

# FDS(Fire Dynamics Simulator)를 이용한 전동차 화재감지 시뮬레이션

## Fire Detection Simulation on Railway Vehicle by Using of FDS (Fire Dynamics Simulator)

양성진\*<sup>†</sup>, 이창덕\*, 노주현\*, 박길배\*, 이강운\*, 김창용\*\*, 박원희\*\*, 이원용\*\*\*

Sung Jin Yang\*<sup>†</sup>, Chang Deok Lee\*, Joo-Hyun Rho\*, Kilbae Park\*, Kang Wun Lee\*  
Chang Yong Kim\*\*, Won Hee Park\*\*, Won-yong Lee\*\*\*

**Abstract** Fire detector shall be equipped within a confined area which may lead to risk of fire in accordance with the Technical Specifications for Urban Railway Vehicles (KTRS-VE-Part51). As per this technical guidelines, heat and smoke detector are considered generally to the vehicle design to perceive the fire occurring at the condition of pre-determined temperature (65°C) and smoke concentration (15%/m). In considering fire detection design, parameters such as amount of detectors and its arrangement deemed to be main factors could affect on detecting promptness. The aim of this study is to review the parameter adequacy for fire detection design by simulating the fire growth and detection time for the typical urban railway vehicle by using of FDS (Fire Dynamics Simulator)

**Keywords** : Fire Detection, Fire Simulation, Railway Vehicle Fire, Fire Growth, FDS

**초 록** 철도차량 기술기준에 의거 화재위험이 있다고 판단되는 차량의 구획공간에는 화재 감지기가 설치되어야 한다. 이에 따라서 철도차량의 객실 천정 부에는 열·연기 복합 화재감지기가 설치되며 이는 지정된 연기 농도(15%/m)와 온도(65°C)조건에서 화재 상황임을 인지하여 감지신호를 송출한다. 이때 해당 구획공간 내 감지기 수량과 배치 등의 설계변수가 화재감지 응답속도에 영향을 주는 인자로 작용한다. 본 연구에서는 FDS(Fire Dynamics Simulator) 해석 툴을 이용하여 화재성장을 모사하고 설정된 감지기 수량과 배치 조건에서 감지 응답속도를 예측하고자 하며 이를 통해 해당 설계 타당성과 전동차 화재감지성능을 검토하였다.

**주요어** : 화재감지기, 화재 시뮬레이션, 전동차 화재, 화재성장, FDS

## 1. 서론

도시철도차량 기술기준 (KRTS-VE-Part 51) [1] 3.2.4.5절 ‘화재의 감지 및 경보’에 따르면 화재위험이 있다고 판단되는 차량의 구획공간에는 화재감지기가 설치되어야 한다. 이는 화재발생 초기에 화재 상황을 감지하여 지휘통제본부 및 승객들에게 화재상황을 신속하게 인지시키고 적절한 후속대응을 도모하기 위함이다. 도시철도 차량의 경우 객실이 대표적인 구

† 교신저자: 현대로템 응용기술연구팀(sjyang@hyundai-rotem.co.kr)

\* 현대로템 응용기술연구팀, \*\* 한국철도기술연구원 교통환경연구팀

\*\*\* 한국철도공사 엔지니어링센터

획공간이 되며, 열·연기 복합 화재감지기를 설치하는 것이 일반적이다. 객실 공간에서 발생하는 열·연기는 부력으로 인하여 수직 상승하게 되고 객실 천정 부를 타고 흐르는 일정한 기류(Ceiling jet)를 형성하며 화재가 지속 성장함에 따라 연층은 천정에서부터 발달하게 된다. 따라서 보다 신속한 화재감지를 위해 열·연기 복합감지기는 보통 객실 천정 부위에 설치 하게 된다. 이때 열·연기 복합감지기 배치와 수량 등의 설계변수가 화재 감지 응답속도에 영향을 주는 인자로 작용하게 된다.

본 연구에서는 전산유체역학 모델을 이용한 차량화재 시뮬레이션을 통하여 화재 시 열·연기 유동을 모사하였고 설정된 화재감지기 배치와 수량에 따른 감지 응답 특성을 분석하였다.

