지하철 승강장 매점의 화재 시뮬레이션

The Fire Simulation for the News-stand in the Platform of Subway

김학범† 장용준* 이덕희* 손윤석** 정우성*

Kim, Hag Beom Jang, Yong Jun Lee, Duck Hee Son, Yun Suk Jung, Woo Sung

ABSTRACT

Recently, a lot of newsstands and mini station-store are operated as a store at the platform of subway. But the papers and magazines which are main articles for sale could be as the source of fire ignitable because those kind of easy flammable. Therefore the newsstands could be the target for fire. In this paper, numerical fire simulations for the News-stand were conducted to develop the news-stand fire simulation methodology for fire safety

국문요약

철도 승강장의 매점은 현재 신문판매대, 표준 간이매점, 간이매점(복권방)등의 형태로 운영되고 있다. 따라서 신문이나 잡지등은 쉽게 불에 붙기 때문에 화재의 발화원이 되며, 대구 지하철 화재사고와 마찬가지로 방화의 대상이 될 수 있다. 따라서 지하철 승강장 매점화재 방지를 위하여 매점화재 시뮬레이션 기법 정립이 필요하고 이를 통한 화재방재예측능력이 필요하다. 이에 본 연구에서는 매점화재 시뮬레이션을 수행하였고 수행된 해석결과는 매점지하철 승강장 매점화재 실험결과와 비교 고찰을 통하여 해석의 신뢰도를 검토하였다.

† 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 선임
E-mail : kimhb31@krri.re.kr
TEL : (031)460-5676 FAX : (031)460-5319
* 정회원, 한국철도기술연구원 철도환경연구실
** 비회원, 한국철도기술연구원 철도환경연구실

1. 서 론

지하철 승강장에서의 매점은 신문판매대, 표준간이매점등의 형태로 운영되고있다. (표 1 참고) 신문판매대는 신문이나 잡지등이 판매되고 있으며, 그림에서 보는 바와 같이 작고 밀폐된 구조로 되어 있다. 따라서 승강장의 매점에는 불이 쉽게 붙기 쉬운 발화원이 될 수 있으며, 지하철 승강장의 특성상 불특정 다수의 승객이 이용되기 때문에 매점에서 화재가 발생시 큰 화재피해를 유발할 수 있다.

그러나 이러한 승강장에서의 매점에 대하여 화재 방재에 대한 체계적인 연구가 미진한 실정이다. 일본에서는 크기 2.2m×3m×2.5m (가로×세로×높이)인 매점에 대하여 신문 57kg, 잡지 105kg 물량으로 일본 소방연구소에 실험을 수행하였으며, 화재시나리오는 자연 발화와 4리터의 휘발유에 의한 방화 두 가지에 대하여 실험을 수행하였다.[1] 이를 토대로 승강장에서의 상정화재로서 화재 대책이 필요함을 제시하였다. 국내에서는 신문판매대와 표준간이매점에 대하여 화재실험을 실시하였으며 실험결과 열 방출율(HRR: Heat Release Rate)과 CO/CO2 배출량을 측정할 수 있었다.[2] 그러나 향후 다양한 형태의 승강장 매점이 운영될 수 있으므로 다양한 승강장 매점에 대한 화재방재를 위하여 매점화재에 대한 전산예측모델이 필요하다. 이에 본 연구에서는 화재전용 Code인 FDS를 이용하여 전산해석을 수행하고 매점화재 실험결과와 비교 고찰을 통하여 정확성을 검토하고 매점화재 전산예측모델의 사례로서 제시코자 한다. 본 연구에서는 간이매점과 신문판매대중에 신문판매대를 대상으로 하였다. 이는 신문판매대가 가장 많이 운영되기 때문이다. 실험데이터는 김학범 외(2009) “지하철 승강장 매점 화재실험”[2] 논문을 근거로 하였다.

