

대심도 지하철역사의 대피시간 재획정에 관한 연구

A Study on the Redefine of the Evacuation Time of the Subway Station with a Deep Depth

최원제* · 민세홍**

Choe, Wonje*, and Min, Sehong**

Abstract

Since the 1970s, the construction of subway has been promoted to cope with the increasing traffic demand. As of 2015, the average daily number of transit passengers in the Seoul metropolitan area is about 9.7 million, which means that 84% of subway passengers are concentrated in the whole country. The recent construction of subway stations is deepening due to the fact that existing lines are located at low depth and land compensation problems. However, the domestic evacuation time limit guideline applied to the subway has been applied to the US NFPA 130 5.5.6 regulations as it is, and it is difficult to keep the regulations because of the environmental difference of the domestic subway station. It is not clear the time limit for evacuation from 4 minute platform evacuation time standard and smoke, toxic gas to safe space(ground exit, etc.) from 6 minute. Subsequent research and development suggests the necessity to clarify the subway evacuation time limit and to supplement it.

Key words : Evacuation Time, Subway Station, Deeper Underground

요 지

1970년대부터 늘어나는 교통 수요를 처리하기 위해 지하철 건설이 추진되었으며, 2015년을 기준으로 수도권 지역의 일일평균 수송인원은 약 970만 명으로 전국의 지하철 이용객의 84%가 집중되는 것으로 분석되었다. 최근 건설되는 지하철역사는 기존노선이 저심도에 위치하고 있는 것과 토지보상 문제로 인하여 심도가 깊어지고 있는 추세이다. 하지만 국내에서 적용하고 있는 지하철역사의 피난한계시간 지침은 미국의 NFPA 130 5.5.6 규정을 그대로 따라서 적용하고 있지만, 국내의 지하철역사의 구조적인 차이로 인해 규정을 지키기 어려운 실정이다. 4분의 승강장 피난시간 기준과 6분의 연기, 유독가스로부터 안전한 공간(지상 출구 등)까지 피난을 완료하는 시간의 기준이 명확하지 않다. 추후 연구개발을 통해 지하철 피난한계시간 규정을 명시화하고 이를 보완하기 위한 필요성을 제안한다.

핵심용어 : 피난시간, 지하철역사, 대심도

1. 서 론

1970년대부터 늘어나는 교통 수요를 처리하기 위해 지하철 건설이 추진되었으며, 가장 많은 노선이 밀집해 있는 서울시는 1~9호선의 9개 노선이 운행 중에 있다. 2015년 도시철도 운영기관의 수송통계자료에 의하면, 일일평균 수송인원은 수도권만 약 960만 명으로 서울지하철의 혼잡도는 가장 많이 이용하는 오전 첨두시간(Peak time, 08:00 ~ 09:00)에 9호선은 최고 238%, 2호선은 최고 202%에 달하고 있으며,

위와 같은 혼잡한 상황에서 화재·테러와 같은 불의의 사고 발생 시 병목현상과 간섭현상으로 피난시간의 지연이 예상되며, 압사사고 같은 2차 피해가 우려되는 실정이다(Min et al., 2016a).

지하철 승강장은 대량 인원의 원활한 이동과 이동 공간 확보를 위해 일반 건축물에서 적용하고 있는 피난계단 또는 특별피난계단을 적용하고 있지 않는다. 또한 「건축법 시행령」에서 정의하는 직통계단의 설치 규정(보행거리 30 m 이내 설치)도 적용되지 않고 있다. 이로 인해 화재 시 연기나 유독가스의

*정회원, 가천대학교 일반대학원 설비·소방공학과 석사과정(E-mail: wonje6116@naver.com)

Member, Master Course, Department of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon University

**교신저자, 정회원, 가천대학교 공과대학 설비·소방공학과 교수(Tel: +82-31-750-8746, Fax: +82-31-750-8746, E-mail: shmin@gachon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon University

이동경로와 피난경로가 일치하기 때문에 피난용량산정 시 피난한계시간의 검토는 매우 중요하다는 사실을 알 수 있다.

