

지하철 승강장 화재시 연기의 전파속도에 따른 승강장 형태별 피난시간 비교·분석 연구

김진수¹ · 이동호^{2*}

¹학생회원, 인천대학교 일반대학원

²정회원, 인천대학교 소방방재연구센터

A study of comparative of evacuation time by platform type according to the propagation speed of smoke in subway platform fire

Jin-Su Kim¹ · Dong-Ho Rie^{2*}

¹Graduate School, Incheon National University, Incheon, Korea

²Professor, Fire Disaster Prevention Research Center, Incheon National University, Incheon, Korea

*Corresponding Author : Dong-Ho Rie, riedh@inu.ac.kr

Abstract

There are many constraints, both economically and ethically that experimenting human evacuation behavior in situations such as fire. Therefore, the evacuation behavior is simulated based on the existing studies. In recent years, the foundation has been established as computer performance advances, models closer to reality can be studied. In this study, the evacuation time in the subway platform was analyzed from modeling human behavior and smoke propagation in a fire. The evacuation efficiency was also examined by dividing the shape of the subway station platform by the stair position and comparing the evacuation times for each platform. As a result, it was found that the side platform was longer than the island platform by 36.82% more time to evacuation. The shape of the stairs is most advantageous in terms of evacuation form side type platform was 210 seconds and island type platform was 186 seconds, when a fire occurs in the center of the platform. And most favorable in location of evacuation stairs were located at 2/5 point and 4/5 from depending on the step location.

Keywords: Fire safety, Subway platform, Multi agent system, Evacuation

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and
Underground Space Association
19(4)577-588(2017)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2017.19.4.577>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received May 31, 2017

Revised July 14, 2017

Accepted July 14, 2017



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2017, Korean Tunnelling and Underground Space Association

www.kci.go.kr

초 록

화재와 같은 상황에서 인간의 피난 행동을 실험하는 것은 경제적으로나 윤리적으로 많은 제약이 따른다. 때문에 인간의 피난행동은 기존에 보고·연구된 피난 행동을 바탕으로 시뮬레이션 되고 있으며 최근에는 컴퓨터 성능의 발전으로 현실에 가까운 모델들이 연구될 수 있는 기반이 마련되었다. 본 연구에서는 화재시 인간의 행동특성과 연기 전파를 모델링하여 지하철 승강장 내에서의 피난시간을 분석하였다. 또한 지하철 역사 승강장의 형태를 계단 위치에 따라 구분하여 각 승강장별 피난시간을 비교함으로써 피난효율을 검토하였다. 그 결과 상대식 승강장은 섬식 승강장에 비해 평균 36.82%의 피난시간이 더 소요되며, 승강장 내의 계단 위치에 따라서는 승강장 중앙에서 화재가 발생하는 경우 상대식 승강장이 210초, 섬식 승강장이 186초로 승강장 2/5지점과 4/5지점에 계단이 위치하는 형태가 피난 측면에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

주요어: 화재안전, 지하철 승강장, 다중 에이전트 시스템, 피난

1. 서론

도심지역에서 지하철은 없어서는 안 될 필수 수단으로써 자리매김 하였다. 2017년 현재 국내 서울지역에서 운영되는 지하철은 1~9호선까지 존재하며, 이를 이용하는 승객은 매년 증가되고 있는 추세이다. 2006년 227만 명이던 지하철 이용객은 2009년 까지 유사한 이용 흐름을 보이다가 2010년 9호선이 운영되기 시작하며 245만 명으로 증가하였다. 이후 2015년까지 연평균 2.4%의 증가율을 보이며 264만 명을 기록하였다(Seoul Metropolitan Government, 2016). 지하철은 인구가 집중된 도시 지하에 존재하며 시민의 수송을 돕고, 에너지 절약 차원에서 자동차에 비해 우수한 장점이 있으나 제연 또는 배연에 제약이 있기 때문에 유독가스 및 열로 인한 인명피해가 발생할 가능성이 높다(Yoo, 2015). 우리나라의 경우 2003년 대구 지하철 화재로 인해 192명이 사망한 바 있으며, 매 년 열차 추돌과 탈선, 화재와 같은 크고 작은 사고들이 발생하고 있다(Hong, 2004). 지하 공간은 창문이 없고 출구가 제한되어 있어 사고 이후 승객의 피난 측면에서도 어려움이 존재한다. 때문에 지하 역사에서의 피난은 연구자들의 주된 관심사항이었으며 현재까지도 많은 연구가 진행되고 있다. 최근에는 컴퓨터 성능의 증가와 인간 사회학적 연구 결과로 피난 모델링이 점차 중요해지고 있다. 종전에 인간의 연령별, 성별, 신체 특징에서 비롯되는 보행속도, 반응속도 및 건축물의 구조적인 특징 외에도 인간·사회적 군중의 행동이 함께 고려되고 있는 추세이다(Almeida, 2013).

