

B-07

장대터널내 물분무노즐을 이용한 방호수벽의
연기확산방지성능에 관한 연구
Effects Water Sprayed Compartmental Wall on Anti-diffusion of
Fire gases in Long Tunnel

민윤식, 박형주*, 신동철*, 사공성호**, 김창훈***
Yoon Sik Min, Hung Joo Park*, Dong Cheol Sin*, Sung Ho Sagong**,
Chang Hun Kim***

(주)비알이코리아 연구부장, 경원전문대학 교수*, 한국소방검정공사 연구부장**,
한양대학교 박사과정***

1. 연구의 배경 및 필요성

터널 내를 운행하는 차량이나 열차들은 화재 발생시 화염을 발생시키지 않는 화재특성을 보이는 것이 특레이다. 대다수 차량들의 내용물은 탄화수소 혼합물(Hydrocarbon Compounds)이 대부분으로서 연소시 매우 비화염성(Inflammable)연소특성을 갖는다. 차량의 화재는 주로 기계적, 전기적 결함에 의해 발생한다.

국내의 도로나 철도연장의 상당수가 장대터널로 건설되며 근래에 들어 5km를 넘는 경우도 상당수 있거며 경우에 따라서는 10km 이상의 길이를 갖는 터널이 급속히 증가하고 있으며 향후 계속적으로 늘어날 것으로 예상된다.

이러한 장대터널에서의 차량이나 열차가 추돌이나 충돌의 결과로서 또는 전기적, 기계적 결함에 의해 화재가 발생할 경우는 드문 일이겠지만 조그만 화재라도 터널내부공간을 순식간에 유독성 연기가 충만한 상태를 초래할 수 있다. 또한 대규모의 화재일 경우에는 높은 온도를 가진 연기가 터널내부에 존재 가능한 피난자에게 위험을 줄 수 있는 반면에 현재의 국내 터널은 구조적으로만 일정시간 열에 견딜 수 있도록 설계되어 있는 실정이다. 즉, 기계 환기 시스템도 장대도로터널에만 일부 설치되어 연기의 역류를 방지할 수 있을 뿐 대다수의 철도터널이나 도로터널은 연기의 확산을 차단할 수 있는 시스템이 없는 것이 사실이다.

도로터널에서 제트팬에 의한 환기시스템이 갖추어진 곳에서는 환기시스템의 방재성능의 확보가 가능하여 연기의 역류를 차단하면서 화원의 후면으로 대피하는 터널내의 피난자에게는 연기 비오염구역(Smoke Free Zone)을 제공할 수 있게 때문에 높은 가시거리를 확보할 수 있다.

그러나, 국내의 철도터널과 같이 터널굴착공사를 위해 필수적으로 만드는 사갱에 의해 환기 및 연기배출을 해야하는 터널에서는 도로터널과 달리 연기 비오염구역의 확보가 어려운 실정이다.

터널내의 연기 역류차단을 가능하게 하는 시스템은 화재발생상황에서 적절히 운영되

어야만 하며 이와같은 시스템은 화원의 일정한 규모 내에서 신뢰성 여부를 규명할 필요가 있다.

2. 연구의 목표

본 연구는 한국철도기술연구원의 지원하에 산(BRE Korea)·학(경원전문대)·연(한국소방검정공사) 협동과제로 수행한 장대터널내 화염 방재기술 개발의 일환으로 수행되었으며 세부 연구목표는 다음과 같다.

- 물분무노즐에 의한 수벽이 장대터널내의 화재시 발생하는 연소생성물인 고온의 유독성 연기의 투과율을 온도, 유속, CO₂ 농도량의 변수에 따라 분석
- 터널내의 수벽에 의해 형성되는 물입자의 크기와 연기입자의 차단효과에 대한 실험식을 과학적·공학적 근거에 의해 실험식을 도출
- 최적의 수벽의 형성을 가능하게 하는 물분무노즐의 개발을 위한 자료를 정량화 하는데 본 연구의 목표를 둔다.

3. 실험방법

3.1 실험 터널의 개요

본 연구를 위해 사용된 실험장으로는 폭 6m, 높이 5m의 단면을 가진 사각형태의 총 길이 21m 크기인 터널이며, 벽체 및 천장의 재료는 제치장콘크리트 구조체 바탕에 노출면 보호를 위해 석고보드를 사용하여 마감하였으며 본 실험에서 사용된 터널 실험장의 그림은 Fig. 1과 Fig. 2와 같다.

