

지하역사 화재발생시 제연모드에 따른 승객피난 예측
Simulations of the Passenger Evacuation in a Fire occurred Underground Station under
Various Smoke-Control Ventilation Modes

박원희*† 이한수* 장희철** 장용준*
Park, Won-Hee*† Lee, Han-Su* Chang, Hee-Chul** Jang, Yong-Jun*

ABSTRACT

In this paper some sets of numerical simulations for passenger evacuation in a fire occurred underground station under various smoke-control ventilation modes. Passenger evacuation flows are calculated by EXODUS program. As input data for EXODUS program, distributions of temperature, smoke and toxicity due to fire in the underground station are evaluated by Fire Dynamic Simulator (FDS).

1. 서론

본 논문에서는 지하역사에서 화재발생시 여러 제연모드에 따른 승객피난에 대한 수치해석이 수행되었다. 승객 피난 유동은 EXODUS를 이용하여 계산되었으며, 이 프로그램에 입력 값으로 사용되는 지하역사에서 화재발생으로 인한 온도, 연기, 독성가스 분포는 FDS 프로그램을 이용하여 구했다.

2. 본론

2.1 수유역사 개요

서울 지하철 4호선 수유역을 연구대상으로 고려하여 수치해석을 통한 피난시물레이션을 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.

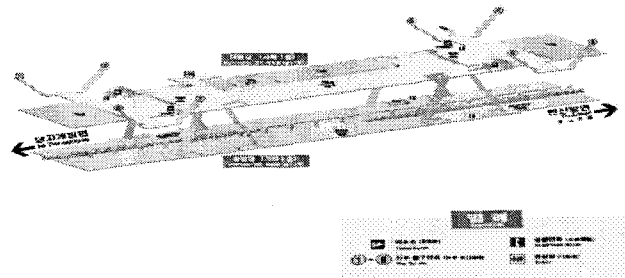


그림 1. 서울 지하철 4호선 수유역사의 개요도

† 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부, 정희원

E-mail : whpark@krri.re.kr

TEL : (031)460-5358 FAX : (031)460-5319

*한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부

**중앙대학교 대학원

2.2 피난인원 산정

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 객차탑승인원은 Visual FORTRAN 6.0을 사용하여 제작된 상대식역사 상·하행 대기 프로그램(CPaPa ver.1.0)[1]을 이용하여 산정하였다. 이 프로그램을 이용하여 구한 서울지하철 4호선 수유역사 피크시간(AM08:00~09:00)때의 피난인원은 열차탑승인원(상행:2532명, 하행:624명), 승강장대기인원(상행:604명, 하행:44명)으로 총 3804명이다.

2.3 승객피난 해석을 위한 제연모드

화재발생시 승강장의 제연방식에 따른 열 및 연기거동 특성 예측을 위하여 제연장치가 작동되지 않을 시 경우와 제연장치가 작동 하였을 경우로 표 1과 같이 제연모드를 선정하였다.

표 1. 제연모드 조건

			smoke zone (platform)	no-smoke zone (platform)	tunnel
case 1					
[화재 위치 : $x = 7.7 \text{ m}$ (열차 중앙), $y = 100.0 \text{ m}$ (열차5량), $z = 1.8 \text{ m}$ (열차바닥)]			stop	stop	stop
(switch mode)	case 2	0 ~ 2 min.	exhaust	stop	stop
		2 ~ 4 min.	exhaust	exhaust	stop
		after 4 min	stop	stop	exhaust
	case 3	0 ~ 2 min.	exhaust	stop	stop
		2 ~ 10 min.	exhaust	exhaust	stop
		after 10 min	stop	stop	exhaust

The diagram illustrates the smoke and no-smoke zones on a platform. A fire is located at $y = 100 \text{ m}$. The platform extends from $y = 0 \text{ m}$ to $y = 205 \text{ m}$. The smoke zone is between $y = 0 \text{ m}$ and $y = 102.5 \text{ m}$, and the no-smoke zone is between $y = 102.5 \text{ m}$ and $y = 205 \text{ m}$.

