

B-12

철도차량 실대형 화재안전 성능평가 장치 설계 Design of the Full-Scale Fire Safety Evaluation Facility for Railroad Vehicle Fire

유용호*, 김흥열**

Yoo, Yong Ho · Kim, Heung Youl

Abstract

To prove a lot of technical difficulties related to the safety management of a railroad fire effectively, we design for the full-scale fire test facility of the railroad vehicle. It will be consist of major 3 part - duct system with smoke cleaning system, measuring section and gas analysis system. The CFD simulation was also carried out to design of the hood and duct system optimization. The results will be help for basic research of the railroad fire safety.

Key words : Fire safety, Full-scale fire test facility, Railroad

1. 서론

철도는 에너지의 효율성, 정시성, 안전성등이 보장되는 교통수단으로 현대사회의 대중교통 문제를 해결할 수 있는 대안으로 평가받고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 대형화재 사고에 대한 대비는 매우 미흡한 상태였던 것이 사실이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 철도를 포함한 차량의 화재발생건수는 전체 화재발생의 19%인 5,929건으로 주택에 이어 두 번째로 많은 화재 발생 형태로 나타나고 있다.

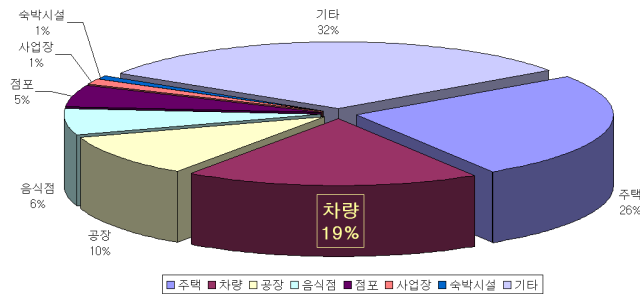


그림 1. 화재사고 통계

철도 차량 등에 많이 적용되는 내부마감재료의 경우, 화재시 고열에 의한 심재의 용융, 강관의 변형 등 화재안전성 측면에서 지속적으로 문제가 제기되어 왔으며, 지난 2003년 대구지하철 화재사고 이후 막대한 규모의 예산을 투입하여 내장재 재료안전 기준등을 개정하고 교체작업을 진행하고 있으나 철도시스템의 종합적인 화재안전도를 객관적으로 평가할 수 있는 평가방법 및 설비는 마련되어 있지 않고 있다. 본 연구에서는 철도 차량 실내설비의 용도, 규모 및 화재위험도의 등급 분류에 따라 화재안전성을 확보한 철도 차량을 현장에 적용하기 위해서, 재료-구조-실물 규모의 종합적인 화재안전성 평가를 통해 그 성능이 입증된 차량이 사

* 정희원, 한국건설기술연구원 화재및설비연구센터, 선임연구원 E-mail:yhyoo@kict.re.kr

** 정희원, 한국건설기술연구원 화재및설비연구센터, 선임연구원

용되어야만 화재시 인명 및 재산피해를 최소화할 수 있으므로 철도 차량을 대상으로 한 실험형 화재안전 평가 장비 구축 및 시스템 개발을 목표로 이를 위한 요소기술의 선정 및 설계를 실시하였다.

2. 실험형 화재평가 장치

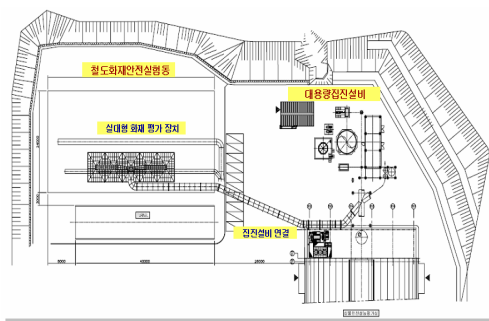
2.1 평가장치의 원리

화재평가지 가장 기본적인 물리량은 열방출률이다. 화학조성이 알려져 있지 않은 재료의 화재시 열량의 측정을 위한 기본원리는 순 연소열량은 연소에 필요한 산소의 양에 비례한다는 점을 기초로 산소 1kg이 소모될 때 13.1 MJ/kg의 열량을 발생한다는 기본원리에서 시작되며, 산소농도와 배출가스유량 등을 측정하여 식 (1)과 식 (2)에 의하여 계산할 수 있다(V. Babrauskas, S.J. Grayson, 1992.).

