

## 지하철 제연설비 개선에 관한 연구

의동호, 유지오\*, 신현준\*\*

인천대학교 안전공학과, 신홍대학 건축설비과\*, 한국건설기술연구원\*\*

### A Study for the Improvement of Smoke Control System in the Subway Platform

**Dong Ho Rie, Ji Oh Yoo, Hyun Jun Shin**

*Univ. of Incheon, Shinheung Collage, KICT*

#### 1. 서론

서울 등 대도시의 심각한 교통체제는 교통난의 해소를 위하여 수송효율이 높은 지하철을 중심으로 정착되고 있다. 현재 지하철의 총연장은 서울, 인천, 부산, 대구 등 4개 도시의 10개 노선에 약 300여 km에 달하며, 향후 2005년 까지는 총연장이 600 km에 달할 것으로 예상되고 있다. 이러한 지하철은 정시성, 쾌속성, 안정성 측면에서 지상 교통수단 보다 우수하고 대량수송이 가능하며 지상교통에 의한 대기오염문제의 해결책으로 그 역할이 더욱 증대 되고 있다. 그러나 대구지하철 화재 를 계기로 지하철이 화재시 승객의 안전한 피난을 충족시키기에 충분히 배연설비를 갖추고 있는지에 대한 의구심과 지하 생활공간의 종합적인 안전대책에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 연구는 대구지하철 화재참사를 계기로 국내외 지하철 화재사고 분석 및 지하철 역사를 대상으로 인명피해의 최소화를 위한 방법의 일환으로 화재시 발생하는 연기의 효율적 배연설계 방안을 제시한다.

#### 2. 지하철화재사고

##### 2.1 국내의 사례

국내 지하철 화재는 방화에 의한 대구참사 이전까지의 통계로는 인명 피해의 발생은 없는 것으로 조사되었다. 그러나, 매년 부주의와 과실로 인한 경미한 화재 사고가 발생하고 있으며 이로 인하여 열차 운행 정지 및 승객 대피 등의 크고 작은 소동이 발생된 것으로 집계되었다. 이러한 지하철내 화재는 초기에 건설되어 노후된 서울지하철 1, 2, 3호선에 집중적으로 발생되었다.

각 연도별 화재 사고 발생 건수 및 화재발생원인을 Fig.1 및 Table 1에 나타낸다1). Fig.

1에서 알 수 있는 바와 같이 국내 지하철의 사고 및 사망자는 매년 증가하는 추세를 보이고 있으며, 사고중 화재사고는 95년 이후 매년 4건 정도로 전체의 45%[Fig. 1참조]를 차지하며, 화재사고의 대부분 환기실 및 전기실에서 발생하고 있으며, 화재요인은 담배꽂초 또는 용접공사중 부주의가 대부분인 것으로 보고되고 있다.[Table 1참조]

Table 1. 국내 지하철관련 화재사고 사례

사고일시	사 고 내 역
97/06/09	2호선 신도림역 에스컬레이터 1호기 ⇒ 1호기 상부 기계실내 구동용 V-BELT가 장력 이완으로 미끄러져 마찰열에 의해 벨트가 소손되어 연기발생
97/07/03	1호선 시청역 변전소 ⇒ 냉방용 변압기 1개 소손, 변압기 제작 결함으로 1차측 권선 절연 파괴상태에서 전기 재투입으로 화재발생 추정
98/06/27	4호선 충무로역 구내 ⇒ 승강장 천정 화재, 4호선 행선지 안내 설비 개량 공사후 안내 게시기 위치 이설 설비중 용접 불꽃이 승강장 천정내 석면판에 인화되어 화재 발생
98/09/05	2호선 시청역 전기실 화재 (전기시설물피해 2,565,000) ⇒ 전기고장(전기실 저압 배전반 소손), 시청역 전기실 배전반내 제어배선 및 접지 보호 장치등이 소손 되면서 연기 발생으로 승객 취급이 곤란해 내·외선 10대 열차 무정차 통과 운행
98/10/11	4호선 서울역 환기실 화재 (시설물 피해 22,400,000원) ⇒ 환기실 화재 공조기 진소, 서울역114번 지상 환기구로 유입된 담배꽂초가 A 환기실 공조필터에 흡착되면서 화재 발생으로 공기조화기 진소
99/04/29	2호선 을지로3가역 환기실 화재 (시설물 피해 7,800,000원) ⇒ 냉동기 수리용업체 직원이 냉각기에 수면계 설치중에 용접 불꽃이 냉각기 내부의 FRP 충전체에 인화되어 연기가 발생하여 2호선 내·외선 43개 열차가 을지로3가역을 통과
99/06/14	4호선 성신여대역 환기실 화재 ⇒ 성신여대역 48번 급기 환기구로 유입된 담배 꽂초가 A 환기실 공기 조화기 필터에 흡착되면서 필터 일부가 소손되어 연기 발생