## 2. 본 론

차량화재 성장 및 감지기 응답 특성을 모사하기 위해 미 기술표준협회 (NIST, National Institute of Standard & Technology)에서 개발하고 배포한 FDS (Fire Dynamics Simulator) 해석 툴을 사용하였으며, 한국철도기술연구원 공동연구[2]를 통해 해당 시뮬레이션 작업을 수행하였다. 해당 연구에서 활용한 해석기법과 절차, 시나리오 및 해석조건을 제시하고 결과 분석을 통해 해당 화재감지기의 대표적 설계변수인 배치와 수량의 타당성을 검토해보고자 한다.

### 2.1 해석대상 과 격자생성

본 화재감지 시뮬레이션 연구에 사용된 차량은 당사 도시철도 전동차이며 Fig. 1에 내부 유동공간 및 해석영역을 도시하였다. 격자 생성에 사용된 모든 형상 정보는 당사 설계도면에 의거 하였다.

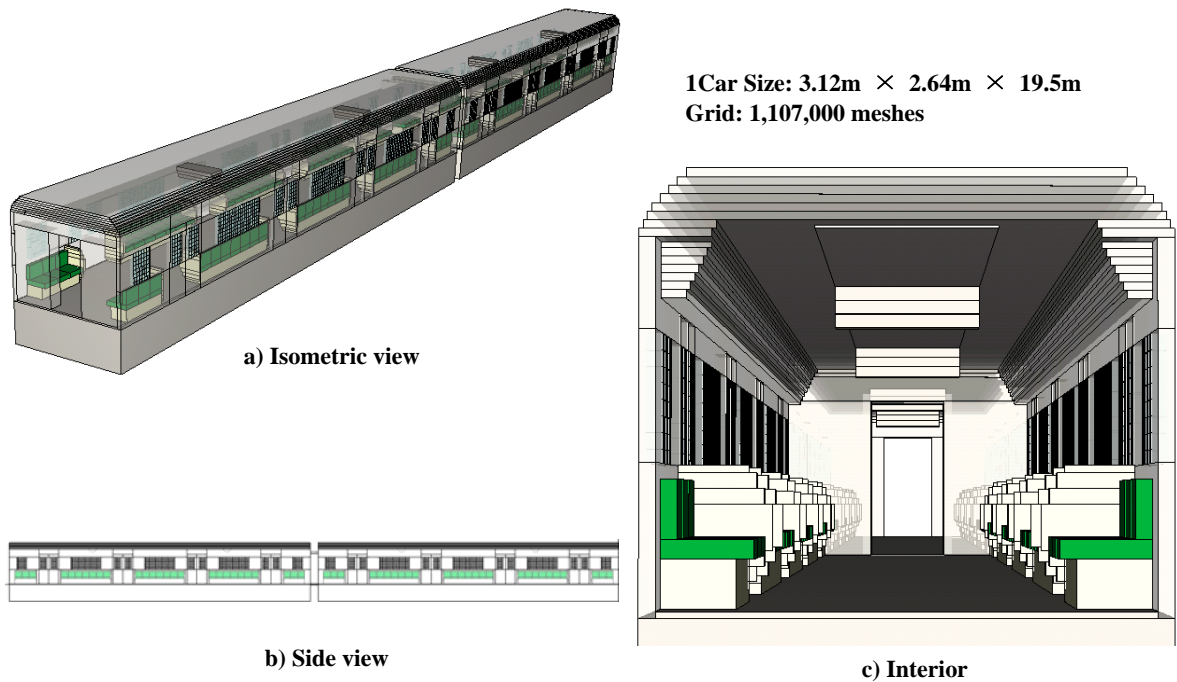


Fig. 1 Grid and Flow Regime for FDS Simulation

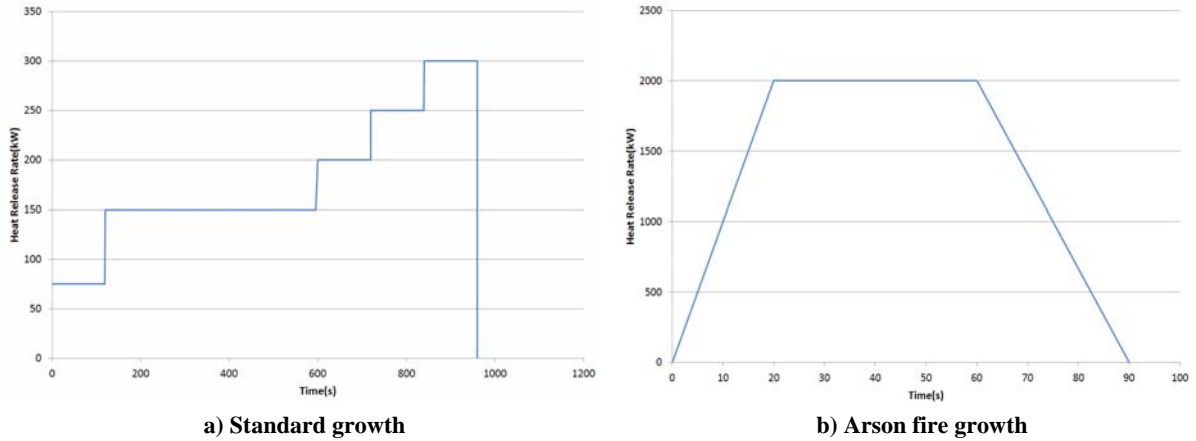


Fig. 2 Fire source assuming Standard growth & Arson fire growth

## 2.2 해석조건 및 화재 시나리오

화원은 차량을 구성하는 가연성 자재에 초기 발화를 일으키는 원인이며 시간에 따른 열에너지 방출곡선으로 정의된다. 