지하철 터널부로의 열 및 연기배출에 관한 연구

이 동 호
인천대학교 안전공학과
(2003. 11. 4. 접수 / 2004. 9. 2. 채택)

A Study of Heat and Smoke Exhaust to Subway Tunnel Direction

Dong Ho Rie
Department of Safety Engineering, University of Incheon
(Received November 4, 2003 / Accepted September 2, 2004)

Abstract : This study aims to derive the operation method of a comprehensive ventilation system which is capable of providing passengers with safe exit paths from platforms in onboard fire situations. To accomplish this, the airflow distributions in subway platforms under 6 types of tunnel vent system were calculated in addition to having analyzed diffusion behaviors of smoke and heat exhaust in such states by performing 6 kinds of different ventilation scenarios in a 3-D Fire Dynamic Simulation (FDS) simulation model. In order to recommend the mechanical smoke exhaust operation mode, Subway Environmental Simulation(SES) is used to predict the airflow of the inlet and outlet tunnel for the subway station to clarify the safety evaluation for the heat and smoke exhaust on subway fire events.
Key Words : smoke and heat exhaust, ventilation system, subway station fire

1. 서 론

지하공간에서의 화재는 반밀폐 공간이라는 특수성으로 화재가 발생할 경우 대구지하철화재 참사와 유사한 대형 참사로 발전된 가능성이 상존한다. 지금까지의 방재계획은 화재발생 가능 범위 내를 기준으로 실시되어 왔으나, 테러와 같은 비정상적 화재발생에도 대처가능한 선까지 그 범위를 넓히고 있는 세계적 추세이다[1-3]. 또한, 지하철은 다른 구조물과 비교하여 화재발생시 화재진압 및 인명구조에 본질적으로 취약한 구조적 특성을 내포하고 있다. 이러한 대표적인 지하공간으로 지하철을 들 수 있으며 서울, 인천, 부산, 대구등 4개 도시 10개 노선으로 총연장 300km에 달하고 있다. 또한, 2005년 까지 총연장 600km를 상회할 것으로 예상됨에 따라 금번 대구지하철참사를 계기로 보다 내실화된 방재계획이 요구되는 현실이다. 또한 대구지하철화재 참사를 계기로 지하공간 방재에 대한 연구로 지하철 사고에 따른 화재의식 조사에 대한 연구[4]를 비롯하여 지하가의 안전성평가시스템의 개발에 관한 연구가[5] 진행되고 있다. 지하철역 제연의 문제점에 대한 연구로는 승강장에서의 화재를 구역적으로 해석한 연구가 수행되어 왔다[6]. 본 연구에서는 지하철 승강장에서 열차 화재 발생시, 승객의 안전한 대피로 확보가 가능한 선로부 환기기의 제연운전효과의 실효성에 대한 검증을 목표로 한다. 따라서 지하승강장을 대상으로 승강장내 기류해석 및 3차원 화재시뮬레이션을 수행하여 열차화재에 따른 승강장내 열 및 물질이동특성해석으로부터 선로부 배연운전모드에 따른 특성을 규명함으로서 승객안전성 확보에 목표를 둔다.

riedh@inchon.ac.kr

2. 지하철의 제연설비

지하철 제연설비는 전용설비로 이루어져 있지 않고 환기설비를 화재시 제연설비로 전환하여 사용되고 있으며 기존의 환기설비를 제연설비로 전환시 효과적인 열 및 연기배출특성의 검증이 우선되어야 한다. 특히, 승강장에서 열차 화재가 발생하는 경우 화재의 특성(화재의 성장 특성, 화염의 전파, 연기의 확산 등)은 화재강도(Heat Release Rate)가 동일하다

면 화재 열차 주변의 기류의 상태에 가장 큰 영향을 받게 된다. 주기류의 상태는 승강장 상하부의 급배기 조건 및 본선구간의 환기팬의 가동조건에 따라 열 및 연기배출특성에 지대한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 본선터널구간의 환기팬운전모드의 제연운전모드로의 전환시 제연설비의 성능평가를 수행한다.

3. 환기팬 운전모드

3.1. 환기방식의 선정

지하철의 환기설비는 일반적으로 열차의 운행으로 인한 주행 발열과 에어컨디셔너나 보조기기에 의한 발열을 처리하여 설계허용 온도조건을 유지하고 승강장으로 열차가 진입할 때 발생하는 열차풍을 저감하기 위한 본선부 환기시설과 열차가 승강장에서 진입할 때 정차시 발생하는 제동발열, 정차시 발열과 가속시 발열을 처리하기 위한 승강장 상하부 배열 시스템(Track Exhaust System)으로 구성된다. 이와 같은 환기설비는 승강장 및 본선구간의 화재시 제연을 동시에 수행한다. 따라서 설계시 환기기 용량은 화재시 제연처리용량 및 발열을 처리하기 위한 용량 모두를 만족하도록 설계된다.

