

지하철 배연설비 운전방식에 따른 열 및 물질이동특성

이동호 · 유지오* · 조정훈**

인천대학교 안전공학과 · *신홍대학 건축설비과 · **우원M&E

1. 서 론

지하공간에서의 화재는 반밀폐 공간이라는 특수성으로 일단 화재가 발생할 경우 대구지하철화재 참사와 유사한 대형참사로 발전된 가능성은 상존한다. 지금까지의 방재계획은 화재발생 가능 범위 내를 기준으로 실시되어 왔으나, 테러와 같은 비정상적 화재 발생에도 대처가능한 선까지 그 범위를 넓히고 있는 세계적 추세이다.¹⁾ 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 600 km를 상회할 것으로 예상됨에 따라 금번 대구지하철참사를 계기로 보다 내실화된 방재계획이 요구되는 현실이다. 본 연구는 대구지하철화재 참사를 계기로 지하공간 방재연구의 한 분야로 지하철 승강장에서 열차 화재 발생시, 승객의 안전한 대피로 확보가 가능한 환기기 조합운전의 도출을 목표로 한다. 지하승강장을 대상으로 승강장내 기류해석 및 3차원 화재시물레이션을 수행하여 열차화재에 따른 승강장내 열 및 물질이동특성해석으로부터 운전모드에 따른 배연특성을 규명함으로써 승객안전성 확보에 목표를 둔다.

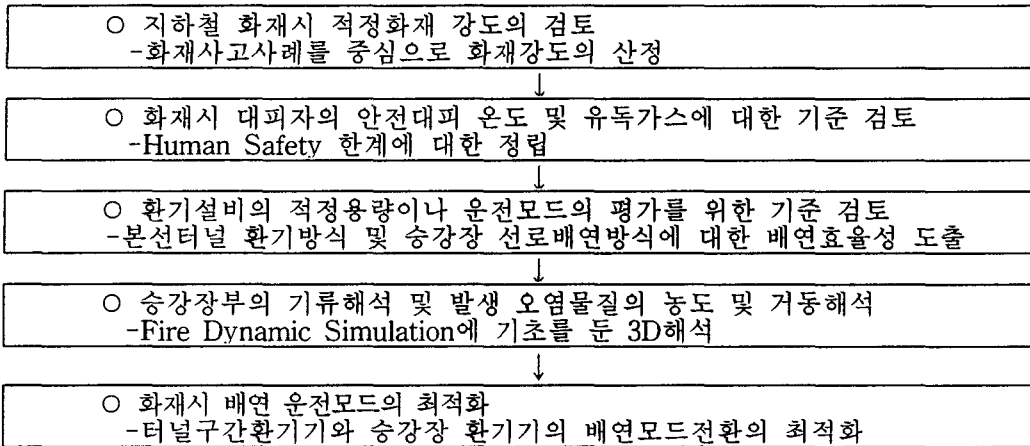
2. 지하철 배연설비에서 요구되는 평가 항목

승강장에서 열차 화재가 발생하는 경우 화재의 특성(화재의 성장 특성, 화염의 전파, 연기의 확산 등)은 화재강도(Heat Release Rate)가 동일하다면 화재 열차 주변의 기류의 상태에 가장 큰 영향을 받게 된다. 따라서 승강장에서 주기류의 상태에 가장 크게 영향을 미치는 승강장 상하부의 급배기 조건 및 본선구간의 환기팬의 가동조건이 화재시 화재 특성에 주된 영향을 미치게 된다. 지하철역사 화재해석을 기준으로 배연설비의 성능평가를 수행하기 위해서는 Table 1과 같은 일련의 연구를 필요로 한다

