

지하역사 축소모델을 이용한 연기확산에 대한 실험적 연구 An Experimental Study on Smoke Spread Using a Reduced-scale Subway Building Model

김명배[†] · 최병일

Myung Bae Kim[†] · Byung-II Choi

한국기계연구원 에너지기계연구본부
(2007. 10. 22. 접수/2008. 6. 13. 채택)

요 약

대구 지하철 화재가 발생한 중앙로 역사를 1/20 축소모델로 제작하여 연기확산 실험을 수행하였다. 지하역사의 양 쪽으로 연결된 터널을 모델 실험에서도 구현해야 하지만 실험실 공간의 제약으로 인해 짧은 길이의 덕트에 유동저항을 줄 수 있는 메쉬를 부착하여 터널을 대신하였다. 방화로 인해 좌석에서 화재가 발생하였기 때문에 화재 시나리오는 좌석의 가연물 특성을 고려하여 선정하였고 가시화 장치와 온도 측정으로 역사로의 연기 전파 시간을 측정하였다. 현재 지하역사 화재시 보편적 개념으로 확립되어있는 급기 형태의 제연 방식이 연기확산을 촉진하는 것을 실험적으로 확인하였다. 화재 환기가 없을 때 지하 3층 승강장에서의 화재발생으로부터 지하역사 전체에 연기가 확산되는 데에는 약 10분의 시간이 필요하였다.

ABSTRACT

Smoke propagation for the Daegu Metro fire is reproduced by a reduced-scale model experiment. The three-story station building was modeled with 1/20-scale, and the tunnel connected to the platform was not completely modeled because of its length. To include the flow resistance the tunnel provides the mesh screens were used in the model. The fire scenario was selected based on the fire growth rate of the metro car seat where the fire initiated. The time when smoke arrived at each compartment in the station building was measured by thermocouples and visualization. Regarding fire ventilation, the air supply that has been accepted as conventional design in a subway metro building intensifies smoke spread. The results show that the whole building was filled with smoke in about 10 minutes in case of no ventilation.

Keywords : Smoke propagation, Metro fire, Smoke control, Reduced model, Fire ventilation

1. 서 론

본 연구는 두 가지의 목적을 이루고자 수행되었다. 첫째는 대구 중앙로 역사의 축소모형을 제작하고 연기 확산 실험을 수행하여 주로 컴퓨터 시뮬레이션에 의존해온 지하철 역사 화재에 대한 연구 다양성을 확보하고자 노력하였다. 지하역사와 같은 복잡한 공간을 제작하고 실험을 수행하는 것이 어렵기 때문에 대부분의 연구가 컴퓨터 시뮬레이션에 의존해 온 것이 현실이지만, 계산결과의 타당성을 확보하기 위해서는 실험적인 연구가 필수적이다. 이를 위하여 방화사건을 고려한 화

재 시나리오를 선정하였으며 축소모형 실험으로 이를 재현하였다. 지하역사의 각 구획에 도달되는 연기를 파악하기 위하여 열전대에 의한 온도측정 및 레이저 가시화 기법을 이용하였다.

두 번째는 현재 사용되고 있는 지하역사의 화재환기 방법에 대한 분석을 위한 것으로, 본 연구에 사용된 역사는 3개층 6개의 구획으로 구분되어 있었다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 지하역사의 화재환기 방식은 화재발생 구획에서만 배기를 하고 나머지의 구획에서는 급기를 하는 방식이다. 그러나 지하역사에서의 구획은 천장에 부착된 60 cm 정도의 제연 경계벽에 의하여 구분되므로 각각의 구획이 완전 독립된 별도의 구획이 아니기 때문에 제연 경계벽의 실질적 효과를 기

[†]E-mail: mbkim@kimm.re.kr

대하기 어려울 것으로 판단하여 본 연구의 일부가 시작되었다.

급배기 기능을 각 구획에 독립적으로 부여하여 실험적으로 급기 및 배기가 화재환기에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 기반으로 화재환기에서의 급기의 문제점을 발견하였으며 이에 대한 대안을 제시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

2.1.1 지하역사의 구조

역사는 지하상가로 연결되는 지하 1층, 매표소 및 대합실이 위치한 지하 2층, 그리고 열차에 탑승하기 위한 지하 3층의 승강장으로 구성되어 있다. 지하 1층에는 지하상가로의 연결 계단이 있는데, 이곳에는 방화방연 shutter가 있어 화재시 지하역사와 지하상가를 차단할 수 있도록 되어 있다. 지상에서 지하 1층으로 내려가는 출입구는 총 4곳이 있으며, 지하 1층에서 지하 2층으로 내려가는 5군데의 계단, 그리고 지하 2층에서 지하 3층 승강장으로 내려가는 8곳의 계단이 있다. 지하 3층 승강장은 양쪽방향으로 인근 역사와 약 600 m의 터널구간을 통하여 연결되어 있다.

역사의 지하 1층의 좌 우측에 환기실이 있으며, 지하 2층의 좌측에도 환기실이 있다. 지하 2층의 우측은 기계설비실이다. 각 환기실에서 지하 역사 전체의 환기를 조정한다. 환기시스템은 환기를 위한 급기 송풍기, 배기 송풍기, 그리고 화재시 배연을 위해 추가로

설치된 배연 송풍기로 구성되어 있다. 모델 실험용 역사를 제작할 때 화재환기에 영향이 거의 없는 부분인 기계실, 환기설비실 등은 제외하였다.

일반적으로 국내 지하 역사는 제연 구역별 평상시 공조 배기량이 지하 1, 2층의 경우 약 20,000~30,000 m³/hr, 지하 3층 승강장의 경우 50,000~60,000 m³/hr 범위이다. 화재가 발생하는 경우 공조 배기에 더불어 화재배연을 위한 배연 시스템이 가동되는데 그 용량은 공조 배기량의 용량과 비슷한 수준이다. 본 연구에서는 화재를 상정하여 각 제연 구역별로, 지하 1, 2층은 54,000 m³/hr, 지하 3층 승강장은 108,000 m³/hr를 표준 배기량으로 정하고 이를 기준으로 실험을 수행하였다.