이와 같은 목적을 위해 지하철의 본선 및 승강장의 환기 방식은 현재 지하철의 운행조건(복선, 단선) 등 여러 가지 요인에 의해서 결정된다.

승강장에서 화재가 발생하는 경우에 있어서 화재의 성장 특성, 화염의 전파 및 연기 확산 등은 화재강도(Heat Release Rate)가 동일한 경우에 화재 열차 주변 기류 상태에 가장 큰 영향을 받는다. 따라서 승강장 기류 상태에 가장 크게 영향을 미치는 승강장 상하부의 급배기 조건 및 본선구간의 제연팬의 가동조건이 화재시 화재 특성에 주된 영향을 미치게 된다. 이러한 기류의 기본적인 특성을 파악하기 위하여 본 연구에서는 SES(Subway Environmental Simulation) 프로그램을 사용하였다. SES프로그램은 미연방 교통국 Volpe Center의 후원하에 Parsons Brinckerhoff에 의해 개발된 지하철전용 환경해석 프로그램으로서 몬트리올, 피츠버그, 샌프란시스코, 토론도, 워싱턴 및 Memorial tunnel에서 검증되어졌으며 세계 각국의 지하철시스템 설계에 적용되었다. 본 연구에서는 역사 양단과 연결된 본선 터널부 환기팬 운전 조건을 Fig. 1과 같이 산정하여 SES에 의한 1 차원 시뮬레이션을 수행하여 지하철 터널본선

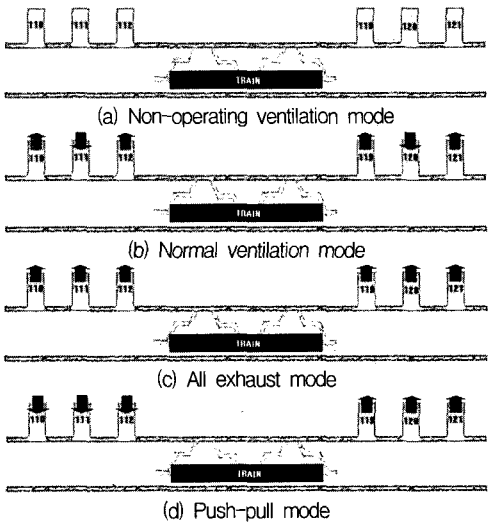

Fig. 1. Tunnel ventilation mode

Table 1. Ventilation mode

Case	Mechanical Ventilation System							
	Fan shaft at left tunnel			Track Exhaust System at Platform		Fan Shaft at right tunnel		
Position	110	111	112	UP	DOWN	119	120	121
1	■	■	■	■	■	■	■	■
2	■	■	■	■	■	■	■	■
3	■	■	■	■	■	■	■	■
4	■	■	■	■	■	■	■	■
	■ :Exhaust			■ :Intake		■ :Natural		

구간에서 유출입되는 풍량 및 승강장 계단부를 통해서 유출입되는 풍량을 구하였다. 이러한 풍량값은 3차원 시뮬레이션 수행 시 경계조건으로 적용하여 화재 시뮬레이션을 수행된다. Fig. 1은 지하철 본선 터널의 환기방식을 나타낸다. 110, 111 ,112는 역사를 기준으로 상행방향(전방)의 터널환기탑을 나타내며, 119, 120, 121은 역사기준 하향방향(후방)의 환기탑을 나타낸다. 또한 환기방식별 운전모드를 Table 1에 나타내며 각각의 터널환기팬 운전방식에 따른 환기방식을 알 수 있도록 팬의 가동에 의한 외부 신선공기의 유입 및 터널공기의 유출 방향을 도표로 나타냈다.

