

전산열유체 해석결과를 이용한 지하역사 제연모드 승객피난 성능평가

박원희*, 장용준**, 이한수**, 장희철***, 이덕희**

Performance Evaluation of Passengers' Evacuation for Smoke-Control Modes in a Subway Station Based on CFD Results

Won-Hee Park*, Yong-Jun Jang**, Han-Su Lee**, Hee-Chul Chang*** and Duck-Hee Lee**

Key Words : Subway Station(지하역사), Smoke-Control Mode(제연모드), Passenger egress(승객피난)

Abstract

Heat/smoke detectors are installed in most subway platforms in Korea to detect fire. Subway platform is divided by smoke-control zones for efficient smoke-control. Once the detectors detect heat or smoke, the smoke-control ventilation system in the platform and concourse is activated according to the smoke-control ventilation mode. Smoke-control mode during fires in Korean subway platforms is that the smoke zones operate by exhausting smoke while other zones in the platform and in the concourse which is the upper floor of the platform operate by supplying air or stopping any ventilation. This study is conducted to evaluate performance of passengers' evacuation for various smoke control modes in the subway station. Distribution of smoke and heat due to fire on the platform is analyzed by using Fire Dynamics Simulator(FDS V 4.06) of NIST. Various smoke-control ventilation modes and locations of fire are considered. Evacuation and movement of passengers within the platform is simulated by building EXODUS V 4.0.

1. 서론

지하철 화재의 피해를 최소화하기 위하여 다방면에서 연구가 진행되고 있다. 가장 확실하고 정확한 정보획득은 실험을 통한 계측 연구이다. 그러나 실제 운영 중인 역사나 터널 내에서 실제 화재를 이용한 실험은 매우 높은 위험성, 통제하기 어려운 넓은 공간, 장시간 실험을 할 수 없는 시간적인 제약 등의 문제점으로 인하여 실질적으로 대량의 정보획득을 위한 실험을 수행하기가 어렵다고 판단된다. 제한된 열방출율의 폴화재를 이용한 지하철 승강장에서의 화재 열거동특성을 Hasemi et al.[1]이 검토한바 있으며, 부력 효과 및 연기를 가시화하여 연기 거동 특성을 예측할 수 있는 실험이 실제 역사에서 수행된바 있다 [2,3]. 또한 지하역사에서 화재발생시 수치해석을 이용하여 구한 열 및 연기 거동에 대한 논문 들[4,5]이 발표된바 있다.

본 논문에서는 지하역사에서 화재발생시 여러 제연모드에 따른 승객피난에 대한 수치해석이 수행되었다. 승객 피난 현상은 EXODUS를 이용하여 계산되었으며, 이 프로그램에 입력 값으로 사용되는 지하역사에서 화재발생으로 인한 온도, 연기, 독성가스 분포는 화재발생시 여러 제연모드 하에서 예측되었으며 이를 위하여 FDS 프로그램을 사용한 결과를 이용하였다.

2. 본론

2.1 해당 지하 역사

서울 지하철 4호선 수유역을 연구대상으로 고려하여 수치 해석을 통한 피난시뮬레이션을 수행하였다. 수유역사는 승강장 형태가 상대식으로 승강장의 규모는 20.4m(W)×205m(L)×6.0(H)으로 지하 1층 역 대합실, 지하 2층 승강장으로 구성되어 있으며, 승강장과 대합실을 연결하는 내부계단은 승강장에 8개가 설치되어 있다. 그림 1은 서울 지하철 4호선 수유역사의 개요도이다.

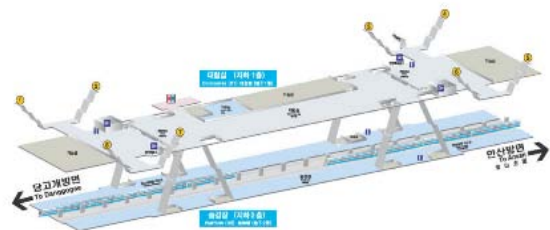


Figure 1 Skeleton Drawing of the Suyou Station of Seoul Subway Line 4

* 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, whpark@krri.re.kr
** 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀
*** 중앙대학교 대학원

2.2 고려된 제연모드

Table 1과 같은 조건을 고려하였으며 Case 2는 화재가 발생하지만 제연장치가 작동되지 않는 경우를 나타내며, Case 3과 4는 5번째 객차에서 화재가 발생한 경우이고 Case 5는 1번째 차량에서 화재가 발생한 경우이다. Case 3과 4의 차이는 터널 환기가 작동되기 시작한 시간이 각각 4, 10분으로 다르다. Case 1은 화재가 발생하지 않은 경우의 피난 시간과 비교하기 위하여 고려하였다.