Table 1 지하철화재해석의 흐름도

○ 지하철 승강장에서의 화재시 시나리오 따른 대피시간 검토
-SIMULEX Program을 활용한 승강장대피 시간도출





3. 승강장 화재해석

화재 시 열 및 물질이동특성은 터널 및 승강장 기류에 영향을 받으므로 승강장의 배기 및 본선부 환기팬의 운전 조건에 따른 기류해석이 필수적이다. 본 연구에서는 환기팬의 운전모드방식 설정에 따른 운전조건에서 화재로부터 방출되는 열 및 발생물질이동 특성을 고찰하였다. 상하부 배기 시스템의 운전조건은 양단 모두 배기하는 것으로 설정하였다. 운전모드별 지하공간내 기류에 대한 해석은 SES(Subway Environmental Simulation)를 적용하여 화재해석의 경계조건으로 도출하였다. 본 연구에서는 역사 양단에 설치된 본선부 환기팬 운전 조건을 다음과 같이 선정하였고 본선구간에서 유출입되는 풍량 및 계단부를 통해서 유출입되는 풍량을 구하였다.

환기팬 운전 조건

1. Case1: 환기팬의 가동을 정지하는 경우, 역사 양단 환기팬의 가동을 중지하고 승강장부의 배연을 위한 상하부 배기만을 가동하는 경우
2. Case2: 평상시 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: 압인 방식에 의한 배연, 역사를 중심으로 역사의 한쪽 환기팬은 모두 급기하고 또 다른 방향의 환기팬은 모두 배기하여 역사에서 주기류 방향을 한방향으로 동일하게 유지하는 경우

3.1 해석

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. 본 해석에서는 난류유동

장 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 300초 대피시간에 대해 계산을 수행하였다. 승강장의 제원 및 해석격자를 Table 2 에 나타냈다.

Table 2 승강장 제원

구분		제원 (m)	비고
승강장	바닥높이	1.6	상대식
	천장높이	3	
	길이	185	
	승강장폭	4	
선로부	단면적	41.04(폭 7.6× 높이5.4)	복선식
	열차제원	폭 2.75	
	높이	3	
	에어컨높이	0.5	
	열차길이	144.5 (18.0625m/량)	8량 기준

Fig.1은 승강장구역 및 해석격자를 나타낸 것으로 해석에 적용된 총격자수는 64,800(90x360x20)이다.

화재강도는 미국 NFPA규정에 의해 최근에 설계된 Los Angeles(21.4 MW적용)와 Boston transitway(20 MW)에 적용한 화재강도에 준하는 값으로 20 MW로 가정하였다. Table 3은 환기팬 운전조건에 따른 경계조건을 나타낸다.

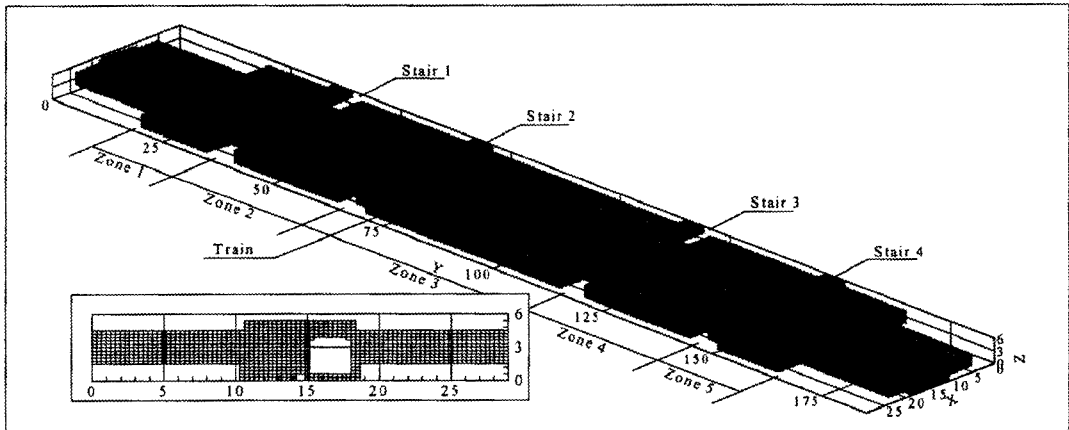


Fig.1 승강장구역 및 해석격자

Table 3 환기팬 운전모드별 경계조건

Case	조건	초기 온도	발열량 (kW/m ²)	경계조건(풍량 ; m ³ /min)		
				터미널 방향	선학역 방향	계단부
1	환기팬을 가동하지 않는 경우	30	484.85 화염면 (2.75 × 15 m)	Open (압력 경계조건)	Open (압력 경계조건)	Open (압력 경계조건)
2	본선 환기팬 중앙급기+양단배기			455.6 (유입)	109.5 (유출)	
3	본선 환기팬 배기			7128 (유출)	4198 (유출)	
4	하행역방향 본선부 급기+상행역방향 본선부 배기			7512 (유입)	11097 (유출)	