3.2. SES 모델링

Fig. 2는 SES 모델링을 나타낸다. 본 모델링은 기준역사(node 115 역사)를 중심으로 상행(node 106)과 하행(node 123) 역사를 포함한다. 따라서 기준역사

(node 115)와 상행(node 106) 및 하행(node 123)의 역사 및 터널본선구간(상행: node 1-6, node 19-23, 하행: node36-40, node 49-53)을 연계시켜 해석함으로서 터널본선구간 및 역사의 기류 해석 정확도를 높였다. 역사의 본선터널구간(상행: node 19-23, 하행: node 36-40)은 동일하게 상하행 모두 3개소의 환기소(하행 : node 110-112, 하행 : node 119-121)가 설치되어 있으며 중앙역사와 연결된 터널구간과 동일한 방식으로 환기를 실시한 결과로부터 터널내의 풍량이 계산되었다. Fig. 2에서 하방향으로 표시된 node 104-109는 지하철역사 내의 선로부 환기섹션을 나타내며 상부로 표시된 node 101-103, 110-112, 119-121은 터널의 환기섹션을 나타낸다. 또한 △으로 표기된 라인섹션은 선로의 구배 및 곡률반경에 따라 구간별로 입력된다.

3.3. SES 해석결과

(1) 중앙급기 양단배기 해석

Fig. 3은 Fig. 2를 기준으로 SES를 실행하여 얻은 기류방향(화살표방향), 기류속도(m/s), 공기유량(m^3/min)을 해석역사 (115 node 역사)를 기준으로 나타낸 결과이다. node 20-22는 환기섹션 110-112의 터널구간의 node를 나타내며 각 node 사이의 터널구간의 기류방향, 기류속도, 공기유량의 값을 표시하여 도시하였다. Fig. 3은 표기상 node 22와 23 구간 및 36과 37은 실질적으로 연속구간의 상태이나 표기상 불연속구간으로 나타내었다. node 23-36까지는 역사구간의 해석결과를 나타내며 계단부는 26-25, 26-28, 33-31, 33-34의 node로 연결된 구간을 나타낸다.

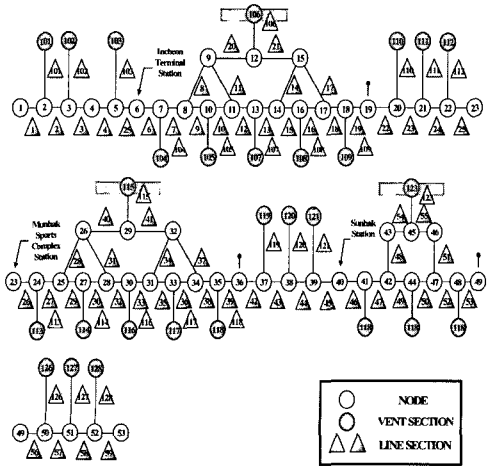

Fig. 2. SES input modeling of tunnel and platform

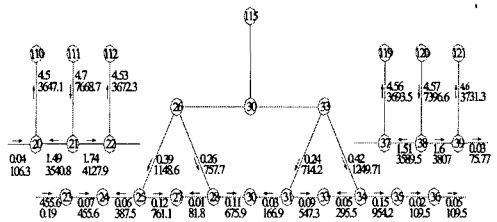

Fig. 3. Flow amount and direction of normal ventilation mode

1) 본선부에서 기류의 이동현상: 중앙 급기구에서 공급된 외기가 승강장 양단에 위치한 배기구로 1/2씩 균등하게 배기되는 특징을 나타낸다. 하행본선터널에서 유입되는 풍량은 (node24 기준) 약 450 m^3/min, 하행터널 방향으로의 유출은 (node36 기준) 약 109m^3/min으로 나타났다. 본선부에서 승강장으로 유출입 풍량은 무시할 정도로 작은 것으로 나타났다.

2) 승강장의 주기류 방향: 계단을 통해서 외기가 유입하여 승강장의 배기 시스템을 통해서 배기되는 것으로 나타났다. 또한, 계단부를 통해서 유입되는 풍량의 총합은 약 3870m^3/min로 나타났으며 선로부 배기시스템(TES: Track Exhaust System)으로 4215m^3/min이 배기된다.

(2) 전배기 해석

본선부의 환기팬을 모두 배기로 전환하여 배기하는 경우로서 Fig. 4에 결과를 나타낸다.

1) 본선부에서 기류의 이동현상: 역을 중심으로 양방향에서 배기하기 때문에 승강장 계단부로부터 많은 량의 공기가 승강장으로 유입되는 특징을 나타낸다. 유입된 공기는 상행방향 및 하행 방향으로 각각 6220m^3/min, 7128m^3/min으로 분배된다.

2) 승강장의 주기류 방향: 계단부를 통해서 유입되는 풍량은 17548m^3/min, 상행방향으로 유출되는 풍량은 6220m^3/min으로 나타났다.