표 1. 승강장 매점 운영현황 (2008년 12월)

지하철 운영사	승강장 매점 운영 형태	매점 운영 갯수
서울메트로	신문판매대	80개역 129대
	간이매점	13개역 13대
서울특별시도시철도공사	표준 간이매점	48개역 58대
부산교통공사	신문판매대	1호선 22대, 2호선 8대
인천도시철도공사	매 점	부평역 1대
대구, 대전, 광주	비운영	-

2. 본 론

2.1 지배방정식

본 연구에는 화재전용 code인 FDS(USA, NIST개발)가 사용되었다. FDS code 에서는 Low Mach Number Navier-Stokes를 지배방정식으로 사용하며, 다음과 같이 표현된다.[3]

Conservation of Mass

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{u} = 0 \quad \text{---------- Eq. (2)}$$

Conservation of Species

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \vec{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{W} \text{ -- Eq. (3)}$$

Conservation of Momentum

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla)\vec{u} + \nabla \tilde{p} - \tilde{\rho}\vec{g} = \vec{f} + \nabla \cdot \tau \text{ -- Eq. (4)}$$

Conservation of Energy

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}(\rho h) + \nabla \cdot \rho h_i \vec{u} = \text{ ---------- Eq. (5)}$$
$$\frac{dp_0}{dt} + \dot{q}''' + \nabla \cdot k \nabla T + \nabla \cdot \sum_i \rho h_i D_i \nabla Y_i - \nabla \cdot \vec{q}_r$$

Conservation of State

$$p_0(t) = \rho T R \sum_i \frac{Y_i}{M_i} \text{ ---------- Eq. (6)}$$

FDS code에서는 난류에 대한 계산방법이 LES기법과 DNS등이 있다. 본 연구에는 LES기법을 사용하였다. 연소현상에 적용된 기법으로 점화원이 되는 연료인 가솔린의 연소과정은 HRR곡선을 이용하여 BURNING RATE에 따라 연소가 되도록 하며, 신문을 비롯한 가판대등의 고체연료는 PYROLYSIS 연소가 되도록 설정하였다. 또한 복사는 FVM모델을 사용하였다.

2.2 모델링

본 연구에서 매점에 대한 모델링을 그림 1과 같다. 격자는 X, Y, Z에 대해 동일한 정육면체 격자를 사용하였다. 각각의 격자크기는 0.1m로 하였다. 총격자의 수는 288,000(X: 60개, Y: 60개 Z:80개)이다. 계산 도메인의 크기는 X/Y축 6m이고 Z축은 8m 인데 이는 매점 외부 상부로 유출된 가스에 의한 연소를 고려하여 충분히 매점보다 크게 작성하였다. 그림2는 온도 센서 설치위치를 나타낸 그림이다. 가솔린을 뿌린 위치는 화재 실험위치와 유사하게 분포토록 하였다.

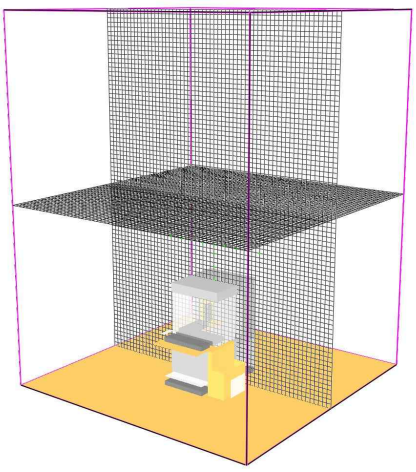


그림 1 신문판매대 모델링

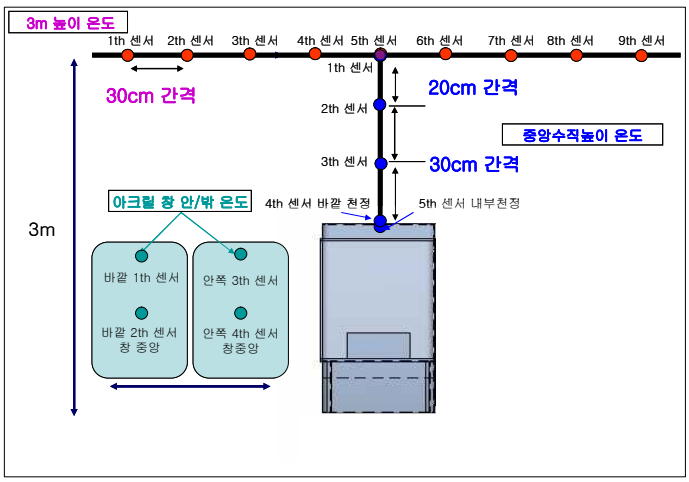


그림 2 신문 판매대의 온도측정 위치

모델링시 신문의 양 및 나무의 양은 매점화재 실험과 거의 같은 무게로 입력하였으며, 표 2와 같다. 신문판매대의 창에 사용되는 아크릴은 실제 무게를 측정하지 않았지만 두께를 0.001m 로 모델링하였다.