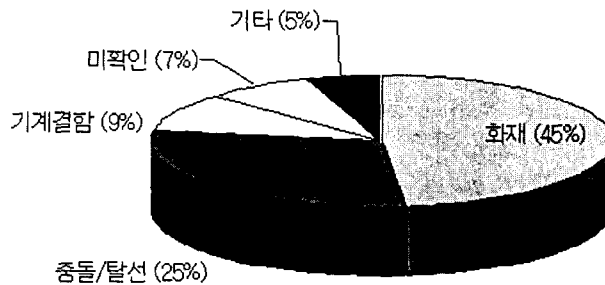


Fig. 1. 국내지하철 사고발생 원인

## 2.2 외국의 사례

대구참사와 비슷한 화재사고의 예로 1995년 10월 289명의 사망자를 발생한 아제르바이젠의 수도 BAKU의 지하철 화재사고를 들 수 있다<sup>2)</sup>. 이 사고로 인하여 승객의 98% 이상이 일산화탄소 및 유독가스에 의한 질식사로 판명되었고 대구지하철 참사와 동일하게 출입문 고장으로 인하여 대피 확보가 어려웠던 점이 대형참사의 원인으로 밝혀졌다. 2002년 11월에 158명의 사망자가 발생한 오스트리아의 산악열차 사고는 경사가 급한 터널구간에서 열차 후미에서 발생한 화재가 열차의 전방으로 이동하면서 많은 사상자가 발생하였다. 이외에 유로터널에서 화물차량을 수송하던 열차의 화재가 있었으며<sup>3)</sup>, 당시의 화재 규모는 150 MW급 정도로 터널 라인닝에 큰 손상을 초래할 정도의 화재였으나 화재발생에 대비한 방재시설의 규모 및 운영이 적절하여 인명 및 재산 피해를 줄일 수 있었던 것으로 보고되고 있다.

## 2.3 터널 화재사고분석

국내에서는 지하철 사고유형에 대한 정확한 분석을 실시한 바 없으며, 대표적인 사고사례 분석결과인 스위스 NRP 41보고서<sup>4)</sup>에 의하면 전체 철도사고 중 대중운송 수단인 지하철(Metro)에서의 사고는 Table 2에 나타낸 바와 같이 전체사고 176건중 126건이며, 사고유형은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 화재에 의한 사고가 45%에 달하는 것으로 나타나고 있으며, 화재사고의 38%가 전기에 의한 것으로 나타났다.

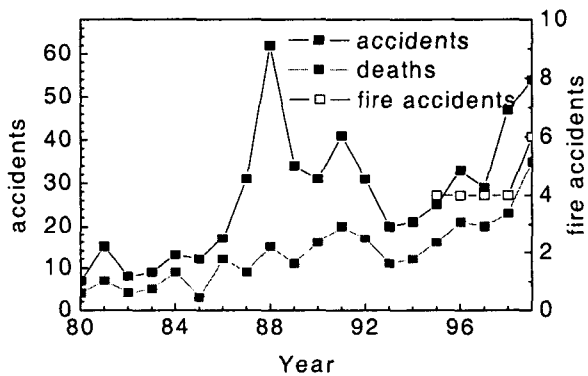


Fig. 2. 지하철사고 현황

Table 2. 지하철 및 철도터널의 사고 발생건수(유럽)

Transport	Metro	Train	Not Specified	Total
All accidents	126	47	3	176
Fire accidents	58	26	1	85

