지하 환승역에서 화재 발생 시 피난 해석 연구

A Study on the Evacuation Simulation for the Outbreak of Fire at the Underground Transfer Station

김현주* · 안혜린** · 이병석*** · 방명석****

Kim, Hyunju*, Ahn, Hyerin**, Lee, Byungseok***, and Bang, Myungseok****

Abstract

In the event of an outbreak of fire in an underground subway station, the speed of movement slows down as many people try to evacuate at once and bottlenecks might begin to occur in some locations, potentially resulting in catastrophic accidents. This study aims to analyze egress routes depending on, among other factors that influence evacuation in the event of an outbreak of fire, the characteristics of occupants and the initial points of fire using the GongEgress simulation program. In the middle of the underground transfer station, Yeonsinnae Station, the fire simulation was performed for three initial fire locations, separated by the public and the traffic abbreviation. The simulation result shows that the evacuation time of the vulnerable users is found to take 18% longer than that of ordinary people, and the transfer passageways have lower survival probability compared to that of the platforms. Through the analysis of the results, the structural features of the underground subway station and the points of fire are proved to be the major factors that determine the survival probability of the occupants. Therefore, safety training for passengers through conducting fire drills at the station or fire accident simulations can be established in the evacuation route and plan for reaction at the station or fire accident simulations.

Key words : Underground Subway Station, Fire Accident Simulations, Evacuation Route, Vulnerable Users, Transfer Station

요 지

도시철도 지하역사는 화재가 발생 할 경우 한 번에 많은 사람들이 피난하기 때문에 피난 속도가 저하되고, 특정 장소에서는 병목현상이 발생하여 대규모 인명피해가 발생하게 된다. 본 연구에서는 화재 발생 시 피난에 영향을 미치는 여러 가지 요인 중에서 재실자의 특성과 초기 화재 지점의 변화에 따른 피난경로 시뮬레이션을 실시하였다. 지하 환승역 중에 하나인 연신내역을 대상으로, 일반인과 교통약자로 구분하고, 3개의 초기 화재 위치를 분석하였다. 일반인보다 교통약자의 대피시간이 약18% 더 소요되는 것으로 나타났고, 환승통로가 승강장보다 생존확률이 낮은 것으로 분석되었다. 이는 지하 역사의 구조 특성과 화재 위치가 생존율을 결정하는 주요 요인임을 알 수 있었다. 따라서, 실제 역사 내 모의화재훈련 및 가상화재 시뮬레이션을 통해 지하역사 화재 시 대피경로 및 대응방안을 수립할 수 있다.

핵심용어 : 도시철도 지하역사, 화재 시뮬레이션, 피난 경로, 교통약자, 환승역

*정회원, 한국교통대학교 교통전문대학원 박사과정(E-mail: hjs6377@korail.com)
Member, Ph.D. Candidate, Member. Korea Univ. of Transportation Graduate School

**한국철도공사 철도과학기술연구원 스마트경영연구처 주임연구원
Assistant Researcher, Smart Management Researcher Dept, Korail Rail&Technology Institute

***한국교통대학교 교통전문대학원 박사과정
Ph.D. Candidate, Korea Univ. of Transportation Graduate School

****교신저자, 정회원, 한국교통대학교 교통시스템공학과 교수(Tel: +82-31-460-0621, Fax: +82-31-462-8739, E-mail: msbang@ut.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Transportation system Engineering Dept, Korea national university of transportation

1. 서 론

최근 국내외적으로 지진과 풍수해 등 자연재해를 비롯한 화재, 붕괴, 폭발 등 인적재난 발생이 증가하고 있다. 급속한 도시의 팽창과 도시공간의 효율성이 요구되면서 지하공간은 새로운 공간자원으로 적극적인 개발이 이루어지고 있다.