$\dot{q} = [E\Phi - (E_{CO} - E) \frac{1 - \Phi}{2} \frac{X_{CO}^A}{X_{O_2}^A}] \quad (1)$ $\frac{\dot{m}_e}{1 + \Phi(\alpha - 1)} \frac{M_{O_2}}{M_a} (1 - X_{H_2O}^e) X_{O_2}^{A^*}$	$\Phi = \frac{X_{O_2}^{A^*}(1 - X_{CO_2}^A - X_{CO}^A) - X_{O_2}^A(1 - X_{CO_2}^{A^*})}{(1 - X_{O_2}^A - X_{CO_2}^A - X_{CO}^A)X_{O_2}^{A^*}} \quad (2)$
<p>M_{O_2}:Molecular weight of O_2($\approx 32\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$)</p> <p>$M_a$:Molecular weight of incoming air($\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$)</p> <p>$E$:heat release per O_2 consumed($13.1\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ of O_2)</p> <p>E_{CO}:Net heat release per unit mass of O_2 consumed for combustion of CO to CO_2($\approx 17.6\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ of O_2)</p> <p>\dot{m}_e : Mass flow rate in the duct($\text{kg} \cdot \text{sec}^{-1}$)</p>	<p>$X_{O_2}^{A^*}$:Measured mole fraction of O_2 in the incoming air</p> <p>$X_{CO_2}^{A^*}$:Measured mole fraction of CO_2 in the incoming air</p> <p>$X_{CO}^{A^*}$:Measured mole fraction of CO in the incoming air</p> <p>$X_{O_2}^A$:Measured mole fraction of O_2 in the exhaust gases</p> <p>$X_{CO_2}^A$:Measured mole fraction of CO_2 in the exhaust gases</p> <p>X_{CO}^A:Measured mole fraction of CO in the exhaust gases</p>

2.2 요소기술 선정

본 화재평가장치는 실험 전동차량 및 전동차 모형(Mock up)을 이용한 차량 내장재의 성능 평가, 차량화재 초기소화·연소거동 특히, 차량화재시 발열량, CO/CO₂ 등의 유독가스 생성량, 연기농도 및 발생량 측정이 가능하며, 차량화재 안전성능평가 시험·시뮬레이션 검증 시험, 차량용 화재안전설비(감지기, 소화설비, 경보설비, 제어장치 등) 성능평가 시험 등이 가능할 것이다. 그림 2에는 구축될 철도화재안전실험동의 배치도 및 조감도를 보여주고 있다. 또한, 실험화재평가장치를 위한 요소기술로 덕트시스템, 유속측정장치등을 선정하여 표 1에 주요 구성내용을 정리하였다.



a. 배치도



b. 조감도

그림 2. 철도화재안전 실험동 계획안

표 1. 실험형 화재평가장치 요소기술 및 내용

번호	요소기술	주요구성내용
1	철도화재안전실험동	실물화재실험동(집진설비포함)
2	Duct System (M. Dahlberg, 1992)	Hood & Duct
		Deck & Stair
		연기밀도 측정 플랜지
		질량유속 측정 probe
3	Differential pressure Measuring System	가스 샘플링 tube
		Bi-directional probe
4	Gas Analysis System (NIST Report, 2004)	차압계(DPT) 및 박스
		열전대
		산소 가스분석기
5	Smoke Detection System	일산화탄소 및 이산화탄소 분석기
		가스 샘플링라인(필터, 냉각 및 온도조절 라인)
6	Data Acquisition and Analysis System	광감쇄법(light extinctin) 시스템
		직접 연기입자 포집장치
7	실내공간 온도측정 System	Data Acquisition 시스템
		프로그램 및 장비인터페이스
		컴퓨터 시스템
		센서(열전대 및 extension wire)
		데이터 저장 및 모니터링 장치

3. 철도 차량 전용 덕트 및 후드 시스템 설계

본 설비는 연소생성물을 포집하기 위한 포집 Hood, 포집된 연소생성물을 집진설비로 유도 이송하기위한 덕트 및 이송 유량을 조절할 수 있는 유량조절댐퍼로 구성되된다. 배연풍량은 Heskestad의 플룸이론(Björn Karlsson, James G. Quintiere, 2000)을 이용하여 계산하였으며 연소효율을 70%로 가정하였을 약 28.67 kg/sec가 필요할 것으로 예상되었다. 철도 차량이 길이방향인 긴 특징을 고려하여 5×7 m의 사각후드 5개를 조합되는 형태의 후드를 적용하였으며, 각 후드의 직상부에 댐퍼를 부착하여 실험에 따라 효율적인 집진이 이루어지도록 설계하였다. 특히, 유속 측정부에서의 균일한 유속은 발열량 측정에 매우 중요한 요소이기 때문에 유속 균일화 장치 설계를 위한 CFD 수치해석을 실시하였다. 화재시 지배적으로 작용되는 난류는 일반적인 k-ε 모델을 이용하였다. 수치해석은 상용CFD 프로그램인 CFX 10을 이용하였다. 약 350,000개의 메쉬로 작성되었으며 해의 변화량 0.01% 이내를 수렴조건으로 하여 약 500회의 반복 계산을 수행하였다. 또한, 그림 3은 덕트의 구성 및 적용된 경계조건을 보여주고 있다. 덕트말단에서 일정한 풍량이 일정유량조건으로 배연이 되며, 덕트의 굴곡부에는 유동균일화를 위한 가이드 베인과 오리피스가 설치하였다(G. Heskestad, 1981).

