

차량 화재시험장치 설계를 위한 수치해석적 연구

The Development of Fire Test Facility using the Numerical Analysis

유용호*
Yoo, Yong-Ho

김홍열**
Kim, Heung-Youl

ABSTRACT

The objective of this study is to design the full-scale fire test facility of the railroad vehicle with CFD simulation. In the results, the step expansion system should be good enough for the measuring system. Uniform flow is achieved at eight-to-ten diameters of the expanded duct behind the step for moderate expansion ratios ($D_{\text{orifice}}/D_{\text{duct}} = 2$ being a good choice). To optimization of the fire products collector system with 5 dampers, the additional CFD simulation was also carried out. These results will be help for the railroad fire safety research.

1. 서론

철도는 에너지의 효율성 및 안전성 등이 보장되고 있어 현대사회의 대중교통 문제를 해결할 수 있는 가장 훌륭한 대안으로 각광받고 있다. 그러나 이러한 많은 장점에도 불구하고 지난 대구 지하철 사고에서 보이는 바와 같이 대형화재 사고에 대한 대비는 매우 미흡하다. 그림 1은 최근 2년간의 화재사고 통계를 보이고 있다. 작년 2007년도 화재건수는 47,760건으로 전년대비 50.3% (15,982건) 증가하였고, 인명피해는 2,184명으로 0.2% (4명) 증가하였으며, 재산피해는 259,763백만원으로 72.3% (108,971백만원) 증가하였다. 특히 철도를 포함한 교통수단의 화재 건수는 6,309건으로 전체의 약 13%를 차지하고 있어 편리한 교통수단이 국민의 안전에 큰 부담을 주는 것을 확인 할 수 있다.

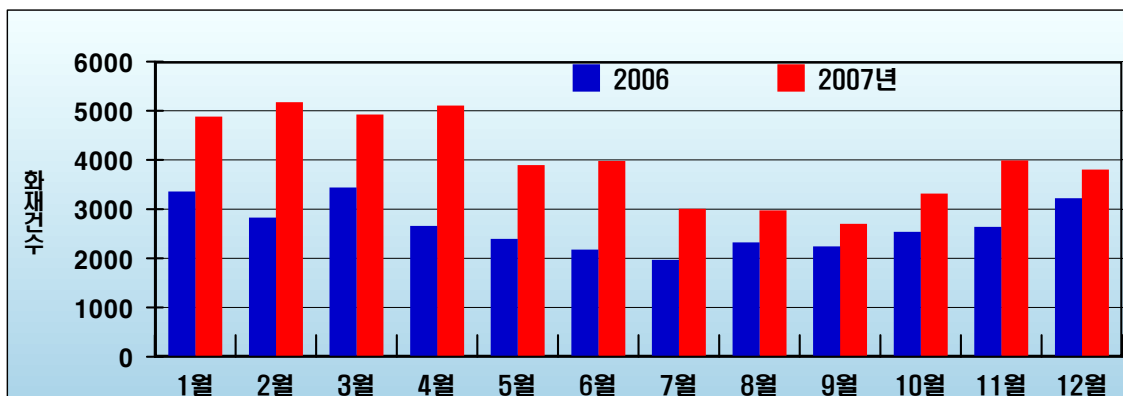


그림 1. 화재사고 통계

* 한국건설기술연구원, 화재및설비연구센터, 비회원

E-mail : yhyoo@kict.re.kr

TEL : (031)369-0516 FAX : (031)369-0526

** 한국건설기술연구원, 화재및설비연구센터

현재 우리는 철도 차량의 화재시 안전성 확보를 위하여 차량 내부마감재료의 경우 화재시 고열에 의한 심재의 용융, 강판의 변형 등 화재안전성 측면에서 지속적으로 문제가 제기되어 왔다. 그리하여 대구 지하철 화재사고 이후 막대한 규모의 예산을 투입하여 내장재 재료안전 기준 등을 개정하고 교체작업을 진행하고는 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, 철도 차량을 대상으로 한 실대형 화재안전 평가 장비 구축 및 시스템 개발을 목표로 요소기술 설계를 위한 수치해석을 실시하였다.