지하철역사의 피난한계시간 지침은 국토교통부 고시 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계지침」 3.6.5.2에서 정의하고 있다. 지하철열차 탑승 승강장으로부터 마지막 피난자가 대피하는데 까지 4분, 연기나 유독가스로부터 안전한 외부출입구를 벗어나는데 까지 6분으로 대피시간의 기준을 적용하여 평가하고 있다. 이는 2003년 대구지하철 참사 이후 미국의 NFPA 130의 5.5.6을 그대로 적용한 것이다. 현재 우리나라는 국토교통부 고시 「철도건설을 위한 지하부분 토지사용 보상기준」에 따라 앞으로 건설될 역사들은 보상비용을 절감하여 사업예산을 줄이기 위해 지하심도가 40 m 이상 깊어질 것으로 예상된다. 지하역사의 심도가 깊어짐에 따라 화재 등 비상사태 발생 시 지상으로 피난시간의 증가되어 대형 인명피해 발생 가능성이 높아질 것을 예상할 수 있다. 하지만 우리나라의 지하철역사는 미국과 환경적인 차이가 있음에도 불구하고 NFPA의 규정을 그대로 적용하고 있는 실정이다(Kim, 2017).

특히, 2003년에 발생한 대구 지하철 화재 참사와 같은 사고가 서울의 대심도 역사에서 발생한다면 피난통로인 계단은 대심도 역사의 굴뚝이 될 것이며, 연기와 각종 유독가스로 인한 대량 인명피해가 예상된다.

본 논문에서는 서울시 3호선의 실제 이용객 교통량을 측정할 자료로 수용인원을 산정한 후 피난 시뮬레이션(역사 심도 40.85 m)을 수행하였다. 이에 따라 현재 적용하고 있는 피난한계시간의 지침은 역사의 심도가 깊은 우리나라의 실정에 적합하지 않으며, 현재 적용하고 있는 피난시간의 재평가가 필요하다는 사실을 증명하고자 한다.

2. 우리나라 지하철역사 현황

2.1 도시철도 수송인원

Table 1과 같이 2015년 도시철도 운영기관의 수송 통계자료에 의하면, 일일평균 수송인원은 수도권만 970만 명으로 전국의 지하철 이용객의 84%가 집중되는 것으로 분석되었다. 광역시의 수송인원은 부산 8.8만 명, 대구 4.1만 명, 인천 2.8만 명, 대전 1.1만 명, 광주 0.5만 명이 이용하고 있음을 나타내고 있다.

Table 1. Average Daily Traffic Volume by Region (2015)

Area	Average Daily Traffic Vol (per)
Seoul Metropolitan	9,681,000
BUSAN	889,000
DAEGU	412,000
INCHEON	275,000
DAEJEON	111,000
GWANGJU	50,000
Total	11,418,000

2.2 대심도 지하철역사 현황

현재 대심도 지하철역사로 구분하는 규정은 명확하지 않은 실정이다. 하지만 국토교통부에서 지하승강장으로 부터 지표면까지의 수직거리 30 m 이상을 대심도 지하철역사로 구분하고 있다.

2016년을 기준으로 하여 대심도 역사는 수도권에 29개 역사, 부산 4개 역사, 인천 2개 역사, 대구, 대전은 각각 1개 역사가 있었으며, 평균 심도는 약 37.36 m로 분석하였다. 각 역사의 심도는 Table 2에 정리하였다.

새로 신설되는 도시철도는 기존 지하철 노선의 역사보다 더 깊은 심도에서 환승이 되도록 건설해야 하므로 향후 신설되는 도시철도는 대심도에 건설될 가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Deeper Underground Subway Station Status (2016)

Area	Station	Depth (m)	
Seoul Metropolitan	Ogeum	34.230	
	Namtaeryeong	37.210	
	Kkachisan	32.540	
	Sinjeong	32.550	
	Yangpyeong	32.480	
	Yeongdeungpo market	35.780	
	Yeouinaru	40.850	
	Chungjeongno	30.940	
	Jongno3-ga	30.460	
	Singumho	42.120	
	Dokbawi	36.840	
	Noksapyeong	33.120	
	Itaewon	32.840	
	Beotigogae	40.870	
	Soongsil Univ.	45.490	
	Seoul Metropolitan	Namguro	36.060
		Sanseong	53.910
		Seoul	48.830
		Gongdeok	36.100
		Gimpo Int'l Airport	36.450
Apgujeongrodeo		33.580	
Gangnam-gu office		35.570	
Seonjeongneung		39.980	
Dogok		32.670	
Guryong		39.990	
INCHEON	Singal	36.680	
	Gajwa	34.070	
BUSAN	Yangjae	30.850	
	Migeum	37.850	
	Dongsu	31.525	
	Bupyeong	30.182	
DAEGU	Mandeok	64.680	
	Mulmangol	35.690	
	Baesan	54.000	
DAEJEON	Mangmi	34.390	
	Igok	29.990	
	Jungangno	30.770	