본 해석에 활용된 화원조건으로서 『국토해양부』에서 추진한 철도종합안전기술개발사업(2014-2011)에서 마련된 ‘철도차량 화재위험도 평가 매뉴얼[3]’의 표준화원조건과 대화원조건을 초기 발화원으로 설정하였고 FDS 툴의 화재모델 중 표면열방출법(Heat Release Rate Per Unit Area Method)을 이용하여 화재성장을 모사하였다.

### 2.2.1 화원 조건

표준화원은 Fig. 2에 도시된 바와 같이 75kW에서 시작하여 최대 300 kW 크기로 960초 동안 Fig. 2 a) 성장곡선을 따라 열을 방출하며 Fig. 2 b) 대화원 조건으로서 최대 2 MW의 크기로 90초 동안 상대적으로 단시간 내에 많은 열량을 주변부에 가하는 방화조건을 해석에 반영한 것이다. 화원의 설정위치를 선정하는데 있어서 인접한 가연성자재가 많아 주변으로 화재확산의 가능성이 가장 높은 부분을 고려한다. 따라서 화재전파의 가능성이 높은 차량 간 연결통로 부근을 화원의 위치로 설정하였다. 화원의 위치는 Fig. 3에 도시되어 있으며 객실 공간 내 천정 부에 설치된 열·연기 복합화재감지기는 량당 4개 총 8개가 설치되었고 그 위치에 따른 순번을 하기와 같이 Fig. 3에 표기하였다.

### 2.2.2 화재감지기 작동 조건

해석에 고려된 화재감지기는 열·연기 복합형 감지기이며, 연기감지를 위해 15 %/m의 감지농도가 설정된 광전식 1종 감지기와 65℃ 온도조건에서 화재를 인지하는 정온식 열감지기의 작동조건을 해석 알고리즘에 반영하였다.