지하공간에 치밀한 네트워크로 이루어진 도시철도는 현대인의 기본 교통수단이자 도시의 핵심 인프라로 자리매김하고 있다. 하지만 도시철도 역사 내 각종 상업시설 및 기타 용도의 시설에 대한 수요증대에 비해 대형 화재 시 인명피해를 최소화하거나 사전에 방지하기 위한 연구는 미흡한 수준이다. 특히 도시철도 지하역사는 공간적 특성상 화재발생 시 연기의 이동경로와 승객의 피난경로가 일치하여 대피가 늦어질수록 위험성이 매우 높아진다. 또한 재실자의 밀도가 높아 피난 경로에 병목현상이 발생할 경우 압사사고 등 2차 사고로 이어질 수 있다.

도시철도 역사 내 대형화재 발생 시 인명피해를 최소화하기 위해서는 화재발생 초기에 인명을 최우선으로 하는 적극적이고 신속한 피난지시 뿐만 아니라 피난자의 대피가 능동적으로 이루어질 수 있도록 실질적인 대응체계 마련이 필요하다.

이에 본 연구에서는 화재 발생 시 피난에 영향을 미치는 여러 가지 요인 중에서 재실자의 특성과 초기 화재 지점에 따른 피난경로 분석을 통해 효과적으로 화재사고에 대응할 수 있는 방안을 제시한다.

2. 선행 연구 검토

건축물의 안전성 점검 시 외산 화재피난 시뮬레이션 프로그램에 의존해 한국인의 특성이 고려되지 않아 정확도 및 신뢰성 확보에 어려움이 따라왔다. 이에 한국인 대상 피난 실험과 연구를 기반으로 한 국내 건축물 및 재실자 피난행태에 적합한 시뮬레이션을 개발하였다(2014). 이후 꾸준히 화재피난 시뮬레이션 관련 연구개발이 진행되고 있다. 하지만 아직까지는 외산 화재피난 시뮬레이션의 시장 점유율이 우세하며 이를 활용한 선행연구들이 다수이다. 대표적인 시뮬레이션 프로그램은 Table 1과 같으며 주로 사용되고 있는 시뮬레이션 프로그램은 미국 NIST사의 FDS, Thundhead Engineering의 Pathfinder, 영국 IES사의 Simulex 등이 있다.

지하공간에 대한 화재피난시뮬레이션을 사용한 국내 선행연구들을 살펴보면 다음과 같다.

Park(2017)은 “A Study on the Evacuation Performance Evaluation of Underground Streets Using Simulation”에서 SIMULEX 프로그램을 사용하여 서울시내 지하상가 3개소에 대한 피난검토를 수행하였으며 피난성능 확인 및 피난성능 변화를 분석하였다. 그 결과를 바탕으로 효율적인 피난계획의 수립 필요성도 함께 제시하였다.

Table 1. Kind of Fire and Evacuation Simulations

Type	name	Development Nation
Fire simulations	FDS	USA
	Smartfire	UK
Evacuation simulations	Pathfinder	USA
	buildingEXODUS	UK
	EVACNET+	UK
	EXIT89	USA
	PEDGO	GERMANY
	FDS-EVAC	FINLAND
	SIMULEX	UK
	EXITT	USA

출처: Koo(2017)¹⁾

Hwang(2009)는 “A Study on the Evacuation Safety Evaluation using the Fire-Evacuation Simulation in underground Sunway Stations”에서 SIMULEX 프로그램을 이용하여 국내 도시철도 역사 3개소에 대한 피난안전성을 분석하였으며 이를 바탕으로 개선 대책을 제시하였다.

Kim(2015)는 “The Case Analysis through Fire Simulation FDS and Evacuation Simulation Pathfinder”에서 화재 시뮬레이션을 이용하여 정량적 결과를 도출하였으며 이 결과를 토대로 피난시뮬레이션을 실시하여 재실자들의 피난시간을 계산함으로써 최종적인 피난안전성 평가 결과를 도출하였다. 또한 Choi(2009)는 “An Evaluation on Evacuation Safety in Multiplex Cinema Based on Fire&Evacuation Simulation”, Kim(2007)은 “An Evaluation on Evacuation Safety in Young People Based on Fire and Evacuation Simulation”를 통해 지하공간 외의 대형 건축물에 대한 피난안전성을 평가하였다.