3. 대심도 지하철역사 피난 시뮬레이션

시뮬레이션에서는 관계기관에서 조사한 실제 이용객의 수를 적용해서 해당 이용객들이 피난하기까지 소요되는 시간과 국토교통부 고시에 따른 승강장 피난 4분, 역사 피난 6분을 비교·분석하였다. 본 연구에서 사용한 피난 시뮬레이션은 Thunderhead Eng.의 Pathfinder 2016이다.

3.1 시뮬레이션 대상 지하철 역사 구조

시뮬레이션 대상 역사를 Fig. 1에 나타내었다. 양방향의 열차가 하나의 승강장을 이용하는 섬식 승강장으로 지상 출구까지 심도가 40.85 m로 평균 심도인 37.36 m보다 3.49 m 더 깊은 조건이었다. 대상 역사는 서울시 중심부에 위치한 대심도 역사로써 많은 이용객들이 이용하고 있기에 본 연구에 해당하는 대표성을 나타내어 선정하게 되었다. 지상 출구로 이어지는 중간층을 제외하고 총 지하 5층의 형태를 나타내고 있으며, 지하 2층에서 지하 4층으로 계단이 바로 이어져서 지하 3층은 피난 동선으로 사용되지 않는다. 피난에 사용되는 계단은 총 9개소이며, 에스컬레이터는 화재발생 후 모두 정지한다는 가정 하에 9개소 모두 가용한 조건으로 적용했다. 에스컬레이터는 계단보다 단의 높이가 높으며 노약자가 이용하는데 발생하는 애로사항을 반영하기 위해 계단 보행속도의 80%로 각각 적용하였다. 승강장의 폭은 최소 2.5 m에서 최대 13.9 m이며, 계단의 폭은 7.9 m로 총 2개가 설치되어 있다. 지상으로 최종 탈출할 수 있는 출구의 수는 4개소로 조사되었다.

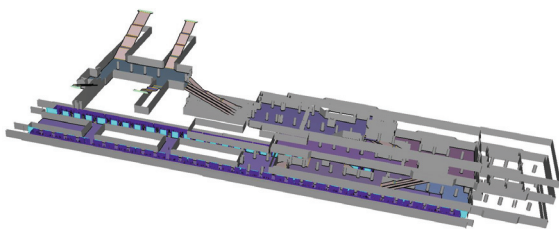


Fig. 1. Simulated Subway Station View

3.2 시뮬레이션 인자값 추출

3.2.1 수용인원 산정

수용인원은 가장 혼잡한 시간대인 오전 첨두시간(Peak time, 08-09시)을 선정하였다. 수용인원을 산정하기 위해 「도시철도 정거장 및 환승편의시설 설계 지침」의 대피인원 산정 기준을 적용하여 산출하였으며, 서울지하철 관계기관의 2013년 교통량조사 자료를 근거로 하였다. 승강장 대기인원은 첨두 15분간의 승차 대기인원(열차를 탑승하기 위해 역사로 유입된 인원×30%)÷15분×배차시격의 산정 방법을 적용하였으며, 여기서 배차시격이란 1시간 동안 통과한 열차의 대수로 나눈 것이다. 첨두시간(Peak time, 08-09시)

나이별 이용객 현황은 성인 86%, 노인 13%, 학생 1%로 분석되었다. 다만, 제공받은 자료에 성별에 관한 내용은 포함되지 않아 성별에 대한 분류는 정확히 할 수 없었으므로 임의로 절반으로 나누어 설정하였다. 상·하선 열차 수용인원과 승강장 대기인원, 통과열차수, 운행시격은 Table 3과 같다. 승강장 대기인원과 통과열차수, 운행시격은 섬식 승강장을 고려하여 양방향을 합산하여 산정하였다(Kim, 2017).

