 1, “지하철 승강장 형식에 따른 정량적 화재 위험성 평가”, 인천대학교 소방방재연구소, pp2, 2008
5. 소방시설등의 성능위주 설계 방법 및 기준(시행2011.7.1)[소방방재청고시 제2011-68호, 2011.5.3 제정]