지하철 역사에서의 열차 화재 시 사전정보의 영향에 따른 피난결과 비교 분석 연구

A Study on Comparative Analysis about Evacuation Results According to Advance Information in Underground Subway Fire

임유리* · 안용한**

Lim, Youri*, and Ahn, Yonghan**

Abstract

The underground subway station, which are becoming increasingly depth, will cause massive casualties in the fire situation. In such these massive evacuation situations, humans instinctively make decisions for evacuation, evacuation behavior changes according to the difference of information. Therefore, this study classified recognition factors of advance information into prior knowledge and space familiarity, and set the factors variables. The scenarios that reflect the factors compare and analyze through the evacuation simulation after those were set up. In conclusion, the advance information of the pedestrians is greatly affected by the evacuation in the fire situation, in addition, it suggests that improvements of information provision for reducing evacuation time and it will be necessary to build a system for evacuation.

Key words : Underground Subway Station, Advance Information, Evacuation, Fire

요 지

점차 대심도화 되는 지하철 역사는 화재가 발생할 경우 대규모 인명피해를 가져온다. 이러한 대규모 피난 상황에서 인간은 본능적으로 피난을 위한 의사결정을 내리게 되며 사전정보의 차이에 따라 피난행동은 변화하게 된다. 따라서 본 연구에서는 사전정보 인지요인을 사전지식과 공간친숙도로 구분하고 변수를 설정하였고, 이를 반영한 시나리오를 설정하여 피난시뮬레이션을 통한 비교 분석을 실시하였다. 결과적으로 화재 시 피난자의 사전정보가 피난에 큰 영향을 미치며, 추가적으로 피난시간의 단축을 위한 피난경로에 대한 정보 제공 방안의 개선 및 대심도 피난에 대한 시스템 구축이 필요하다.

핵심용어 : 지하철 역사, 사전정보, 피난, 화재

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 도심지역의 인구증가와 복잡해진 도시환경으로 건물의 밀집화가 진행되면서, 토지 부족현상과 함께 경제적인 공간 활용을 위한 지하공간의 개발이 활발하게 이루어지고 있다(Choi, 2010). 또한 접근성 증대를 위한 지하철의 신(新)노선이 급격하게 증가하고 있으며 최근 대심도 광역급행철

도(GTX)가 추진되면서 대심도화 현상은 가속화될 것으로 예상되고 있다. 이러한 대심도 지하철 역사에서 화재·폭발 등이 발생할 경우 지상에서와 같이 순간적으로 현재의 위치나 비상구를 찾는 방향 감각을 갖기가 어려워 적절한 피난이 이루어 지지 않을 경우 엄청난 인명피해를 가져올 수 있다(Jeon, 2005).

실제로 2003년 대구 지하철 화재에서 192명의 사망자와 148명의 부상자를 냈던 참사를 경험하였고, 그 후에야 지하

*정회원, 한양대학교 건축시스템공학과 석사과정(E-mail: dlayuri@naver.com)

Member, Master Course, Department of Architecture Engineering, Hanyang University

**교신저자, 정회원, 한양대학교 건축시스템공학과 교수(Tel: +82-31-400-5127, Fax: +82-31-436-8147, E-mail: yhahn@hanyang.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Architecture Engineering, Hanyang University

철 화재 시의 피난 대책 마련을 위한 기준 개정 및 연구 등이 활발하게 이루어졌다. 그러나 우리나라 지하철은 1호선의 개통(1974. 8)을 시작으로 수도권 지하철의 대부분이 1980~90년대에 설계·개통되어 피난 관련 기준을 만족하지 못하는 역사가 대부분이다(Park, 2012). 2015년 서울시 통계에 의하면 273개 역사 중 109개 역사가 철도설계기준의 피난시간기준을 초과하는 것으로 알려져 지하철 역사에서 피난계획의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

또한 지하철 역사 승강장에서의 화재는 연기의 확산 방향과 승객의 피난방향이 동일하게 진행됨에 따라 구조적인 분리가 어려우며, 지하에서 지상으로 향하는 건축구조가 일반화되어 있어 다양한 피난 동선계획에 어려움이 따른다(Ham, 2010). 더불어 열차 탑승인원과 대기인원 등의 불특정 다수의 인원이 동시에 피난을 시작하기 때문에 특정장소에서 피난 속도가 느려지는 병목현상이 발생하게 되어 대규모 인명피해가 발생한다.