2.1.2 지하역사 모형 및 측정장치

모델 역사는 실제 역사를 1/20로 축소하여 제작하였으며 전체의 구성을 Figure 1에 나타내었다. 가시화를 위하여 화재 발생 부위를 제외하고는 Figure 2와 같이 모두 투명한 아크릴로 제작하였다. 화재는 지하 승강장의 우측 중앙부에서 발생하는 것으로 가정하였으며, 화염에 의한 모델역사의 손상을 방지하기 위하여 화재 발생 부분은 철판으로 제작한 후 내부를 세라크올로 단열 처리하였다. 화염의 가시화를 위하여 Figure 3과 같이 화원부에는 3개의 가시화 창을 두었다.

지상으로의 출구 및 각 층사이의 연결 계단은 실제 지하역사와 같은 위치에 설치하였으며, 계단의 층등 세세한 부분은 단순화하였으며 기둥과 같은 내부 구조물도 단순화 하여 설치하였다. 실제 역사의 승강장에는

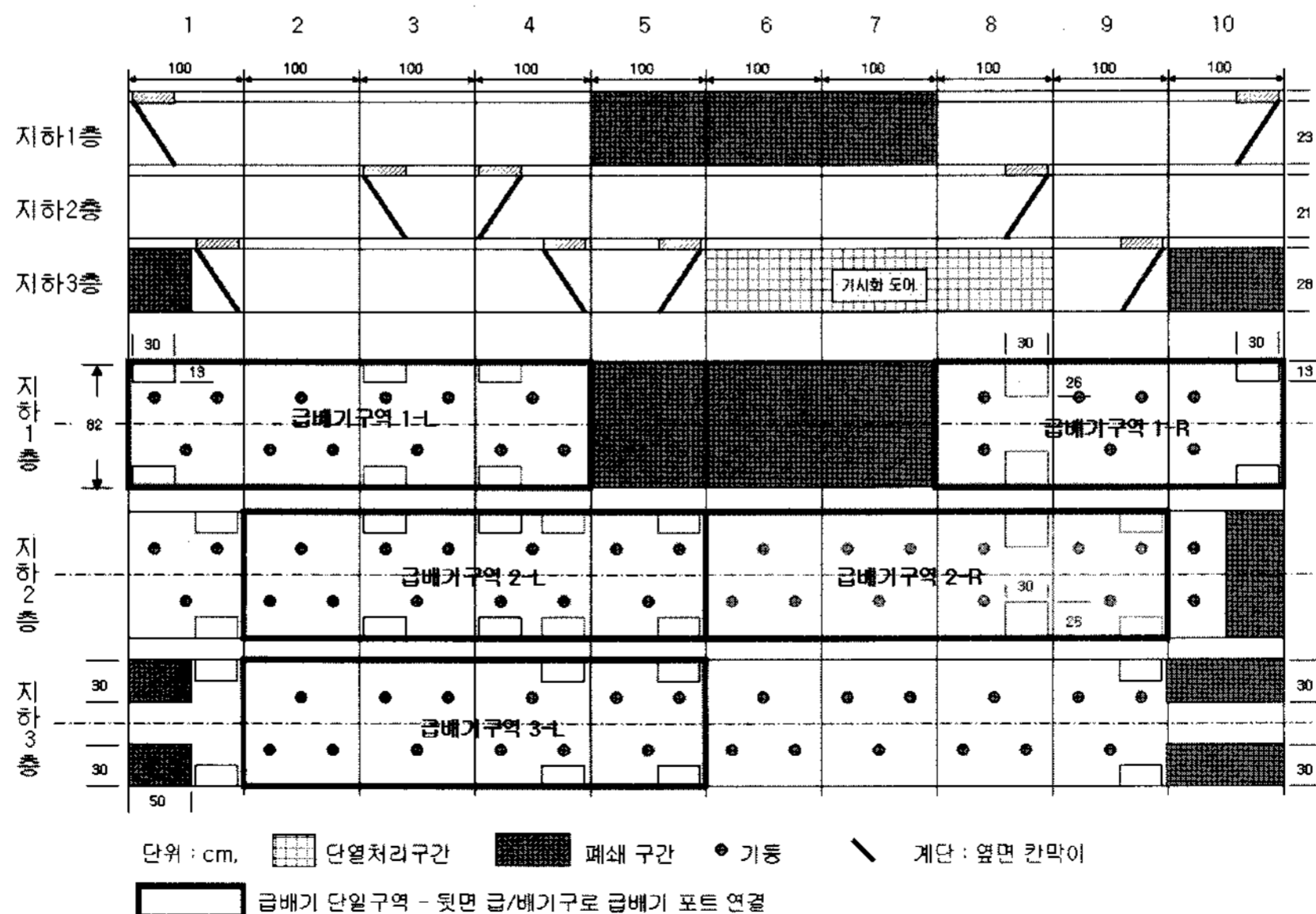


Figure 1. A reduced-scale model of the station building.