군중의 흐름에 대한 연구 목적은 시설 내의 서비스 수준을 향상시키고 시설의 설계 요소 또는 계획을 마련하기 위함에 있었으며 군중의 흐름을 예측하기 위해 시뮬레이션 모델들이 개발되기 시작하였다. Yuhaski et al. (1989)과 Roy (1992)는 대기시간 모델(queueing models)을 통해 건축물 내에 서비스를 받기까지의 대기 시간을 예측하였다. Helbing (1995)은 보행자의 흐름과 유체의 흐름을 동일하게 보는 이론이 실제적으로 공식화 될 수 있지만 실용적인 응용을 위해서는 개개인의 보행자 행동을 직접 시뮬레이션하는 것이 더 유리하다고 보았으며 정상상태에 보행자와 공황상태에 있는 보행자를 비교하여 패닉모델을 제시하였다. Lei (2012)는 비상상황에서 승객의 흐

름과 수송능력을 계산하고 분석하였으며 Park (2015)은 지하철 승강장과 개찰구 유형에 따른 대피 안전성에 대해 연구하였다. 이와 같이 보행자의 행동을 실제 상황과 유사하게 표현하기 위한 연구와 이를 바탕으로 피난 해석을 하는 연구가 지속되고 있으나 피난 모델은 여전히 실제상황에서 일어나는 인간의 모든 피난환경을 반영하지 못하고 있다. 따라서 피난 모델의 정확성을 높이려면 이론과 계산 모델을 통합하는 것이 필요하며 정교한 현상을 모델링하기 위해서는 다양한 알고리즘이 사용되어야 한다.

본 연구에서는 화재시 인간의 행동특성과 화재시 연기 전파를 모델링하여 지하철 승강장 내에서의 피난시간을 분석하였다. 또한 지하철 역사 승강장의 형태를 계단 위치에 따라 구분하여 각 승강장별 피난 소요시간을 분석하였다.

2. 피난모델

2.1 Multi-Agent System (다중에이전트 시스템)

MAS는 각 에이전트에 특성을 부여하는 동시에 전체 에이전트 안에서 서로 간섭이 가능하기 때문에 인간의 실제 상호 작용을 재현하기 위한 가장 현실적인 도구이다(Almeida, 2013). 각 에이전트의 행동 자율성은 에이전트의 사용자가 정의한 속성 및 행동 규칙에 기반한다. 본 연구에서는 일본구조연구소에서 개발되어 피난 시뮬레이션으로써의 활용이 연구되었던 Artisoc v3.0을 사용하였다(Sato, 1996). Artisoc은 Agent Simulation of Pedestrian Flow (ASPF) 보행규칙의 적용이 가능하며 각 규칙은 실제 보행자의 행동을 모델링하기 위해 적용된다. 국내에서도 Artisoc을 이용한 분산피난 및 지하철 승강장 내 복도통로유도등 유무에 따른 피난소요 시간이 연구된바 있다(Jang, 2012; Kim, 2016).

2.2 재실자 밀도에 따른 보행특성

재실자의 밀도는 피난자의 속도와 방향에 밀접한 관계가 있다. 많은 연구자들은 재실자 밀도와 유동계수 등을 이용하여 보행자의 속도를 실험식으로 나타낸 바 있다(Kong, 2006; Rahmalan, 2006). 또한 많은 연구자들은 재실자 밀도에 따른 보행속도를 연구하였으며 이를 요약하여 나타내면 Table 1과 같다(Kady, 2012).

다수의 연구자들에 의해 연구된 바에 따르면 밀도 0.45 이하에서는 자유로운 보행이 가능하며 추월은 재실자 밀도 0.7 이상에서는 거의 불가능하다. 또한 충돌의 가능성이 생기지 않는 정도는 군중밀도가 0.33 이하이다.

