

A-13

대구지하철 전동차 화재시뮬레이션

이 상 곤, 허 만 성,

(주)리스크 매니지먼트 씨포트, 우송공업대학 소방안전관리과

Fire Simulation of the Daegu Subway train

Shang-Gon Lee, Man-Sung Hur

Risk Management Support Co., Senior Engineer, Seoul, Korea

Dept. of Fire Safety Eng., Woosong Technical College, Taejon, Korea

1. 서 론

2003년 2월 18일 발생한 대구지하철 방화참사로 많은 소방시설의 문제점들이 노출되었다. 무엇보다도 먼저 역내의 소화설비, 제연설비, 유도등설비, 피난통로확보 등이 충분히 고려되지 않았고 전동차안은 소화기 2개 이외는 소화설비가 전혀 없었다. 화재감지기나 유독성 가스를 배출시키는 환기구도 없었다. 또한 소화기 사용법도 승객들에게 잘 숙지되지 않았다. 전동차 내부의 내장재는 FRP, 리놀륨, 폴리에스테르, 폴리우레탄폼 등으로 연소시 일산화탄소나 시안화수소와 같은 독성가스를 배출하여 많은 사상자가 났다. 또 너무 깊고 복잡한 통로, 유도등 설비의 조도가 낮은 것도 문제가 되었다. 종합적으로 선진국처럼 역사를 설계할 때 소방 및 방재전문가가 함께 참여하지 않았기 때문에 화재모델링 및 피난모델링과 같은 것을 통해 화재 가능성 및 연료, 점화원에 대한 충분한 검토가 이루어지지 않았다는 것을 들 수 있겠다. 따라서 대구지하철 전동차의 화재시뮬레이션을 통하여 전동차 내부의 온도변화 및 화재전파상황을 살펴보았다.

2. 연구방향

전동차 화재시뮬레이션은 미국의 표준기술국(NIST)에서 개발된 FDS(Fire Dynam Simulator) V.3.0과 CFAST V.3.16, BREAK1을 사용하여 연구하고자 한다. 이 CFAST와 BREAK1은 화재시 화재 크기 및 유리창 파열여부를 결정하기 위해서 사용되고, FDS는 전동차 내부 및 지하철 역사의 연기거동, 온도분포, 복사열 전파 등을 분석하기 위해 사용된다. 앞으로 연구할 내용과 방향은 다음과 같다. 우선 대구지하철 전동차 1량에 대한 화재시뮬레이션을 실시하여 전동차 내부 시간대별 온도변화, 전동차의 유리파손시간과 화재전파 상황을 분석한다. 또 내장재는 내부온도와 화재현상에 어떤 영향을 미쳤는지 분석하고 최초의 발화지점에서 다른 5량으로 화재의 전파과정을 분석하고자 한다. 더 나아가 1079호에서 1080호 전동차로 화재가 전파될 때의 주된 원인으로 보는 복사량은 어느 정도였는지를 분석하고, 12량 전소로 인해 발생한 연기는 어떠한 거동으로 중앙로 역사의 지하3층, 지하2층, 지하1층으로 퍼져 나갔는지 연구하고자 한다. 이와 같은

화재시뮬레이션을 통하여 전동차 내장재의 영향, 내부온도분석, 복사열전파, 연기의 거동 등을 연구 분석하여 앞으로 설계하는데 기초자료가 될수 있도록 하는데 연구의 목적이 있다.

3. 화재시뮬레이션

3.1 시나리오

전동차 화재의 시나리오는 Fig. 1과 같이 중앙로역 지하철 전동차 안에서 휘발유 1.리터 화재로 시작되어 바닥과 인접 의자, 천장 등으로 화재가 전파된 실제 상황에 최대한 일치되도록 하였다.