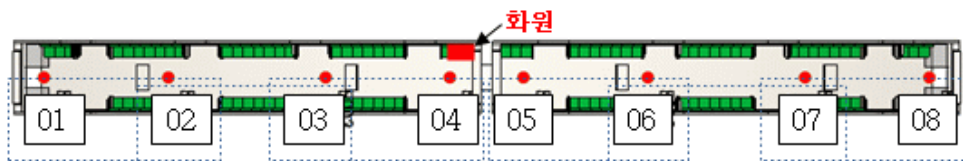
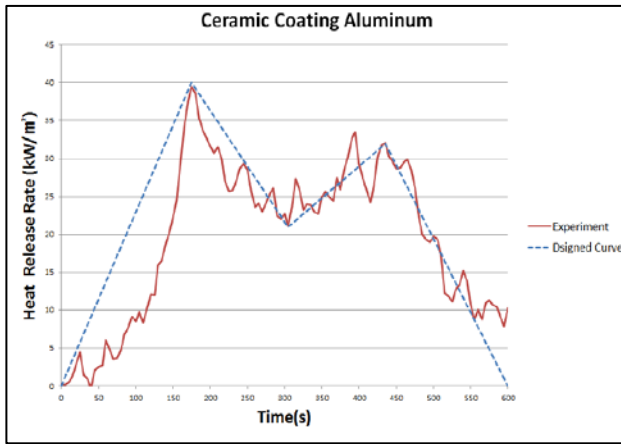
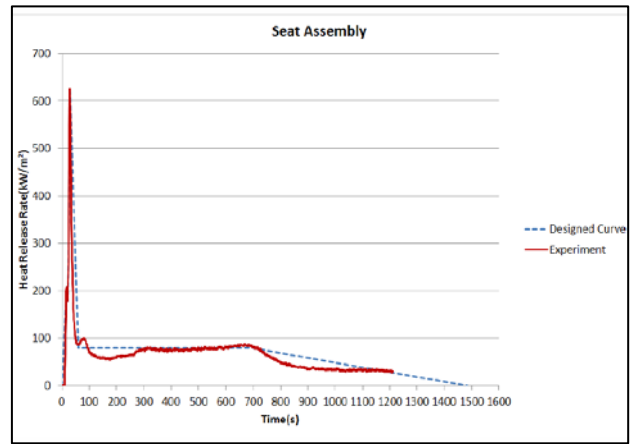


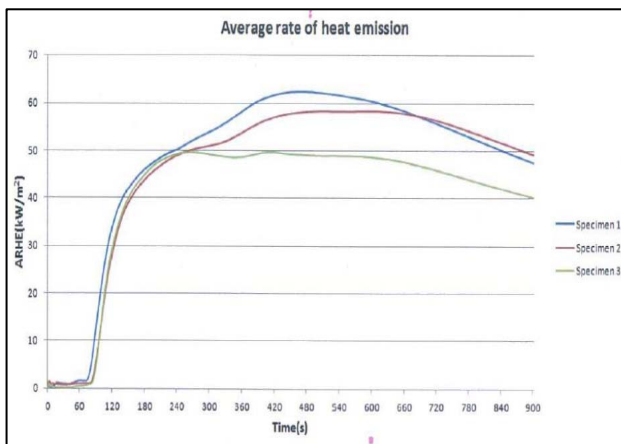
Fig. 3 Location of Fire source and Fire detectors