Table 3. The Calculation of Occupancy

	Northbound	Southbound	Total
Train Passengers	1,111 per	610 per	1,721 per
Platform Passengers	17 per		
Total Passengers	1,128 per	627 per	1,738 per
Number of pass trains	22		
Interval	2.73 min		

3.2.2 보행속도 및 신체특성 데이터

보행속도는 성인남성(1.2 m/s), 성인여성(1.1 m/s), 노인(0.835 m/s), 학생(1.15 m/s)로, 이는 한국건설기술연구원의 ‘표준화재모델에 따른 화재 확대방지 및 피난 안전설계 기술 개발(2012. 7.)’을 근거로 하였다. 또한 어깨너비는 한국인 인체치수조사(Size Korea)의 ‘제6차 인체치수데이터 조사결과 보고서’를 참고하였다(Kim, 2017).

이를 종합하여 피난 시뮬레이션에 사용한 승객들의 신체 특성 데이터는 Table 4와 같다.

Table 4. The Calculation of Occupancy

Section	Walking Velocity	Shoulder Width	Composition Ratio
Adult(M)	1.2 m/s	38.8 cm	43%
Adult(W)	1.1 m/s	35.2 cm	43%
Child	1.15 m/s	30.7 cm	1%
Senior(M)	0.835 m/s	37.8 cm	6.5%
Senior(W)	0.835 m/s	34.9 cm	6.5%

3.3 시뮬레이션 시나리오 설정

피난 시뮬레이션 시나리오는 3가지로 구분하여 각각 수행하였다. Scenario.1은 섬식의 승강장에 상·하행선 모두 동시에 도착하는 가장 Worst Case인 상황을 가정하였다. Scenario.2는 승강장에 하행선 열차만 도착한 조건으로 했으

며 Scenario.3은 승강장에 상행선 열차만 도착한 조건으로 하였다. 이때, 승강장 대기인원은 섬식 승강장임을 고려하여 양방향 대기인원 모두 반영했다. 시나리오를 3가지로 구분한 것은 Worst Case(섬식 승강장에 양방향 열차가 동시에 도착)부터 상행, 하행 각각 도착한 것으로 나누어 피난 인원이 다를 경우 최종 피난 완료 시간에 어떠한 차이를 나타내는 지 분석하기 위함이다.

3.4 시뮬레이션 결과 분석

Scenario.1 시뮬레이션의 피난인원은 총 1,738명으로 지하 5층인 승강장에서 지상 출구까지 피난하기까지 735초가 소요되었으며, 이는 기준시간인 6분(360초)보다 375초(약 2배)를 초과하는 것으로 분석되었다. 6분 동안 지하철역사를 빠져나가지 못한 대피자의 수는 1,443명으로 전체 인원의 83%가 규정된 시간 내에 대피하지 못한 것으로 분석되었다. 또한, 승강장(지하 5층)에서 지하 4층으로 피난하기까지 260초가 소요되었으며, 승강장 피난 기준시간인 4분(240초)보다 20초를 초과하는 것으로 분석되었다.