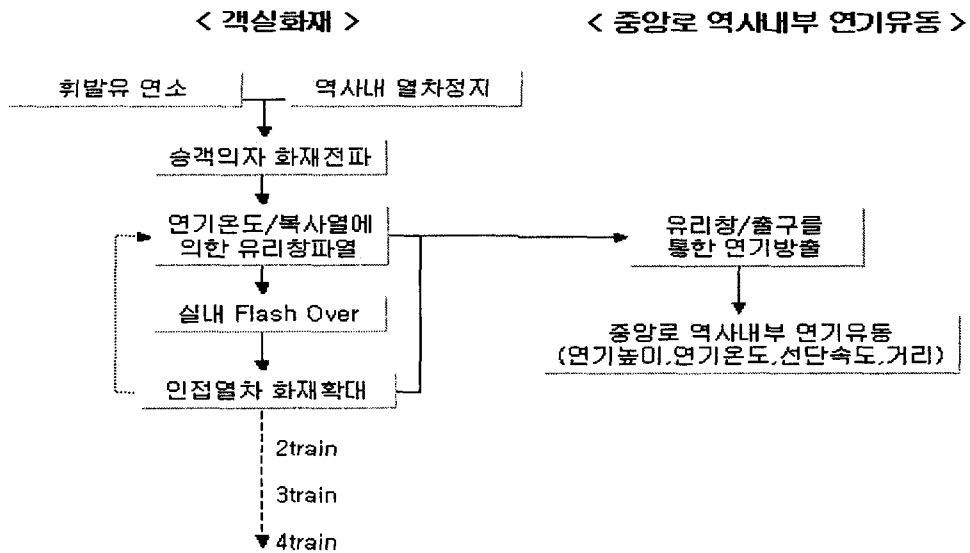


Fig. 1 Fire Scenario flow chart

전동차 내부의 내장재로 쓰인 의자, 벽체, 천장 및 바닥 재료의 종류 및 특성은 Table 1과 같다.

Table 0. Characteristics of fire sources

종 류	의 자	벽체/천장	바 닥
재 질	Polyurethane Foam	FRP/PVC	FRP
최대발열량(kW/m ²)	420	122	618
Peak time(s)	25	25	55
두께(mm)	5	1.5	4
총발열량(MJ/m ²)	7.4	21.5	61.2

Fig. 2는 의자의 화재성장곡선을 나타내고, Fig. 3은 벽체의 화재성장곡선, Fig. 바닥의 화재성장곡선을 나타낸다.²⁾

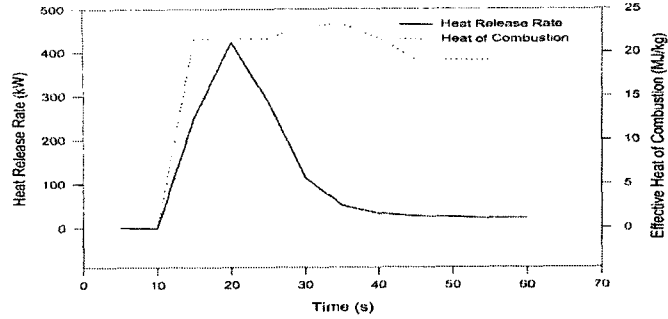


Fig. 2. Fire growth of the chair

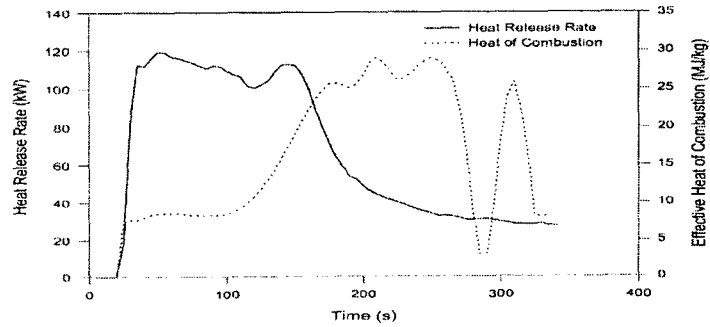


Fig. 3. Fire growth of the wall

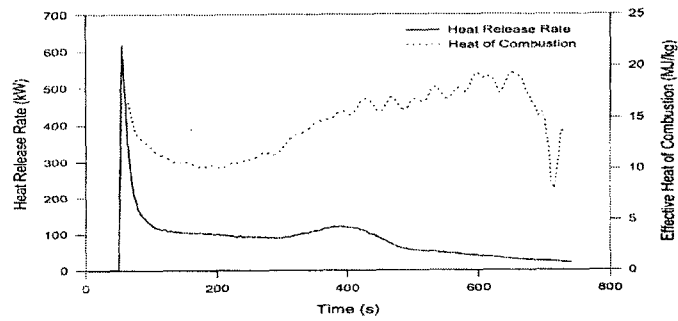


Fig. 4. Fire growth of the floor

방화에 사용된 휘발유의 화재특성은 Table 2와 같다.