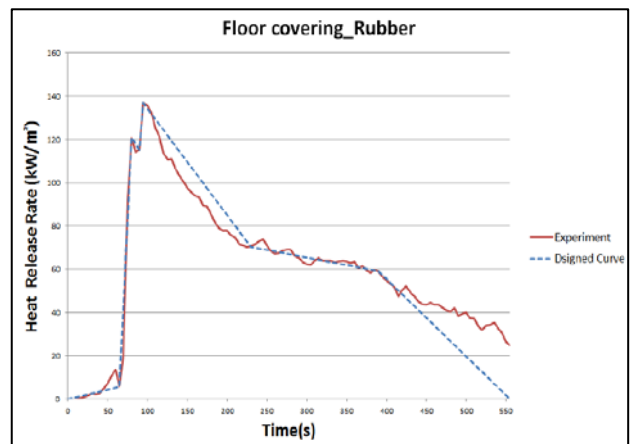
a) Interior Panel



b) Seat Assembly



c) Gangway Bellows



d) Floor Covering

Fig. 4 Combustible Materials Heat Release Curve

### 2.2.3 가연성 자재 리스트

해석에 사용된 가연성 자재 각각의 물성치와 발열량 데이터는 참고문헌[2]의 재질별 입력 정보 기록표에 상세히 기록되어 있으며, 본 논문에서는 차량의 화재성장에 주요한 영향을 미치는 대표적 가연성 자재인 내장판, 의자 구성품, 통로연결막, 바닥 표면재에 대하여 화재성장에 직접적으로 관계하는 입력 데이터인 열방출곡선을 Fig. 4에 도시하였다. 각 내장판과 차체골조 사이에는 불연재인 단열재가 위치해 있으며, 바닥 표면재 하부에도 유니텍스라는 불연재료가 적용된다. 따라서 일반 전동차 화재 시 객실 유동 공간에 노출되는 주요 가연성 자재는 하기 목록으로 한정할 수 있으며, 방송통신 장치 및 기타 전자 기기와 소량의 고무류 등과 같이 복잡한 형상을 지닌 대상 품목은 장방형의 격자계(Rectangular Grid system)를 갖는 FDS(Fire Dynamics Simulator) 해석 툴의 특징 상 격자로 표현할 수가 없어 해석에서 제외하였다.

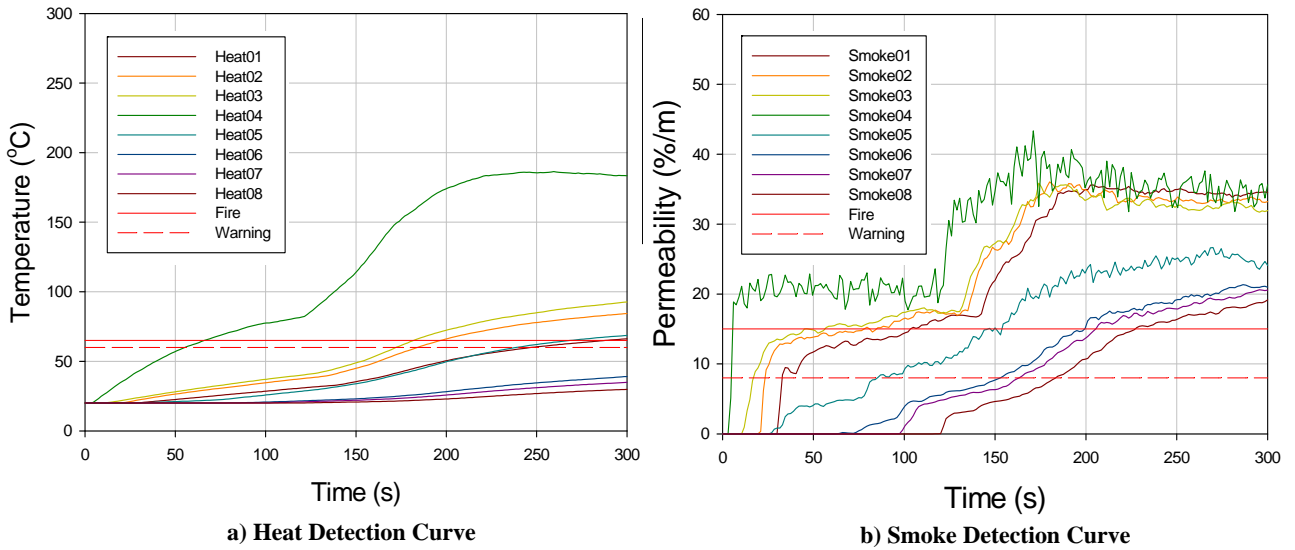


Fig. 5 Heat & Smoke Detection Curve under Standard Fire Scenario

## 2.3 해석결과

### 2.3.1 표준화원 시나리오 해석결과

FDS 해석에서의 감지기 동작은 주어진 화재성장 환경(표준화원 시나리오)에서 미리 설정된 물리량인 온도와 농도 값을 실시간으로 읽어드리는 역할에 한정된다. 표준화원 시나리오에 따른 발화 후 감지기 위치 별 측정 시간에 따른 온도와 농도값을 그래프로 나타내면 Fig. 5와 같으며 화재 상황으로 인식하는 15 %/m 농도와 65°C 온도를 감지하는 시간을 표로 정리하면 Table 1과 같다.