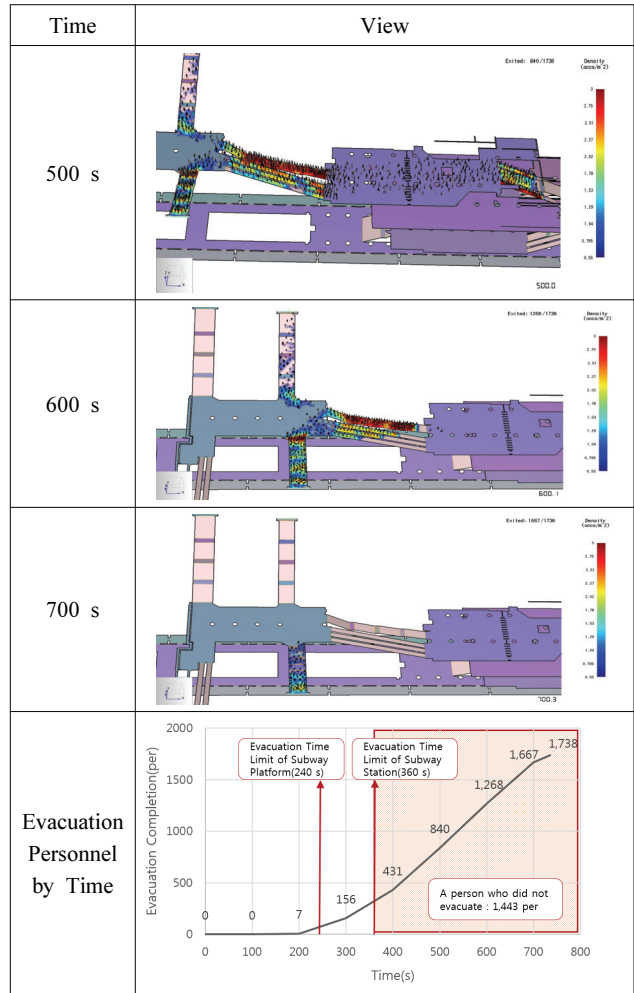
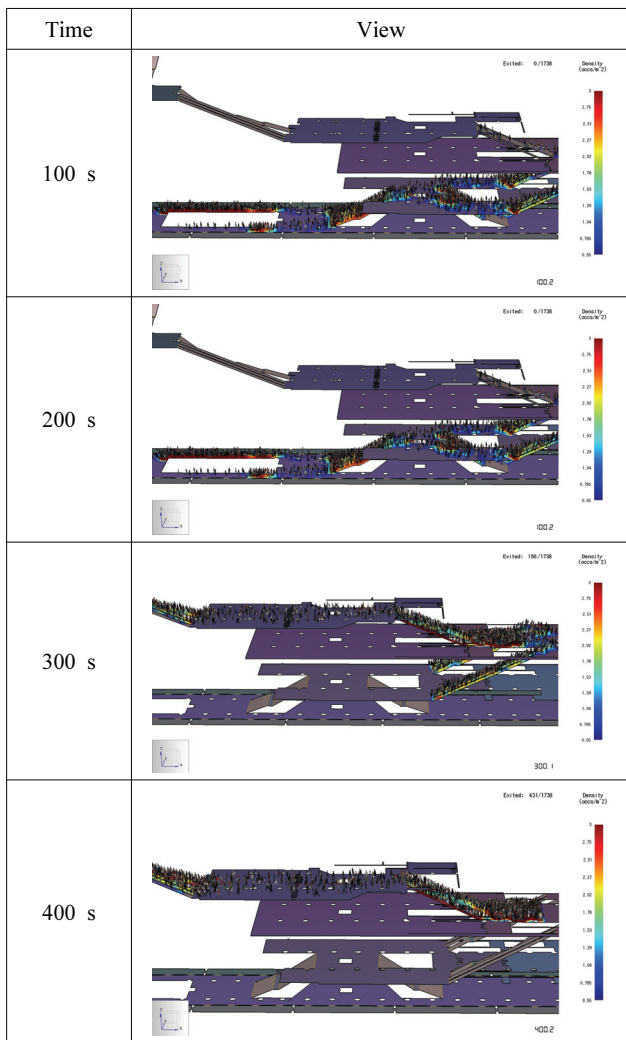


Fig. 2. Simulation Result (Scenario.1)

Scenario.2 시뮬레이션의 피난인원은 총 1,128명으로 지상 출구까지 피난하기까지 615초가 소요되었으며, 이는 기준시간인 6분(360초)보다 255초 초과하였다. 6분 동안 지하철역을 빠져나가지 못한 대피자의 수가 851명으로 전체 인원의 75%가 규정된 시간 내에 대피하지 못한 것으로 분석되었다. Scenario.1과 같이 지하 4층까지 260초가 소요되었으며, 승강장 피난 기준시간인 4분(240초)보다 20초 초과하는 것으로 분석되었다.

Scenario.3 시뮬레이션의 피난인원은 총 627명으로 지상 출구까지 피난하기까지 490초가 소요되었으며, 이는 기준시간인 6분(360초)보다 130초 초과하는 것으로 분석되었다. 6분 동안 지하철역을 빠져나가지 못한 대피자의 수가 342명으로 전체 인원의 55%가 규정된 시간 내에 대피하지 못한 것으로 분석되었다.