Table 1 Emergency mechanical ventilation

	Time(min.)	Smoke Zone (Platform)	No-Smoke Zone (Platform)	Tunnel	The origin of a fire
Case 1	No fire occurred				
Case 2	continually	stop	stop	stop	5th cabin*
Case 3	0 ~ 2	exhaust	stop	stop	
	2 ~ 4	exhaust	exhaust	stop	
	4 ~	stop	stop	exhaust	
Case 4	0 ~ 2	exhaust	stop	stop	
	2 ~ 10	exhaust	exhaust	stop	
	10 ~	stop	stop	exhaust	
Case 5	0 ~ 2	exhaust	stop	stop	1st cabin**
	2 ~ 4	exhaust	exhaust	stop	
	4 ~	stop	stop	exhaust	

* [화재위치:x=7.7m(열차중앙), y=100.0m(열차5량), z=1.8m(열차 바닥)]-중앙지점

** [화재위치:x=7.7m(열차중앙), y=6.5m(열차1량), z=1.8m(열차 바닥)]-승강장끝단지점

서울지하철 4호선 당고개~남태령 구간은 2006년도 5, 10월 수송현황 통계 자료와 선바위~오이도 구간은 2006년도 하반기 수송현황의 통계자료를 이용하여 피크시간(AM08:00~09:00)때의 인원을 대상으로 하였다. 상·하행 승강장 대피인원 및 객차탑승 인원은 Visual FORTRAN 6.0을 사용하여 제작된 상대식역사 상·하행 대기 프로그램(CPaPa ver.1.0)[8]을 이용하여 산정하였다. 이 프로그램을 이용하여 구한 서울지하철 4호선 수유역사 피크시간 (AM08:00~09:00)때의 피난인원은 열차탑승인원(상행:2,532명, 하행:624명), 승강장대기인원(상행:604명, 하행:44명)으로 총 3,804명이다.

2.3 피난 시뮬레이션 수행

피난 해석에서 고려한 화재영향인자는 온도, CO 및 가시거리(감광계수)이며, 이는 전절에서 소개하였듯이 각 제연모드 조건별 화재 열·연기 유동해석(FDS)를 통하여 구하여진 값이다. 화재영향인자를 고려하기 위하여 Figure 2와 같이 승강장을 길이(205m)를 10m간격으로 20개의 zone, 마지막은 5m간격으로 1개의 zone으로 상·하행 총 42개의 영역으로 분할하였다. 각각의 영역에서의 화재영향인자는 각 zone 내부의 3개의 위치(각 존 내부의 $\Delta x=2.5m$, $\Delta y=5m$, $\Delta z=7.5m$ 지점)에서의 평균값으로 산출되었다. 이러한 값들은 화재영향을 고려하기 위하여 시간대별로 피난해석 도구인 EXODUS의 화재영향인자 (위험도, Hazard) 입력 값으로 사용하였다.



Figure 2 Zone for considering fire hazard in EXODUS

3. 결과

3.1 가시도 결과

스위치 제연모드 적용 시 환기 전환시간(승강장 제연에서 터널제연으로 변경되는 시간)의 차이에 상관없이 제연장치가 작동하지 않은 경우(Case 2)에 비하여 열 및 연기를 터널로 빠르게 배출시키며, 또한 피난자의 가시거리 확보에도 유리하게 나타났다. 터널제연은 터널환기구와 가장 근접한 상·하행 방향의 승강장 끝단에서 제연효과가 가장 확실하게 보여주었다. 동일한 수치해석 조건에서 화재 위치만을 변경하여 수행하였던 5번째 차량에서 화재(Case 3)와 1번째 차량에서 화재(Case 5)를 비교한 결과 화재의 발생위치가 터널에 인접한 경우 터널의 환기팬의 작동으로 더욱 신속하게 열 및 연기를 배출시키는 것을 확인할 수 있었다. 터널 환기팬 작동시간에 따른 화재성상 예측을 위하여 수행한(Case 3, 4)결과 터널의 환기팬 작동은 열 및 연기를 빠르게 승강장으로부터 배출시키는 역할을 하지만 유독가스 등이 배출되는 과정에서 피난자의 호흡높이 또는 시야높이에 빠르게 전파시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 따라서 모든 승객이 피난이 이루어진 후 터널 환기팬을 작동되어야 할 것으로 사료된다. Figure 3은 발화 600초 후 화재가 발생한 열차가 정차된 승강장 중앙(승강장 바닥기준 1.7m)을 길이방향으로 가시거리 분포를 보여주고 있으며, Figure 4는 승강장 바닥기준 1.7m높이에서의 가시거리 Contour이다.