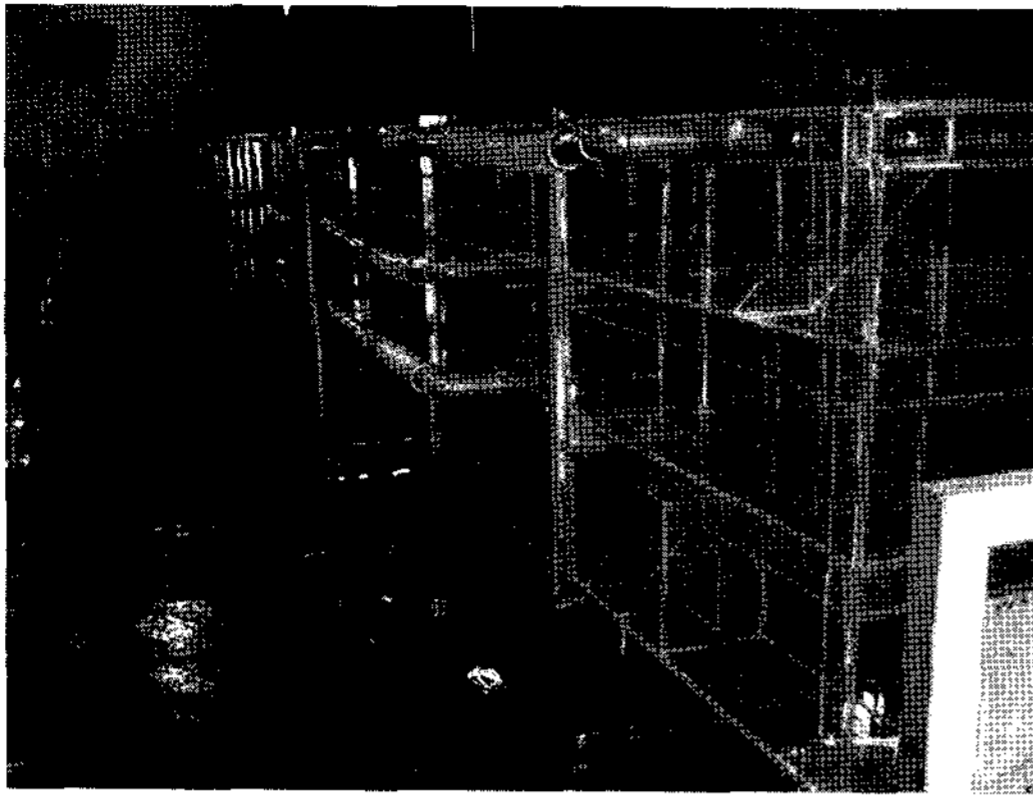


Figure 2. A photo of the model with ventilation pipes.

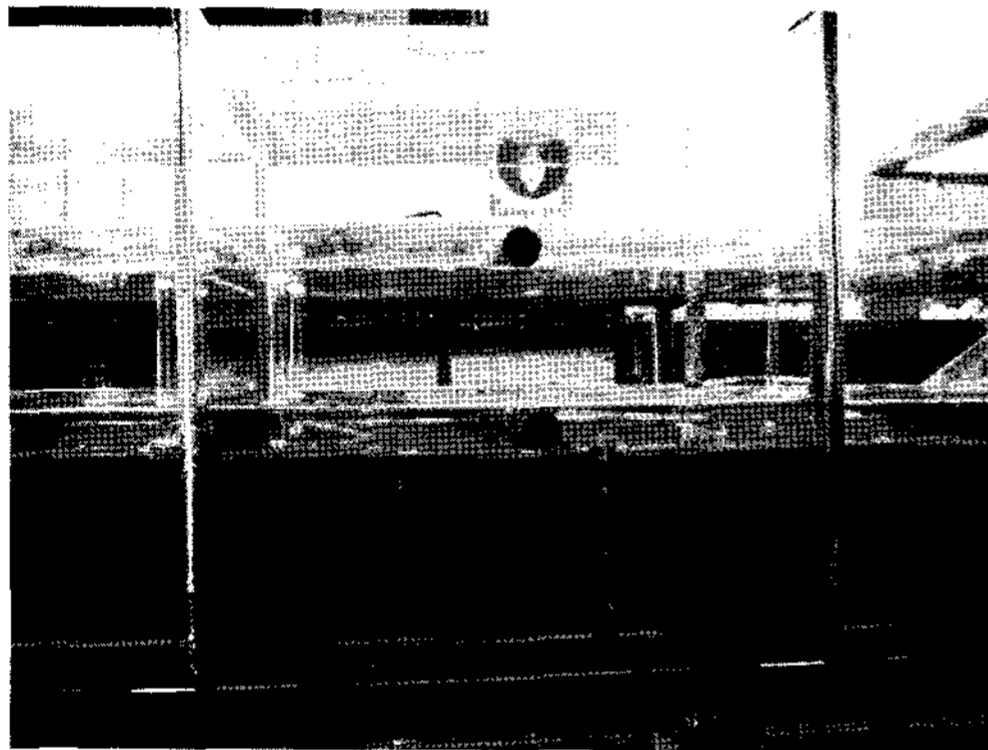


Figure 3. The fire origin of the model.

좌우 인접 역사로의 터널이 약 600 m씩 존재한다. 그러나 해당 터널을 모델 역사와 함께 구현하기 위해서는 각 30 m, 총 60 m의 모델 터널 구간이 필요하기 때문에 좌측에 10 m(모델길이 50 cm) 우측에 20 m(모델길이 100 cm)의 터널구간만을 설치한 후 터널에서의 압력손실을 반영하기 위하여 터널 출구에 #150 금속 메쉬를 설치하였다.

급배기 구역은 실제 역사의 급배기 구역과 동일하게 설정하였으며 각 층에 2개씩 존재한다. 화재부위는 화원의 고열에 의한 모델 역사의 손상을 방지하기 위하여 급배기 설비를 하지 않았다. 따라서 모델실험에서는 1-L, 1-R, 2-L, 2-R, 3-L 등의 5개의 급배기 구역과 급배기가 없는 화재발생 구역으로 전체 구역이 구성된다. 이것은 대규모의 화재가 발생한 경우 화재 구역의 급배기 시스템이 고온에 의하여 손상될 가능성을 염두에 둔 것이다. 각 급배기 구역은 서로 다른 송풍기에 의해 조정된다. 송풍기는 급기와 배기용을 따로 설치하여 급기와 배기를 독립적으로 제어하였으며, 유량은 송풍기에 공급되는 전원의 전압으로 조절하였다. 유량 측정은 유속측정관에 피토티관을 삽입하여 유속을 측정 한 후 레이놀즈 수와 유량계수를 환산하여 결정하였다. 급배기 설비가 설치된 모델 역사를 Figure 2에, 모델역사의 화원부를 Figure 3에 나타내었다.