하행방향으로 유출되는 풍량은 7128m^3/min이며 선로부 배기시스템으로의 배출은 4197m^3/min으로

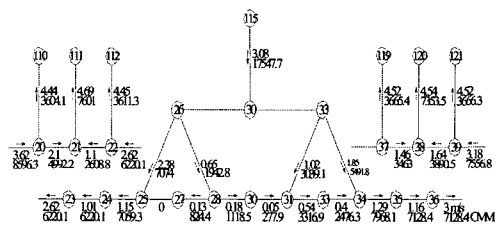

Fig. 4. Flow amount and direction of all ventilation mode

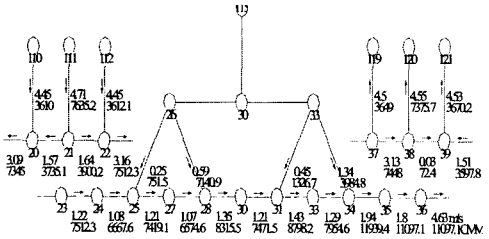

Fig. 5. Flow amount and direction of push-pull mode

나타났다. 승강장에서의 풍속은 중앙급기 양단배기보다 증가하는 특징을 나타내며, 승강장 양단으로 갈수록 풍속이 증가하는 경향을 나타냈다.

(3) 압인방식에 의한 배기

1) 본선부에서 기류의 이동현상: 압인방식의 특성상 하행 본선터널부의 가압(110, 111, 112)과 하행 본선터널부의 부압(119, 120, 121)으로 하행에서 상행방향의 일방향 기류 이동이 얻어진다.

2) 승강장의 주기류 방향: 승강장에서 주기류의 방향은 본선 터널부의 기류 이동현상으로 상행 방향에서 하행 방향으로 형성된다. 또한, 계단부로부터 외기가 유입되며 전 유입풍량은 7804m^3/min으로 전배기 방식보다는 유입풍량값이 적으나 비교적 많은 풍량이 유입하는 것으로 나타났다. 상행방향의 본선터널로부터의 유입 풍량은 7512.3m^3/min, 하행 본선터널부로의 유출풍량은 계단에서 유입되는 풍량의 영향으로 상대적으로 많은 11097.1m^3/min으로 나타났다. 또한, 선로부 배기시스템(TES: Track Exhaust System)을 통해여 4220m^3/min이 배출되는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 환기방식에 따라 승강장 유입 계단 풍량을 정리한 결과를 나타낸다. 상부층으로부터 승강장

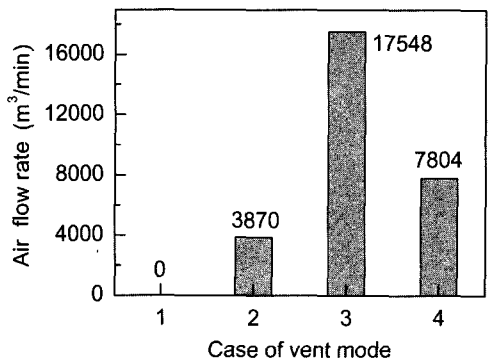

Fig. 6. Stairway intake airflow rate to platform

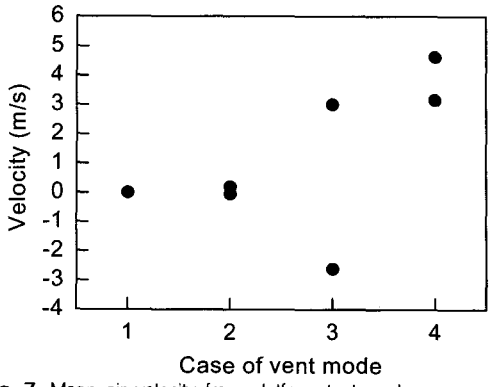

Fig. 7. Mean air velocity from platform to tunnel

으로 계단부를 통하여 유입되는 신선공기량은 case 3의 전배기 방식이 가장 많은 것으로 나타났다. 전배기방식의 유입량을 기준으로case 4의 압인방식은 45%, case 2의 양단배기 중압급기 방식은 22%를 나타냈다.

Fig. 7은 터널부의 환기팬의 가동으로 기류형성을 터널부로 유도하기 위한 효과를 알아보기 위해 SES의 계산결과로 얻어진 환기방식에 따른 승강장 선로부에서 본선 터널부로 유입되는 기류의 평균속도를 나타낸다. case 3의 전배기 방식은 상행터널방향과 하행터널방향으로 각각 3, -2.62m/s를 나타냈으며 case 4인 압인방식의 4.63, 3.16m/s 보다 낮은 속도를 나타냈다. 또한 case2의 중앙급기 양단배기방식은 승강장에서 터널구간으로의 생성된 기류의 속도는 0.2m/s 이하의 값을 나타냈다.