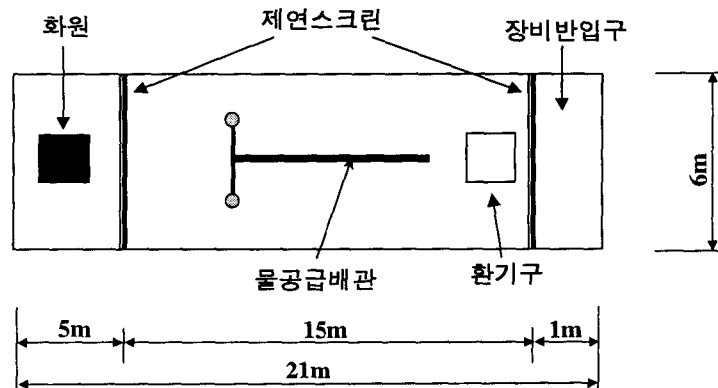


Fig. 1 실험 터널의 평면도

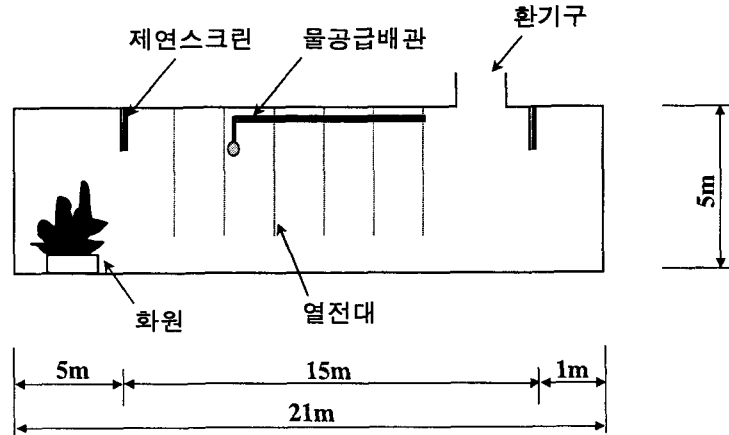


Fig. 2 실험 터널의 주단면도

3.2 실험 장치 및 측정방법

3.2.1 실험 장치

터널 내부의 천장에는 입구쪽에서 5m 거리에 유효층 0.9m의 제연스크린이 설치되어 화열이 직접 물분무 시스템에 도달하여 분무되지 않도록 하고, 출구쪽의 장비 반입구 전면 또한 동일한 크기의 제연스크린을 설치하여 화열과 연기가 외부로 나가는 것을 방지하도록 설계하였다.

터널의 중앙부에는 물공급이 가능한 주배관을 천장상부에 고정시켜 0.5m 간격으로 가지배관이 연결되도록 하였으며, 가지배관의 끝단부에는 물분무 노즐의 부착이 가능하도록 설치하였다.

3.2.2 측정방법

본 실험의 측정항목으로 연소생성물의 수벽 통과율 측정을 화재시 정상지표를 나타내는 공기온도, 유속, 가스농도(CO가스)를 인자로 하였으며 터널내에서 측정인자를 정확히 측정하기 위해 터널내 열기류의 이동성상을 정확히 파악할 수 있는 지점에 측정인자의 변화를 감지할 수 있도록 하였다.

실험 터널 내부에서의 온도변화를 측정하기 위해 0.32mm 두께의 T-type(구리-콘스탄탄, 측정범위:-270~400℃)과 K-type 열전대를 설치하였다. 화원과 가까운 위치에는 640℃의 고온출력이 가능한 K-type 열전대 108회선을 설치하였으며, 화원과 비교적 먼 위치에는 T-type 열전대 60회선을 사용하여 데이터로거에 연결하여 측정하였으며 열전대의 위치는 Fig. 3과 같다.

실험 터널 내부의 유속을 측정하기 위해 프로펠러의 가동으로 유속의 변화를 감지하고 온도센서를 통한 환기구로 나오는 연기의 온도를 동시에 기록할 수 있는 포터블 유속 측정계(0 to ±200cm/sec)를 사용하였으며, 환기구로 흘러나오는 연기를 시스템 가동전과 후로 구분하여 측정하였다.