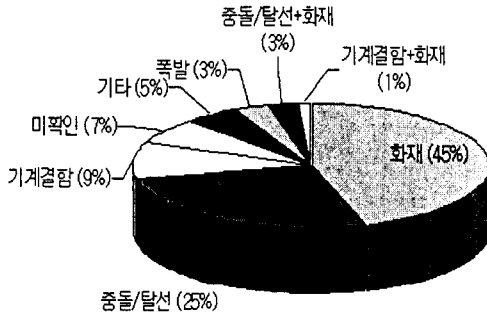


Fig. 3. 사고원인 분석(유럽)

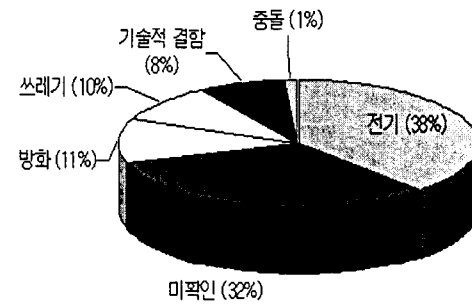


Fig. 4. 화재 사고원인 분석(유럽)

Table 3.a 터널유형별 위험도 분석

SYSTEM	RRV	Initiating Events <sup>2)</sup>				RRV
		Derailment	Collision	Hit obstacle	Fire on Train	
ONE DOUBLE TRACK TUNNEL	100	15	50	10	35	100
ONE DOUBLE TRACK +SERVICE TUNNEL	80					
TWO SINGLE TRACK TUNNEL	50~60	7	40	13	40	60
TWO SINGLE TRACK + SERVICE TUNNEL	40					
Open Line	-	30	50	10	10	45

\*RRV : Relative Risk Value

또한 터널유형별 화재 사고시 위험도 분석에 의하면 단선병열 또는 단선병열+서비스터널형태의 시스템이 가장 위험도가 낮은 것으로 분석되고 있으며, Table 3에 나타난 바와 같다.

지하철뿐만 아니라 도로터널은 반밀폐공간으로 지상의 구조물과 달리 화재시 연기의 배연이 가장 곤란하며, 따라서, 인명의 사망원인은 일반적으로 발생하는 연기에 의해서 가시거리 확보가 곤란하여 단시간에 탈출구를 찾지 못하고 질식사망하는 것으로 보고되고 있으며, 이를 방지하기 위한 대책으로 배연이나 제연시설이 가장 효과적인 것으로 보고되고 있다.

## 4. 배연설계방안

### 4.1 설계순서

배연방식은 승강장의 형태, 배연운전모드, 배풍량 용량 및 화재시 방재운전모드에 따라 각 역사에 적합하게 Fig.5의 순서에 입각하여 설계되어야 한다.

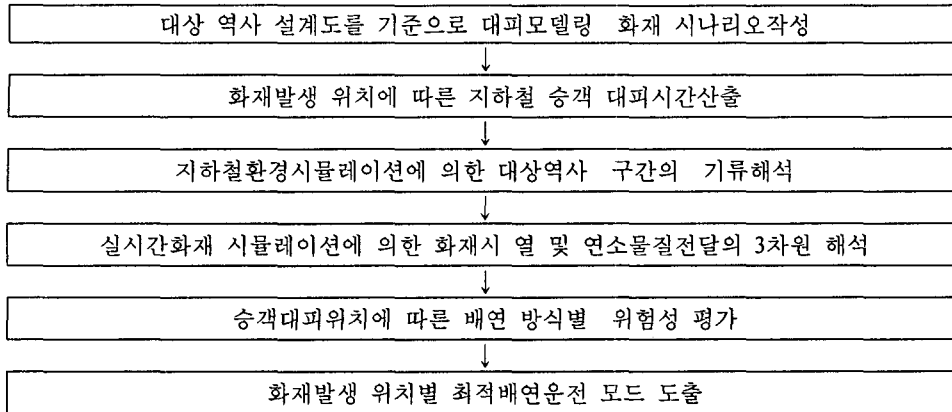


Fig. 5. 지하철 배연설계 흐름도

#### 4.2 지하철의 배연설비 설계시 고려사항

이상에서 언급한 바와 같이 지하공간이라는 특수성은 지상공간에서 발생하는 화재와는 성상과 기류해석에서 많은 차이점을 나타내고 있는 관계로 공기조화설비를 배연겸용설비로 사용하고 있는 지하공간에서 효율적인 배연효과를 얻기 위해서는 다음과 같은 해석이 요구된다.