표 2 신문 및 가구류의 모델링 무게

종 류	실 험	해 석
신문 및 잡지	신문 250부 : 66.75kg 잡지 100부 : 50.70kg	종이 : 119.41kg
가판대 및 책장등의 나무류 :	가판대를 비롯한 총무게 : 37.65kg	가판대를 비롯한 총무게 : 37.65kg

2.3 경계조건 및 가솔린 화재 성장 시나리오

본 연구에 사용된 경계조건은 바닥을 제외한 모든 면을 대기압(OPEN) 및 초기온도는 초기 온도는 15℃로 하였다. 각 재질은 벽을 통해 열전도 된다고 설정(BACKING=EXPOSDE) 하였다. 방화시 사용된 가솔린은 그림 3과 같이 화재 곡선에 따라 연소된다고 설정하였다. 이는 액체 연료가 매우 빠른 화재성장을 보이므로 Ultra-fast로 가정하였다.

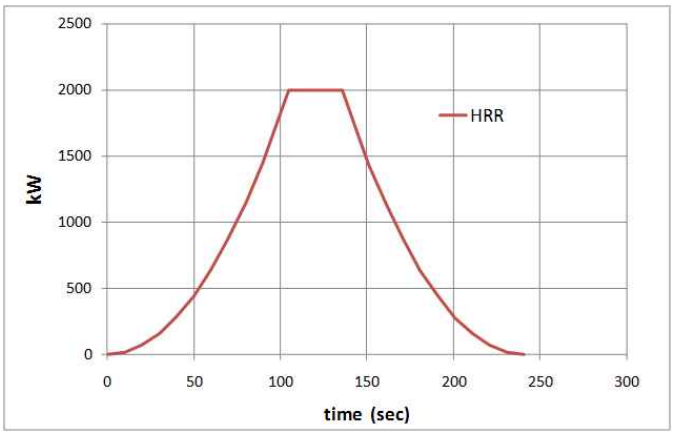


그림 3 발화원의 화원 곡선

2.4 해석결과 및 실험데이터와의 비교고찰

그림4의 해석결과에서 볼 수 있듯이 전반적으로 실험데이터와 해석결과를 비교하였을 때 초기 화원 성장은 유사한 패턴을 보였다. 실험에서는 창이 파괴되었을 때 최고점을 보이지는 않았지만 해석결과에서는 창문이 파괴되는 시점에 열방출율이 최고점을 도달하고 다시 종이와 가구류가 연소가 진행되어 재상승하는 것을 보이고 있다. 창문이 파괴되는 시기는 60~70초대로 유사하다. 해석결과에서 최성기 이후부터는 열방충율(HRR)이 급격하게 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이러한 차이는 초기 방화에 이용되는 연료를 뿌렸을 때 나무나 종이에 흡수되거나 또는 가구류의 재료인 나무가 훈소되는 과정이 잘

반영 안 되었기 때문으로 판단된다. 이외에도 매점 화재에 사용된 잡지나 신문등의 혼합된 재료에 대해 평균적인 종이의 물성치를 사용하였고 가구에 사용된 나무도 각각 종류가 다르지만 본 해석에서는 FDS에서의 제공된 평균적인 물성치를 사용하였기 때문인 것으로 판단된다.