이러한 대규모 피난상황에서 인간은 본능적으로 피난을 위한 의사결정을 내리게 되며, 지각, 인지, 행동의 단계로 나누어진다. 특히 화재상황 시 피난행동에 앞선 인지 단계에서는 인간의 인지 차이에 따라 행동의 결과가 변화하므로 피난행동에 직접적인 영향을 미친다고 할 수 있다(Jeon, Kim and Jeon, 2017). 또한 피난시간 단축을 위하여 기존의 건축구조를 변경하는 것은 어려움이 따르므로 신속한 피난을 위한 인간의 빠른 의사결정과 행동만이 인명피해를 최소화하는 방안이라고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 지하철 역사에서의 피난에 대한 인지 중 사전정보에 대한 요인을 도출하고 피난행동의 변화에 따른 피난결과를 비교·분석하여 사전정보에 대한 교육 및 지속적인 피난경로 제공의 중요성을 확인하고, 대심도 지하철 역사에서의 피난시스템 구축의 필요성을 제고함을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 서울시 지하철 역사를 대상으로 화재 시 피난자가 피난지역의 사전 정보 인지 여부에 따른 피난결과를 비교 분석하는 연구이다. 먼저, 인간의 피난본능 및 행동단계를 조사하고 선행연구 조사와 지하철 역사 현황 분석을 통해 피난 시 사전정보 인지요인의 변수를 반영한 시나리오에 따른 피난결과를 피난시물레이션을 통하여 비교 분석한다.

본 연구는 화재 상황을 전제로 하고 있어, 실제로 화재가 발생한 피난상황을 구현하는데 한계가 있다. 따라서 피난자의 피난특성을 모사한 피난시물레이션을 통하여 분석하고자 하며, Thunderhead Eng.의 Pathfinder 2015를 사용하였다. Pathfinder는 피난 구현 입력 요소가 가장 기초적인 신체 사이즈, 재실자의 인원, 보행속도로 그 외의 행동에서는 프로그램에 반영되어 있고, 병목현상이 잘 구현되어진 피난시물레이션이다. 지하철 역사와 같이 피난 경로의 다양성에

한계가 있고, 피난 경로 중 계단이나 집·개표구(Gate)에서 병목 현상이 기본적으로 발생하는 공간에서는 Pathfinder의 사용이 적합하다고 본다.

2. 예비적 고찰

2.1 피난행동 이론

피난의 행동은 인간의 심리적, 생리적 스트레스 상황에서 시간과 정보가 제약되어 이루어지는 이동이다. 화재 시에는 정보가 매우 적고, 예측할 수 없는 변수가 많아 모든 인간이 동일한 행동을 하지 않는다. 이러한 상황에서는 인간은 본능적으로 생존을 위한 행동을 한다. 특히, 지하철 역사는 공간적으로 지상과 격리되어 있고, 창이 없는 공간으로 화재 발생 시에는 피난방향이 화재에 의한 열기와 연기의 이동방향과 같고, 정전 시 시야 확보가 어렵기 때문에 피난시간의 단축이 매우 중요하다. 다음 Fig. 1은 화재 징후 정보인지에서 피난이 완료되기까지 인간의 행동단계를 개념화하여 구성한 것이다. 정보의 수집과 의사결정을 통해서 피난 이동하는 것을 알 수 있다. 따라서 인간은 위험한 상황에 있을 때 피난을 위한 의사결정이 가장 중요하고, 이를 위해서는 얼마나 정보를 빨리 얻는가가 중요한 요인인 것을 알 수 있다.

Fig. 1. Evacuate Behavior Flow

2.2 선행연구 분석

사전정보 인지요인을 도출하기 위하여 여러 가지 사례들을 분석한 피난행동 관련 선행연구를 조사하였다. 선행연구는 건축물 화재 시 인간의 피난행동에 대한 조사연구와 지하철을 대상으로 한 피난연구로 나누어 분석하였다. 먼저, 인간의 피난행동에 대한 선행연구에서는 설문조사, 모의실험, 피난시물레이션 사용 등 여러 방법으로 연구가 진행되었는데 선행연구에서 활용되어진 영향요인들을 확인해보면

다음의 Table 1과 같다.