- 피난시나리오에 따른 대피시간: 지하철 승강장에서의 화재시 시나리오 따른 대피시간 검토승강장에 정차한 열차에서 화재가 발생하는 경우, 정확한 대피 소요시간의 산출이 요구된다.
- 화재역학의 기초데이터의 확보: 지하철 화재시 적정화재 강도의 예상 및 검토로서 현재 국내에는 지하철 화재시 발생열량 산정 실험은 수행된 바 없다. 따라서, 국내 지하철 차량에 대한 발열량 자료가 없는 상황에서 정확한 화재해석은 불가능하므로 발열량 데이터의 확보가 요구된다.
- 화재시 발생물질에 따른 대피 가능성해석: 배연시 승객이 안전하게 대피 가능한 온도로 유지될수 있는지에 대한 평가. 배연모드로 변환되면서 승강장내의 열 및 연소물질확산에 대한 해석이 요구된다. 이들의 해석은 승객이 고온열 및 유독가스 최소한도로 노출 될 수 있는 피난경로해석과 연결된다.
- 화재시나리오에 따른 승강장부의 비정상(unsteady) 기류해석: 발생 오염물질의 농도 및 거동해석으로 본선부와 승강장부를 대상으로 Fire Dynamic 비정상 해석이 요구된다. 기존의 정상상태 해석으로는 대피시간내의 유동해석결과와 관련된 오염물질전파해석은 불가능하기 때문이며 가연성 연소가스의 경우 폭발하한계가 이르는 시간예측도 가능하다.
- 지하철환기설비 운전률 토대로 기류해석: 지하철은 하나로 연결된 공동구간이다. 따라서, 모든 역사의 환기용량과 운전방식을 토대로 각 역사의 기류해석이 요구된다. 이는, 초기 화재시 연소물질이동 위치를 우선적으로 파악가능하게 됨으로서 열 및

연기감지기의 위치선정에 매우 중요한 해석이 된다. 또한, 지하철역을 포함한 터널부의 기류해석 결과는 화재시 배연 운전모드의 최적환기 운전모드 선정에 있어서도 중요한 자료로 사용된다.

- 지하철 특성에 합당한 배연방식의 도출: 각기 다른 역사의 구조적 특성(계단위치, 승강장의 형태)에 따라 화재시 배연 기준은 통합적으로 제시되지 못한다. 따라서 이 상에서 제시된 방식에 입각하여 설계된 지하공간에 적합한 성능위주의 배연운전방 식을 도출하여야 한다.
- 모델화재실험: 화재시 대합실과 승강장 계단부를 통하여 유입되는 신선공기는 승객 에게 탈출방향을 알려주며 대피통로의 가시거리 확보에 매우 유익하다. 그러나, 신 선공기의 유입은 화재성장과 밀접한 관계가 있다. 공기유입의 차단으로 화재성장을 둔화시키는 방법은 인화성물질의 불안전연소를 유발시킨다. 따라서, 농연(濃煙)이 발 생되기 쉽고 결과적으로 가시거리 미확보 및 질식 위험율이 높게 된다. 이러한 부 분은 모델실험을 통하여 실험적으로 규명되어야 할부분이다.
- 배연설비의 고온내구성: 승강자 선로부 배연설비 및 본선터널구간에 설치된 환기팬 이 화재시 배연팬으로 작동됨에 따라 고온에서 충분한 배풍량을 발휘할 수 있도록 설계되어야 한다.
- 배연설비의 동력원확보: 배연설비 운전은 전기를 동력원으로 사용함에 따라 미국화 재예방협회 기준 (NFPA Code 130)에서 언급되어 있는 바와 같이 모든 전선관, 배전관 등 의 표면마감재료는 932°F(500°C)의 온도에서 1시간 동안 견딜 수는 내열조건이 요구된다.

## 5. 배연팬 운전방식별 화재안전성 검토

지하철의 화재는 특성상 승강장부의 화재와 본선터널부의 화재로 구분하여 배연이나 제연능력을 평가하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 본선부 화재와 승강장부의 화재로 구분하여 해석의 필요성 및 해석을 통해서 얻는 결과에 대해서 기술하고자 한다.