Table 2. Fire characteristics of the gasoline

종 류	점화시간	방 출 량	최대발열량	면 적	화재크기
휘발유	즉시점화	1.5리터	400kW/m	1.8m ²	720kW

Fig. 5는 전동차 1량의 구조를 나타내는 것으로 길이 19.5m, 높이 2.4m, 폭 3.2m

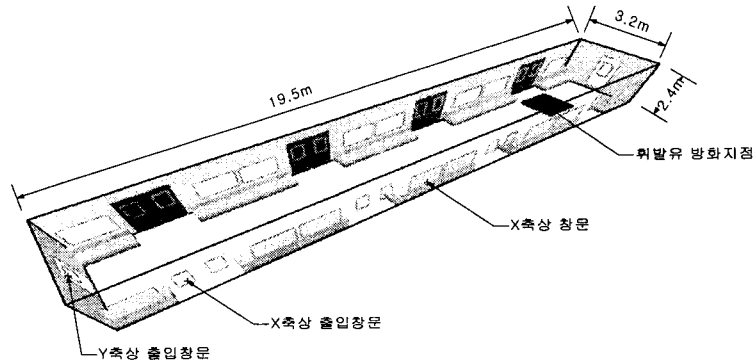


Fig. 5. Geometry of the subway train

개구부는 x축상의 유리창문 16개, x축상 출입문 유리 16개, y축상 통로문 유리 2개로 크기와 총면적은 Table 3에 나타난 것과 같다

Table 3. Window geometry

종 류	크기(W×H)	개 수	총면적(m ²)
X축상 유리창문	1.2m×0.9m	16개	17.3
X축상 출입문 유리	0.3m×0.77m	16개	3.7
Y축상 통로문 유리	0.3m×0.77m	2개	0.5

화재로 인한 유리창의 파열에 영향을 미치는 인자들은 Table 4와 같다.

Table 4. Properties of the window

Name	Value	Name	Value
Thermal Conductivity	0.76W/mK	Thermal Diffusivity	3.6E-07m ² /s
Absorption Length	1.0E-03m	Breaking Stress	1.650E+9Pa
Youngs modulus	7.0E+10Pa	Liner Coefficient of Expansion	9.5E-06
Glass Thickness	0.01m	Shading Thickness	0.05m
Half-Width	0.83m	Heat Transfer Coeff. Unexposed	10W/m ² -K
Ambient Temp. Unexposed	293.1K	Emissivity of glass	1
Emissivity of Ambient	1.00		

3.2 시뮬레이션 결과 및 분석

내부 환기 등 여러조건을 고려한 전동차 내부에서 발생할 수 있는 화재 크기는 Fig. 6과 같다. 전동차 1량의 화재시 화재 크기는 750초 후에 최대 17MW까지 상승하였으며, 그 이후 감소하여 약 1000초 후에는 화재가 종료되었다. 210초 후 인접한 의자 4개에 화재가 완전히 전파되며, 이로 인하여 약 500초 후 실내에 flashover가 발생하게되고,

750초 후 최성기의 화재크기를 형성하고난 후 감소하였다.

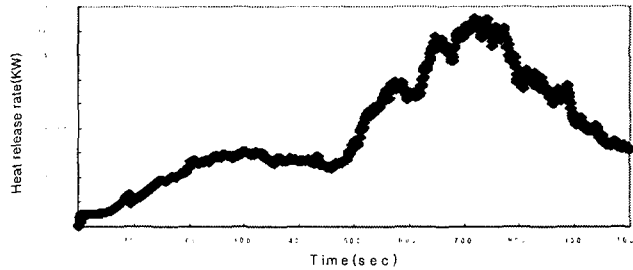


Fig. 6 Heat Release Rate of the subway train

Fig. 7은 시간에 따른 전동차 내부의 온도분포를 나타낸다. 화원에 인접한 부분의 온도는 최고 1000℃이상을 보이고 약 500초 후 전체적인 연기온도는 600℃이상의 flashover현상이 발생하게 된다.