4. 승강장 화재해석

화재시 열 및 연기배출특성은 터널 및 승강장 기류에 영향을 받으므로 승강장의 배연 및 본선부 환기팬의 배연운전으로의 전환 조건에 따른 기류해석이 필수적이다. 본 연구에서는 환기팬의 운전모드방식 설정에 따른 운전조건에서 화재로부터 방출되는 열 및 연기배출 특성을 고찰하였다. 승강장 상하부 배기 시스템의 운전조건은 양단 모두 배기하는 것으로 설정하였다. 화재해석에 있어서 승강장의 경계조건은 환기운전모드별로 SES (Subway Enviromental Simulation)도출된 승강장기류를 사용하였다.

4.1. 해 석

본 연구에서는 화재 발생에 따른 열 및 발생물질

이동현상을 수치해석적으로 파악하기 위하여 미국 NIST (National Institute of Standards and Technology)의 FDS(Fire Dynamics Simulator) Ver.3을 사용하였다. 본 해석에서는 난류유동장 해석으로 LES(Large Eddy Simulation) 모델 및 연소모델로는 혼합분율모델(Mixture Fraction Model)을 적용하였다. 또한, 복사열전달해석 해석으로 유한체적법(Control Volume Method)을 적용하였다. 화재발생은 열차가 승강장에서 정차하여 발생되고 열차중앙1량이 완전 전소하는 조건이며 발화위치는 선로부 기준 2.6m 상부 지점으로 선정하였다. 해석은 이미 화재가 발생한 열차가 승강장에 진입하여 급속 확산하는 조건으로 SIMULEX로 해석한 대피시간 300초를 기준으로 계산을 수행하였다[7]. Table 2는 열차 및 승강장의 제원을 나타낸다. 본 연구에서 열차 및 승강장의 제원은 인천1기 지하철과 인천문학경기장 역사를 기준으로 설정하였다.

Fig. 8은 승강장구역 및 해석격자를 나타낸 것으로 해석에 적용된 총격자수는 648,000 (90×360×20)이다. 본 해석과 병행하여 예비 계산으로 총격자수 1,105,920 (64×720×24)로 길이방향으로의 격자길이를 1/2로 축소함과 동시에 전 해석구간의 그리드수를 2배로 증가시켜 동일한 화재 및 환기조건하에서 계산하여 승강장 평균 온도 및 연기농도를 비교한 결과 본 해석에서 적용한 총격자수 648,000의 계산 결과와 평균적으로 약1.8%의 계산오차를 보였다. 따라서, 본 해석의 환기조건별 승강장 배열 및 배연특성의 상대 비교에 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 본 연구에서는 승강장 전면적을 대상으로 화재시 환기기 운전방식에 따라 승강장 평균온도 및 평균연기농도를 산출하여 비교하기 위해, 각각의 계산조건에 동일한 격자수를 적용하였다. 각 조건별 계산수행시간은 1GB RAM이 장착된 2.4GHz Pentium4 기준으로 약 30시간이 소요되었다. 본 연구에서 얻어진 계산결과는 FDS/Smokeview Tool에서 제공된 FDS2ASCii의 실행 프로그램을 활용하여 텍스트 파일로 데이터를 변환시켜 승강장의 평균온도 및 평균농도의 계산을 수행하였다. 화재강도는 미국 NFPA규정에 의해 최근에 설계된 Los Angeles (21.4 MW적용)와 Boston transitway (20MW)에 적용한 화재강도에 준하는 값으로 20MW로 가정하였다[8]. Table 3은 환기팬 운전조건에 따른 경계조건을 나타낸다. 본 해석에서는 1량의 지하철 차량이 전소되는 조건으로 HRRPUA값을 설정하였다. 또한, 대구지하철화재참사 이후 객차의 내장재는 불연화로 이루어지고 있는 점 및 추후 화재시에 가연성물질에서 발생되는 연기는 상대적으로 감소한다는 가정하에 가연성물질은 FDS의 default값인 propane을 사용하였다.

4.2. 배연설비기준

현재 국내에는 지하철 화재시 배연설비를 위한 설계 기준이 제시되어 있지 않은 관계로, NFPA 130(1997)에 준하여 설계되고 있다. 따라서, 화재시 연설비기준으로 다음의 조건을 만족토록 하였다.

1) 화재 시 대피공간의 공기 온도는 60℃를 초과하지 않도록 한다.