표준화원 발화 후 발화위치에서 가장 인접한 4번 감지기가 6초에 연기를 최초 감지하였으며, 이 후 인접한 3번 감지기가 57초에 연기를 감지하였다. 열 감지기는 연기 감지기에 비해 상당히 늦는 감지시간이 기록되었다.

Table 1 Fire Detection Time along with Detectors under Standard Fire Scenario

		감지기 위치 별 측정 시간							
종류	기준	01	02	03	04	05	06	07	08
열감지기 주의-55°C 화재-65°C	주의	220	174	164	48	219	659	806	954
	화재	290	198	183	66	269	846	-	-
연기감지기 주의-8%/m 화재-15%/m	주의	33	24	18	-	86	153	164	185
	화재	104	86	57	6	147	200	206	228

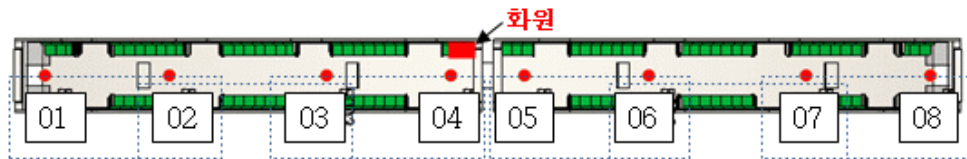


Fig. 6 Location of Fire source and Fire detectors

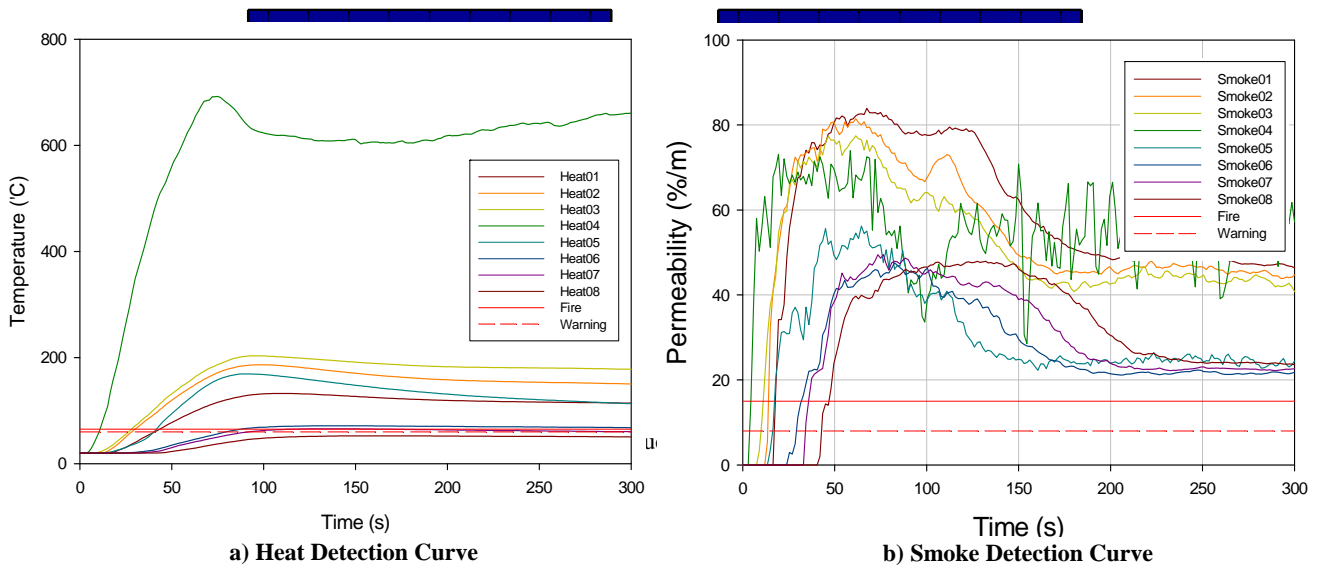


Fig. 7 Heat & Smoke Detection Curve under Arson Fire Scenario

### 2.3.2 대화원 시나리오 해석결과

대화원을 가정한 화재 시나리오에 따른 발화 후 감지기 위치 별 측정 시간에 따른 온도와 농도값을 그래프로 나타내면 Fig. 7과 같으며 화재 상황으로 인식하는 15 %/m 농도와 65°C 온도를 감지하는 시간을 표로 정리하면 Table 2과 같다. 대화원 발화 후 발화위치에서 가장 인접한 4번 감지기가 5초에 연기를 최초 감지하였으며, 이 후 인접한 3번 감지기가 12초에 연기를 감지하였다. 또한 표준화원에 비해 열 감지기의 감지 시점도 대폭 축소되었으며, 초기 4번감지기가 12초에 감지한 이후 인접한 3번 감지기가 29초에 열을 감지하였다.