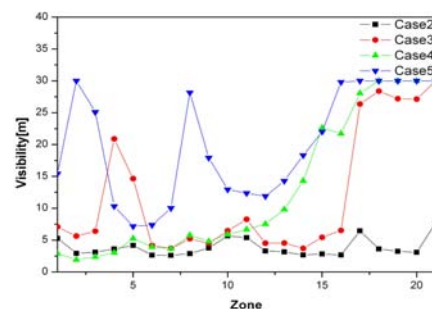


Figure 3 Visibility distributions along platform center line at 1.7m high above the platform floor(t=600sec)

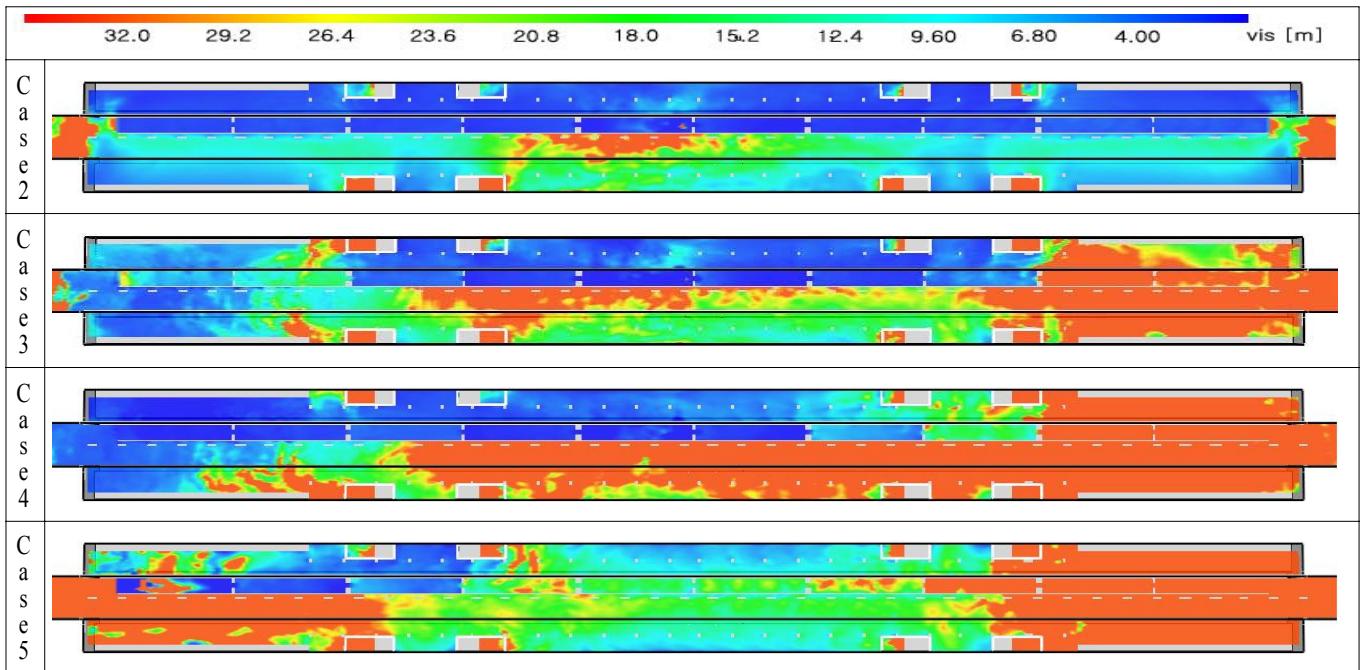


Figure 4 Visibility contours at 1.7m above the platform floor(t=600sec)

3.2 해당 지하 역사

Table 2에서는 Table 1의 조건과 같은 상황에서의 화재, 열 및 연기 유동영향을 고려한 승객피난완료 시간을 보여주고 있다. 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침 (2002.11. 건설교통부)에 따르면 대피시간 기준은 승객이 4분 이내에 승강장에서 벗어나고, 6분 이내에 연기나 유독가스로부터 안전한 외부출입구를 벗어나도록 되어있다. 하지만 피난인원의 밀집도와 혼잡도, 병목현상의 유·무에 따라서 피난시간이 길어진다. 가장 지연되는 원인은 아래 Figure 5와 같이 피난인원이 객차의 출구 및 승강장과 대합실로 연결된 내부계단에서 가장 많이 밀집되는 병목현상으로 인해 피난시간이 지연된다는 점을 알 수 있다.