2) 연기에 의한 가시거리는 발광체는 30 ft(9.144 m), 출입문, 벽, 계단 등과 같이 스스로 발광하지 않는 반사체는 20 ft (6.096 m)에서 식별 가능하도록 한다.

Table 2. Platform dimension

구분		제원 (m)	비고
승강장	바닥높이	1.6	상대식
	천장높이	3	
	길이	185	
	승강장폭	4	
선로부	단면적	41.04 (W7.6×H5.4)	복선식
열차제원	폭	2.75	8량 기준
	높이	3	
	에어컨높이	0.5	
	열차길이	144.5 (18.m/량)	

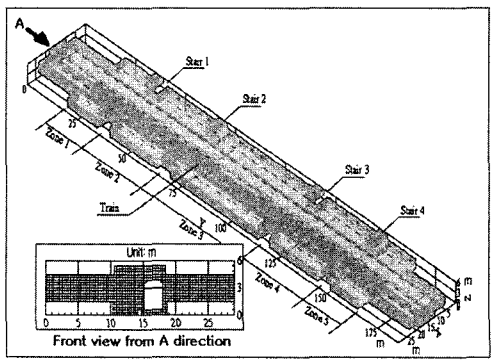

Fig. 8. Grid generation and dimension of platform

Table 3. Boundary condition for each ventilation modes

Case	조건 (터널 구간)	초기 온도	발열량 (kW/㎡)	경계조건 (풍량 : m^3/min)		
				상행방향	하행방향	계단부
1	급배기 무작동	30℃	484.85 화염면 (2.75×15m)	Open (압력 경계조건)	Open (압력 경계조건)	Open (압력 경계조건)
2	중앙급기 양단배기			455.6 (유입)	109.5 (유출)	
3	전배기			7128 (유출)	4198 (유출)	
4	압인 배기			7512 (유입)	11097 (유출)	

4.3. 연기농도의 산출

가시거리에 대한 평가는 발광원에서 발광한 빛이 일정한 거리 L에 위치한 수광원에 도달할 때 발광원과 수광원에서 수광되는 빛의 강도비를 나타내는 소광계수(extinction coefficient) K에 의해 평가된다. 발광원에서 빛의 강도 Io와 수광원에서 빛의 강도 I, 소광계수 K의 관계는 식 (1)와 같다.

$$I/I_o = e^{-KL} \tag{1}$$

또한, 소광계수는 빛의 소멸정도를 나타내는 값으로 빛의 소멸은 빛의 전파 경로 및 탄소입자에 의한 빛의 흡수에 의해서 발생하므로 소광계수는 연기농도에 영향을 받는다. 소광계수 K와 연기농도 ρY_s와의 관계는 식 (2)으로 표기된다.

$$K = K_m \cdot \rho Y_s \tag{2}$$

여기서, K_m specific extinction coefficient로서 7.6 m^2/kg의 값을 갖는다. 소광계수 K와 가시거리 S와의 관계식은 식 (3)와 같다.

$$S = C/K \tag{3}$$

C는 연기의 종류 및 상황에 따라 적용되는 상수로서 빛을 발광하는 물체의 경우 C=8이며, 반사체에 대해서는 C=3을 적용한다.

따라서, 가시거리에 대한 NFPA기준, 즉, 발광체는 9.144m, 출입문 또는 벽과 같은 반사체는 6.096m에서 식별되어야 한다. 따라서, FDS의 계산으로부터 얻어진 연기농도의 값은 식 (2)와 (3)으로부터 식 (4)로 정리된다.

$$\rho Y_s = \frac{C}{K_m \cdot S} \tag{4}$$

따라서, 식 (4)로 부터 대피에 확보되어야 할 가시거리는 65mg/m^3으로 계산된다.

4.4. 승강장부 평균온도 및 평균연기농도

Fig. 9는 승강장 바닥으로부터 1.5m 상부의 2차원 공간평면을 기준으로 계산된 승강장 평균 연기농도 Sm를 나타내며 식 (5)로 정의하였다.

$$Sm = \frac{\sum(Si \cdot Ai)}{\sum Ai} \tag{5}$$

위 식에서, Sm은 승강장 평균연기농도를 Si는 격자연기농도, A는 격자면적을 i는 격자를 나타낸다.

무배연 조건의 case1은 화재발생 170초 경과 이후부터는 승객이 대피하기 부적합한 65mg/m^3 이상의 연기농도로 나타났다. case2, 3, 4의 경우는 대피에 요구되는 가시거리의 확보가 가능한 결과로 나타났다. 특히 case3과 case4의 방식으로 배연하는 경우는 승강장 대부분이 30mg/m^3이하의 낮은 값으로 나타남에 따라 대피하기에 충분한 가시거리확보가 가능한 것으로 나타났다.