이처럼 화재피난시뮬레이션을 사용하여 기존의 건축물에 대한 피난안전성 평가와 달리 건물 내 재실자의 특성과 초기 화재 지점에 따른 대피인원 및 시간을 분석 결과를 바탕으로 향후 주요 역사별 피난 대피 방안을 수립하고자 하고자 한다.

3. 화재 시뮬레이션 과정 및 방법

3.1 지하공간의 재해 특징

지하공간을 미국지하공간협회(America Underground Space Association, AUSA)에서는 경제적 이용이 가능한 범위 내에서 지표면의 하부에 자연적으로 형성되었거나 또는 인위적

1) A Study on Improvement Performance-Based Design Standards through a Comparison of Life Safety Assessment Result according to Three Coupling Methods of Fire and Evacuation Simulation. Master Thesis, Pukyong National University Graduate School, Busan.

으로 조성된 공간으로 정의하였다.

최근 국내·외에서 지하철공사현장의 가스폭발, 지하공동구 화재, 지하상가 화재·폭발, 지하철 화재 등 지하공간에서 다양한 사고가 다수 발생하고 있다. 이러한 사고는 재산의 손실뿐만 아니라 전력, 통신망의 마비로 인하여 도시기능을 무력화 시키고 대규모 인명피해로 나타나기도 한다.

지하공간은 밀폐된 공간으로서 화재 발생 시 폐쇄감과 위치·방향 감각의 상실로 피난의 어려움이 많다. 또한 지상보다 환기조건이 매우 나쁘기 때문에 다양한 연소가스, 분진 등에 의한 부유층의 형성으로 패닉(Panic) 현상을 유발하게 된다. 자연채광이 미치지 않고 복잡한 내부구조로 인해 방향 인지가 어려우며 공간의 밀폐로 정전 시 심리적 불안감을 유발하기 쉽다.

이러한 심리적 압박감 때문에 대피자들의 판단능력이 흐려지거나 조급해질 수 있다. 또한 지하공간의 화재로 인한 연기는 지상으로 연결되는 계단방향으로 확산되므로, 이는 피난방향과 일치하여 소방대의 진입과 소화활동, 인명구조에 많은 어려움을 갖게 된다. 이러한 이유로 화재에 따른 피해가 지상에서 보다 현저하게 증가한다. 더구나 도시철도 역사는 기존의 지하 공공시설 중 상대적으로 규모가 크고 사용인구가 많은 공간이므로 규모의 대형화 및 고심도화에 의해 재해 직면 시 지상으로의 탈출에 어려움이 많다. 특히 자기보호기능이 약한 교통약자는 상대적으로 희생확률이 높을 수 있으므로 피난유도, 구호·구제대책 등 방재대책 수립에서 교통약자를 우선 배려할 필요성이 높아지고 있다. Table 2와 같은 지하공간의 환경적 물리적 특성으로 인해 재난재해 발생 시 지상의 공간보다 피난 및 구조의 어려움과 다양한 문제점이 발생하게 되는 것이다. 특히 일반인 보다

교통약자를 고려한 명확하고 안전한 대책이 필요하다.

3.2 화재 시 인간의 피난행동과 영향 요소

대규모 공간에서의 화재 발생 시 인간행동에 영향을 주는 요소로는 연령, 성별, 장애여부, 성격, 교육, 경험, 초기위치에 따른 인간특성 등 인간적 요소와, 공간구성(용도, 규모), 장애물, 혼잡도, 화재경보(음향, 육성, 시각경보기) 등 건축적 요소, 열, 연기, 화염 등 화재 특성 요소가 있다.

이러한 영향 요소에 따른 인간 행동 프로세스로는 Fig. 1에 보이는 것처럼 지각단계, 인지단계, 의사결정단계, 행동단계, 이동단계로 이루어진다.

시각, 청각, 후각, 통각을 통해 화재 발생에 대해 인지하고 화재확신(위급인지, 주요인지), 무시, 인지오류, 인지정보 재정립 등 중에서 한 가지를 인지하게 된다.