Table 1. An Analysis of Recognition Factors in Advanced Research

Recognition Factors	Jeon (2017)	Lee (2015)	Park (2012)	Jeon (2005)
Smoke	○		○	○
Fire Alarm	○			
Announcement	○		○	○
Rumbling	○		○	
Poisonous gas	○			
Smell of burning			○	
Heat				○
Evacuee guidance		○		○
Prior knowledge				
Space familiarity	○	○		
Mob psychology	○			○

분석 결과, 피난행동 관련 인지요인 중 연기, 화재알람 등에 대한 연구가 가장 많이 이루어진 것을 알 수 있었다. 사전정보에 의한 인지는 사전지식과 공간친숙도가 해당되고, 연기, 화재알람 등은 화재가 발생한 후 인지할 수 있는 요인이며, 군중심리는 개인의 심리요인으로 구분되어 진다. 근래에 공간친숙도 요인에 대한 연구가 있으나, 사전지식 요인은 많이 다루고 있지 않은 것으로 나타났다.

다음은 지하철에서의 피난에 대한 선행연구로 2003년 대구지하철 화재 참사를 시작으로 피난 문제에 대하여 활발하게 진행되어 온 연구들을 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2. Prior Research for Subway Evacuation

	Subject	Contents
Park (2012)	Seoul Maebong(3), Jongno 5(o)-ga(1), Samseong(2)	Analysis of evacuation time according to the types of platforms
Kim (2011)	Seoul Beotigogae(6)	Numerical analysis of evacuation time in deep underground subway station
Shin (2011)	Seoul Sapyeong(9)	Calculate evacuation time according to railway standards
Kang (2009)	Busan Centum City(2)	An analysis of evacuation time according to the cognition of occupants
Hwang (2009)	Seoul Singeumho(5), Gunja(5,7), Sanseong(8)	Analysis of evacuation time according to smoke movement
Hong (2005)	Daegu Jungangno(1)	An analysis of evacuation behavior through the questionnaire survey

각 선행연구에서는 지하철 역사의 화재 시 피난시간기준을 만족하지 못하는 문제점을 거론하면서 개선의 필요성을 논하였고, 피난자의 정보인지에 대한 영향 분석은 미비하였는데, 본 연구에서는 피난 시 사전정보의 인지에 따른 영향을 피난시물레이션을 통해 비교·분석함으로써 기존 연구와 차별성이 있다고 할 수 있다.

3. 연구대상 선정

3.1 서울시 지하철 역사 현황

서울시에서는 2017년 기준 307개 역이 운행 중에 있다. 그 중 지하철역사는 283개로 전체 역사 중 92%에 달한다. Table 3은 서울 지하철 1호선¹⁾부터 9호선까지의 지하철 역사 현황을 나타낸다.

Table 3. Seoul Subway Stations Status

Line	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Total	10	50	34	26	51	38	51	17	30
Under	10	37	32	21	51	38	48	17	29
Rate(%)	100	74	94	80	100	100	94	100	97

1990년대에 착공되어진 5,6,8호선은 100% 모든 역사가 지하에 위치하고 있다. 전체 역사에서 지하철역사가 92% 이상을 차지하고 있는 만큼 지하철 역사의 화재 대비 피난안전 대책은 중요하다고 볼 수 있다. 국토교통부 고시 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에서 정의하고 있는 피난시간기준은 마지막 피난자가 승강장으로부터 대피하는데 4분 이내, 안전한 외부출입구로 벗어나는데 6분 이내로 미국의 NFPA 130을 그대로 적용한 것이다. 그러나 2015년에 서울시 지하철 역사의 피난시간을 조사한 결과 기준을 초과한 역사는 109개로 전체 276개 지하철 역사의 39.5%에 달하는 것으로 조사되었다. 노선별 기준 초과율은 7호선이 72%로 가장 높았고, 6호선, 5호선 순으로 피난시간을 초과한 역사가 많은 것으로 조사되었다. 이 중 가장 피난시간이 오래 걸리는 역사는 8호선 산성역으로 15분 5초였으며, 서울시 내에서는 7호선 송실대입구역이 가장 오래 걸리는 역사로 조사되었다. 서울시 내에서의 피난시간기준 초과 역사를 정리한 결과는 Table 4와 같다(Yoon, 2015).