Fig. 10은 승강장 바닥면으로 부터 1.5m 상부의 2차원 공간평면을 기준으로 계산된 승강장 평균 온도 Tm을 나타내며 식 (6)으로 정의하였다.

$$Tm = \frac{\sum(Ti \cdot Ai)}{\sum Ai} \tag{6}$$

위 식에서, Tm은 승강장 평균온도, Ti는 격자온도, A는 격자면적을 i는 격자를 나타낸다.

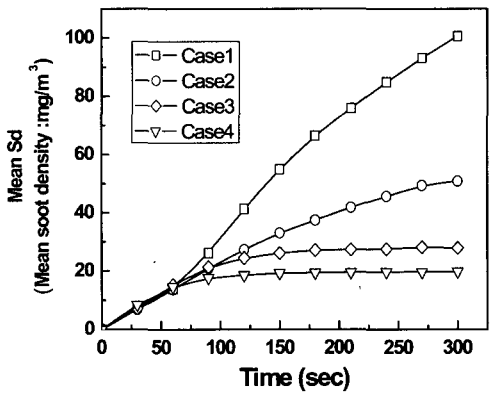

Fig. 9. Mean soot concentration of platform area

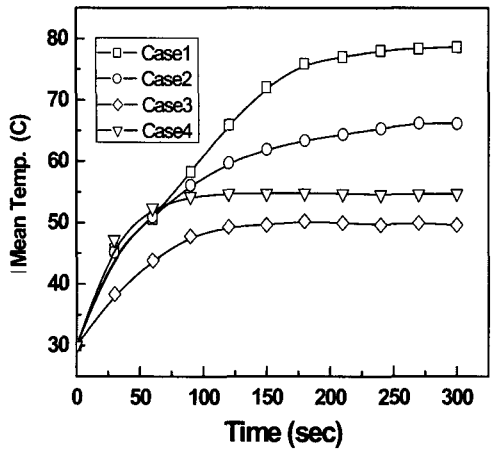

Fig. 10. Mean temperature of platform area

Case1의 무배연 조건과 case2의 양단배기 중앙급기의 경우는 화재발생 110초 전후로부터 승객이 대피하기 부적합한 60℃ 이상의 승강장 온도로 나타났다. Case 3, 4의 경우는 대피에 요구되는 60℃ 이하의 결과로 나타났다. 특히 case3의 방식으로 배열하는 경우는 승강장 대부분이 50℃ 이하의 낮은 값을 나타냈다.

Fig. 11은 승강장 바닥으로부터 1.5m 상부의 2차원 공간 평면을 기준으로 화재발생 300초까지 배연방식기준 65mg/m^3 이상 농도에 의한 승강장 점유율(%)을 나타낸다. 본 연구에서의 대피기준인 65mg/m^3 이상 연기농도의 승강장 점유율은 식 (7)로 계산하였다.

$$AC\% = \frac{A65C}{A} \tag{7}$$

AC%는 65mg/m^3 이상 농도에 의한 승강장 점유율(%), A65C는 65mg/m^3 이상 농도의 승강장 점유면적(m^2)을 A는 승강장 전면적(m^2)을 나타낸다.

Case1의 무배연의 경우 승강장의 80.9%가 대피하기에 부적합한 65mg/m^3 이상의 연기농도로 나타났다. Case3과 4는 각각 1.8%과 1.53%의 극히 낮은 분포도를 나타냄에 따라 case4의 압인배연방식이 가장 우수한 연기배출특성을 나타내었다.

Fig. 12는 승강장 바닥으로부터 1.5m 상부의 2차원 공간 평면을 기준으로 화재발생 300초까지 배연방식기준 60℃ 이상의 온도에 의한 승강장 점유율을 나타낸다. 본 연구에서의 대피기준인 60℃ 이상 온도의 승강장 점유율은 식 (8)로 계산하였다.

$$AT\% = \frac{A60T}{A} \tag{8}$$

위 식에서 AT%는 60℃ 이상 온도에 의한 승강장 점유율(%), A60T는 60℃ 이상 온도에 의한 승강장 점유 면적(m^2)을 A는 승강장 전면적(m^2)을 나타낸다.

Case1의 무배열의 경우 승강장의 73.25%가 대피하기에 부적합한 60℃ 이상의 승강장 공기온도로 나타났다. Case3과 4는 각각 17.43%과 20.96%의 낮은 분포도를 나타냄에 따라 case3의 전배기방식이 가장 우수한 배열특성을 나타내었다.