### 5.1 본선터널부 화재검토

외국의 경우 본선부에서의 화재는 열차중 발화위치가 어디냐에 따라 달라지나 최근 들어 push pull방식에 의해 임계풍속(critical velocity)이상으로 기류를 형성하여 대피방향의 반대방향으로 제연하는 것이 일반적이다. 특히 최근에 개통된 영국의 쥘비닐 라인의 경우에는 화재구간 뿐만 아니라 인접구간의 환기팬이 연동하여 임계풍속을 만족하도록 하는 Matrix 운전모드를 제안하고 있다.

따라서, 본 연구에서도 서울 지하철 9호선의 일부구간을 대상으로 SES6)에 의해 화재 위치 및 환기팬운전 모드에 따른 터널내 풍속 분포 및 온도분포를 계산하여 Matrix운전 모드의 유효성을 검토하였다.

#### 5.1.1 해석조건 및 결과

Fig. 6에 해석구간의 개요도 및 환기팬 운전모드에 따른 풍속과 온도분포를 나타냈다.

개요도에서 각 역사의 길이는 165 m이며, 역간 길이 및 환기구의 풍량은 Table 4에 표시하였다.

Table 5는 환기팬 운전모드에 따른 화재지점에서의 평균풍속 및 임계풍속을 만족할 수 있는 화재강도를 나타낸 것이다. Table 및 Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 환기팬 운전모드에 따라 터널내 평균풍속 및 임계풍속을 만족하는 화재강도와 터널내 풍속과 온도분포가 상당한 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다. 즉, 설계화재강도를 20 MW로 하는 경우, A지점에서 화재가 발생하는 경우에는 A-2운전모드, B지점은 B-3운전모드에 의한 배연팬 운전이 요구됨을 알 수 있다. 따라서 본선부 화재에 대비하기 위해서 화재발생위치 및 대피방향에 따른 인접구간을 포함하는 다양한 환기팬 운전모드를 선정하여 적정풍속의 발생여부를 검토할 필요가 있음을 알 수 있다.

Table 4. SES해석 구간 제원

구분	길이 m	단면적 m <sup>2</sup>	풍량 m <sup>3</sup> /min	구분	길이 m	단면적 m <sup>2</sup>	풍량 m <sup>3</sup> /min
917 정거장	165	47.98	3800(급배기)	918 E2	31.00	61.40	4500
917 E1	20	61.4	4800	919 정거장	165.00	47.98	3800(급배기)
917 S1	527.10	61.40	9600	919 E1	21.80	61.40	5400
917 E2	484.05	61.40	4800	본선구간	214.80	61.40	-
918 ST.	19.40	61.40	-		356.00	61.40	-
918 정거장	165.00	47.98	3800(급배기)	919 S1	114.10	61.40	10800
918 E1	24.40	61.40	4500	본선구간	379.90	61.40	-
918 S1	333.10	61.40	9000	159.20	61.40	-	
본선구간	135.00	61.40	-	919 E2	10.30	61.40	5400
	384.40	61.40	-	920 정거장	165.00	47.98	3800(급배기)

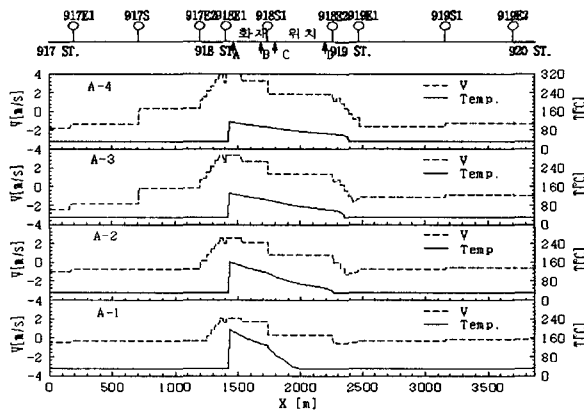


Fig. 6. 배연팬 운전모드별 풍속 및 온도분포

Table 5. 운전모드별 터널풍속

화재 위치	제연 운전 모드	본 선 (917~918)			918 선로부			본 선 (918~919)			919 선로부			본 선 (919~920)			승객 대피		허용 화재 강도 (MW)
		E1	S1	E2	S2	E3	E4	S3	E5	S4	E6	E7	S5	E8	방향	평균풍속			
A지점	A-1				○	●	×	●	○								918역	1.93m/s	14
	A-2			●	○	●	×	●	○		○						918역	2.63	30이상
	A-3		○	●	○	●	×	●	○	●	○						918역	3.44	30이상
	A-4		○	●	○	●	×	●	○	●	○	○					918역	4.11	30이상
B지점	B-1				○		●	×	○								918역	1.32	4
	B-2				○	●	●	×	○		○						918역	2.04	18
	B-3			●	○	●	●	×	○	●	○						918역	2.80	30이상
	나 4		○	●	○	●	●	×	○	●	○	○					918역	3.19	30이상