2.4 승강장 화재 발생시 열 및 연기 시뮬레이션

위의 표1과 같이 제시한 제연모드 조건에 대한 승강장 화재 발생시 열 및 연기 시뮬레이션은 참고문헌[2]에 제시되어있으며, 이에 대한 요약은 다음과 같다. 수치해석을 위하여 사용된 소프트웨어는 미국 표준 연구소(NIST, National Institute of Standards and Technology)에서 개발된 FDS(Fire Dynamics Simulator) Version 4.06이다. 본 시뮬레이션에서는 수유역사의 승강장 구조, 기둥 굵기/배기구 수, 비상계단 등 실제 역사와 매우 유사하게 모델링구조와 열차 모형을 유사하게 모델링하였다. 수치해석을 수행하기 위하여 해석영역은 그림 2와 같이 약 93만개 ($\Delta x = 0.2 \text{ m}$, $\Delta y = 0.5 \text{ m}$, $\Delta z = 0.2 \text{ m}$)의 격자로 구현하였다. 승강장에 정착된 지하철의 출입문 중 승강장과 연결된 방향의 출입문만 개방된 것으로

로 설정(반대방향 출입문은 닫힌 것으로 설정)하였고, 객차 내부 연결문은 모두 개방하도록 설정하였다. 발화연료는 헵탄(C₇H₁₆)을 사용하였으며 시간에 따라 발생하는 열량은 Power Law Relation 공식 $Q = \alpha t^2$ 를 적용하여 발화 5분(300초)경과 후 최대 열방출량은 15MW로 설정하였다. 화재발생시 각 체연모드에 대한 역사 내부의 열, CO 및 가시거리(감광계수) 등이 FDS로 계산되었으며[2] 이러한 값들은 피난해석의 화재영향의 입력값으로 사용되었다.

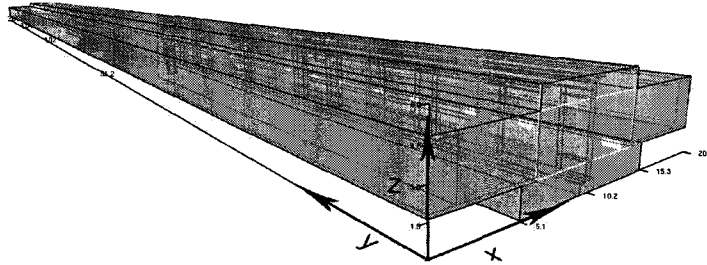


그림 2. 수유역사 FDS 격자 구성도

2.5 피난 시뮬레이션 수행

피난해석을 위하여 사용된 해석도구는 Greenwich 대학의 소방 안전 엔지니어링 그룹에 의해 개발된 피난시뮬레이션 Building EXODUS V4.0[3]이다. 피난 해석에서 고려한 화재영향인자는 온도, CO 및 가시거리(감광계수)이며, 이는 전절에서 소개하였듯이 각 체연모드 조건별 화재 열·연기 유동해석(FDS)를 통하여 구하여진 값이다. 화재영향인자를 고려하기 위하여 그림 3과 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.

zone1	zone2	zone3	zone4	zone5	zone6	zone7	zone8	zone9	zone10	zone11	zone12	zone13	zone14	zone15	zone16	zone17	zone18	zone19	zone20	zone21	zone22	zone23	zone24	zone25	zone26	zone27	zone28	zone29	zone30	zone31	zone32	zone33	zone34	zone35	zone36	zone37	zone38	zone39	zone40	zone41	zone42
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

그림 3. EXODUS에서 화재영향인자를 고려하기 위한 Zone 분할

해석대상 역사인 수유역사의 설계 CAD도면(*.dxf)을 EXODUS상에 Loading 시켜 그림 4와 같이 노드를 구성하였으며, 승강장과 대합실은 내부계단으로 Link연결하였다.