표에서 각 연구자에 의해 제시된 모델들의 밀도 범위는 0~4인/m²이며, 이 범위 내에서의 보행 속도는 크게 차이 나지 않는다. 국내에서도 한국인의 체형 및 연령에 따른 보행속도 연구된 바 있으며, 이에 따르면 자유보행상태에서 성인 남자의 평균 보행속도는 1.2-1.38 m/s범위로 그 차이가 크지 않다(Seo, 2010; Youn, 2013). 한국인과 인체 치수가 비슷한 일본의 경우에는 피난계획의 보행속도로서 복도에서의 보행속도를 1.2 m/s로 규정하고 있다(日本建築学会, 2002).

Table 1. Occupant density and walking speed (Kady, 2012)

Study	Density (persons/m ²)	Crowd Movement	Speed (m/s)
Ando et al. (1988)	0.8	Free	1.4-1.6
	1.8	Non-contact	0.5-1.0
	4	Restricted stagnation	<0.5
Fruin (1971)	0.4	Adjustable	1.3-1.4
Nelson and MacLennan (2002)	0.54	Comfortable	1.2
	3.8	Slow	≈ 0
Older (1968)	4	Restricted	0.3
Pauls (1995)	0.54	Independent	1.25
	4-5	Restricted (standstill)	≈ 0
Polus et al. (1983)	0.1	Free	1.3
	2.2	Jammed	0.7

피난자의 보행속도는 Nelson (2002) 제안한 식으로 구하였으며, 이 때 최대보행속도는 국내 연구결과에 따라 1.38 m/s로 하였다. 이를 나타내면 식 (1)과 같다.

$$S = 1.38 - 1.38 \times 0.266 \times D \tag{1}$$

여기서, S : 보행속도(m/s)

D : 밀도(person/m²) 이다.

3. 연기 전파 모델의 적용

3.1 연기층의 형성과 연기 유동

본 연구에서는 승강장 내에 연기확산 적용을 위해 Hinkley (1989)의 연기선단 속도식을 통한 연기 확산 시간을 계산하였다. Hinkley는 연기와 공기와의 확산에 의한 영향이 없는 경우 복도의 길이 방향으로만 연기가 퍼져 나가는 가정 아래, 천장과 연기와의 마찰력을 무시하고 연기의 관성력과 부력과의 관계인 Froude 수를 고려하여 속도 식을 제안하였다(Ministry of Science and Technology, 1998)

철도차량의 화재 방출열량은 국가별로 차이가 있으나 5-16 MW/car 범위에 있으며(Chiam, 2005) 국내 철도시설안전세부기준(Ministry of Land, 2006)에서는 철도차량에 대하여 최소 10MW 이상의 화재규모를 가정하도록 제한하고 있으므로 10 MW 화재로 가정하였다. 이에 대한 화재성장곡선을 나타내면 Fig. 1과 같다. 한편, Kim (1988)은 액체 가솔린을 연소시켜 연기층의 선단 속도를 Thermocouple로 온도 측정으로 계산한 바 있으며 이 때

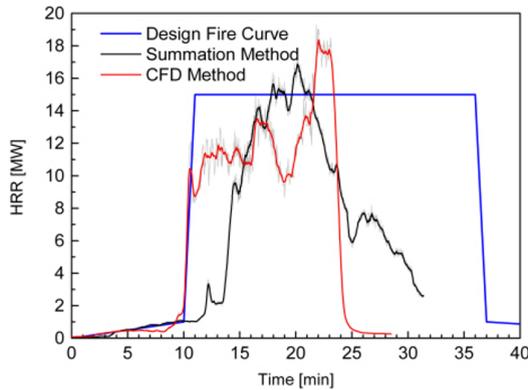


Fig. 1. Fire curve in subway car(Yoo, 2010)

연기층의 평균 선단 속도는 0.26-0.67 m/s 범위로 나타났다. 화재연기의 전파속도는 시간에 따라 달라지나, 본 연구에서는 화재연기의 전파속도를 0.2, 0.4, 0.6 m/s의 일정한 속도로 확산됨을 가정하여 조건으로 적용하였다.