Table 2 Passengers' egress time

	피난완료시간
Case 1	15분 03초
Case 2	24분 08초
Case 3	23분 56초
Case 4	20분 04초
Case 5	16분 41초

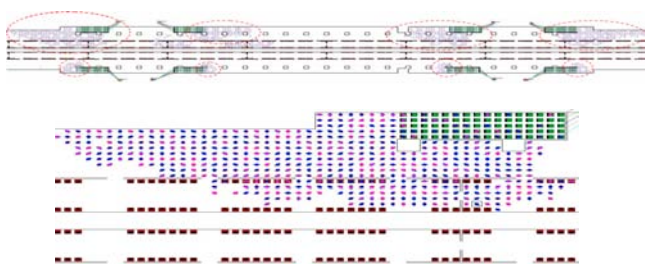


Figure 5 Bottleneck state of passenger evacuation

단순피난(Case 1)의 경우 15분 03초 소요되었으며, 열 및 연기 유동시물레이션 결과값을 이용하여 화재영향을 고려하였을 경우(Case 2)는 24분 08초 소요되었다. 많은 피난인원수 산정으로 인해 병목현상이 일어났으며, 피난인원의 반응시간과 관계없이 병목현상으로 인해 피난시간이 늘어났다. 스위치 제연모드 적용 시 환기 전환시간(승강장 제연에서 터널제연으로 변경되는 시간)의 4분으로 설정 하였을 경우 (Case 3) 피난완료시간은 23분 56초 소요되었으며 스위치 제연모드 적용 시 환기 전환시간(승강장 제연에서 터널제연으로 변경되는 시간)의 10분으로 설정 하였을 경우 (Case 4) 피난완료시간은 20분 04초 소요되었다. 환기 전환시간이 4분으로 설정 하였을 경우(Case 3) 보다 10분으로 설정 하였을 경우(Case 4)가 제연 성능이 우수하여 피난 완료시간을 약 4분 04초 단축하였다. 승객피난이 완료되기 전에 터널배연이 작동하면 연기가 하강되어 승객피난에 오히려 방해가 될 수 있으며, 이에 따라 승객피난 완료시간이 오히려 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러므로 스위치 제연모드 적용 시 적절한 환기 전환시간(승강장 제연에서 터널제연으로 변경되는 시간)의 설정이 매우 중요한 것을 알 수 있다. 스위치운전모드 적용 시 화재위치에 따른 피난 시물레이션 결과 비교 이다. 서울지하철 4호선의 경우 객차 편성은 1편성 10량이다. 첫 번째 객차 내 승강장 끝단지점에서 화재가 발생 하였을 경우 (Case 3)는 피난 완료시간은 23분 56초이며, 10량 중 5번째(중앙위치)객차 내 중앙지점에서 화재가 발생 하였을 경우(Case 5)는 피난완료시간이 16분 41초로 Case 5보다 Case 7이 약 7분 15초정도 피난시간을 단축하였다. 이는 승강장 내 연기구역과 비연기구역 내 배기운전으로 인한 제연 영향보다 터널부로 제연하는 방식이 승객피난에 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Y. Hasemi, et al., "Research needs on the fire safety of subway station fire disasters, regulations, research efforts and recent smoke movement tests in subway stations in Japan", 6th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology,

- Daegu, Korea, 17-20 March, pp. 797-804, 2004.
- [2] W. H. Park, D. H. Kim, Y. J. Jang, "Experimental Study of Smoke Behavior in an Under- ground Subway Station", 7th World Congress on Railway Research, Montréal, Canada, 4-8 June, abstracts pp. 254, 2006.
- [3] W. H. Park, H. C. Chang, T. G. Kim, and D. H. Kim, "Experimental and Numerical Studies on Heat/Smoke Behavior due to a Fire on Underground Subway Platform (I) -Experimental Approach-," Transactions of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 9-14, 2006 (Korean).
- [4] H. C. Chang, W. H. Park, T. G. Kim, and D. H. Kim, "Experimental and Numerical Studies on Heat/Smoke Behavior due to a Fire on Underground Subway Platform (II) -Numerical Approach-," Transactions of Korean Institute of Fire Science and Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 15-20, 2006 (Korean).
- [5] W. H. Park, D. H. Kim, H. C. Chang, Numerical Predictions of Smoke Movement in a Subway Station under Ventilation, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 21, No. 3-4, pp. 304, 2006.
- [6] K.B. McGrattan, G.P. Forney, Fire Dynamics Simulator (Version 4.07) - User's Guide, NIST Special Publication 1019, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2006.
- [7] E.R. Galea et al., buildingEXODUS (Version 4.0) - User Guide and Technical Manual, University of Greenwich, London, UK, 2004.
- [8] 한국철도기술연구원, "상대식 역사 상하행대기인원 계산 프로그램(CPaPa ver1.0)", 컴퓨터프로그램보호위원회, 등록번호 2007-01-122-005063, 2007