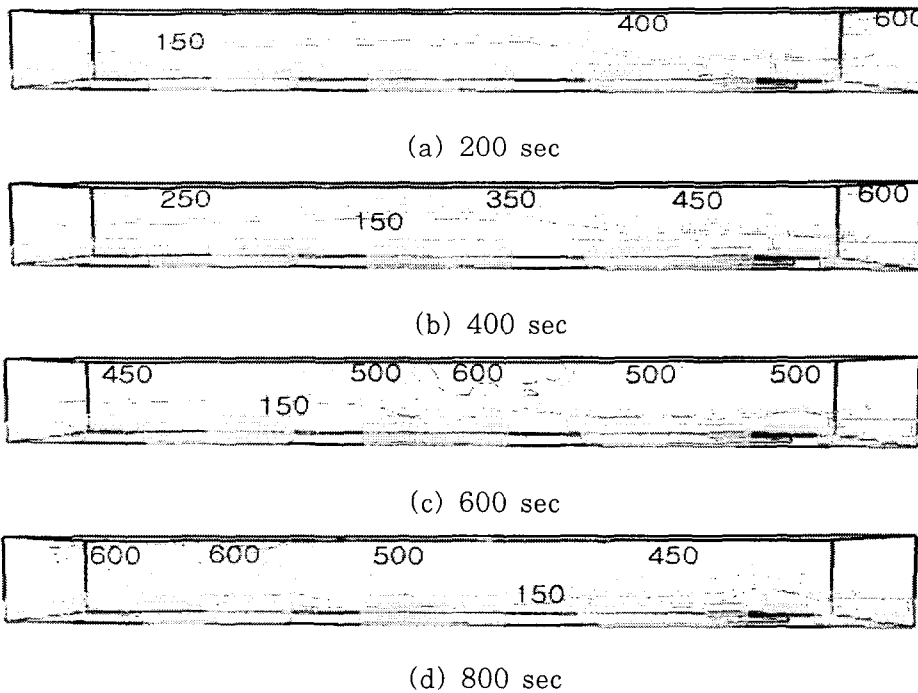


Fig. 7. Temperature distribution of the subway train

Fig. 8은 휘발유 화재로 인하여 바닥, 인접 의자 및 천장으로의 화재전파상태를 나타낸다. 100초후 가장 가까운 가연물에 화염이 전파되고, 209초 후 의자 4칸까지 화염이 전파되며 700초 후에는 전체 가연물에 화염이 전파되게 된다. 100초까지의 화재전파는 휘발유에 의해 의자의 표면온도가 280℃이상 가열되었기 때문이며, 그 이후의 화재 전파는 연기 및 화염으로부터의 복사열과 온도에 기인된다.

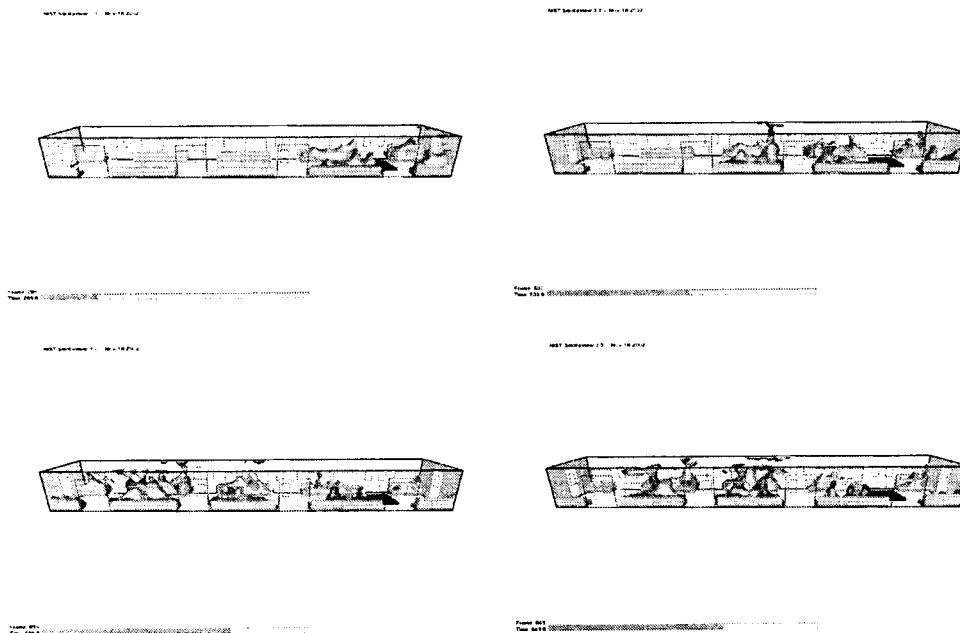


Fig. 8 Fire spread of the subway train

4. 결 론

대도시하철 전동차 화재의 화재전파과정을 알아보기 위하여 화재시뮬레이션을 하였으나 내부와 외부조건들에 대한 정확한 데이터를 수집하지 못한 관계로 실제상황과 일치되지 않는 점이 있습니다. 그래서 현재의 상태로 결론을 내리지 않고 정확한 데이터를 수집하는대로 좀더 정확하게 시뮬레이션을 수행하여 분석한 다음에 실제상황과 비교하여 발표하도록 하겠습니다.

참고문헌

1. Joshi, A. A. and Pagni, P.J., "Fire Induced Thermal Fields in Windows G II-Experiments"
2. Richard, D. Peacock, "Fire Safety of Passenger Trains, Phase I : Material Evaluation(Cone Calorimeter)"
3. FHA, "Prevention and Control of Highway Tunnel Fires", FHWA-RD-83-03
4. FRA, "Railroad Incident/Accident Database", (1993-2002).
5. NIST, "Fire Dynamics Simulator(Version3)-User's Guide".