Table 4. Evacuation Time Standards Over Subway Stations in Seoul

Rank	Stations	Evacuation Time
1	Line7. Soongsil Univ.	13 min
2	Line6. Beotigogae	12.4 min
3	Line5. Yeongdeungpo Market	12.1 min
4	Line4. Sadang	10.4 min

1) 1호선 서울역(지하)~청량리(지하)구간만 서울교통공사에서 운영

본 연구에서는 이러한 피난시간기준 초과 역사가 발생하는 원인을 지하철 역사의 심도와 승객 현황에 따라 구분하여 분석하였다.

3.1.1 지하철 역사의 심도

현재 한국에서 가장 고심도인 지하철 역사는 부산 3호선인 만덕역이다. 지하 9층 건물 깊이에 해당하는 68.41 m로 아파트 층수로 24층에 근접한 높이이다. 서울교통공사 자료에 따른 서울·수도권의 가장 깊은 지하철 역사는 8호선 삼성역으로 승강장 기준 53.91 m이다. 현황의 범위를 서울시로 제한할 경우에는 승실대입구역이 45.49 m로 심도가 가장 깊은 것으로 나타났으며, 그 뒤로 신금호역, 버티고개역 순이었다. 서울시 지하철 역사 심도 현황을 정리하면 Table 5와 같다(Seoul Metro, 2017).

3.1.2 승객 현황

서울교통공사 통계에 따른 2017년 1월부터 8월까지의 승·하차인원 현황은 일평균 약 950만 명이며, 승·하차인원 실적이 가장 높은 역은 강남역으로 하루 평균 200만 명의 유동인구가 발생하였다. 지하철 피난시간기준 초과 원인을 확인하기 위해 기준초과역사의 일평균 승·하차인원 현황을 정리하면 Table 6과 같다. 이용실적이 가장 많은 역은 4호선 사당역으로 하루 평균 5만5천 명 이상이 이용하며, 다음으로는 7호선 승실대입구역이 약 3만 명 내외로 이용 중인 것을 알 수 있다. 가장 이용실적이 적은 역은 6호선 버티고개역으로 나타났다.

Table 5. Subway Stations' Depth in Seoul

Rank	Stations	Depth
1	Line7. Soongsil Univ.	45.49m
2	Line5. Singeumho	42.12m
3	Line6. Beotigogae	40.87m
4	Line5. Yeouinaru	40.85m
5	Line6. Dokbawi	36.84m

Table 6. Overtime Subway Stations' Daily Average Records

Rank	Stations	Total(per)
1	Line4. Sadang	55,203
2	Line7. Soongsil Univ.	29,983
3	Line5. Yeongdeungpo Market	17,741
4	Line6. Beotigogae	4,782

두 원인을 비교한 결과, 피난시간기준을 초과하는 지하철 역사 중 승실대입구역, 버티고개역, 영등포시장역은 승강장의 위치가 깊은 곳에 위치하였기에, 사당역은 환승역으로써

유동 인구가 상대적으로 많아 피난시간이 오래 걸리는 것으로 측정된 것을 알 수 있다.

3.2 연구대상 지하철 역사 선정 및 개요

본 연구에서는 서울시 내 지하철 역사 중 가장 심도가 깊고, 단일 역사이면서 대학가를 중심으로 비교적 유동인구가 많은 승실대입구역을 연구 대상 역사로 선정하였다.

지하철 7호선 승실대입구역은 총 4개의 지상 출구를 가지고 있다. 역사는 지하 6층에 승강장이 있고, 양측에 승강장이 별도로 있는 2면 2선 상대식이다. 승강장에는 4개의 계단이 지하 5층 대합실까지 연결되어 있고, 지하 5층부터 지하 2층 대합실까지 1개의 계단과 3개의 E/S로 연결되어 있다. 지하 2층부터 승강장인 지하 6층까지 한 번에 이동하는 2개의 E/L가 양쪽에 각각 하나씩 배치되어 있으며, 지하 2층에 개표구가 위치하고 있다. 그리고 지하 2층부터 지하 1층 대합실까지 계단 1개와 3개의 E/S가 있고, 지하 1층부터는 4개 출구로 연결되어 있다.