일산화탄소의 수벽 통과량을 측정하기 위해 수벽이 형성되는 지점의 전·후에 포집기를 설치하여 비분산 정필터형 적외선 가스 분석법을 사용하여 일산화탄소의 농도를 수벽 통과전과 통과후의 농도(PPM)을 비교하는 방법으로 측정하였다.

측정에 사용된 측정기기들의 사양은 Table. 1과 같다.

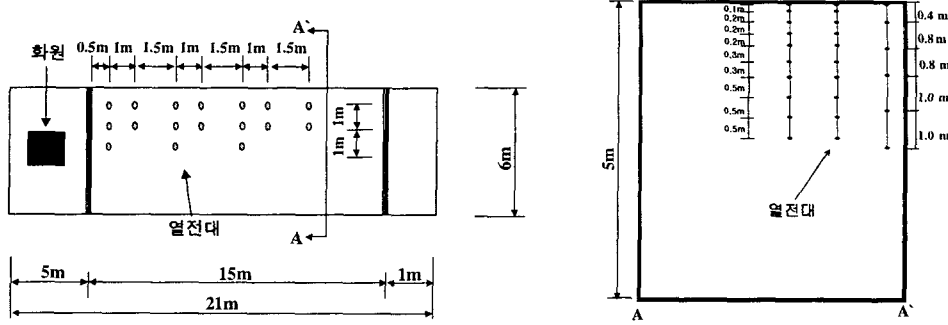


Fig 3. 터널 내의 열전대 위치

Table. 1 실험 터널내에 설치된 측정기기 사양

구 분	품 명	규 격	단 위	수 량
분사장치	물분무노즐	1/2(5구형)	EA	12
	배 관	pipe Ø50	SET	1
연소장비	①화재접시	1m×1m	EA	1
	경유	CO측정용	ℓ	40
	②화재접시	1.5m×1.5m	EA	1
	알코올	온도·유속측정용	ℓ	200
	연기생성기	무독성, 온도180℃	SET	2
측정장비	CO측정장치	.	SET	1
	열전대	고온	EA	108
		저온	EA	60
	스위치BOX (Tokyo Sokki's)	ASW-50C-05	EA	3
	데이터로그 (Tokyo Sokki's)	TDS-303용	EA	2
	입자경측정기	레이저측정기	SET	1
	컴퓨터	SONY PCG-NV7EL	EA	3

3.3 화원

실험에 사용된 화원의 위치는 터널 내부 단면의 정중앙에 설치하였고 사용한 화원은

폭 1m, 길이 1m에 높이 0.3m의 스테인리스 스틸로 제작된 화재접시에 가연물질인 공업용 메칠알콜(IMS)을 사용하여 터널실험장 바닥에서 15cm 정도 높이에 설치하였으며, 총발열량이 약 0.6MW정도 되도록 사용하였다.

화재접시를 냉각수에 의해 열이 전달되지 않도록 또다른 케이스로 안전조치 하였으며, 화재접시 속의 메칠알콜은 완전연소하여 주로 이산화탄소와 수증기 등을 생성하였으며 오일안개(oil mist)연기를 상부에서 분출되도록 연기생성기(Smoke Generator)을 설치하여 실제 연기와 동일한 효과를 내도록 하였다.

4. 터널화재시 연기유동 성능시험

4.1 터널 모형체의 구성

본 연구에 사용된 터널의 전체 모형에 대한 구성도는 Fig. 4와 같다.