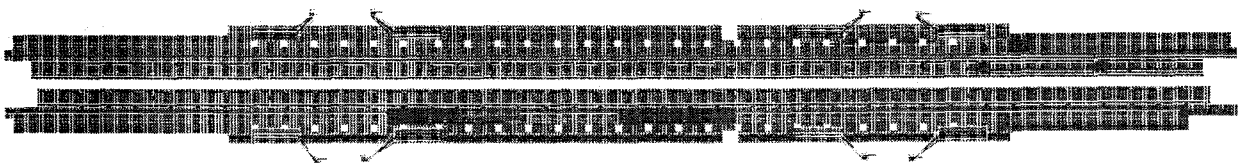


그림 4. EXODUS이용한 수유역사의 노드 구성

피난해석을 위한 입력조건에 대한 간략한 요건은 다음과 같다. 피난인원 설정은 각각의 인원내 대한 출발위치와 바라보는 방향등은 무작위로 설정 하여 출발위치에서 가장 가까운 출구로 대피하게끔 설정 하였다. 또한, 각각의 인원내 대한 특성 값(반응시간, 이동속도, 나이, 키, 몸무게 등)은 기본 값으로 설정 하였다. 객차가 상하선 승강장에 모두 정차하였을 때를 가정하였다. EXODUS에서는 객차영역에 대해서는 단위 차량의 출구 폭1m(2 Node) 보행로 쪽으로 내릴 수 있도록 객차의 출입문 4곳을 모두 개방 하였으며, 객차 내부의 연결문은 모두 개방되어 피난하도록 공간격자를 적절히 배치함으로써 설정 하였다. 같은 조건과 같은 상황에서의 피난해석을 통한 대피시간의 경우 피난인원의 위치와 바라보는 시각의 방향에 따라 피난시간이 달라지므로 많은 시뮬레이션을 수행하여 통계치의 평균값 데이터를 얻어야 하나 본 연구에서는 5회씩 시뮬레이션을 실행하여 평균값을 산출하였다. 시뮬레이션을 통한 각각의 피난인원이 승강장 내 출발위치에서 내부계단을 통하여 대합실로 올라오는 시간까지를 피난 완료시간으로 하여 평가하였다. 피난인원은 열차탑승인원(상행:2532명, 하행:624명), 승강장대기인원(상행:604명, 하행:44명)으로 운전자 2명을 포함하여 총 3806명이다.

3. 결과 및 고찰

승객피난 시뮬레이션에서 화재영향을 고려하지 않은 단순피난의 경우는 피난완료시간은 14분 45초이다. 많은 피난인원수 산정으로 인해 병목현상이 일어났으며, 피난인원의 반응시간과 관계없이 병목현상으로 인해 피난시간이 늘어난다는 점을 알 수 있었다. 그림 5는 피난인원이 열차의 출입문 및 승강장과 대합실로 연결된 내부계단에서 가장 많이 밀집되는 병목현상이다. 표2는 제연모드 조건에 따른 승객피난 시뮬레이션 결과이다.

case 2를 제연모드가 작동하지 않은 case 1과 비교하였을 때 승객피난 완료시간이 약 24초 단축되었으며, case 3의 경우에는 약 4분 04초 피난완료시간을 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 적용시 적절한 환기 전환시간(승강장 제연에서 터널제연으로 변경되는 시간)의 설정이 매우 중요한 것을 알 수 있다.

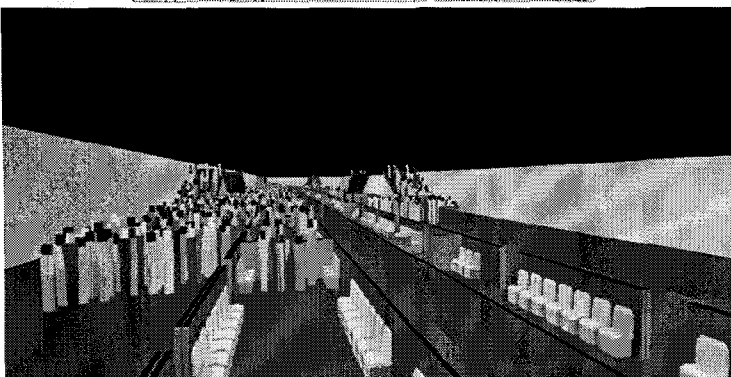
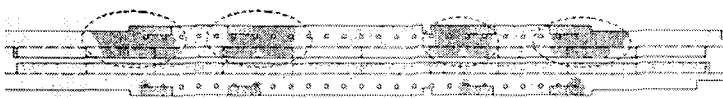


그림 5. 열차 출입문 및 내부계단에서 피난인원 밀집으로 인한 병목현상

표 2. 제연모드조건에 따른 승객피난 시뮬레이션 결과

	피난 완료시간
case 1	24분 08초
case 2	23분 44초
case 3	20분 04초

4. 결론

본 연구에서는 화재발생시 여러 제연모드에 따른 승객피난에 대한 수치해석이 수행되었다. 승객피난에 대한 수치해석 도구는 Building EXODUS V4.0이다. 승강장 화재발생시 승강장의 배기 운전방식에 따른 열 및 연기의 거동특성을 파악하기 위하여 NIST에서 개발한 FDS v4.06을 이용하였으며, 여기서 구한 화재영향인자(온도, CO, 가시거리)는 승객피난 해석의 화재영향인자 (위험도, Hazard) 입력 값으로 사용되었다. 여러 제연모드 조건에 대하여 승객피난 해석을 수행하였으며 각 승객피난 완료시간을 계산하였다. 스위치 제연모드 적용시 적절한 환기 전환시간(승강장 제연에서 터널제연으로 변경되는 시간)의 설정이 승객피난에 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 박원희, 장용준, “상대식 역사 상하행대기인원 계산 프로그램(CPaPa ver1.0)”, 컴퓨터프로그램보호위원회, 등록번호 2007-01-122-005063, 2007
2. 장희철, 박원희, 윤경범, 김태국, “스위치 제연 전환 시간에 따른 지하역사 열 연기 분포 수치해석” 작성중 (철도학회논문집 제출예정)
3. Building EXODUS V4.0 user guide technical manual, UGMT Ltd, a subsidiary of the University of Greenwich, 2004