초기에 연기층은 두께가 얇고 농도가 낮으며, 하부의 공기층과의 경계도 확실하지 않지만 순차적으로 두께와 농도가 증대된다(Seo, 2010). 화재 연기층은 천장과 맞닿는 상부로부터 형성 되므로 피난자의 시야범위를 제한하는 범위까지 하향되는데 걸리는 시간의 계산이 필요하다. 일본의 국토교통성고시(2002)에서는 연기가 하강하는데 까지 걸리는 시간을 식 (3)으로 제시하고 있다.

$$T_{smog} = \frac{A_{room} \times (H_{room} - H_{lim})}{\max(V_s - V_e)} \quad (3)$$

여기서, T_{smog} : 연기층 하강 시간 (min)

A : 실 바닥면적 (m^2)

H_{room} : 천정높이 (m)

H_{lim} : 청결층의 높이 (m)

V_s : 연기의 발생량 (m^3/min)

V_e : 유효배연량 (m^3/min) 이다.

본 해석조건에서 승강장의 폭과 길이는 각각 8 m, 210 m이다. 해석 대상인 승강장의 높이를 3 m로 가정하고 성인남자의 키를 1.8 m로 가정하면 성인남자의 눈으로부터 청결층의 높이(y)는 1.8 m가 된다.

일반적으로 도로터널의 경우에는 20~30 MW 화재강도에서 연기발생량($80 m^3/s$)을 기준으로 하고 있으나 본 연구에서는 화재강도를 10 MW로 가정하였으므로 연기의 발생량은 $40 m^3/s$ 으로 하여 계산하였다(Yoo, 2006).

3.2 가시도의 적용

가시도와 보행속도는 밀접한 관계가 있다. Jin (1989)은 감광계수에 따른 보행속도를 연구하였으며, Kawagoe (1967)를 비롯한 많은 연구자들은 연기 농도와 가시거리에 실험을 하였다. Table 2는 각 연구자들에 의해 연구된 연기 농도에 따른 가시거리를 나타낸 것이다.

Table 2. Smoke density for fire safe escape proposed by fire researches

Study	Visibility (m)	Smoke density (Extinction coefficient)
Kawagoe (1967)	20	0.1 1/m
Togawa (1955)	-	0.4 1/m
Kingman (1953)	1.2	-
Rasbash (1978)	10	0.2 1/m

식 (4)는 화재가 정상상태 일 때 단위 m 공간내의 광학농도(Optical density)를 구하는 것으로 가시도는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$OD = \frac{S_0 \cdot q_{fire}}{\Delta H_{air} \cdot \rho_o} \cdot \Delta t \quad (4)$$

$$\text{Visibility} = \frac{10db}{OD} \quad (5)$$

여기서, Visibility : 가시거리 (m)

OD : 광학 밀도 (db/m)

V : 공간 밀도 (m³)

S₀ : 연기 포텐셜 (db/m)

ΔH_{air} : 연료의 유효 열(kJ/kg)

ρ_o : 주변 공기 밀도 (kg/m³)

q_{fire} : 열방출률 (kJ/s)

Δt : 시간 변화(s) 이다.

가시거리의 계산에서 화재 강도는 앞선 절의 화재 곡선을 통해 계산하였으며, 지하철 차량의 경우 단일 물질이 아닌 복합체이며 차량 화재에 대한 정량적인 데이터가 보고된 바 없으므로 유효열은 External plywood로 가정하였다 (Rasbash, 1978).

승강장에서의 피난개시시간은 최소 210초 에서 최대 990초 까지 지연될 수 있으므로 본 연구에서는 화재 강도가 급성장하는 660초부터 피난을 개시하는 조건으로 하여 시뮬레이션 하였다(Korea Railroad Research Institute, 2014).

4. 지하철 승강장 모델링

4.1 승강장 형태 분류

승강장은 열차를 사이에 두고 마주보는 형태인 상대식 승강장과 양쪽 방향에 열차 사이에 존재하는 섬식 승강장으로 구분할 수 있다. 급행열차가 운영되거나 지형 특성에 따라 쌍상대식, 쌍섬식과 같은 형태의 응용형 승강장이 존재하기도 하나 본 연구에서는 섬식과, 상대식 승강장을 대상으로 제한하여 시뮬레이션을 수행하였다.

섬식 혹은 상대식 승강장은 형태가 같은 경우에도 계단의 위치에 따라 피난 시간에 큰 차이가 발생한다. Park (2012)는 지하철 역사의 형태를 계단 위치에 따라 분류한 바 있으며 이를 표로 나타내면 Table 3과 같다.