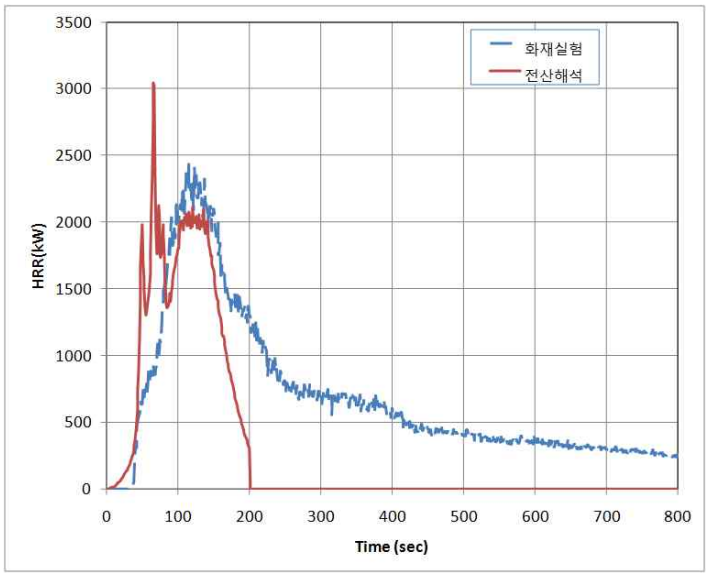
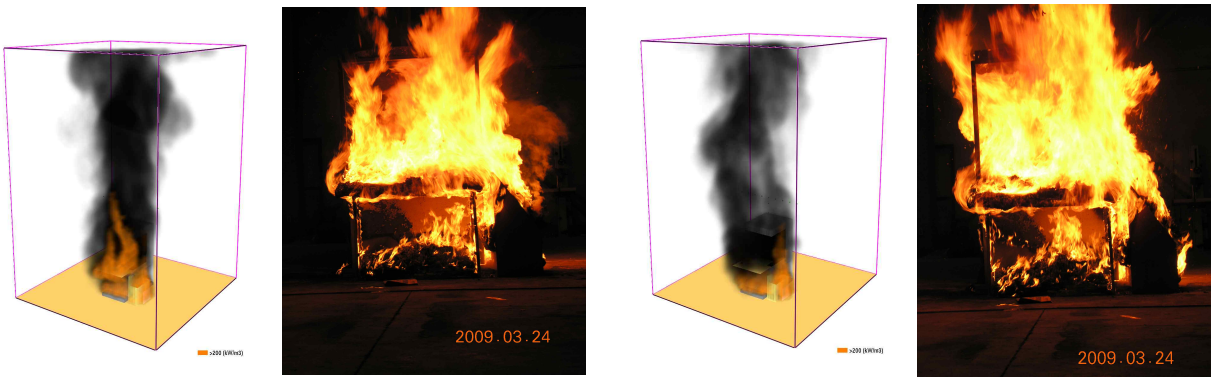


그림 4 **그림 4 신문판매대의 실험결과와 해석결과 비교**



점화후 창 전소시 모습(좌 67초, 우 70초) **점화 후 최성기 때의 모습 (좌 109초, 우 140초)**

그림 5 매점화재의 시뮬레이션(좌)과 실험사진(우) 비교

3. 결 론

본 연구에서는 승강장 매점중 신문판매대에 대한 화재 전산예측 모델 개발을 수행하였다. 화재 전산예측 수행을 위한 CFD code는 FDS를 사용하였다. 실험데이터와 해석결과를 비교하였을 때 화원 성장은 유사한 패턴을 보였으나 정량적으로 최대값 및 최성기를 지난 이후에는 신문판매대 목업 화재와 차이를 보였다 이는 매점 화재에 사용된 각 물성치가 실제와 차이가 있으며, 본 방화 화재와 같이 액체연료(가솔린)와 고체연료가(매점의 신문 및 나무 등) 혼합된 화재를 전산해석에서 정확하게 구현되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 향후 이 부분에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원의 철도종합안전기술개발사업중 “철도화재 안전성능 평가 및 사고방지 기술개발”과제의 지원에 의하여 수행된 결과이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 일본 지하철 화재대책 보고서 (2004),

2. 김학범, 김치훈, 이덕희, 장용준, 정우성, 김진곤(2009) “지하철 승강장 매점 화재실험”, 한국철도학회 2009 추계학술대회

3. Kevin McGrattan, Bryan Klein, Simo Hostikka, Jason Floyd, “Fire Dynamics Simulator User's Guide”, NIST.