이후 본능, 이성, 교육, 경험, 타인행동추종, 개인행동유지에 따른 의사결정을 하고 Macro (경쟁적, 이타적, 대기, 리더, 군집) 또는 Micro (피난유도, 추월, 회피, 경로변경, 지인 찾기)로 행동하게 된다. 마지막으로 뛰기, 걷기, 기기, 뛰어넘기 등의 이동을 시작한다.

3.3 GongEgress 개요

화재발생 시 피난에 영향을 미치는 여러 가지 요인 중에서 재실자의 특성과 초기 화재 지점에 따른 피난경로 분석하기 위해 GongEgress 프로그램을 사용하였다. GongEgress 프로그램은 건축계의 표준인 BIM/IFC를 따르는 콤포넌트 기반 객체소프웨어로서 국내 건축물 특성을 고려한 구성요소와 한국형 인간피난행동모델을 바탕으로 개발한 피난시뮬레이션 프로그램이다.

Table 2. Characteristics and Problems of Underground Space

Spatial characteristics	Expected problems
No exposure to natural light	<ul style="list-style-type: none"> ■ Difficult to secure light in case of power outage ■ Psychological damage(Claustrophobic)
Higher ground surface than the residential surface	<ul style="list-style-type: none"> ■ Evacuation direction shares the same direction of smoke flow ■ Evacuation to ground level requires evacuees to take the stairs
No entrance opening to the outside	<ul style="list-style-type: none"> ■ Difficult to engage in rescue activity from outside. ■ Smoke tends to stay above the space ■ Claustrophobic space easily induces a sense of panic ■ Hard to discharge smoke to the outside through windows, etc. ■ Easy to lose a sense of direction ■ Excessive amount of smoke caused by incomplete combustion ■ Difficult to engage in fire-extinguishing activities properly
Intricate internal structure	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hard to choose the appropriate evacuation direction due to its maze-like structure
Unfamiliar space	<ul style="list-style-type: none"> ■ Susceptible to a sense of panic during emergency ■ Hard to guess the appropriate direction for evacuation
Strong feeling of closed/confined image	<ul style="list-style-type: none"> ■ Susceptible to psychological anxieties in case of power outage ■ Hard to guess the appropriate direction for evacuation and not easy to evacuate
Many unspecified users	<ul style="list-style-type: none"> ■ Their poor recognition about the space makes it more difficult to evacuate properly

Fig. 1. Process of Evacuation Action by Evacuees at Fire and Elements of its Effect

본 시뮬레이션 알고리즘에서 사용되는 공간정보는 모두 객체기반으로 설계된다. 또한, 목적지까지의 거리를 모든 공간위치에서 계산되는 기존 거리포텐셜장(Distance Potential Field)이 대규모 공간에서의 계산이 오래 걸리는 것을 개선하고 전체 건물을 개별 실 단위로 분할한 Micro 알고리즘과 이들을 조합하여 건물 전체에 대한 값을 계산하는 Macro 알고리즘으로 이원화하여 계산속도가 빠르며 다중경로 계산 시 효율적이다. 무엇보다 시뮬레이션 내 화재정보 연동 및 가시화 기능을 제공하여 직관적인 화재상황 모사가 가능하며 엘리베이터 사용 기능 구현으로 엘리베이터를 포함한 복층 동선에 대한 계산이 가능하다(National Emergency Management, 2014).

3.4 GongEgress S/W 기본 구조 및 분석 과정

시뮬레이션과정은 Fig. 2)에 보이는 것처럼 크게 공간구조 및 형태, 에이전트(재실자), 피난/방재 설비, 재난/위험, 경로/길찾기의 5종류의 모델 및 모델 간 상호작용으로 구성되어 있다.

공간구조 및 형태 모델은 객체기반의 3D 공간데이터를 토대로 다양한 용도와 시설의 공간을 모델링하고, 건물 구조에 대한 피난안전성을 검토한다. 재실자(에이전트) 모델은

피난행동의 주체가 되는 가상의 재실자로서 신장, 체중, 체력, 보행속도 등 신체적 요소와 공간인지, 인내 성향 등 심리적 요소로 구분된다.