표에서 보는 바와 같이 계단이 중앙에 위치한 경우, 계단이 양쪽 승강장 끝에 위치하는 경우, 중앙과 편측에 위치하는 경우, 중앙계단이 양쪽에 위치하는 경우 5가지로 나눌 수 있으며, 섬식과 상대식에 각각 적용하면 총 10개의 승강장(A~J형)으로 분류할 수 있다. 승강장의 폭은 도시철도 정거장 및 환승·편의시설 설계 지침(Ministry of Land, 2013)에 승강장 최소폭 기준사항을 적용하여 상대식 승강장의 경우 4 m, 섬식 승강장의 경우 8 m로 적용하였으며 계단석의 크기는 (W)330 mm × (H)165 mm, 계단의 폭은 최소폭 기준인 3 m로 적용하였다.

Table 3. Type of subway platform

	Platform
A형	
B형	
C형	
D형	
E형	
F형	
G형	
H형	
I형	
J형	

4.2 시뮬레이션 조건

Fig. 2는 모델의 적용 순서도를 나타낸 것이다. 승강장 형태에 따라 해석 공간을 생성하고 승객은 열차 1량 당 160명을 배치하였다. 화재는 Table 3에 A형에 나타난 것과 같이 객차 첫 번째 차량 중앙과 객차 다섯 번째 차량 중앙에서 발생하는 조건으로 하였고, Agent가 생성된 후에는 MAS의 행동 규칙에 따라 피난을 수행하도록 하였으며, 피난 과정에서 보행자가 연기에 노출된 경우에는 가시도에 따른 보행속도 규칙 및 목표 변경 규칙을 따르도록 설정하였다.

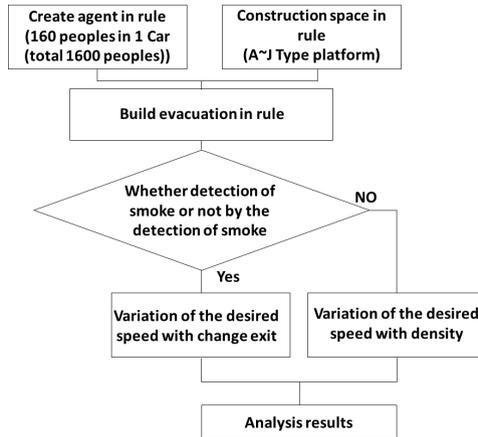


Fig. 2. Model flowchart

5. 해석 결과

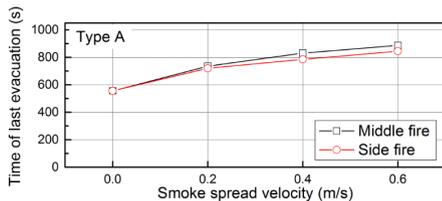
5.1 승강장 형태별 피난시간 분석

Fig. 3은 화재연기전파속도에 따른 최종피난시간을 나타낸 것으로 Fig. 3의 좌측은 상대식 승강장을 우측은 섬식 승강장의 결과이다. 상대식 승강장에서 화재연기전파가 없는 경우 최종피난시간이 가장 빠른 승강장은 E형으로 피난 종료까지 210초가 걸리는 것으로 나타났으며 C형(270초), D형(540초), A형(560초), B형(601초)의 순서로 피난종료가 늦어지는 것으로 나타났다. 화재위치에 따라서는 중앙에서 화재가 발생한 경우 A형태와 D형태가 승강장 측면화재보다 피난이 불리하며 피난시간이 15~230초 지연되는 것으로 나타났다. 또한 화재연기전파속도에 따라서는 화재연기전파속도가 0.6 m/s인 경우에 화재연기전파가 없는 경우에 비해 최종피난시간이 11초(E형, 중앙화재)에서 386초(B형, 측면화재)까지 증가하는 것으로 분석되었다.