3.2 배연설비기준

현재 국내에는 지하철 화재 시 배연설비를 위한 설계 기준이 제시되어 있지 않으며, NFPA 130(1997)에 준하여 설계하고 있다. 따라서, 화재 시 배연설비기준으로 다음의 조건을 만족토록 하였다.

1. 화재 시 대피공간의 공기 온도는 60℃를 초과하지 않도록 한다.
2. 스모그에 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 배연시설을 갖추도록 정하고 있다.

4. 결 과

Fig.2는 승강장 바닥 1.5 m상부위치의 호흡선에서 발화후 300초의 온도분포를 배연 방식별로 비교한 것으로 Case1과 Case2의 온도 분포는 거의 비슷한 경향을 나타낸다. Case1의 경우 zone 3을 중심으로 zone 2와 4의 역역의 온도는 각각 70℃이상 60℃미만을 나타냈으며 Case2보다 Case1의 배연조건이 보다 양호한 것으로 나타났다.

Case3의 경우(c)는 승강장 풍속이 증가하여 열기류의 확산효과가 크기 때문에 국부적으로 60℃이상의 온도를 보이고 있으나 전체적으로 70℃이하의 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℃이하의 온도 분포를 나타냈으며, 화재하루지역인 zone3~5영역은 60~70℃의 분포로서 승객의 대피에는 큰 문제가 없을 것으로 나타났다.

Fig.3은 가시거리의 척도인 매연농도를 나타낸 것으로 Case2의 경우(b)가 가장 높은

농도로 나타났으며, 65 mg/m³을 초과함으로써 승객의 대피에 부적합한 영역이 상당부분 존재하는 것으로 나타났다. 그림(a)는 Case1로 대부분의 지역의 가시거리가 65 mg/m³으로 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.

Case3과 Case4로 배기하는 경우 승강장 대부분이 65 mg/m³이하로 나타남에 따라 대피하기에 충분한 가시거리확보가 가능한 것으로 나타났다.