역사 피난한계시간인 6분은 Scenario.1~3 모두 최소 2분에서 최대 6분까지 초과함으로써 단순히 이용객의 숫자 문제가 아니라 지하철역사의 대심도화에 의한 구조적인 문제라는 것을 알 수 있다.

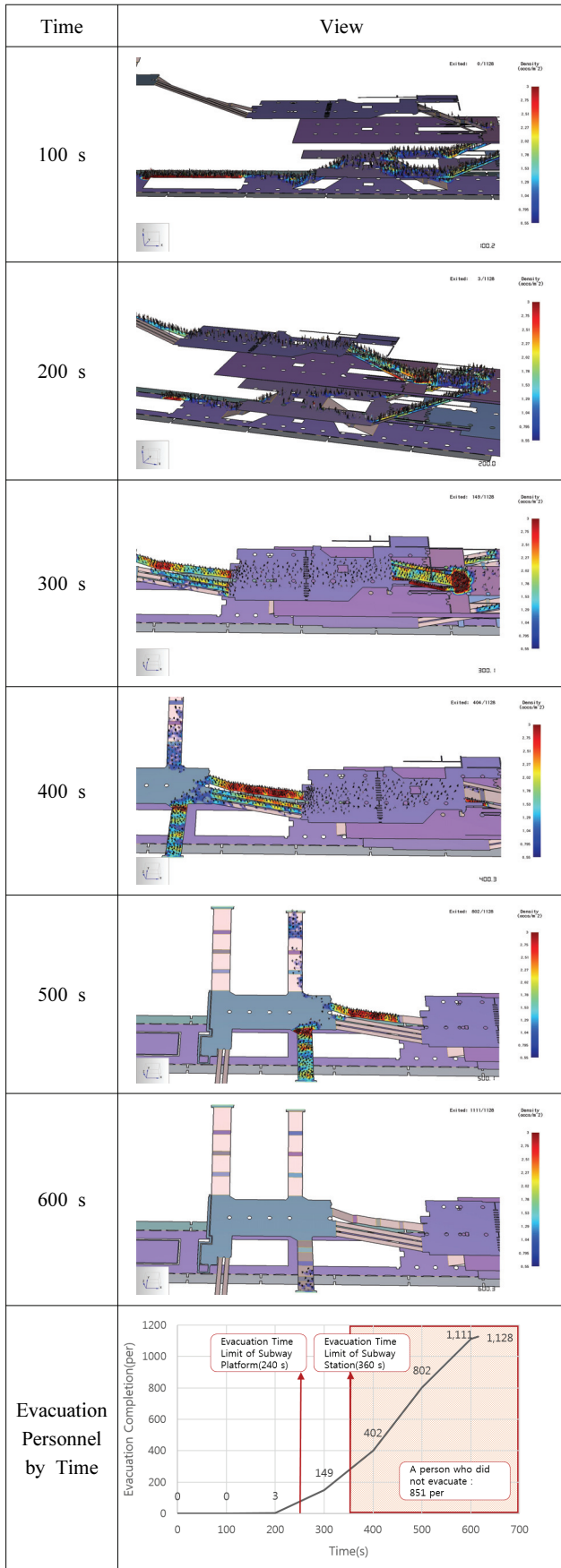


Fig. 3. Simulation Result(Scenario.2)