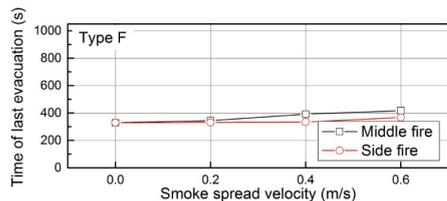
섬식 승강장의 경우에는 H형의 승강장이 최종피난시간이 186초로 가장 빠른 것으로 나타났으며, J형(196초), F형(330초), I형(331초), G형(377초)의 순서로 최종피난시간이 증가하였다. 상대식 승강장과 계단 위치가 상대식과 동일한 F형과 I형은 측면화재보다 중앙화재가 피난에 불리한 것으로 나타났으며 측면화재인 경우의 최종피난시간과 중앙화재인 경우에 최종피난 시간의 차이는 13초~73초로 나타났다. 또한 화재연기전파가 속도가 0.6 m/s인 경우 최종피난 시간은 화재연기전파가 없는 경우에 비해 5초(J형, 중앙화재),에서 198초(G형, 측면화재)까지 증가되는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 섬식 승강장 대비 상대식 승강장의 최종피난시간 증가율을 동일계단 위치별로 비교하여 나타낸 것이다.

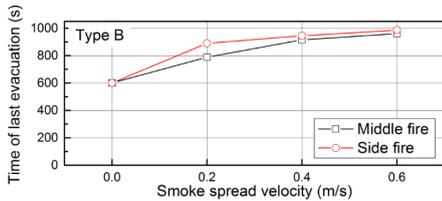
E형과 J형을 비교하였을 때 피난 최종피난시간의 증가율은 중앙화재인 경우 8.3% 측면화재인 경우 10.29%로 크지 않으며, C형과 H형을 비교하였을 때는 피난시간이 31.4%(중앙화재), 35.62(측면화재) 증가하는 것으로 나타났다. 또한 피난시간이 가장 많이 증가한 형태는 A-F형태(측면화재)였으며, 평균적으로 상대식 승강장은 섬식 승강장에 비해 약 36.82%의 피난시간이 더 소요되는 것으로 나타났다.