### 2.3 종합

방화를 가정한 대화원에서 표준화원에 비해 화재성장이 훨씬 급격하게 이루어지므로 상대적으로 빠른 열·연기의 확산이 나타나며 도 화원의 경우 모두 상대적으로 열 감지기의 응답 속도보다 연기 감지기의 응답속도가 빠른 것으로 예측된다.

Table 2 Fire Detection Time along with Detectors under Arson Fire Scenario

		감지기 위치별 측정 시간							
종류	기준	1	2	3	4	5	6	7	8
열감지기 주의-55°C 화재-65°C	주의	41	27	26	11	39	75	83	-
	화재	45	30	29	12	42	89	117	-
연기감지기 주의-8%/m 화재-15%/m	주의	-	-	7	-	17	30	35	44
	화재	18	15	12	5	18	33	36	48

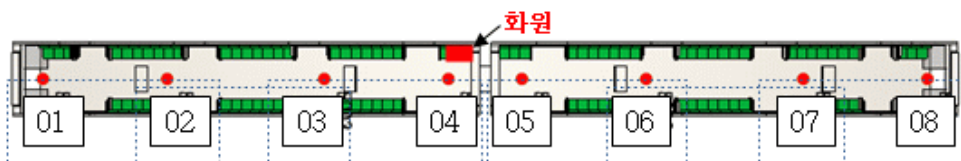


Fig. 8 Location of Fire source and Fire detectors

### 3. 결 론

본 연구는 일반 도시철도차량에 일반적으로 적용되는 열·연기 복합 화재감지기의 배치, 수량과 같은 설계인자와 작동 조건을 기술하고 표준화원과 대화원으로 구분되는 화재 시나리오 별 화재 시뮬레이션(FDS Fire Simulation)을 수행하여 화재 시 열·연기 유동을 모사하였고 설정된 화재감지기 배치와 수량에 따른 감지 응답 특성을 분석하였다. 그 결과 표준화원에서는 약 1분 내의 감지응답 속도를, 대화원 상황에서는 30초 내의 감지응답 속도를 예측하였다. 화재감지기 설치 기술컨설팅 자료[4]에 의하면 건축물 화재감지기 설비의 경우 약 2~3분 감지 응답속도를 보이는 것에 비해 상대적으로 빠른 응답속도가 예측되었으며 따라서 열·연기 복합 화재감지기의 배치 및 수량이 적절하다는 결론을 제시한다.

### 후 기

해당 연구는 철도기술연구원 교통환경연구팀과 한국철도공사 엔지니어링센터의 협조로 이루어졌으며 이에 감사의 말씀을 전합니다.

### 참고문헌

- [1] Technical Specifications for Urban Railway Vehicles (KTRS-VE-Part51) (2014) (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, released by2014-434), pp. 30-31.
- [2] Duckhee Lee, Wonhee Park and Changyong Kim (2015) Fire Detection Simulation on Railway Vehicle by Using of FDS (Fire Dynamics Simulator), *Technical Consulting*.
- [3] Duckhee Lee, Wonhee Park and Woosung Jung. (2011) Guideline for the Fire Risk Analysis for Railway Passenger Cars, *KRRI*, pp. 9-10.
- [4] Yong Lim, Lachlan Anderson. (2015) Fire Detection System Evaluation Report, *Technical Consulting Report by ARUP*.
- [5] Duckhee Lee, Wonhee Park, Woosung Jung, Sungjin Yang, et al. (2013) Estimations of heat release rate curve of railcar fire, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(6) pp. 1665-1670.