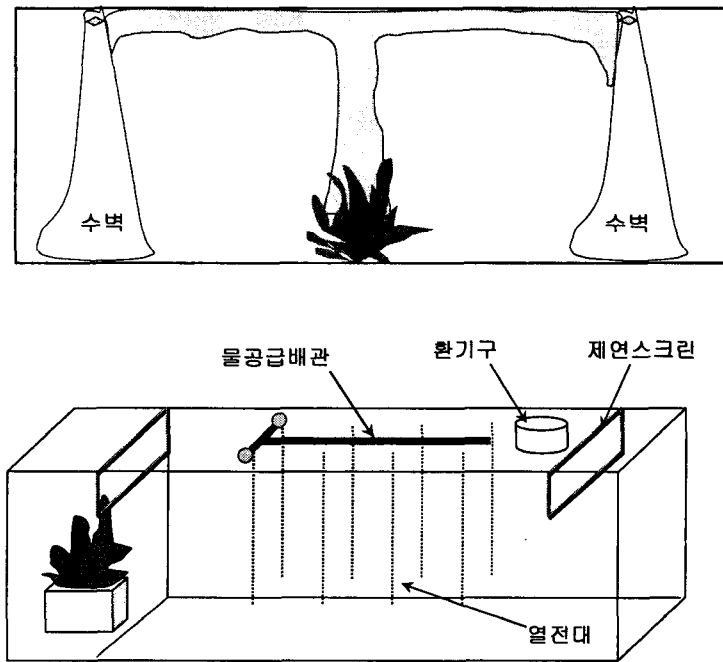


Fig 4. 터널 모형체의 구성

4.2 터널 모형체에 설치된 시험설비

터널 실험에 사용된 장비에 관한 사진은 다음과 같다.

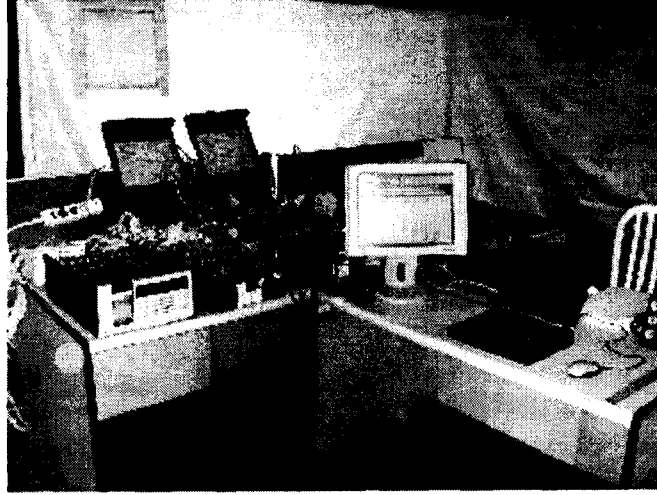


Fig. 5 온도측정에 사용된 데이터 기록장비

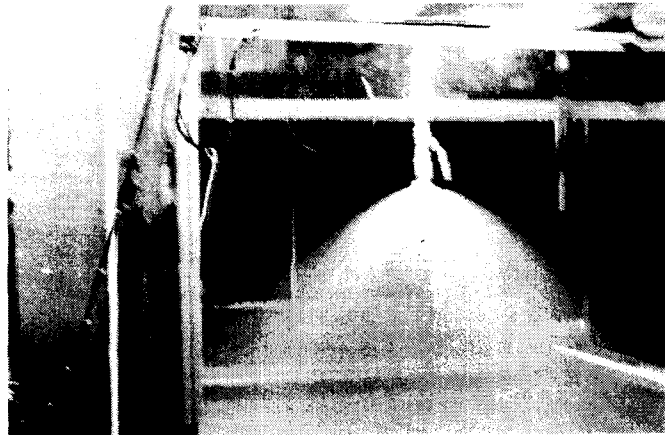


Fig. 6 물분무 노즐의 분무장면

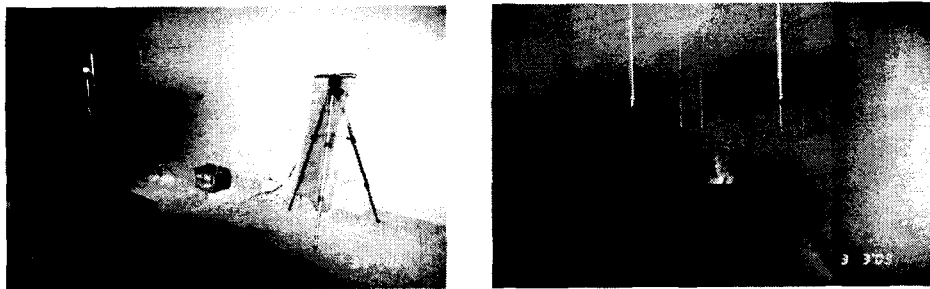


Fig. 7 물분무 입자측정장비 및 실험장면

4.3 실험결과

수벽 형성을 위한 노즐의 특징 및 제원은 다음과 같으며, 실험에 사용된 사진은 Fig. 8과 같다.