모델역사의 각 구역에의 연기도달 시간을 측정하기 위하여 Figure 4와 같이 계단통로에 열전대를 설치하

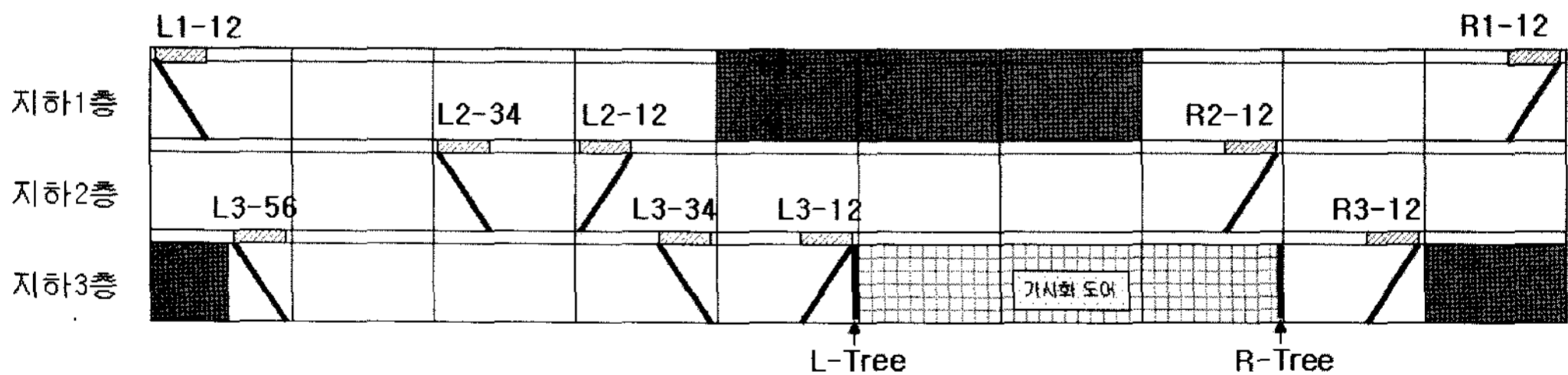


Figure 4. Measuring location of smoke temperature.

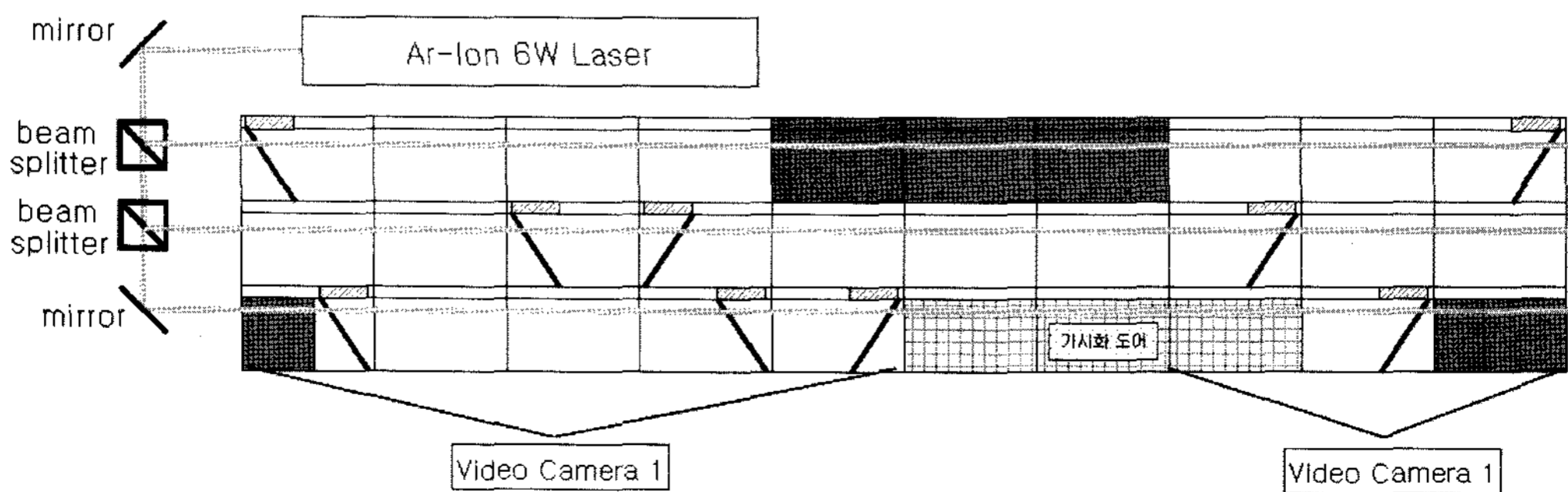


Figure 5. Smoke visualization system.

였다. 각 위치의 계단은 깊이 방향으로 두개씩 존재한다. 따라서 한 계단 위치에는 두개의 열전대가 설치된다. 또한 화원 부근에서의 높이방향의 온도 분포를 측정하기 위하여 화원부가 끝나는 단열터널의 양 끝단에 천장으로부터 3 cm 간격으로 열전대를 4개씩 배치하였다. 열전대는 직경 0.125 mm의 K-type 열전대를 사용하였다. 열전대의 온도 측정 data는 1초 간격으로 data recorder를 통하여 저장되어 분석된다. 또한 열전대에 의한 연기도달시간 측정을 보완하기 위하여 Laser beam을 이용하여 연기를 육안으로 관찰할 수 있도록 하였다(Figure 5).

3. 결과 및 토의

3.1 화재시나리오 선정 및 재현

대구 지하철화재의 사례와 보편적으로 통용되고 있는 사실을 이용하여 지하철 역사의 화재시나리오를 구성하였다. 우선 열차 1량의 발열율은 10~30 MW¹⁾ 정도로 인식되고 있으며, 국내의 규정²⁾에서는 10 MW 이상으로 되어 있다. 서울 지하철 1호선의 2001년 기준 가연물의 발열량은 다음 Table 1과 같다.

대구 지하철 화재의 조사 결과³⁾ 화재진압 시간이 3시간 45분의 소요되었는데, 사고 후반부에는 역사내의 잔존화염에 의하여 화재진압이 늦어졌다고 판단되므로 열차화재는 전부 3시간 30분 동안 진행된 것으로 가정하면, 전부 12량의 객차가 소실되었으므로 평균 발열율은 25.5 MW이다. 이 사고의 경우 반대편의 6량이 화재발생 승강장에 정차하여 최악의 사고가 발생한 특별한 경우로 볼 수 있으므로 이 값의 반 정도를 고려하면 일반적인 범주에 들어가는 것을 알 수 있다.