피난방재 설비 모델은 재실자의 피난에 도움을 주는 설비로 설비의 작동을 시뮬레이션에 구현하고 설비 배치, 작동 알고리즘의 타당성을 검토하게 된다. 재난/위험 모델은 재실자를 사망에 이르게 하거나 경로를 차단하는 요소로써 화재, 연기, 유해가스, 침수, 붕괴 등이 있다.

마지막으로 경로/길찾기 모델은 최단경로를 탐색하고 위험요소, 공간인지 및 심리에 따른 경로를 선택하도록 한다. 또한 분석대상 구현, 화재상황 구현, 피난상황 구현 등 크게 3가지 시스템으로 구성되어 있으며, 이를 통합하여 화재발생에 따른 사상자수, 대피경로, 대피시간, 대피거리 등을 분석할 수 있다.

화재 연동 피난시뮬레이션의 전체 프로세스는 Fig. 3)과 같이 세 단계를 걸쳐 이루어진다. 첫 단계인 전 처리 부분에서는 3차원 공간의 정의 및 건축재료 정보를 구축하고, 두 번째 단계인 화재연소 시뮬레이션 부분에서는 화재피해모델(Fire Hazard Model)과 연계하여 시뮬레이션을 수행하며, 마지막 세 번째 단계인 피난 시뮬레이션 부분에서는 1, 2단계를 거쳐서 생성된 공간정보와 화재연소결과를 피난시뮬레

2) National Emergency Management (2014)

3) National Emergency Management (2014)

Fig. 2. GongEgress Program's Concept Diagram

Fig. 3. Analysis Process of GongEgress S/W's Basic Structure

이전의 입력 데이터로 자동으로 불러들여서 사용자가 피난 시뮬레이션에 필요한 입력 데이터를 별도로 설정하는 사용자의 수작업을 최소화해서 사용자 편의성을 높인다.

4. 화재 시뮬레이션 및 결과 분석

4.1 해석대상 도시철도 역사 선정

3호선과 6호선의 환승역사인 연신내역을 대상으로 3차원 공간모델을 구축하였으며, 체험자의 가상체험을 위해 소방 시설, 이동시설, 기타 편의시설의 현황을 조사하여 실제와 일치하도록 구축하였다.

3차원 실내지도 구축절차는 Fig. 4와 같다.

연신내역의 특성을 살펴보면 T자형 환승역사로 3호선은 지하2층으로 섬식 승강장이며, 6호선은 지하5층으로 단선승강장이다. 또한 출입구가 7개이며, 6호선에서 별도 출입구가 없는 구조로 환승통로가 존재한다.

2013년 자료기준으로 일평균 79,757명이 이용하였으며, 오전 승차인원이 많고 하차인원이 적은 전형적인 주거중심 지역의 역사 특성을 보인다.

Fig. 4. 3D Internal Map Establishment Process for Evacuation Simulation

4.2 승하차 시점 및 승객 구성

Table 3에 보이는 연신내역 일일 누적 이용자 현황을 바탕으로, 연신내역 3호선 승하차 인원이 가장 많은 첨두시(08:00~09:00)와 승하차 인원이 가장 적은 비첨두시(05:00~06:00) 데이터를 활용하여 이용자별 대피인원을 산정하였다.

산정근거는 선행연구 결과⁴⁾를 바탕으로 한 시간 동안의

인원의 10%에 대해 검토하였으며, 승하차 인원에 대해 평균 데이터를 통해 대피인원을 산정하였다.

Table 3. Number of Evacuees Calculated by User

Type		Children	Teens	Adults	Elderly /Dis abled	Total
08:00 ~ 09:00	Line 3	55	557	9	110	731
	Line 6	55	557	9	110	731
(08:00~09:00) Total		110	1,114	18	220	1,462
05:00 ~ 06:00	Line 3	1	4	33	6	44
	Line 6	1	4	33	6	44
(05:00~06:00) Total		2	8	66	12	88

4.3 화재 시뮬레이션 분석 결과

4.3.1 일반인만의 화재 시뮬레이션 분석 결과

첨두시와 비첨두시로 두 시나리오로 나누어 대피인원을 배치하여 화재 시뮬레이션을 실시하였다. 화재 시뮬레이션 분석 결과를 보면 두 시나리오 모두 2개의 구간에서 (50~100 m 200~250 m) 대피인원이 높게 나타났다.