### 5.2 승강장부 화재검토

본 연구에서는 화재 발생에 따른 열 및 발생물질이동현상을 수치해석적으로 파악하기 위하여 미국 NIST (National Institute of Standards and Technology)에서 개발중인 FDS(Fire Dynamics Simulator) Version 3을 사용하였다. FDS는 LES(Large Eddy Simulation) 난류모델을 적용하며, 연소모델로는 혼합분율모델(Mixture Fraction Model)을 적용하고 있다. 또한, 복사열전달해석 해석으로 유한체적법(Control Volume Method)을 적용한다. 승강장의 제원 및 해석격자를 Table 6 및 Fig. 7에 나타냈다.<sup>7)</sup>



### 5.2.1 해석조건

화재발생은 열차가 승강장에서 정차한 상태에서 발생되고 열차중앙의 1량이 전소하는 조건이며 발화위치는 선로부 기준 1.6m 상부 지점으로 선정하였다. 해석은 이미 화재가 발생한 열차가 승강장에 진입하여 급속 확산하는 조건으로 일반적으로 대피시간으로 하고 있는 300초를 해석하였다.

또한 연기 및 열기류의 거동에 있어서 가장 중요한 요소인 환기팬의 운전모드는 다음과 같이 설정하였다.

#### [ 환기팬 운전 조건 ]

1. Case1: 환기팬의 가동을 정지하는 경우, 역사 양단 환기팬의 가동을 중지하고 승강장부의 배열을 위한 상하부 배기팬 만을 가동하는 경우
2. Case2: (정상시 환기팬 가동조건으로 운전하는 경우, 역사 양단의 본선부 환기팬을 화재시에도 일반 환기시 조건과 동일하게 운전하는 경우 (양단배기+중앙급기)
3. Case3: 본선부 환기팬을 모두 배기운전 하는 경우, 역사 양단의 환기팬을 모두 배기하는 경우
4. Case4 Push pull 방식에 의한 배연, 역사를 중심으로 역사의 한쪽 환기팬은 모두 급기하고 또 다른 방향의 환기팬은 모두 배기하여 역사에서 주기류 방향을 일방향으로 동일하게 유지하는 경우

운전모드별 터널양단 및 계단에서의 경계조건은 SES의한 기류해석을 수행하여 이를 경계조건으로 적용하였으며, 경계조건은 Table 8에 나타냈다.

**Table 7.** 환기팬 운전모드별 경계조건

조건 (CASE)	초기 온도	발열량 (kW/m <sup>2</sup> )	경계조건 (m <sup>3</sup> /min)		
			터미널 방향	선학역 방향	계단부
1 환기팬 정지 (No Fan)	30	484.85 화염면 (2.75×15)	압력 경계 조건	압력 경계 조건	압력 경계 조건
2 중앙급기 양단배기 (설계조건)			455.6 (유입)	109.5 (유출)	
3 배기모드 (Exhaust only)			7128 (유출)	4198 (유출)	
4 하행급기상행 배기 (push pull)			7512 (유입)	11097 (유출)	

**Table 8.** 승강장 제원

구분	제원 (m)	비고	
승강장	바닥높이	1.6	상대식
	천장높이	3	
	길이	185	
	승강장폭	4	
선로부	단면적	41.04 (7.6×5.4)	복선식
열차제원	폭	2.75	8량 기준
	높이	3	
	열차길이	144.5 (18.0625)	