4. 피난시나리오 구성

4.1 사전정보 인지요인의 변수 설정

선행연구에서 사전정보에 대한 인지요인으로 사전지식과 공간친숙도를 확인할 수 있었는데 2가지 요인에 대한 정의를 내리면, 사전지식은 문을 수동으로 개폐하여야 하는 경우, 개폐방법을 알고 있는가에 대한 정보를 확인하는 요인이고, 공간친숙도는 열차를 탈출한 후 피난계단 또는 E/S의 위치에 대해 익숙한 상황에서 신속하게 이동하는 영향을 확인하는 요인이다. 분석되어질 요인의 변수는 선행연구의 결과를 반영하여 피난상황을 가정하여 설정한다.

먼저, 사전지식은 Kang(2009)의 연구에서 수동으로 개폐하는 교육을 사전에 하였을 때와 하지 않았을 때를 비교 실험한 결과, 교육을 받은 열차는 평균 11초, 교육을 받지 않은 열차는 평균 44.9초에 열차를 탈출한 것을 반영하여 열차 문 수동개폐 방법의 사전지식에 따른 차이를 30초로 설정한다.

공간친숙도는 피난자가 피난경로를 신속하게 파악 및 이동하는 변수로 피난시물레이션 상에서 피난자의 피난경로를 지정하여 병목현상 구간에서의 소요시간을 줄이고, Lee(2002)의 분석결과에 따른 경로에 익숙한 사람의 보행속도 1.2 m/s로 지정하여 피난결과를 확인하도록 한다.

4.2 피난인원 산정

연구대상 역사의 피난인원을 산정하기 위하여 「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침」에서 역사 설계 시 산정하는 식을 활용한다.

먼저 열차수용인원은 재차인원의 2배 값으로 구해지는데, 재차인원을 확인할 수 있는 자료가 없으므로, 통계자료 중

기준일자를 지정하여 인원을 산정하였다. 기준일자는 2017년 1월부터 6월까지의 승하차실적 통계치를 분석하여 승실대입구역의 첨두시간대에 인원이 가장 많은 날을 확인하였다. 그 결과 2017-03-13으로 08~09시 시간에 6440명의 인원이 승하차한 것을 확인하였고, 이를 기준으로 승실대입구역이 있는 7호선을 상행(부평구청→장암)과 하행(장암→부평구청)으로 구분하고 승실대입구역의 승하차시간을 측정하였다. 그리고 승실대입구역의 첨두시간대인 08~09시의 재차인원을 파악하기 위해서 다음 Eq. (1)과 같은 식을 도출하였다. 단, 환승역의 환승인원은 고려하지 않으며, 승객은 7호선만 이용한다고 가정한다.

$$C_n = \sum_{k=1}^{n-1} X_k - \sum_{k=2}^{n-1} Y_k \quad (1)$$

다음은 승실대입구역의 상·하행별 승하차인원을 구하기 위해서 승차인원실적과 하차인원실적을 구분하였다. 상행 승강장을 A라고 가정하였을 때, 상행을 이용하는 승하차인원의 계산식은 다음 Eqs. (2), (3)과 같다.

$$AX_n = \sum_{k=1}^{n-1} X_k / \left(\sum_{k=1}^{n-1} X_k + \sum_{k=1}^{n-1} X_{t-k+1} \right) \times X_n \quad (2)$$

$$AY_n = \sum_{k=2}^{n-1} Y_k / \left(\sum_{k=2}^{n-1} Y_k + \sum_{k=1}^n Y_{t-k} \right) \times Y_n \quad (3)$$

승실대입구역의 열차시격은 첨두시간의 3분으로 열차 8량의 상대식 승강장으로 만차인원 1,884명(혼잡율 150%)을 적용하였다. 계산식을 활용한 피난인원 산정 결과는 Table 7과 같으며 총 1,226명으로 산출되었다.