이는 연신내역의 3호선(지하2층)과 6호선(지하5층)의 지하 깊이가 상이함에 따라 나타나는 결과로 판단된다. 또한 첨두시 이동거리가 다소 늘어나는 경향이 있는 데, 이는 병목현상을 겪으면서 최단거리로 이동하지 못하기 때문에 생긴 결과로 보여 진다.

시간대별(첨두시, 비첨두시) 피난 대피거리는 아래 Fig. 5와 같다.

Fig. 5. Evacuation Distance Distribution by Hour (Ordinary people)

4) Jeon, G.Y (2007) Study on characteristics of the Users and Evacuation according to the location of the subway station in Daegu

Fig. 6과 같이 대피시간 경과에 따른 대피인원 변화추세를 살펴보면, 첨두시는 비첨두시보다 피난시간이 길게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 200~400초 사이에는 거의 일정한 분포를 보이는 데 이는 6호선 쪽 계단에서 병목현상이 발생하여 지체되었기 때문에 일어난 현상이며, 병목구간에서는 시간당 일정한 비율만 통과할 수 있게 된다.

Fig. 6. Evacuation Time Distribution by Hour (Ordinary people)

4.3.2 교통약자가 포함된 화재 시뮬레이션 분석 결과 이동에 제약이 있는 교통약자를 포함하여 Table 4에서 보는 바와 같이 보행속도 및 어깨너비를 설정하여 화재 시뮬레이션 분석 결과 Fig. 7처럼 시간대별 대피거리가 피난자의 이동속도 차이로 병목현상이 심화되어 피난거리가 상대적으로 늘어나는 현상이 발생하는 것으로 나타났다.

Table 4. Configuration by the Characteristics of Evacuee

Type	Children	Teens	Adults	Elder/Disabled
Unobstructed walking speed (m/s)	1	1.3	1.5	0.8
Shoulder width (cm)	30	40	50	50

Fig. 7. Evacuation Distance Distribution by Time Range (Include vulnerable users)

첨두시와 비첨두시의 대피시간은 약 60초의 차이가 발생하였으며, 일반인만의 화재 시뮬레이션 결과에 비해 교통약자가 포함된 화재 시뮬레이션의 경우 혼잡 여부에 상관없이 피난 속도가 늦음으로 인해 최후미(Last Tail)에서 피난하는 행태를 보이는 것으로 판단된다.

200~400초의 피난 정체현상을 기존 시뮬레이션과 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 시간대별 피난시간 분포는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8. Evacuation Time Distribution by Time Range (Include vulnerable users)

4.3.3 교통약자 포함 여부에 따른 화재 시뮬레이션 결과 교통 약자 포함 여부에 상관없이, 피난 거리는 유사하게 나타나며, 이는 피난 거리의 경우, 피난 대상자의 절대적인 위치에만 영향을 받기 때문으로 분석된다. 즉, 피난 거리는 최단 피난 시간에 대해 영향을 줄 수 있는 값이나, 교통약자의 피난 시간 지연에는 크게 영향을 미치지 않는다. 하지만 피난 거리가 상대적으로 증가하는 경우, 피난 시간 자체가 증가하는 것은 사실이며, 피난 거리를 최소화할 수 있는 여러 경로를 확보하는 것이 중요하다.

피난 시간의 경우, 교통 약자의 포함 상태에 따라 크게 변동하였는데, 이는 교통 약자 포함의 경우 해당 인원은 상시 느린 속도를 가지기 때문이다. 상대적으로 비혼잡 시간대에서의 피난 속도 지연이 크게 발생하였으며, 혼잡 시간대의 경우 병목 현상의 발생으로 인해 군중 자체의 피난 속도가 크게 지연되는 현상이 나타났다. 이 속도가 교통 약자의 이동 속도와 유사하기 때문으로 분석된다. 따라서 피난 속도를 최소화하기 위해서는 병목 현상을 발생시키지 않는 것이 가장 핵심적이며, 이를 위해서는 다양한 피난 경로에 대한 확보 및 안내가 필요하다.