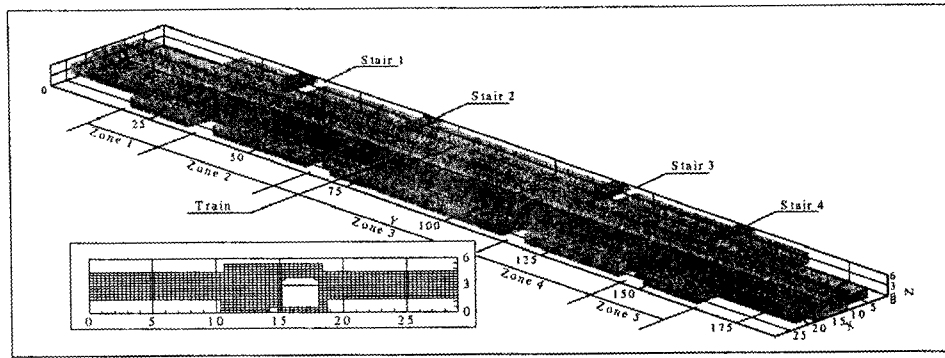


Fig. 7. 승강장구역 및 해석격자

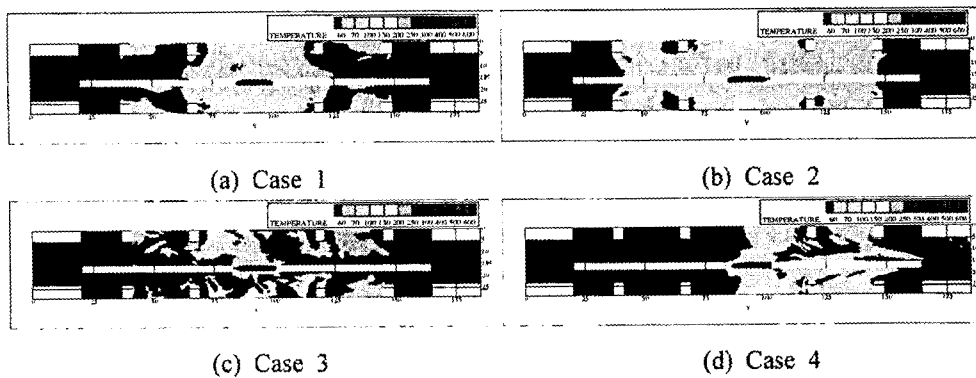


Fig. 8. 환기방식별 온도 분포 비교

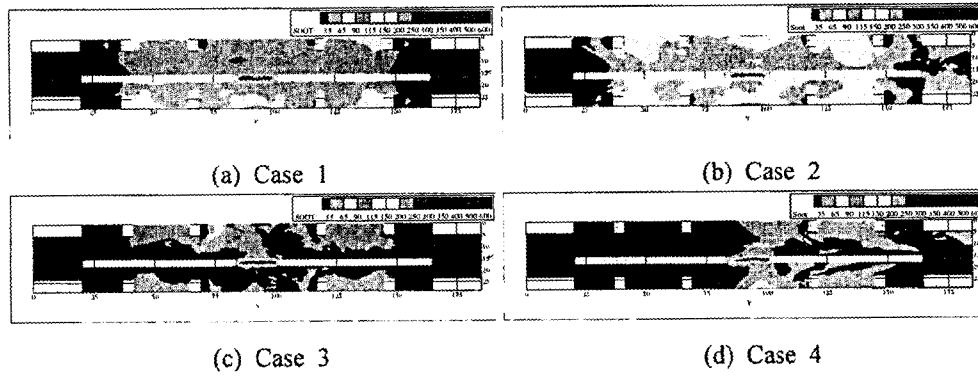


Fig. 9. 매연(smoke particle)농도 분포

### 5.2.2 해석결과 검토

Fig. 8은 승강장 바닥 1.5 m상부위치인 호흡선 높이의 발화후 300초대의 온도분포를 배연방식별로 비교한 것으로 Case1과 Case2의 온도 분포는 거의 비슷한 경향을 나타낸다. Case 1의 경우 zone 3을 중심으로 zone 2와 4의 영역의 온도는 각각 70°C이상 60°C미만을

나타냈으며 Case 2보다 Case 1의 배연조건이 보다 양호한 것으로 나타났다. Case 3의 경우(c)는 승강장 풍속이 증가하여 열기류의 확산효과가 크기 때문에 국부적으로 60°C이상의 온도를 보이고 있으나 전체적으로 70°C이하의 온도를 보이며, Case 1 및 Case 2와 비교하여 보다 승객이 대피하기에 양호한 온도 분포로 나타났다.