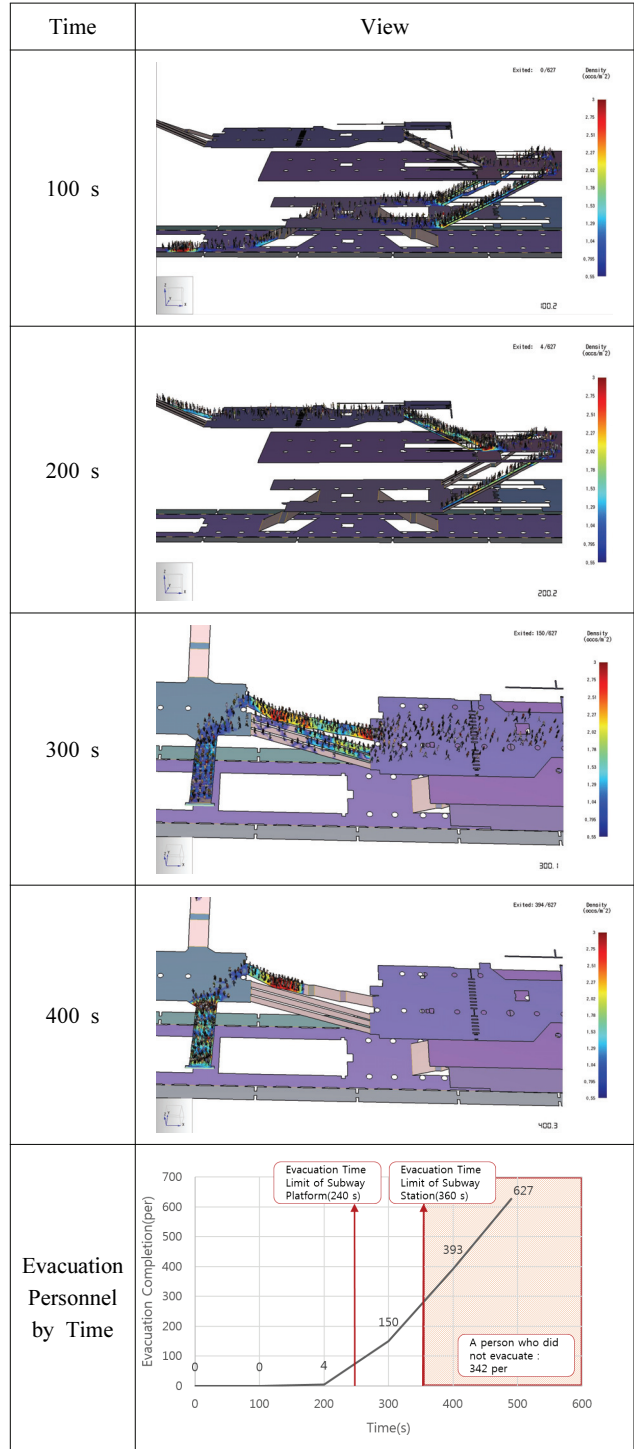


Fig. 4. Simulation Result (Scenario.3)

특히, Fig 5와 같이 승강장 통로와 계단 진입로, 계단에서 심각한 병목현상이 발생하는 것을 볼 수 있었으며, Scenario.3 과 같이 627명이 지상 출구로 피난하기까지 490초가 소요되는 것을 비추어 볼 때, 출퇴근 시간 2,000명 이상의 이용객을 싣고 운행하는 수도권 지하철은 해당기준 대부분을 지치지 못할 것으로 판단된다.