Table 7. Estimating Occupants

	Up			Down		
	into	ride	off	into	ride	off
per hours	1,242	9,546	1,628	1,527	8,212	2,043
per minutes	25	160	28	31	137	35
interval(3min)	75	478	82	92	411	103
in platform	1,031			914		
platform per	get into per + [riding per*2] =					1,031
opposite per	get into per + get off per =					195
waiting room	platform per + opposite per =					1,226

4.3 피난시나리오 전제 조건 설정

기본 시나리오는 승실대입구역에 정차한 열차 내에서 화재가 발생한 것으로 가정한다. 화재가 발생된 열차의 피난자는 즉시 피난이 시작되고, 나머지 열차의 문은 작동 불량

상태로 수동으로 개폐하여야 한다. 열차의 재차인원과 승강장 대기 인원이 동시에 피난을 시작하는 것을 전제로 하며, 반대편 승강장도 동일하다. 보행속도는 건물내부의 위치, 경로 등에 익숙하지 않은 일반사람의 보행속도인 1.0 m/s로 Lee(2002)를 근거로 하였으며, E/S는 화재 발생 후 모두 정지한다는 하에 모두 피난 경로로 사용하는 조건으로 적용한다.

1호차부터 8호차까지 각 열차별 화재발생 위치를 변경하여 최악의 조건을 확인하고, 사전정보 인지요인별로 설정된 변수를 반영하여 각각 시뮬레이션을 실시한다. 마지막으로 요인을 종합하여 실시한 후 피난시간을 측정·비교한다. 피난시뮬레이션의 입력사항에 대한 전제 조건 및 시나리오를 정리하면 Table 8과 같다.

Table 8. Evacuation Scenario Precondition Establishment

Fire situation	1) Fire is generated inside the train, and evacuation to ground. 2) Stairs and E/S are used as escape routes. 3) Change the number of fire locations by train from 1 to 8. 4) The personnel of the fire train starts immediately after the fire. The remainder of the trains are opened manually due to poor operation.
Speed	Walking speed 1.0 m/s
Reaction time	0 sec (immediately reaction)
Occupants	Total people 1,226 per. 1) train 956 (6cars: 120, 2cars: 118) 2) platform 270 (into: 75, opposite: 195)
Scenario	Scenario 1) based Scenario Scenario 2) Scenario 1 + prior knowledge Scenario 3) Scenario 1 + space familiarity Scenario 4) Scenario 1 + 2 + 3

5. 피난시뮬레이션 결과

5.1 피난시뮬레이션 결과

피난시뮬레이션을 실시한 결과를 정리하면 Table 9와 같으며, 각 열차의 호차별로 화재 발생지점을 변경하였을 때를 각각 시나리오별로 확인하였다.

Table 9. Final Evacuation Time by Fire Occurrence Train

Train NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
Scenario 1	957.0	940.0	938.3	931.0	939.0	936.5	945.8	941.5
Scenario 2	937.3	936.3	937.5	943.8	941.0	934.3	941.5	925.5
Scenario 3	763.8	745.3	737.5	743.8	751.0	736.8	740.5	747.8
Scenario 4	741.3	730.3	734.0	741.8	740.8	733.5	732.3	739.3

Scenario 1에 대하여 시뮬레이션을 실시한 결과, 피난인원 총 1,226명이 지상 출구까지 피난하는데 총 평균 941.1초가 소요되었으며, 6분(360초)보다 581.1초가 초과하는 것으로 분석되었다. 피난시간이 가장 오래 걸리는 화재발생 지점은 1호차로 957초가 소요되었으며, 6분 이내에 피난한 인원은 198명에 그쳐 전체 인원의 약 84%가 규정시간 내에 피난을 완료하지 못한 것으로 분석되었다(Fig. 2).

Fig. 2. Scenario 1. Graph (1 train fire)

수동으로 문을 개폐하여 열차 탈출시간이 빠른 경우의 Scenario 2의 경우, 피난인원이 모두 지상 출구까지 피난하는데 전체 열차평균은 937.2초로 나타났으며, 8호차에서 화재가 발생하였을 때가 925.5초로 가장 빠르게 피난된 것으로 나타났다. 4호차는 Scenario 1보다 12.8초가 더 소요된 것으로 분석되었는데, B6층 승강장에서 계단 진입 시의 병목현상이 극심하여 나타난 결과로 보인다.

Scenario 3은 병목현상이 심하게 나타나는 구간에서 피난자가 다른 경로로 회피하여 피난할 수 있도록 피난경로를 지정한 결과로 1,226명의 피난 인원이 지상으로 탈출하는데 평균 745.8초가 소요되었으며, Scenario 1보다 195.3초(3분 15초)가 단축되었다.