그림(d)는 Case4 방식으로 배연하는 경우로 신선공기가 유입하는 방향이 zone 1, zone 2영역은 60°C이하의 온도 분포를 나타냈으며, 화재하류지역인 zone3~5영역은 60~70°C의 분포로서 승객의 대피에는 큰 문제가 없을 것으로 나타났으며, Case 1,2의 경우보다 양호한 온도분포를 보이고 있다.

Fig. 9는 가시거리의 척도인 매연농도를 나타낸 것으로 Case2의 경우(b)가 가장 높은 농도로 나타났으며, 65 mg/m<sup>3</sup>을 초과함으로써 승객의 대피에 부적합한 영역이 상당부분 존재하는 것으로 나타났다. 그림(a)는 Case 1으로 대부분의 지역의 가시거리가 65 mg/m<sup>3</sup>으로 가시거리의 확보기준은 만족하는 것으로 나타났으나 계단부에서 가장 먼 곳에 있는 대피자의 거리가 25~30 m점을 고려하면 계단의 식별이 불가능한 것으로 나타났다. 따라서 가시거리의 기준은 만족하나 화재주변에 위치한 승객의 시야 확보에는 많은 어려움이 있을 것으로 판단된다.

Case 3과 Case 4로 배기하는 경우, 정량적인 분석은 수행하지 않았으나 승강장 대부분이 65 mg/m<sup>3</sup>이하로 나타났으며, 화점부근에서 국부적으로 가시거리가 확보되지 않는 것으로 나타나고 있어, 환기를 수행하지 않는 경우나 평상시 환기방식에 의한 환기의 경우보다 상당히 양호한 것으로 나타나고 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 지하철의 화재시 안전을 확보하기 위해서 외국의 화재 사고사례에 대한 분석결과를 검토한 결과, 지하철에서의 화재사고시 대부분은 가시거리 확보곤란으로 인해 대피가 신속하게 이루어지지 못하여 유독가스에 의한 질식사 사망사고의 주요 원인이며, 터널유형별로 화재시 안전성은 일방향 단선터널이 복선터널보다 위험도가 낮은 것으로 나타나고 있다. 또한 배연팬 운전에 따른 본선부 및 승강장에서 화재안전성을 평가하였으며, 본선부 화재시는 인접구간과 연계한 배연팬 운전을 통해서 임계풍속을 만족하는 push pull 환기가 가능하며, 승강장의 화재시에는 승강장 양단에 있는 환기소를 이용한 배연방식에 따라서 승강장내 연기농도가 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 양단배기 및 push pull방식에 의해 효과적인 제연이 가능함에 따라 화재시 보다 안전한 대피의 확보가 가능함을 밝혔다.

## 참고문헌

1. 범창종합기술(주), 2001, 지하철 재해방지 시설계획, 신공항선 설계보고서. 현재건설.
2. Johan Hedefalk, 1998, "Lesson from the BAKU subway fire.", Safety in Road and Rail

- Tunnels, pp.15-28, ITC. Conference in France.
3. W. Bradbury, 1998, "Smoke control during the CHANNEL tunnel fire of 18 November 1996.", Safety in Road and Rail Tunnels, pp. 623-640, ITC. Conference in France.
  4. David Vernez, 1999, Y. Trotter, "Lesson Learned from Accidents in Tunnels.", Tunnel Fires and Escape from Tunnels, pp. 385-394, ITC conf. in Lyon France.
  5. Franco Zuccarelli, 1995, "Safety Concept for long railway Tunnels Application to Bernner Pass.", Safety in Road and Rail Tunnel, pp. 115-121, ITC. Conference in Spain.
  6. Parsons Brinckerhoff Quade and Douglas, Inc., 1997, Subway Environmental Design Handbook, Vol. 2, Subway Environmental Simulation(SES) Computer Program Ver. 2, Part I, User Manual, U.S. Department of Transportation.
  7. 이동호, 유지오, 2003, 문학경기장 지하철역사 화재시나리오에 따른 최적 배연모드 선정에 관한 연구 최종보고서, 환경부.
  8. 서울특별시 도시철도공사, 2002. 12, 2003년도 종합안전.방재관리 시행계획.