2. 라지칼로리미터(Large Scale Calorimeter) 및 배연 풍량

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 계산할 수 있다(V. Babrauskas, S.J. Grayson, 1992). 또한, 개발될 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 및 시뮬레이션 검증 시험, 차량용 화재안전설비(감지기, 소화설비, 경보설비, 제어장치 등) 성능평가 시험 등이 가능할 것이다. 또한, 실물화재평가장치를 위한 요소기술로 덕트 및 후드시스템, 유속측정장치, 가스포집장치 등을 선정하였다. 덕트 시스템의 설계시 가장 중요한 요소는 배연풍량의 결정이다. 배연풍량은 가연물의 종류에 따라 상이하므로 이를 결정하는 것은 매우 어려운 작업이다. 따라서 연소학적으로 물리량이 비교적 많이 알려져 있는 폴화재를 기준으로 하는 정하는 것이 대표적이며 본 연구에서는 5MW의 화재규모를 기준으로 하여 결정하였다. 폴화재시 발생하는 질량유속을 결정하기 위한 고온의 플룸(plume) 상사는 여러 가지가 있지만, 본 연구에서는 Heskestad의 식을 적용하였다(Björn Karlsson, James G. Quintiere, 2000). 그 결과 폴화재에서 70%의 열이 대류향으로 방출되고 나머지 30%는 복사열로 주위로 전달됨을 가정할 때 약 28.67 kg/sec가 필요할 것으로 예상되어 이를 경계조건으로 적용하였다.

3. 덕트 및 후드 시스템 설계를 위한 수치해석

본 설비는 연소생성물을 포집하기 위한 포집 후드, 포집된 연소생성물을 집진설비로 유도/이송하기 위한 덕트 및 이송 유량을 조절할 수 있는 유량조절댐퍼로 구성된다. 화재시 발생하는 고온의 가스를 후드를 통해 외부로 배출되지 않도록 하고 흡입하여 덕트에 설치된 측정부를 통하여 계측이 이루어진다. 덕트 내부에는 화재가스의 속도, 온도, 농도 등을 측정할 수 있는 장비가 함께 조립되어 있는 측정부가 위치하게 되며 후드는 연소생성물이 외부로 배연되지 않고 모두 덕트 내부로 포집하여 측정부에서 측정된 물리량의 오차를 최소화하는 것이므로, 이론적으로는 단면적이 클수록 유리하다(이의주, 2006).

표 1. 수치해석 방법

구 분	내 용	
시뮬레이션	측정부 유동균일화 설계(case 1)	단계별 댐퍼 개폐(case 2.)
정상/비정상상태	steady state	unsteady state(300초/300step)
메쉬	약 350,000 개	약 500,000 개
경계조건	배연풍량 : 일정유량조건 (82,570 m ³ /hr)	
	연기인입부분(후드) : 일정압력조건	
난류 모델	standard k-ε 모델	
수렴 조건	해의 변화량 0.01% 이내	
반복 횟수	500 회	

이에 설계될 덕트 및 후드시스템의 적절성 검증을 위하여 CFD 시뮬레이션을 실시하였다. 난류모델은 일반적인 $k-\epsilon$ 을 적용하였으며 해석은 상용코드인 CFX 10을 이용하였다. 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. 수치해석은 측정부의 유동균일화 장치 설계를 위한 정상상태 해석(case 1)과 연기 포집을 위한 단계별 댐퍼 가동시 유동변화를 파악하기 위한 비정상상태 해석(case 2)을 실시 하였다.

각각의 메쉬는 약 350,000개와 약 500,000개로 구성되어졌으며, 해의 변화량 0.01% 이내를 수렴조건으로 하여 약 500회의 반복 계산을 수행하였다. 자세한 수치해석 방법은 표1과 같으며 덕트의 구성 및 적용된 경계조건은 그림 2와 같다. 덕트말단에서 일정한 풍량이 일정유량조건으로 배연이 되며, 덕트의 굴곡부에는 유동균일화를 위한 가이드 베인과 오리피스가 설치되어 측정부에서 균일한 유속이 되도록 하였다(G. Heskestad, 1981).