Scenario 4에서는 피난이 모두 완료되는데 평균 736.7초가 소요되었으며, Scenario 1보다 204.4초(3분 24초)가 단축되었다. Scenario 1보다 가장 시간이 많이 단축된 경우는 1호차에서 화재가 발생했을 경우로 215.7초가 단축되었다. 1호차의 경우, 6분 이내에 피난한 인원은 349명으로 Scenario 1보다 1.7배 많이 피난하였다.

5.2 피난시뮬레이션 결과 분석 및 시사점

전체 시나리오를 비교한 결과를 시나리오별 평균값으로 정리하면 Table 10과 같으며, 사전정보 인지요인이 반영됨으로써 피난시간이 단축되는 것을 알 수 있다.

Scenario 2와 같이 열차의 문을 수동으로 개폐하여야 하는 경우, 개폐하는 방법에 대한 사전지식 또는 빠르게 방법을 인지할 수 있어야 한다. 선행연구에 따른 평균적인 시간 간격 차이를 입력하였고, 피난시간은 약간 감소되었다. 그러

나 시뮬레이션 결과, 피난자의 열차 탈출은 빨랐으나 대심도 지하철 역사에서 계단 또는 E/S의 이동구간이 길어지다 보니 오히려 병목현상이 심각해지는 현상이 나타났다(Fig. 3).

Table 10. Simulation Results by Scenarios

Evacuation	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Max	957.0	943.8	763.8	741.8
Min	931.0	925.5	736.8	730.3
Aver.	941.1	937.2	745.8	736.7
Shorten t	-	-3.9	-195.3	-204.4

Fig. 3. Bottleneck Situation

Scenario 3의 경우, 시간 단축이 크게 일어나 피난자의 경로 인지와 지도자의 안내가 피난에 중요한 영향을 미친다고 볼 수 있다. 병목현상이 심한 계단의 진입로나 계단에서 다른 피난 경로를 모색함으로써 피난시간을 단축할 수 있었다(Fig. 4).

Fig. 4. Designation of Evacuation Route

이는 피난자가 지하철 역사의 공간에 친숙하지 않더라도 역사 직원이나 소방대원들의 경로 안내가 신속하게 이루어져야 함을 시사한다. 또한 피난유도설비에 대한 확대 설치 방안을 마련하는 것이 필요하다.

Scenario 4는 두 가지의 사전정보 인지요인을 반영한 결과로 전체 피난시간을 3분 이상 단축된 것을 확인할 수 있었다. 이는 두 요인이 동시에 모두 작용하였을 때, 더 큰 효과를

나타낼 수 있음을 시사한다.

그러나 피난시물레이션의 전반적인 결과를 확인하면, 피난시간기준(6분)에 탈출한 인원은 최대 349명에 불과하며, 승강장을 벗어나지 못한 인원도 상당하다. 이는 피난자가 열차 화재 시에 발생된 연기로 인한 질식사의 위험성에 노출되어 있음을 보여주므로 승강장에 구비된 소방용품의 방독면 또는 화재용 마스크의 수량 확보 및 전반적인 피난관련 시스템 구축이 필요할 것으로 보인다.

6. 결 론

본 연구에서는 대심도화 되어가는 지하철 역사에서의 화재 시 사전정보에 따른 인지요인을 분석하고 피난시물레이션을 통해 피난결과를 비교 분석하였다. 주요 결과는 아래와 같다.

- (1) 지하철 역사에서의 화재 시 피난자의 사전정보에 따른 인지요인으로는 사전지식과 공간친숙도로 나타났다.
- (2) 사전정보 인지요인에 의한 피난결과를 분석하기 위하여 시나리오를 설정하고 피난시물레이션인 Pathfinder를 활용하여 실시한 결과 기본 시나리오(Scenario 1)에서는 피난자 1,226명이 모두 지상으로 탈출하는데 평균 941초가 소요되어 피난시간기준인 6분(360초)을 2배 이상 초과함을 확인할 수 있었다.
- (3) 사전지식에 의한 인지요인(Scenario 2)을 확인한 결과, 열차 탈출은 빨리 할 수 있으나 계단 및 진입로의 병목현상이 심하여 대심도 지하철 역사에서의 피난상황 시 피난시간 단축의 상당한 효과를 기대하기 어려운 것을 확인할 수 있었다.
- (4) 공간친숙도(Scenario 3)는 병목현상이 나타나는 구간에서 다른 경로를 인지하고 이동함으로써 피난시간 단축에 큰 효과가 있는 것으로 분석되었다.
- (5) 사전정보 인지요인을 모두 종합하여 실시한 결과 (Scenario 4), 피난시간이 평균 204.4초가 단축되는 것으로 나타나 정보인지 수준이 피난결과에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