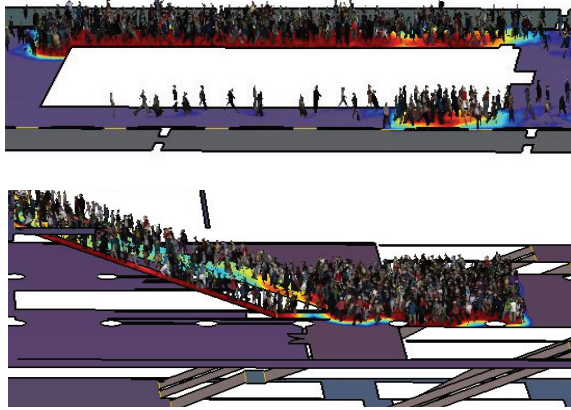


Fig. 5. Bottlenecks Phenomenon in Aisle and Stairs

4. 결 론

본 연구에서는 대심도화 되어가는 지하철역사에 위험성 평가 기준으로 현재 적용중인 4분의 승강장 피난시간 기준과 6분의 연기, 유독가스로부터 안전한 공간(지상 출구 등)까지 피난을 완료하는 시간의 기준은 우리나라와 환경적 차이가 있는 외국의 기준을 그대로 반영한 것으로 이에 시뮬레이션에 의해 이를 증명하였다. 이에 국내 실정에 맞게 재정립되어야 한다고 판단된다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 국토교통부 고시에서 적용중인 지하철역사 피난한계 시간은 우리나라와 미국의 환경적인 차이가 있음에도 불구하고 NFPA의 규정을 그대로 적용하고 있음을 확인할 수 있었다.
- (2) 수도권 지역의 일일평균 수송인원은 약 970만 명으로 전국의 지하철 이용객의 84%가 집중되는 것으로 분석됐으며, 최근 건설되는 지하철역사는 기존노선이 저심도에 위치하고 있으며, 지하부분 토지사용 보상에 대한 사업예산을 줄이고자 지하심도 40 m 이상 깊어질 수밖에 없는 실정이다. 따라서, 서울시 3호선의 대심도(40.85 m) 한 역사를 실제 이용객수를 산정한 후 승강장 피난 4분, 역사 피난 6분에 대해 피난 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 기준시간을 상당히 벗어나고 있음을 확인할 수 있었다.
- (3) 섬식의 승강장에 상·하행선 동시에 도착하는 Worst Case인 조건(Scenario.1)의 시뮬레이션 결과, 승강장에서 지상까지 735초가 소요되어 기준시간인 6분(360초)보다 375초 초과하였고, 승강장 피난 기준시간인 4분(240초)보다 20초를 초과하는 것으로 분석되었다.
- (4) 섬식의 승강장에 하행선 열차만 도착한 조건(Scenario.2)의 시뮬레이션 결과, 승강장에서 지상까지 615초가 소요되어 기준시간인 6분(360초)보다 255초 초과하였

고, 승강장 피난 기준시간인 4분(240초)보다 20초를 초과하는 것으로 분석되었다.

- (5) 섬식의 승강장에 상행선 열차만 도착한 조건(Scenario.3)의 시뮬레이션 결과, 승강장에서 지상까지 490초가 소요되어 기준시간인 6분(360초)보다 130초 초과하였고, 승강장 피난 기준시간인 4분(240초)이내에 승강장 피난을 완료한 것으로 분석되었다. Scenario.3의 경우 대피 인원이 627명으로 매우 적은 수임에도 불구하고 지상까지 역사를 탈출하는 시간이 규정시간을 2분 이상 초과하는 것으로 나타났다. 이에 지하철역사의 피난 한계시간이 국내 지하철역사의 환경에 맞게 다시 평가가 되어야 한다고 판단된다.
- (6) 현재 4분의 승강장 피난 기준시간과 6분의 연기, 유독가스로부터 안전한 공간(지상 출구 등)으로 피난하는 기준시간을 지키기 위해 특별피난계단을 설치한다던지 피난대피소를 설정하며 임시방편으로 대응을 하고 있는 실정이다. 하지만 이에 대한 안전 신뢰성은 검증되어 있지 않고 오히려 피난 동선의 혼란을 초래할 가능성이 있음을 인지해야 한다.
- (7) 대심도 및 장대터널의 대피시간의 기준 설정시 Active system이 고려된 대응방안으로 국가R&D사업으로 개발된 초고압펌프와 개발중인 초고압호스 등의 적극적인 활용이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국민안전처 현장중심형 소방활동지원기술개발의 연구비지원(과제번호 MPSS-소방안전-2015-84)에 의해 수행되었습니다.

References

- Hwang, H.B., and Min, S.H. (2016) A Study on Standardization of the Underground Safety Zone of the High-rise Buildings. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 5, pp. 173-179.
- Kim, M.J. (2017) A Study on the Establishment of Evacuation Time Limit of Subway Platform. Master's thesis, Gachon University, Korea.
- Kim, M.J., and Min, S.H. (2016) Study on the Evacuation Time Analysis by Platform Screen Door Opening Rate. *Fire Science and Engineering*, Vol. 30, No. 4, pp. 59-64.
- Korea Railroad Authority (2015) *Disaster Prevention Design*. KR A-03090.
- Min, S.H., Choi, W.J., Lee, J.M., and Kim, M.J. (2016a) A Study on Comparison of the Calculation of Occupancy

of the Subway Platform. *Proceedings of 2016 KIFSE Annual Spring Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 95-96.

Ministry of Land Infrastructure and Transport (2013) *Design Guideline for Urban Railroad Station and Transfer and Facilities Complementary*.

Ministry of Land Infrastructure and Transport (2015) *Technical Standards of Railway Facilities*.

National Fire Protection Association (2014) *NFPA 130, Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems*.

Received	May 8, 2017
Revised	May 18, 2017
Accepted	June 30, 2017