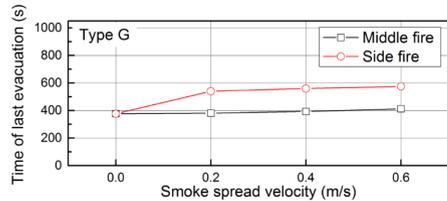
(a) Type A of side platform



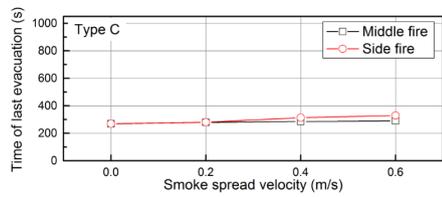
(b) Type F of island platform



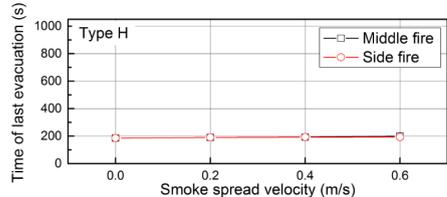
(c) Type B of side platform



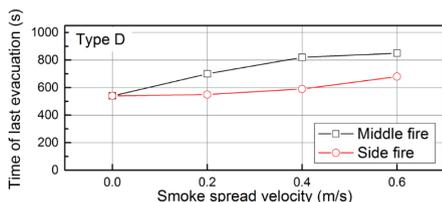
(d) Type G of island platform



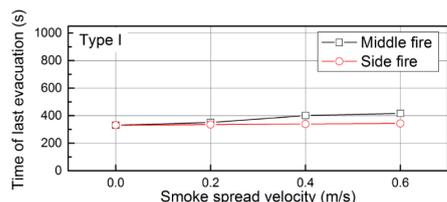
(e) Type C of side platform



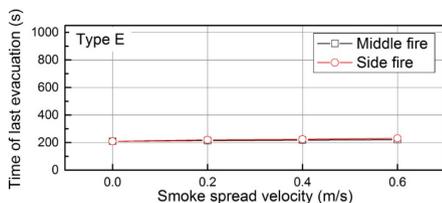
(f) Type H of island platform



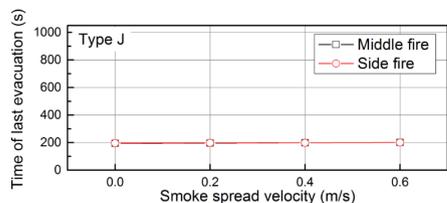
(g) Type D of side platform



(h) Type I of island platform



(i) Type E of side platform



(j) Type J of island platform

Fig. 3. Compare of last evacuation time

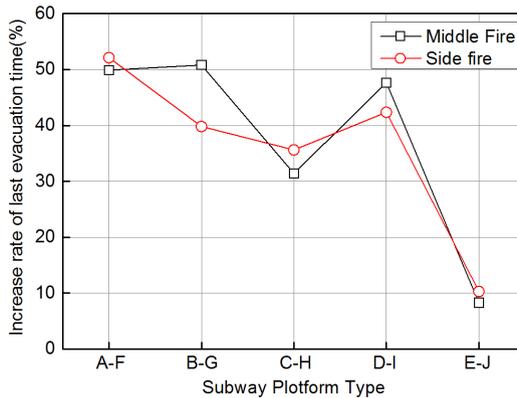


Fig. 4. Compare of side platform with island platform

6. 결론

본 연구에서는 화재시 인간의 행동특성과 화재시 연기전파속도를 고려하여 지하철 승강장 내에서의 피난시간을 분석하고 지하철 역사 승강장의 형태를 계단 위치에 따라 구분하여 각 승강장별 피난시간을 비교함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 상대식 승강장에서 화재연기전파가 없는 경우 최종피난시간이 가장 빠른 승강장은 E형으로 피난종료까지 210초가 걸리는 것으로 나타났으며 C형(270초), D형(540초), A형(560초), B형(601초)의 순서로 계단의 위치에 따라 피난시간이 최대 2.81배 증가하였다.
2. 섬식 승강장의 경우에는 H형의 승강장이 최종피난시간이 186초로 가장 빠른 것으로 나타났으며, J형(196초), F형(330초), I형(331초), G형(377초)의 순서로 최종피난시간이 증가하였다.
3. 화재위치에 따라서는 중앙에서 화재가 발생한 경우 A형태와 D형태가 측면화재보다 피난이 불리하며 피난시간이 15~230초 지연되는 것으로 분석되었다.
4. 계단의 위치별로 섬식과 상대식의 피난시간 증가율은 차이가 있으나 평균적으로 상대식 승강장은 섬식 승강장에 비해 약 36.82%의 피난시간이 더 소요되는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 국민안전처 소방안전 및 119 구조·구급기술연구개발사업(NEMA-차세대-2014-47)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. 日本建築学会. “建築物の火災安全設計指針.” (2002), pp. 145-147.

2. Almeida, J.E., Rosseti, R.J., Coelho, A.L. (2013), "Crowd simulation modeling applied to emergency and evacuation simulations using multi-agent systems", arXiv preprint arXiv:1303.4692.
3. Ando, K., Ota, H., Oki, T. (1988), "Forecasting the flow of people", *Railway Research Review*, Vol. 45, No. 8, pp. 8-14.
4. Chiam, B.H., Spearpoint, M., Fleischmann, C. (2005), "Numerical simulation of a metro train fire. Department of Civil Engineering", University of Canterbury.
5. Fruin, J.J. (1971), *Pedestrian planning and design* (No. 206 pp).
6. Hankin, B.D., Wright, R.A. (1958), *Passenger flow in subways*. *OR*, Vol. 9, No. 2, pp. 81-88.
7. Helbing, D., Molnar, P. (1995), *Social force model for pedestrian dynamics*. *Physical review E*, Vol. 51, No. 5, pp. 4282.
8. Hinkley, P.L. (1989), "The effect of smoke venting on the operation of sprinklers subsequent to the first", *Fire safety journal*, Vol. 14, No. 4, pp. 221-240.
9. Hong, W.H. (2004), *The progress and controlling situation of Daegu Subway fire disaster*. *Fire Safety Science*, 6, s-5.
10. Jang, J.S., Rie, D.H. (2012), "A Study for dispersion evacuation by behavioral characteristics based on human cognitive abilities", *Journal of the Korea Safety Management and Science*, Vol. 14, No. 3, pp. 159-166.
11. Jin, T., Yamada, T. (1989), "Experimental study of human behavior in smoke filled corridors", *Fire Safety Science*, Vol. 2, pp. 511-519.
12. Kady, R.A. (2012), "The development of a movement – density relationship for people going on four in evacuation", *Safety science*, Vol. 50, No. 2, pp. 253-258.
13. Kawagoe, K., Saito, H. (1967), "Measures to deal with smoke problems caused by fire", *J. of Japan Society for Safety Engineering*, Vol. 6, No. 7, pp. 108-114.
14. Kim, J.S., Rie, D.H. (2016), "A comparative study on evacuation time according to guidance lighting for walkway when visibility level is down", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 3, pp. 17-22.
15. Kim, M., Han, Y., Yoon, M.O. (1988), "Convective smoke spread in a corridor", *Fire Safety Science*, Vol. 3, pp. 439-450.
16. Kingman, F.E.T., Coleman, E.H., Rasbash, D.J. (1953), "The products of combustion in burning buildings", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, Vol. 3, No. 10, pp. 463-468.
17. Kong, D., Gray, D., Tao, H. (2006, August), "A viewpoint invariant approach for crowd counting", In *Pattern Recognition, 2006. ICPR 2006. 18th International Conference on. IEEE*, Vol. 3, pp. 1187-1190.
18. Korea Railroad Research Institute. (2014), "Quantitative risk assessment manual draft", South Korea.
19. Lei, W., Li, A., Gao, R., Hao, X., Deng, B. (2012), "Simulation of pedestrian crowds' evacuation in a huge transit terminal subway station", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 391, No. 22, pp. 5355-5365.
20. Ministry of Land. (2006), "Detailed criteria for railway facility safety", Korea.
21. Ministry of Land. (2013), "Guidelines for the design of urban railway stations and transit and convenience