결과적으로 화재 시 피난자의 공간인지가 피난에 큰 영향을 미치며, 지하철 역사의 공간에 친숙하지 않더라도 역사 직원이나 소방대원들의 경로 안내가 신속하게 이루어짐으로써 인명피해를 줄일 수 있고, 피난유도설비 설치 확대를 통해 피난경로에 대한 정보를 지속적으로 제공하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

그러나 대심도화 되는 지하철 역사의 특성상 수직이동 경로가 길어지고, 피난시간은 증가하게 되어 지하철 역사의 피난시간기준인 6분(360초)을 대심도 지하철 역사가 만족하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 정책적으로 피난시간에

대한 기준의 재정비가 필요하며, 피난상황 시 피난자의 빠른 판단을 통해 피난을 시작할 수 있도록 매뉴얼 개선 및 사전정보 제공에 대한 지속적인 교육이 필요하다.

마지막으로 본 연구에서는 선행연구 분석을 통한 사전정보 인지요인의 변수를 설정하였으나, 실제 화재 결과를 정확하게 예측하기에는 한계가 있으며, 추후 설문조사, 모의실험을 통한 피난결과 비교가 필요할 것으로 보인다. 또한 서울시로 연구범위를 제한하여 연구대상을 설정함에 있어 향후 타 지역의 대심도 지하철 역사 및 광역급행철도(GTX) 등의 대심도 철도 역사를 대상으로 연구대상을 확대하여 비교할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임(No. 2015R1A5A1037548).

References

- Choi, S.Y. (2010) A Comparative Study on Evacuation Simulation Tools of Subway Station Disaster. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol. 12, No. 1, pp. 139-146.
- Ham, E.G., and Roh, S.K. (2010) A Study on the Design of Evacuation Route at Subway Station Using Simulation Analysis. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 10, No. 5, pp. 1-7.
- Hong, W.H., and Jeon, G.Y. (2005) A Study on Safe Egress Countermeasure in Underground Space through the Analyzing Survivors' Exit Patterns of Daegu City Subway Arson. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 21, No. 1, pp. 235-242.
- Jeon, G.Y. (2005) *An Analysis of Evacuation System Development for Underground Space with Consideration to Behaviors and Cognitive Characteristics of Humans Under Emergency Situations*. Ph.D. dissertation, Kyungpook University.
- Jeon, S.M., Kim, B.J., and Jeon, G.Y. (2017) The Survey Study about Influencing Factors in Recognizing Fire During Egress from Buildings. *Proceedings of 2017 AIK Annual Spring Conference*, Architectural Institute of Korea, Vol. 37, No. 1, pp. 587-588.
- Kang, J.S., Yoon, S.H., and Yee, J.J. (2009) The Study on Evacuation Time according to Safety Consciousness Level & Knowledge of Evacuation Method in an

Subway Fire. *Proceedings of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 29, No. 1, pp. 625-628.

Korean Council for the University Professor in Fire Protection, (2008) *Fire Protection Theory*. Donghwa Technology Publishing Co.

Lee, G.H. (2002) *Building Prevention Planning Theory*. Kungnam University Press.

Minister of Land, Infrastructure and Transport (2013) *Metro Station and Transit, Facilities Design Guidelines*.

Park, B.J., and Lee, K.H. (2012) A Study on Evacuation Performance for Various Subway Station Categories during Acts of Terror or Fires. *Journal of the*

Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 28, No. 10, pp. 73-82.

Seoul Metro (2017) Operation Status Data ('16.12.31), Retrieved from <http://www.seoulmetro.co.kr>

Yoon, S.K. (2015) Seoul Subway Station 40%, Emergency Risk Exposure. from <http://www.safetoday.kr> (Retrieved October 6, 2017).

Received	November 20, 2017
Revised	November 21, 2017
Accepted	November 30, 2017