4.3.4 화재 위치 별 화재 시뮬레이션 분석 결과

화재 위치에 따라 위험성이 다르게 나타나므로 본 연구에서는 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 소프트웨어인 FDS(Fire Dynamic System)을 활용하여 연기 확산거동과 열 이동에 따른 온도 변화를 해석한 후, 이 결과를

GongEgress에 입력하여 화재시뮬레이션을 실시하여 재실자의 사망 유무를 판단 한다. FDS 해석을 위한 발화점은 세 가지 케이스에 대해 실시하였다. 즉, 연신내역 6호선 환승통로(Case 1- a), 6호선 승강장 끝단(Case 2-b), 3호선 승강장 끝단(Case 3-c)으로 화재 발화점을 구분하여 화재 시뮬레이션을 실시하였다. Fig. 9는 이 세 가지 경우를 보여준다.

(a) Case1- Line 6 at 5th basementfl.:Transfer route

(b) Case2-Line 6 at 5th basementfl.:Far-end of the platform

(c) Case3-Line 3 at 2nd basementfl.:Far-end of the platform

Fig. 9. Situation Setting by Point of Fire

기본적인 설정(재실자수, 특성)은 기존 피난 시뮬레이션 조건과 동일하게 설정하여 화재 위치별로 생존자 및 사망자를 분석한 결과는 Fig. 11과 같다. 분석 결과, Case 1의 사망자가 가장 많으며, Case 3, Case 2의 순으로 나타났다. Case 1과 2에서는 전원 6호선 이용객이, Case 3에서는 3호선과 6호선 사망자가 약간 섞인 형태로 사망자가 발생하였으며, Case 3의 경우에도, 6호선 사망자가 지배적으로 나타났다.

이런 현상이 나타나는 이유는 Fig. 10에서 볼 수 있듯이 6호선의 경우 실질적인 탈출 경로가 3호선이 위치한 지하 2층까지 하나의 경로로 되어 있기 때문에 6호선 유일한 탈출 경로가 막히는 경우 탈출이 불가능하게 되기 때문이다 (Case 1). 즉, Case 1과 같이 유일한 탈출 경로에서 재난이

발생하는 경우는 최대한 방지할 수 있는 대책방안이 필수이다. Fig. 12와 같이 화재 위치 별 대피시간 분석 결과 Case 1이 가장 대피시간이 짧게 나타났으며, Case 3, Case 2의 순으로 나타났다. 이는 Case 1이 2, 3에 비해 대피가 유리한 것이 아니라, 대피가 어려운 인원 대부분이 사망을 해서 발생한 현상으로, 사망자가 적을수록 대피 시간이 길어진 것에서 확인 가능하고, 이 점에서, 재난 상황 시에는 단순히 대피 시간이 중요한 것이 아니며, 안정적인 피난 경로의 확보와 교통약자에 대한 피난 유도가 중요함을 알 수 있다.

(a) Smoke flows and evacuation scenes

(b) Temperature distribution

* Green bars in the graph indicate an area of which the temperature is relatively lower than the surroundings while the red bars imply that its temperature is relatively higher. Grey bar mocks the flow of smoke.

Fig. 10. Temperature Distribution, Smoke Flows and Evacuation Scenes in Case of a Fire in Case 1

Fig. 11. Survivor and Death Toll Rate by Case

Fig. 12. Change in the Number of Evacuees as Evacuation Time Elapses

5. 결 론

본 연구에서는 FDS와 GongEgress S/W를 활용하여 도시 철도 지하역사의 화재 발생 시 피난 시뮬레이션을 실시하였다. 화재 시뮬레이션 시 피난시간에 대해 절대적인 의미를 두고 피난 성능을 평가하면, 실제와 동떨어진 결과를 얻을 수 있다. 화재 시뮬레이션에서 피난 시간을 통해, 특정 공간까지의 화재/연기 확산 시간을 파악 가능하다. 이를 차단하지 않는 경우에 대한 피해를 분석할 수 있으며, 화재 차단 설비의 가동 시간에 대해 검토가 가능하다.