- 상·하 원뿔형몸체에 상하단으로 분사방향을 가진 노즐을 각각 4개씩 삽입하여 상·하 양방향의 수분무수를 형성.
- 각각의 노즐에는 와류를 형성하는 스파이럴 형상의 베인(Vane)부와 물입자를 모아 충돌시켜 분쇄해주는 오리피스부로 구분.
- 열감지기에 의해 68℃에 조절밸브가 작동하여 개방형 물분무 노즐이 4kg/m²의 압력으로 물 공급.
- 압력 4kg/m²일 경우에 유량은 노즐 1개당 50ℓ로 산정.

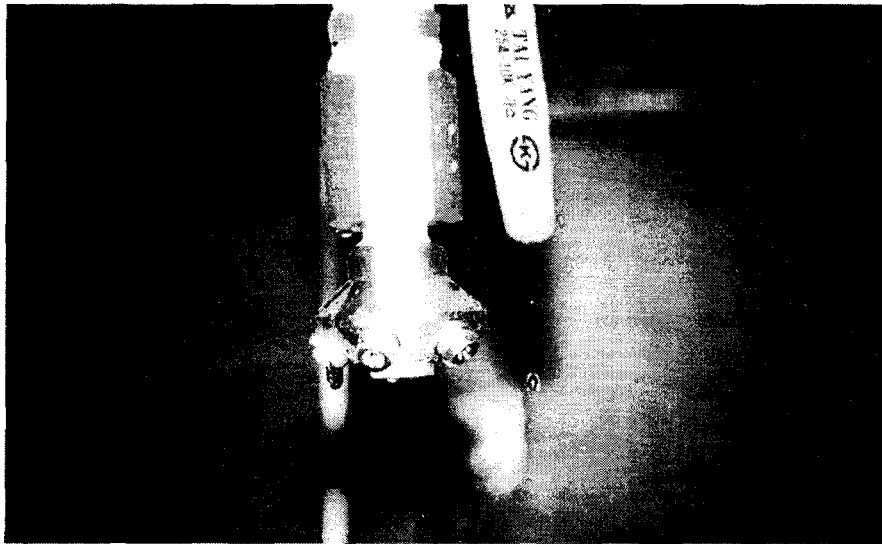


Fig. 8 물분무 노즐 외관사진

노즐이 분사되기 전의 유속은 0.5m/s에서 3m/s까지 일정하게 증가하는 경향이 나타나다가 물분무 노즐에 의한 방호수벽이 형성된 시점부터는 급격하게 감소하여 공기유속이 0.5m/s까지 저하되는 것을 알 수 있었다. 또한 터널내 기류의 영향을 받아 유속이 재상승하지만 1.75m/s이상은 상승하지 못하고 다시 0.5m/s 이하로 내려가는 경향을 나타내고 있으며, 실험결과는 Fig. 9와 같다.