그러나 이 값은 평균값이고 초기화재의 성장곡선을 유추하여야만 완전한 화재 시나리오가 구성된다. 상기의 조사결과 화재는 약 2l의 휘발유가 들어있는 점화

된 플라스틱 병이 투척되어 차량좌석 및 내장재가 발화하여 대규모의 화재로 성장하였다. Table 1에서 알 수 있지만 좌석이 다른 내장재에 비해 연소성이 우수할 것으로 판단되어 초기 화재는 좌석의 연소 특성에 의해 결정되는 것으로 판단하였고, 이 경우의 성장률은 미국 NFPA 기준의 Fast 급으로 알려져 있다.⁴⁾

이상의 정보를 토대로 화재시나리오에서 최성기 값은 14 MW로 가정하였고, Fast 급의 성장에 의해 약 540초 후에 14 MW에 도달되도록 설정하였다. 또한 휘발유에 의한 방화이므로 초기의 성장률은 Fast 급을 초과할 것으로 판단하여 Figure 6과 같은 선형적인 화재 성장 곡선을 화재시나리오로 선정하였다. 선정된 화재시나리오는 4개의 Heptane 풀화재를 이용하여 재현하였으며 각각의 풀의 직경은 8 cm이다. 화재시나리오를 재현하기 위하여 몇 번의 시행착오 후에 각각의 연료 풀을 20초 간격으로 점화하여 Figure 7과 같은 결과를 얻었다. 이 결과는 축소비 1/20을 Froude 상사 법칙⁵⁾에 적용하여 환산한 것이며, 최성기에서의 평균값은 약 13.4 MW이다.

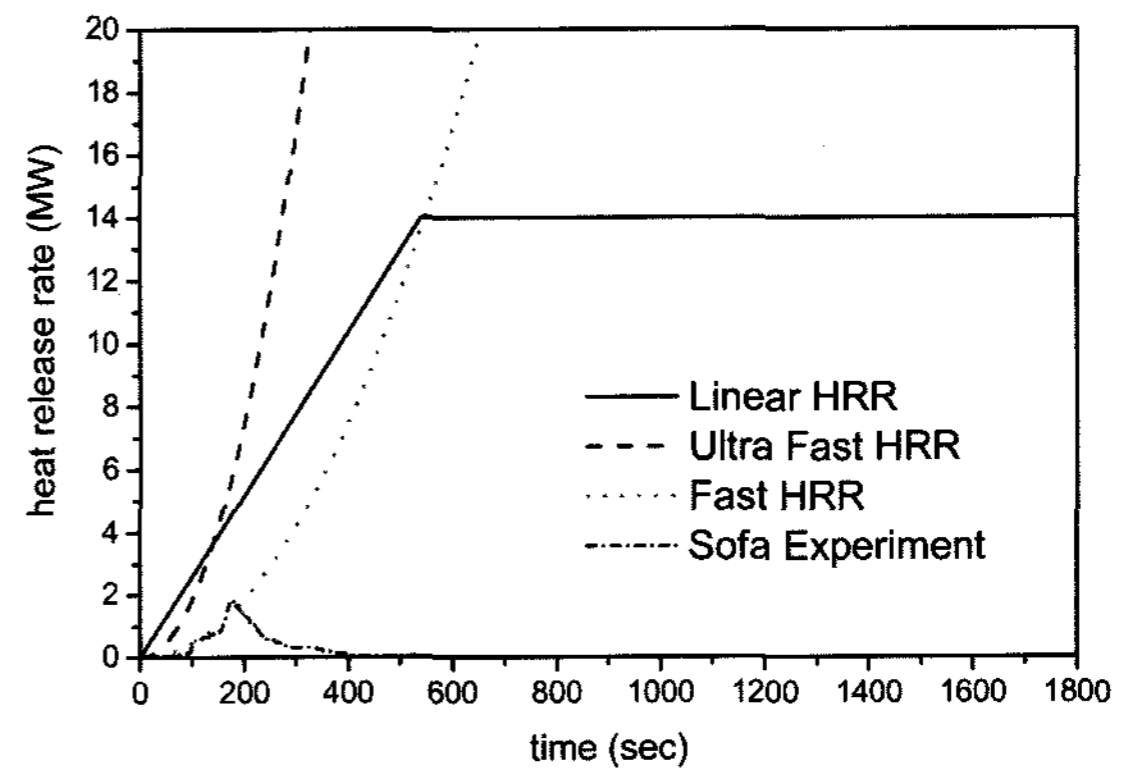


Figure 6. The fire scenario.

Table 1. Combustibles of a metro train car³⁾

[단위: Mega Joule (MJ)]

내장재명	서울지하철 1호선 기준 (2001년)		비고
	재질	총발열량(1량 기준)	
내장판	FRP	13,640	26,843MJ은 휘발유 813 l 정도가 연소될 때 발생하는 열량에 해당
단열재	폴리에틸렌 폼	6,336	
의자	· 커버: 폴리에스테르직물 · 쿠션: 폴리우레탄폼	2,889	
바닥재	염화비닐(P.V.C)	3,740	
통로 연결막	아라미드 섬유 + 줄타포린 수지	238	
계	-	26,843	