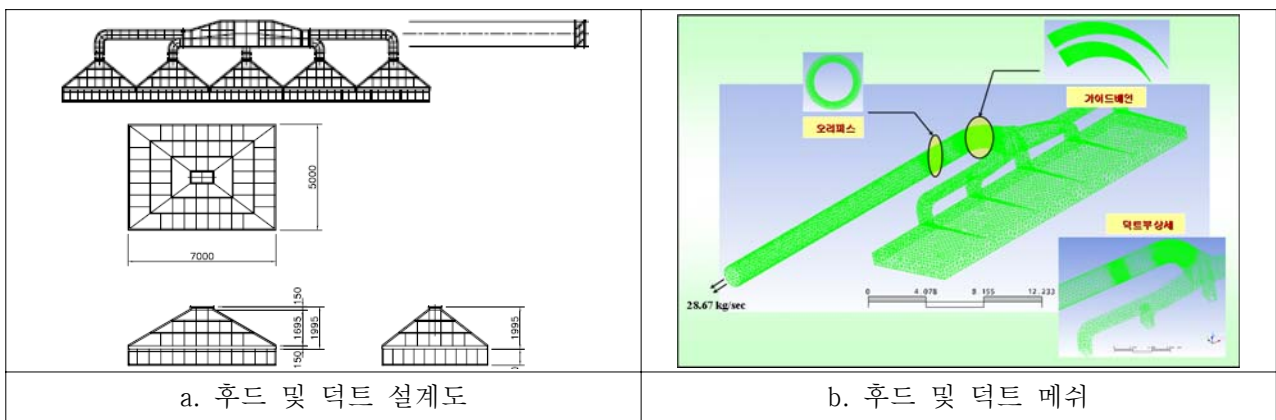


그림 2. 수치해석 메쉬구성 및 경계조건

4. 수치해석 결과

수치해석 결과는 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 후드로 유입되는 유속의 편심은 발생되지 않아서 원활한 배기모드로 실험이 가능할 것으로 판단되었다. 유선의 흐름 역시 각 후드를 통하여 인입되는 외부 유량은 후드의 접합 덕트에서 큰 와류현상 없이 모두 중앙 덕트로 원활히 배기가 이루어짐을 확인할 수 있었다. 특히 그림 3의 a에서 보는 바와 같이 덕트의 측정부에서 가장 중요한 균일 유속 분포를 보임으로서 측정부에서의 신뢰성 있는 데이터 획득이 가능할 것으로 판단된다. 따라서, 유속균일화를 위한 장치는 굴곡부에 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.

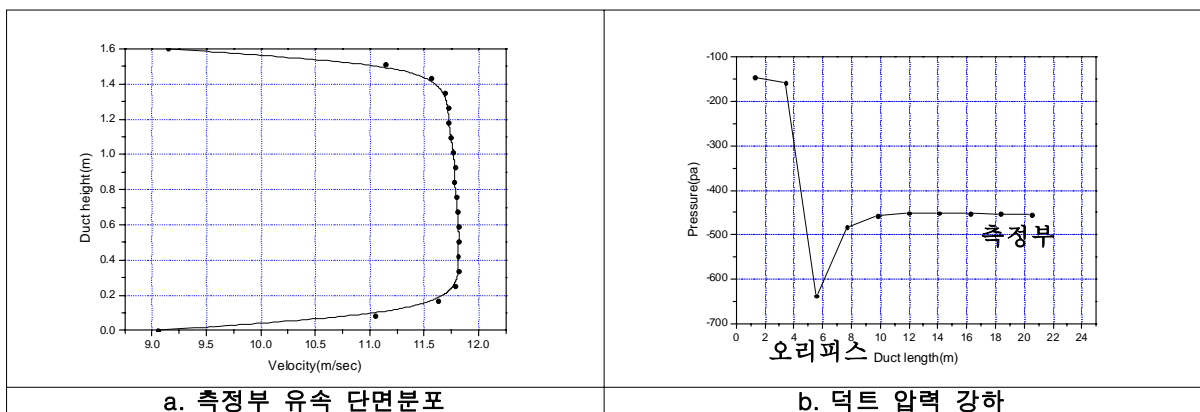


그림 3. 수치해석 결과(case 1. 측정부 속도 및 덕트 압력분포)