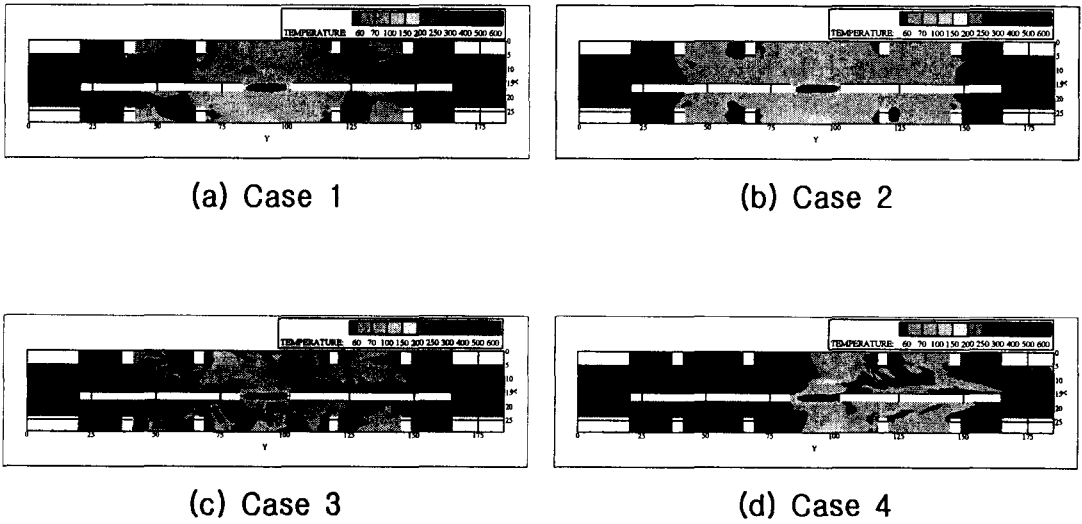


Fig.2 환기방식별 온도 분포 비교

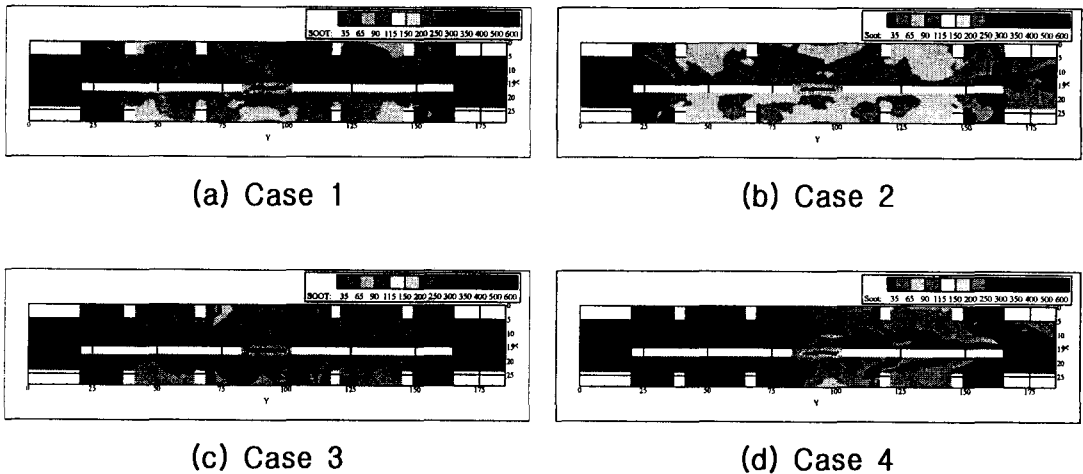


Fig.3 매연(smoke particle)농도 분포

5. 결 론

이상의 결과를 종합하여 대피로 확보에 가장 효과적인 환기방식은 전배하는 Case3과 압인 1 방식인 Case 4가 효과적이다. 그러나 Case 4의 압인방식의 경우에는 화재 하류 지역으로의 확산이 초기에서부터 이루어지기 때문에 화재 하류지역의 승객의 초기 대피에 문제를 야기할 수 있다. 따라서 화재가 승강장의 중앙에서 발생하는 경우는 본선부 양단에 있는 모든 팬을 배기하는 방식이 가장 효과적이다. 화재의 위치가 승강장의 양단으로 편심하는 경우는 Case 4의 압인방식으로 환기하는 것이 가장 효과적이다.

따라서, 승객의 신속한 대피로 확보 여부는 지하철 승강장 화재 발생위치별 배연설비 운전방식에 따라 열 및 물질이동특성에 좌우되며 정확한 화재위치의 초기파악에 따라 배연설비 운전방식의 선정이 이루어져야 한다.

참고문헌

- (1) Anthoky J. PloICASTRO, "The use of technology in preparing subway system for chemical/biological terrorism", Argonne National Laboratory ,Safety and Security
- (2) Y.Wu, M.Z.A Baker and G.T.Atkinson and S. Jagger,"A study of the effect of tunnel aspect ratio on control of smoke flow in tunnel fire",9th International Conference on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnel,1997, pp.573-587
- (3) K.Opstad, P.Aune and J.E.Henning, "Fire emergency ventilation capacity for road tunnel with considerable slope", 9th International Conference on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnel, pp. 535-543
- (4) Björn Karlsson, James G.Quintiere, "Enclosure Fire Dynamics",2000,CRC
- (5) NFPA,"The SFPE handbook of fire protection engineering",
NFPA Third edition, 2000, Quincy, MA.
- (6) NFPA,"Fire protection handbook",NFPA 18th edition,1998, Quincy, MA.