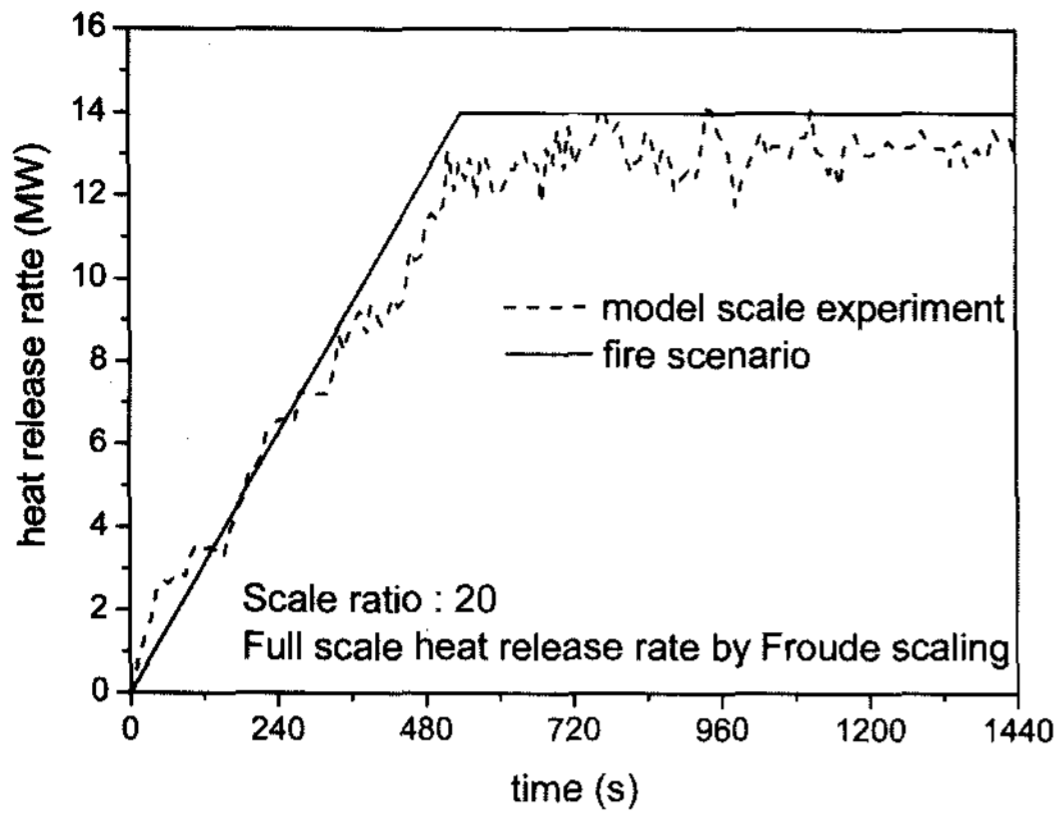


Figure 7. The growth rate of the model-scale fire.

3.2 연기확산 및 배연효과

Froude scaling⁵⁾에 의하여 급배기 유량은 화재발열량과 같이 Scale ratio의 2.5승에 비례하여 상사된다. 본 모델 역사실험에서는 실제역사에서 사용되는 범위의 유량을 Froude scaling에 의해 상사하여 산정하였다. 역사 화재실험에서 사용된 화재실험 조건을 Table 2에 나타내었다. 각 구역의 정의는 Figure 1에 나타나 있다. 해당 모델 실험조건을 20배의 실물로 환산했을 때의 조건을 Table 3에 나타내었다. 급배기량의 경우 국내 지하철 역사의 표준환기량 범위에서 결정되었다.

급배기조건 중 Steady는 화재발생시 이미 급배기 시스템이 가동되어 전체적으로 화재발생시 역사내에 급배기 유동이 정상상태에 도달되어 있는 조건을 나타내

Table 2. Experimental conditions for the model-scale

No.	화재크기 (KW)	급배기량 (l/min) (+ : 배기, - : 급기)					급배기조건
		구역 1-L	구역 1-R	구역 2-L	구역 2-R	구역 3-L	
1	7.5	0	0	0	0	0	
2	7.5	250	250	250	250	250	Steady
3	7.5	250	250	250	250	250	Unsteady
4	7.5	500	500	500	500	500	Steady
5	7.5	500	500	500	500	500	Unsteady
6	7.5	500	500	-500	-500	500	Unsteady

Table 3. Full-scale conditions

No.	화재크기 (MW)	급배기량 (m ³ /hr) (+ : 배기, - : 급기)					급배기조건
		구역 1-L	구역 1-R	구역 2-L	구역 2-R	구역 3-L	
1	13.4	0	0	0	0	0	
2	13.4	27000	27000	27000	27000	27000	Steady
3	13.4	27000	27000	27000	27000	27000	Unsteady
4	13.4	54000	54000	54000	54000	54000	Steady
5	13.4	54000	54000	54000	54000	54000	Unsteady
6	13.4	54000	54000	-54000	-54000	54000	Unsteady

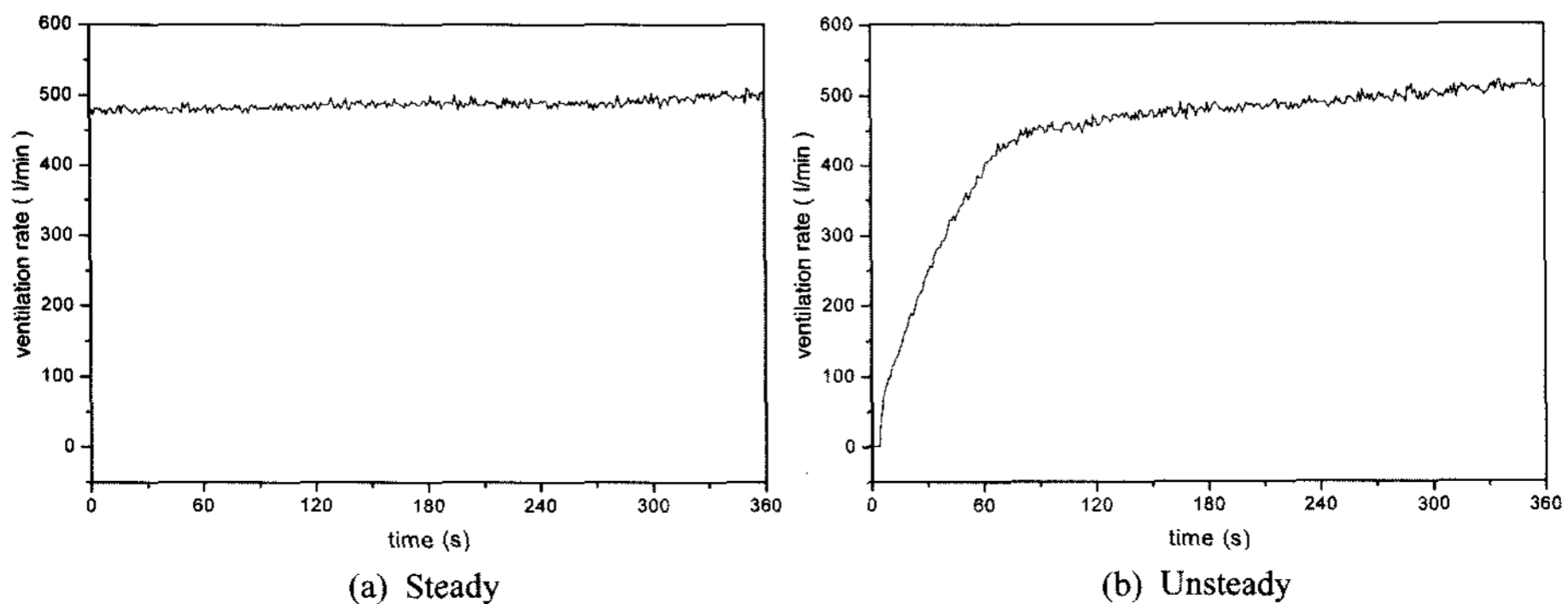


Figure 8. Ventilating conditions.