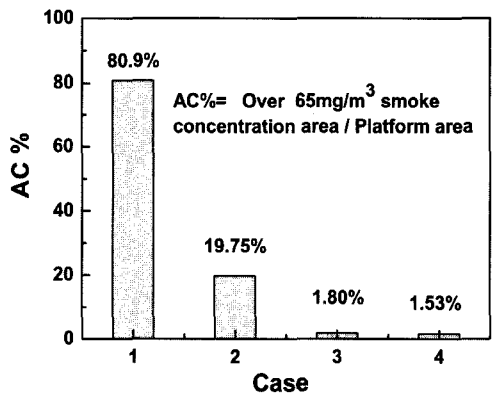

Fig. 11. Percentage of over 65mg/m³ soot concentration's share at platform for each case

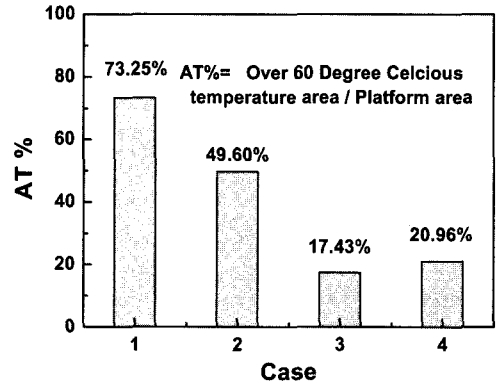

Fig. 12. Percentage of over 60℃ temperature's share at platform for each case

5. 결 론

승강장 열차화재를 대상으로 지하철 터널부로의 열 및 연기배출 특성을 밝히고자 터널부 환기운전 모드의 변화에 따른 배연해석으로부터 다음의 결론을 얻었다.

1) 상부층으로 부터 계단부를 통하여 승강장으로 유입되는 신선공기량은 전배기 방식이 가장 많은 것으로 나타났다.

2) 승강장 선로부에서 본선 터널부로 유입되는 기류 속도는 전배기 방식이 최대인 반면 상행과 하행방향으로 양분됨에 따라 상행방향과 하행방향으로 각각 3, -2.62m/s 로 압인방식의 4.63, 3.16m/s 보다 낮은 속도를 나타냈다.

3) 승강장 바닥으로부터 1.5m 상부의 2차원 공간 평면을 기준으로 화재발생 300초를 대상으로 나타낸 배연설비기준 65mg/m^3 이상의 농도에 의한 승강장 점유율의 결과로부터 압인배연방식이 가장 우수한 승강장 배연특성을 나타냈다.

4) 승강장 바닥으로부터 1.5m 상부의 2차원 공간 평면을 기준으로 화재발생 300초를 대상으로 나타낸 배연설비기준 60℃ 이상의 온도에 의한 승강장 점유율의 결과로부터 전배기방식이 가장 우수한 배열특성을 나타냈다.

5) 계단풍량의 증대는 연기농도의 저감효과보다는 승강장 온도를 낮추는데 효과적이며 연기농도의 저감효과를 위해서는 승강장의 기류를 단일방향으로 유지시켜 터널구간으로 배출시키는 방식이 효과적으로 나타났다.

참고문헌

1) Anthoky J. Plolicastro, "The use of technology in preparing subway system for chemical/biological terrorism", Argonne National Laboratory, Safety and Security, pp. 1~20.
2. Bjrn Karlsson, James G. Quintiere, "Enclosure Fire Dynamics", CRC, 2000.
3. K. Opstad, P. Aune and J. E. Henning, "Fire emergency ventilation capacity for road tunnel with considerable slop", 9th International Conference on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnel, pp. 535~543, 2000.
4. 이상호, 이재복, "대구지하철 사고에 따른 화재의식조사 및 방재의식변동모형에 과한 연구", 화재소방학회논문지, 제17권, 제3호, pp. 45~49, 2003.
5. 김진수, 박종근, 노삼규, "지하공간의 피난안전성 평가시스템 개발에 관한 연구", 화재소방학회지 논문지, 제17권, 제4호, pp. 57~63, 2003.
6. 박외철, "대구지하철역 제연의 문제점과 대책", 화재소방학회논문지, 제17권, 제4호, pp. 105~110, 2003.
7. 이동호, "터널내 환기방식에 따른 승강장 안전성 평가에 관한 연구", 제4차 터널기계화 시공기술 심포지움 논문집, pp. 231~244, 2003.
8. NFPA, "The SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA Third Edition, Quincy, MA. 3~28, 2000.