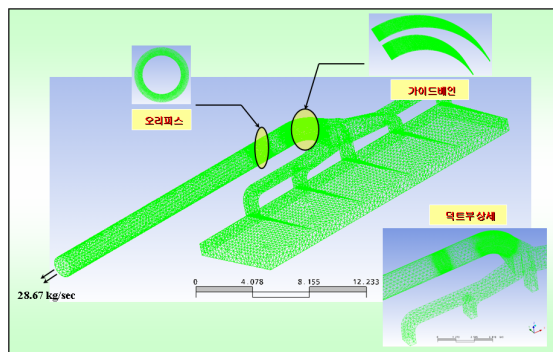


그림 3. 수치해석 메쉬구성 및 경계조건

수치해석 결과는 그림 4에 나타내었다. 후드로 유입되는 유속의 편심은 발생되지 않으며, 원활한 배기모드로 실험이 가능할 것으로 판단되었다. 유선의 흐름을 살펴보면 각 후드를 통하여 인입되는 외부 유량은 후두의 접합 덕트에서 큰 와류현상 없이 모두 중앙 덕트로 원활히 배기가 이루어진다. 특히 그림 4에서 보는 바와 같이 덕트의 측정부에서 가장 중요한 균일 유속 분포를 보임으로서 측정부에서의 신뢰성 있는 데이터 획득이 가능할 것으로 판단된다. 따라서, 유속균일화를 위한 장치는 굴곡보에 가이드베인의 설치와 함께 덕트 직경 1/2의 오리피스를 가이드베인에서 2D 이격된 지점에 설치($D_{\text{orifice}} = 1/2 D_{\text{duct}}$)하고 오리피스에서 10D 이격된 지점에 설치되도록 설계하였다.

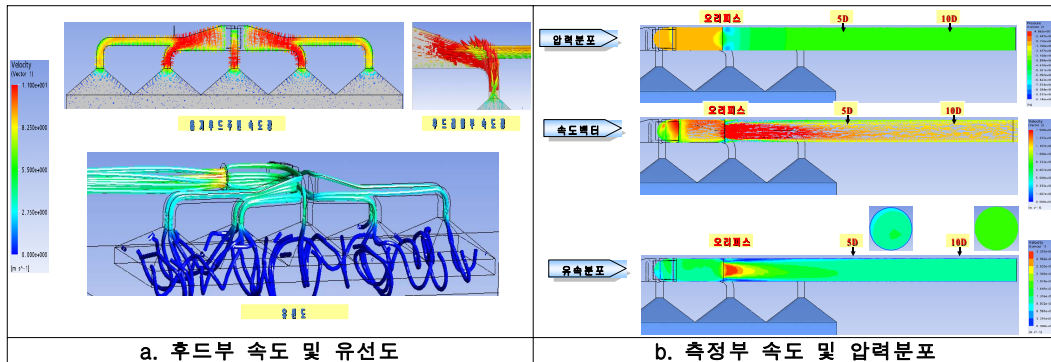


그림 4. 수치해석 결과(후드 및 덕트부분 속도장, 유선도)

4. 결론 및 논의

본 연구에서는 산소소모율법을 이용한 차량의 발열량 및 유독가스 측정이 가능한 실물화재 평가장치를 설계할 수 행하였으며, Heskestad의 플룸이론을 이용하여 배연풍량을 약 28.67 kg/sec로 결정하였다. 또한, 덕트 시스템, 유속측정장치등 요소기술을 선정하여 이에 대한 실시설계를 완성하였다. 특히, 측정부에서의 균일한 유속을 확보하기 위한 수치해석결과 가이드베인 및 오리피스의 최적 위치를 결정하였으며, 이를 통하여 신뢰성 있는 안정적인 측정 데이터의 확보가 가능할 것으로 판단하였다. 특히, 본 연구는 국내 최초로 진행되고 있는 국가출연연구기관간의 공동 연구인 동시에 대형장비 구축사업으로 한국건설기술연구원의 실험대형화재시험장비 개발 및 운영에 대한 축적된 기술과 한국철도기술연구원의 철도차량종합화재안전기술에 대한 노하우가 집약되어 큰 시너지 효과를 나타낼 수 있을 것으로 기대되어 향후 전 출연연간의 학문적 교류에 선구자적인 모델을 제시 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 철도종합안전기술개발사업 “철도화재 안전성능 평가 및 사고 방지기술 개발 - 차량 화재 실험대형 시험평가 장치 및 시스템 개발”의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. M. Dahlberg, “The SP Industry Calorimeter for rate of Heat Release Measurements up to 10MW”, SP Report(1992).
2. V. Babrauskas, S.J. Grayson, “Heat Release in Fires”, Elsevier(1992)
3. G. Heskestad, “A Fire Products Collector for Calorimeter into the MW Range”, FM Technical Report(1981)
4. NIST, “ The NIST 3 Megawatt Quantitative Heat Release Rate Facility - Description and Procedures”, NIST Report(2004)
5. Björn Karlsson, James G. Quintiere, “Enclosure Fire Dynamics”(2000)