- facilities”, Korea.
22. Ministry of Science and Technology, (1998), “Study of fire safety diagnosis and evaluation in public buildings”, Korea.
 23. Nelson, H.E., Mowrer, F.W. (2002), Emergency Movement, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, ed. DiNenno P., Walton DW National Fire Protection Association.
 24. Older, S.J. (1968), Movement of pedestrians on footways in shopping streets. Traffic engineering & control.
 25. Park, B.J., 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, 28.
 26. Park, B.J., Park, I.G., Yoo, Y.H. (2015), “Evacuation safety analysis depending on the type of subway platform and ticket barrier”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 17, No. 3, pp. 237-242.
 27. Pauls, J. (1995), “Movement of people”, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2, 3.
 28. Rahmalan, H., Nixon, M.S., Carter, J.N. (2006), On crowd density estimation for surveillance.
 29. Rasbash, D.J., Phillips, R.P. (1978), “Quantification of smoke produced at fires. Test methods for smoke and methods of expressing smoke evolution”, Fire and Materials, Vol. 2, No. 3, pp. 102-109.
 30. Roy, J.R. (1992), “Queuing in spatially dispersed public facilities”, CSIRO. Division of Building, Construction and Engineering.
 31. Sato, S. (1996), “Numerical simulation of 1993 southwest Hokkaido earthquake tsunami around Okushiri Island”, Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, Vol. 122, No. 5, pp. 209-215.
 32. Seo, D.G., Hwong, E.K., Kwon, Y.J. (2010), “An investigation study on the walking speed of crowd egress safety of PBD”, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 26, No. 12, pp. 99-106.
 33. Seoul Metropolitan Government, seoul statistics 2016.
 34. Togawa, K. (1955), “Study on fire escapes basing on the observation of multitude currents”, Building Research Institute, Ministry of Construction.
 35. Yoo, J.O., Kim, J.S., Rie, D.H., Shin, H.J. (2015), “The study on interval calculation of cross passage in undersea tunnel by quantitative risk assesment method”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 17, No. 3, pp. 249-256.
 36. Yoo, J.O., Nam, C.H., Jo, H.J., Kim, J.W. (2010), “A study on quantitative risk assessment for railway Tunnel fire”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 12, No. 4, pp. 307-319.
 37. Yoo, J.O., Yoon, S.W., Rie, D.H. (2006), “A study of smoke exhaust rate for the transverse ventilation with oversized exhaust ports in road tunnel”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 21, No. 4, pp. 7-12.
 38. Youn, H.J., Hwang, E. (2013), “A study of on the occupant movement speed during emergency evacuations for the evacuation safety assessment of domestic buildings”, Journal of The Korean Society of Disaster Information, Vol. 9, No. 3, pp. 332-338.
 39. Yuhaski, S.J., Smith, J.M. (1989), “Modeling circulation systems in buildings using state dependent queueing models”, Queueing Systems, Vol. 4, No. 4, pp. 319-338.