화재 시뮬레이션을 통한 결과는 개별적인 판단보다는 피난 시뮬레이션과 연계해서 피난에 대한 평가/판단이 필요하다. 예를 들어, 피난 시뮬레이션으로 기본적인 피난 경로 및 피난 시간을 파악하고, 추가 경로의 확보 필요 위치 및 주요 방재 위치를 먼저 판단하고, 화재 시뮬레이션으로 검토하는 방식 등이 있을 수 있다.

화재가 발생하는 경우 피해 수준은 화재로 인해 탈출 경로가 차단되는지에 크게 영향을 받으며, 만약 화재로 인해 탈출 경로가 차단되는 경우, 대부분의 인원이 사망에 이르게 된다. 실제로, 화재 발생에도 대안 경로가 있는 경우, 피해 인원이 감소하는 효과를 시뮬레이션에서 발견할 수 있었으며, 대안 경로가 없는 경우 엄청난 수준의 피해가 발생하였다.

따라서 화재 발생 시 피해를 최소화하기 위해서는 초동 대처나 빠른 진화도 중요하지만 화재에서 안전하게 대피할 수 있는 여러 피난 경로를 확보하는 것 역시 매우 중요함을 알 수 있다.

향후 도시철도 지하역사의 구조형태 및 이용객 특성을 반영한 화재 시뮬레이션을 반복하여 주요 역사별 피난 대피 방안을 수립하고, 철도안전교육 프로그램을 생애주기에 맞게 체계적으로 개발하여 학교 및 시민단체, on-line, off-line 상에서 지속적인 교육이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비 지원

(17RTRP-B068470-05)에 의해 수행되었습니다.

References

- Cho, J.H. (2006) *Study on the Refuse of the Deep-structure Stations in Case of an Outbreak of Fire in the Subway Underground Space through the Evacuation Simulation Method*. Master' Thesis, Korea University.
- Choi, C.H., Joo, S.Y., and Lee, J.J. (2009) An Evaluation on Evacuation Safety in Multiplex Cinema Based on Fire & Evacuation Simulation. *Journal of KIAEBS*, KIAEBS, Vol. 1, No. 1, pp. 7-13
- Hwang, H.B. (2009) A Study on the Evacuation Safety Evaluation using the Fire-Evacuation Simulation in underground Subway Stations.
- Jeon, G.Y. (2007) Study on characteristics of the Users and Evacuation according to the Location of the Subway Station in Daegu.
- Kim, C.G. (2008) *A Development of Simulation Program for Passenger Evacuation in a Subway Station under Fire*. Master' Thesis, Sogang University.
- Kim, J.H. (2007) An Evaluation on Evacuation Safety in Young People Based on Fire and Evacuation Simulation.
- Kim, J.Y., and Jeon, Y.H. (2015) The Case Analysis through Fire Simulation FDS and Evacuation Simulation Pathfinder. *Asia-Pacific Journal of Business and Venturing*, Vol. 10, No. 6, pp. 253-260.
- Koh, J.W. (2006) *The Experimental study on the Safety Evaluation in Case of a Fire Accident on a Subway Platform*. Master' Thesis, Incheon National University.
- Koo, H.M. (2017) *A Study on Improvement Performance-Based Design Standards through a Comparison of Life Safety Assessment Result according to Three Coupling Methods of Fire and Evacuation Simulation*. Master' Thesis, Pukyong National University.
- National Emergency Management (2014) *The Localization of Multipurpose Buildings' Evacuation Simulation to Develop and Evaluate Evacuation Safety Technology*.
- Park, G.J. (2017) *A Study on the Evacuation Performance Evaluation of Underground Streets Using Simulation*. Master' Thesis, University of Seoul.
- Sohn, Y.S. (2009) *Automatic Analysis of Heat and Smoke Behavior using by FDS in the subway Fire*. Master' Thesis, Myongji University.

Received	November 13, 2017
Revised	November 16, 2017
Accepted	December 2, 2017