또한, 단계별 댐퍼의 개방 시물레이션(case 2.) 결과에서도 5단계의 댐퍼 개방에 따른 굴곡부에서의 편심이나 큰 와류는 발생하지 않을 것으로 판단되어 후드를 통한 열기류의 포집은 원활히 이루어질 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서, 5개 후드의 댐퍼 작동에 의한 단계별 운전 방안을 작성할 경우 측정을 위한 배연 효율에 큰 무리는 없을 것으로 생각되어진다.

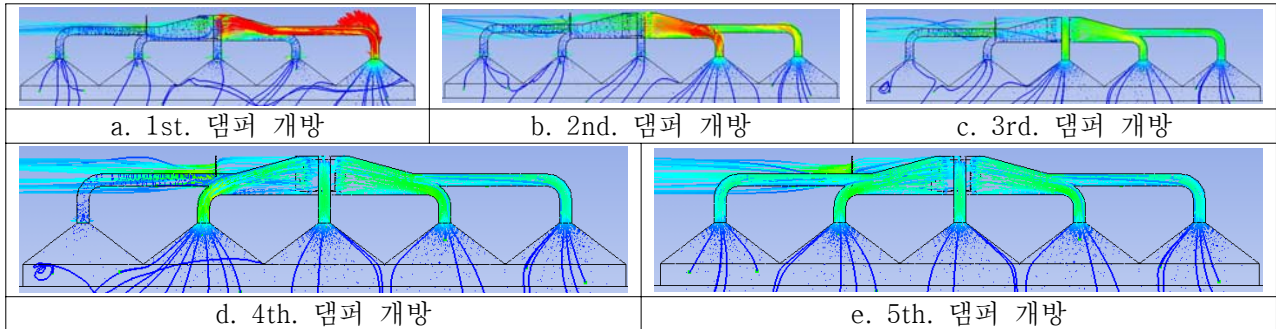


그림 4. 수치해석 결과(case 2. 후드부 유속 분포 및 유선도)

5. 결론 및 논의

본 연구에서는 산소소모율법을 이용한 차량의 발열량 및 유독가스 측정이 가능한 실물화재 평가장치를 설계를 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- Heskestad의 플룸 이론을 이용하여 배연풍량을 약 28.67 kg/sec로 결정하였다. 또한, 덕트시스템, 유속측정장치등 요소기술을 선정하여 이에 대한 실시설계를 완성하였다.
- 측정부에서의 균일한 유속을 확보하기 위한 수치해석결과 가이드베인 및 오리피스의 최적 위치를 결정하였으며, 굴곡부에 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.
- 댐퍼의 단계적인 가동에 의한 유동특성 파악 시물레이션에서도 배연 효율의 적절성 확인되었으며, 이에 따라 향후 화재실험시 화염의 확대 정도에 따른 단계별 후드의 작동 메뉴얼 작성이 가능할 것으로 판단되었다.

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. 이의주(2006), 화재연구를 위한 대형 콘 칼로리미터의 설계, 한국화재소방학회 논문지, 제20권 제4호, pp65-71.
2. M. Dahlberg(1992), "The SP Industry Calorimeter for rate of Heat Release Measurements up to 10MW", SP Report.
3. V. Babrauskas, S.J. Grayson(1992), "Heat Release in Fires", Elsevier
4. G. Heskestad(1981), "A Fire Products Collector for Calorimeter into the MW Range", FM Technical Report
5. NIST(2004), "The NIST 3 Megawatt Quantitative Heat Release Rate Facility - Description and Procedures", NIST Report
6. Björn Karlsson, James G. Quintiere(2000), "Enclosure Fire Dynamics"