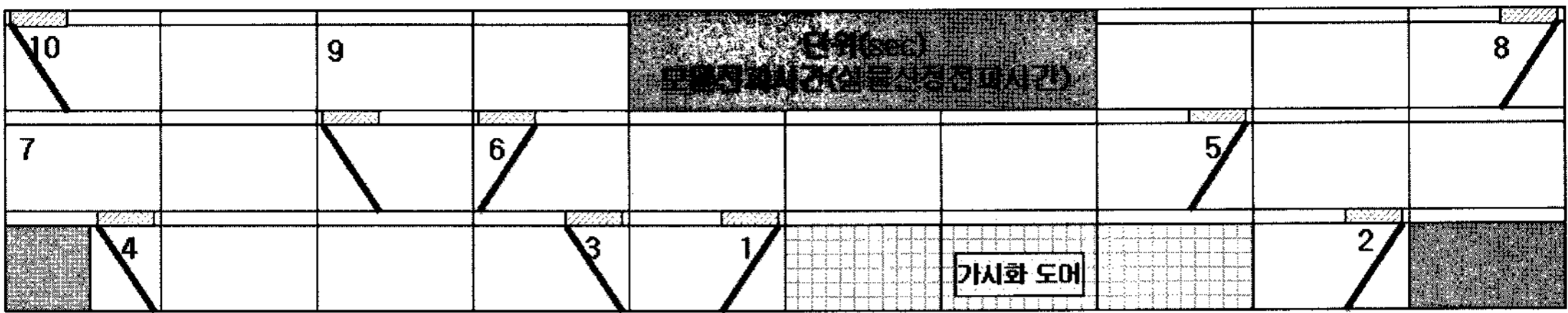


Figure 9. Measuring location of smoke propagation time.

며, Unsteady란 화재발생 후 급배기 시스템이 가동되어 급배기 유동이 정상상태에 도달하는데 일정시간이 소요되는 경우로 Figure 8에 시간에 따른 각각의 배연량 변화를 도시하였다.

연기전파 시간은 열전대의 온도 data와 가시화 결과를 바탕으로 Figure 9의 위치에서 측정되었다. 실물 역사에서의 연기전파 시간은 Froude scaling⁵⁾에 의하여 Scale ratio의 0.5승에 비례하여 상사되었다.

3.2.1 배연량에 따른 화재연기 전파 시간 비교

Table 4에 배연량에 따른 화재연기 전파 시간을 나타내었다.

배연이 전혀 이루어지지 않는 경우 화원으로부터 먼 좌측 지상으로의 출구까지 연기가 도달하는 시간은 실물 역사로의 환산 시 약 550초 정도 소요되었다.

실험시 화원 근처에서 배연을 하지 않기 때문에 배연의 효과가 미미한 지역(위치 1,2,3)에서는 배연의 유무에 관계없이 연기전파 시간의 차이가 거의 없다. 그러나 다른 위치에서 배연의 효과는 뚜렷하게 나타난다. 지하 3층 승강장의 터널과 접하는 위치(위치 4) 및 지하 2층의 좌측부분(위치 6,7)까지 연기가 전파되는 시간을 보면 배연량이 증가하면서 연기 도달시간이 늦어지고 있음을 알 수 있다.

배연의 효과는 지하 1층(측정위치 8, 9, 10)으로의 연기 전파시간에서 극명하게 나타난다. 화원에서 발생한

연기의 많은 부분이 지하 2층과 지하 1층에서 배연되어 연기 전파시간이 길어지게 된다. 지상으로의 출구인 측정 위치 8과 10의 경우 배연량 증가에 따라 연기 전파 시간이 급격히 길어진다. 특히 실험번호 5번 500 l/min 전체 배기의 경우 실험 기간 동안 좌측 지상으로의 출구(위치 10)에 연기가 도달하지 못하였다.

그러나 지하 2층 (위치 5)의 경우 경향이 약간 다르다. 배연량이 늘어나면서 오히려 연기전파시간이 짧아짐을 알 수 있다. 이는 화재구역으로부터 발생한 연기가 지하 2층 오른쪽 배연구역(2-R)의 배연에 의해 지하 2층으로 빠르게 상승함을 의미한다. 상승한 연기가 배연구역(2-R)에서 배연되나, 측정위치 5까지 거리가 짧아 배연의 효과보다는 연기의 상승을 유발하는 효과가 더 크게 작용하고 있기 때문으로 생각된다. 이러한 효과는 연기의 측정위치까지 배연구간이 충분히 길지 않기 때문에 발생하는 것으로 측정위치 5에서만 발생하는 특수한 경우로 생각된다.

3.2.2 배연시스템의 비정상/정상 가동에 따른 화재연기 전파 시간 비교

Table 5에 배연시스템의 가동 상황에 따른 화재연기 전파 시간을 나타내었다.

비정상 상태의 경우 가동 1분 후에 정상상태 배연량의 약 70%에 도달하였다. 이러한 배연량 변화 특성으로부터 비정상상태의 경우 정상상태의 경우 보다 초기

Table 4. Smoke propagating time with exhaust ventilation rate

No.	조건	연기전파시간 (sec) (실물터널 상사 연기전파시간 (sec))										
		측정위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	No Ventilation		14 (63)	13 (58)	19 (85)	80 (358)	47 (210)	36 (161)	69 (308)	95 (425)	88 (393)	123 (550)
3	250 l/min 배기 Unsteady (27,000 m ³ /hr)		13 (58)	14 (63)	21 (94)	86 (384)	44 (197)	41 (183)	75 (335)	103 (460)	137 (612)	220 (983)
5	500 l/min 배기 Unsteady (54,000 m ³ /hr)		13 (58)	13 (58)	19 (94)	105 (483)	39 (174)	43 (192)	80 (358)	200 (894)	222 (992)	∞