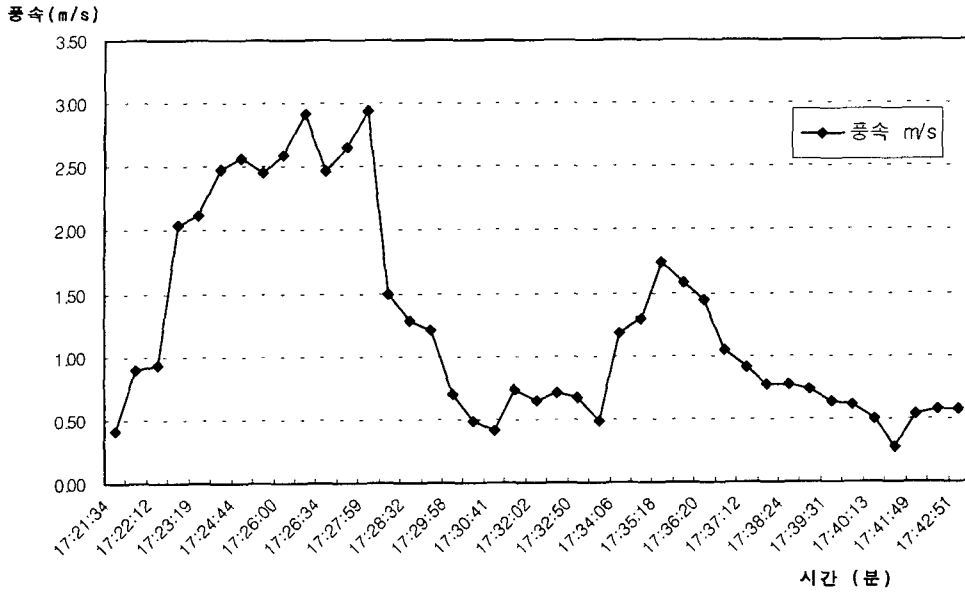


Fig. 9 물분무헤드 설치후 유속변화상태

유해가스 CO 농도의 변화를 측정하기 위해 비교적 CO 발생량이 많은 경유를 알콜 대신에 사용하여 연소하였으며 CO 농도의 채취는 방호수벽이 형성되는 지점의 전·후 5m 거리에 포집기를 설치하여 포집하였다. 포집된 일산화탄소는 비분산 정필터형 적외선 분석법을 사용하여 측정된 결과 수벽 형성전에는 약 77.3PPM의 농도가 채집되었지만, 수벽을 통과한 후에는 51.6PPM으로 채집됨에 따라 약 35%이상의 감소율을 나타내었으며, 결과는 Fig. 10과 같다.

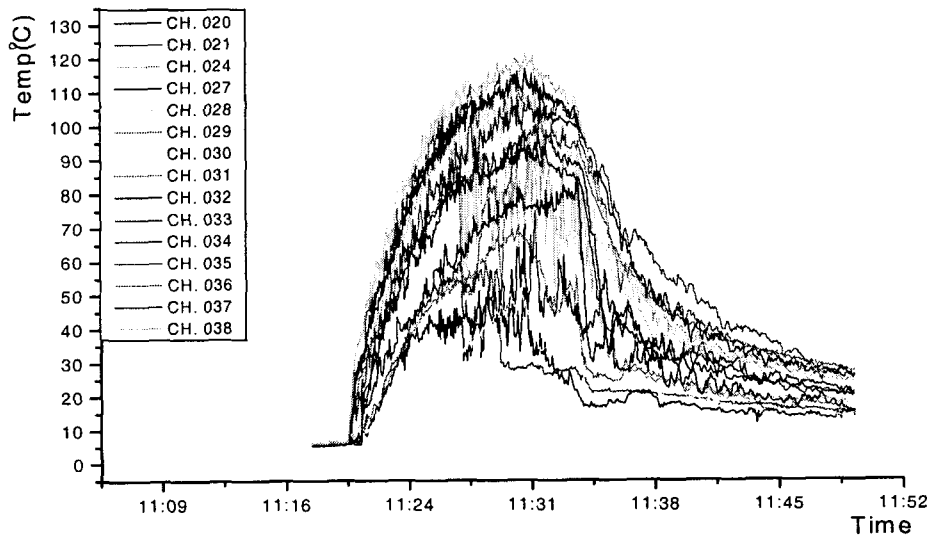


Fig. 10 물분무 설치후 온도분포

5. 결 론

방호수벽이 갖는 연기의 차단효과가 크다는 점은 실험결과에 의해서 확인되었다. 즉, 균일한 입자를 가진 물분무수가 터널의 단면을 완벽히 차단 가능하고자 한다면 너비 2m 정도의 수벽 형성이 이루어 질 경우 연기의 확산을 다음과 같이 차단할 수 있음을 확인하였다.

(1) 150℃이상의 고온의 연기층이 수벽을 통과하고 난 후에는 50℃미만의 온도를 가진 연기층으로 변화하여 대피하는 피난자에게 위해를 주지 않는 중저온의 기류로 변화됨을 알 수 있었다.

(2) 연기가 방호수벽을 통과할 경우 유속이 3m/s에서 1m/s정도까지 거의 2/3이상 이 감소하였는데 그 이유는 연기온도의 저하가 상대적으로 연기의 확산속도를 저하시켰음을 알 수 있었다.

(3) 입자가 비교적 큰 일산화탄소는 수벽을 통과하지만, 30%정도는 물분무수의 모멘텀에 의해 바닥으로 떨어짐을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Arvidson, M., "Fixed Fire Suppression Concepts for Highway Tunnels", Tunnel Management International, March 2000, pp. 9-14.
2. Grant, G. & Southwood, P. 1999 Development of an Onboard Fire Suppression System for Eurotunnel HGV Shuttle Trains. Conference Proceedings: Interflam '99, Eighth International Fire Science & Engineering Conference, 29th June-1st July, Edinburgh Conference Centre, Scotland, Interscience Communications Ltd., pp. 651-662