Table 5. Smoke propagating time with ventilation conditions

No.	조건	연기전파시간 (sec)										
		측정위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	500 l/min 배기 Steady (54,000 m ³ /hr)	12 (54)	13 (58)	21 (94)	108 (483)	38 (170)	46 (206)	89 (398)	210 (939)	293 (1310)	∞	
5	500 l/min 배기 Unsteady (54,000 m ³ /hr)	13 (58)	13 (58)	19 (94)	105 (483)	39 (174)	43 (192)	80 (358)	200 (894)	222 (992)	∞	

Table 6. Smoke propagating time with supply ventilation

No.	조건	연기전파시간 (sec)										
		측정위치	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	No Ventilation	14 (63)	13 (58)	19 (85)	80 (358)	47 (210)	36 (161)	69 (308)	95 (425)	88 (393)	123 (550)	
5	500 l/min 배기 Unsteady (54,000 m ³ /hr)	13 (58)	13 (58)	19 (94)	105 (483)	39 (174)	43 (192)	80 (358)	200 (894)	222 (992)	∞	
6	500 l/min 2-L, 2-R 급기, 나머지 배기 (54,000 m ³ /hr)	15 (67)	16 (72)	25 (112)	93 (416)	42 (188)	52 (232)	86 (384)	71 (317)	102 (456)	181 (809)	

배연량이 적어 연기전파시간이 길어짐을 알 수 있다.

3.2.3 급기가 화재연기 전파시간에 미치는 영향

Table 6에 배연이 전혀 이루어지지 않는 경우와 전체적으로 배연이 이루어지는 경우, 그리고 지하 2층에 급기가 이루어지는 경우의 결과를 비교하였다.

전체적으로 배연만 이루어지는 경우인 5번과, 지하 2층은 급기, 기타 지역은 배연이 이루어지는 6번의 경우 모두 배연이 없는 1번 경우에 비해 연기전파 시간이 늦어짐을 알 수 있다.

그러나 지하 2층에 급기가 주어진 경우 전체적으로 배기가 이루어진 경우와 비교하면 중요한 차이를 발견하게 된다. 지하 2층에서 이루어진 급기는 화재연기 전파 초기에 지하 3층 승강장으로의 공기 유동을 유발하여 지하 3층 승강장에서 올라오는 연기의 전파속도를 약간 늦추는 효과가 있다. 이러한 급기의 긍정적인 효과는 지하 3층과 연결된 계단부 부근(1,2,3,5,6)까지 유효하게 나타난다. 지하 3층과 연결된 좌측계단부(위치 4)의 경우 배연만 이루어진 경우에 비하여 연기도달 시간이 짧아진다. 지하 3층의 경우 배연조건이 동일하므로 측정 위치 4에서의 차이는 지하 2층 좌측 끝단(측정위치 7)에 도달한 연기가 계단을 통하여 지하 3층으로 하강하였기 때문으로 이는 급기가 천장 상층부의 연기를 바닥면까지 확산시키기 때문에 나타나는 현상이다.

급기에 의한 연층의 급격한 확산은 지하 1층의 연기도달시간에서 극명하게 나타난다. 지하 2층에서 지하

1층으로의 연결 계단에 도착한 연기는 급기에 의해 지하 1층으로 급격하게 확산된다. 그 결과 우측부 지상 출구(측정위치 8)에 배연이 전혀 이루어지지 않은 경우보다도 더 빨리 연기가 도착한다. 또한 역사 좌측 출구(측정위치 10)의 경우에 전체적으로 배연이 이루어진 경우에는 연기가 도달하지 못하였으나, 지하 2층에서 급기가 이루어진 경우, 지하 1층에서 배연이 이루어지고 있음에도 불구하고 급기에 의한 급격한 확산 때문에 지하 1층 전체로 연기가 급격히 확산되어 지상 출구로 분출된다.

일반적인 건물의 경우 배연 전략은 화재연기가 타 층으로 전파되는 것을 막기 위하여 화재가 발생한 층은 배연, 기타 층은 급기를 한다. 일반적인 건축물의 경우 타 층으로의 출입구는 대부분 기본적으로 닫혀 있는 상태로 문틈으로의 약간의 누출을 제외하면 서로 공기 유동 측면에서 구획되어 있다. 따라서 화재발생 층은 배연을, 기타 층은 급기를 통한 가압을 함으로써 연기가 타 층으로 전파되는 것을 억제하고자 하는 배연 전략을 취하고 있다. 현재 지하철 역사에서 사용되는 일반적인 배연 전략은 건축물의 배연전략을 도입하여 화재가 발생한 구역은 배연, 기타 구역은 급기를 하도록 되어 있다. 그러나 지하철 역사의 경우 각 배연 구역 및 층 사이가 공기 유동 측면에서 구획되어 있지 않고 서로 연결되어 있어 급기에 의한 가압 효과를 기대하기 어렵다. 이러한 상태에서의 급기는 연층의 교란과 빠른 확산을 유발하게 된다. 실험 결과는 이러한 급기의 위험성을 잘 보여준다.

4. 결 론

본 연구의 첫 번째 목표인 지하철화재 시나리오는 대구지하철화재를 분석하여 구축되었다. 성기화재 14 MW 급을 제시하였으며 초기의 화재성장곡선은 연구자에 따라 약간 변경할 수도 있을 것이다.

두 번째로 수행된 모델실험을 통하여 급배기가 연기 확산에 미치는 영향을 다각적으로 분석 평가하였다. 실험결과 급기의 위험성을 파악하였으며, 이는 일반건물의 배연방식을 지하역사에 일률적으로 적용한 결과임을 알 수 있었다. 따라서 지하역사와 같이 연기 유동 측면에서 실제로 구획되어 있다고 판단할 수 없는 경우는 급기를 배제하고 전 구역을 배기모드로 작동하는 것이 연기에 의한 피해를 감소시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

1. EUREKA Project EU 499 FIRETUN, "Fire in Transport Tunnels: Report on Full Scale Tests", Studiengesellschaft Stahlanwendung e. V. ed. Dusseldorf, Germany(1995).
2. 건설교통부고시 제2006-395호, "철도시설 안전세부기준"(2006).
3. 감사원, "지하철 안전관리실태 감사결과", 감사결과 간행물 제8집 2003-02-076(2003).
4. 한국기계연구원 보고서 M60302000068, "중요화재재현기술개발", 과학기술부, pp.74(2006).
5. J.G. Quintiere, "Scaling Application in Fire Research", Fire Safety Journal, Vol.15, pp.3-29 (1989).