

## 화재발생 시 대피시뮬레이션 시스템을 통한 최적대피경로 적용에 관한 연구

## A study on the Application of Optimal Evacuation Route through Evacuation Simulation System in Case of Fire

김대일<sup>1</sup> · 정주안<sup>2</sup> · 박성찬<sup>3</sup> · 고주연<sup>4</sup> · 염춘호<sup>5\*</sup>Daeill Kim<sup>1</sup>, Juahn Jeong<sup>2</sup>, Sungchan Park<sup>3</sup>, Jooyeon Go<sup>4</sup>, Chunho Yeom<sup>5\*</sup><sup>1</sup>Research Professor, Institute of Urban Science, University of Seoul, Seoul, Republic of Korea<sup>2</sup>Senior Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul, Seoul, Republic of Korea<sup>3</sup>Senior Researcher, Institute of Urban Science, University of Seoul, Seoul, Republic of Korea<sup>4</sup>Research Professor, Institute of Urban Science, University of Seoul, Seoul, Republic of Korea<sup>5</sup>Assistant professor, International School of Urban Sciences, University of Seoul, Seoul, Republic of Korea

\*Corresponding author: Chunho Yeom, chunhoy7@uos.ac.kr

## ABSTRACT

Recently, due to global warming, it is easily exposed to various disasters such as fire, flood, and earthquake. In particular, large-scale disasters have continuously been occurring in crowded areas such as traditional markets, facilities for the elderly and children, and public facilities where various people stay. **Purpose:** This study aims to detect a fire occurred in crowded facilities early in the event to analyze and provide an optimal evacuation route using big data and advanced technology. **Method:** The researchers propose a new algorithm through context-aware 3D object model technology and A\* algorithm optimization and propose a scenario-based optimal evacuation route selection technique. **Result:** Using the HPA\* E algorithm, the evacuation simulation in the event of a fire was reproduced as a 3D model and the optimal evacuation route and evacuation time were calculated for each scenario. **Conclusion:** It is expected to reduce fatalities and injuries through the evacuation induction technique that enables evacuation of the building in the shortest path by analyzing in real-time via fire detection sensors that detects the temperature, flame, and smoke.

**Keywords:** Crowded Facility, Fire Evacuation, HPA\*E Algorithm, Evacuation Routes, Evacuation Simulation

## 요약

최근 국내외적으로 기후변화로 인한 대형화재, 집중호우, 지진 등으로 재난발생 가능성이 높아지고 있으며, 특히 어린이와 노약자들을 포함한 다양한 사람들이 몰리는 전통시장, 노유자시설, 다중이용시설 등 이용자 밀집지역에 대형 재난사고가 지속적으로 발생하고 있다. 연구목적: 본 연구에서는 화재발생 시 이용자 밀집시설에서 화재발생 사실을 조기에 감지하고, 대피자가 안전하게 대피하기 위해 빅데이터와 첨단기술을 활용한 재난감지 및 최적의 대피경로를 분석하고자 한다. 연구방법: 상황인지 기반의 3차원 객체모델 기술과 A\*알고리즘의 최적화를 통한 새로운 알고리즘을 제안하고, 이를 활용한 시나리오 기반의 최적 대피경로 선정 기법을 제시하였다. 연구결과: HPA\*E알고리즘을 이용하여 화재발생 시 대피시뮬레이션을 3D모델로 재현하고, 최적의 대피경로와 대피시간을 시나리오별로 산출하였다. 결론: 본 연구는 향후 우리나라에서 재난사고 발생 시 대피자가 안전하고 신속하게 대피할 수 있는 경로를 제시함으로써 인명피해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어:** 이용자밀집시설, 화재대피, HPA\*E알고리즘, 대피경로, 대피시뮬레이션

Received | 18 November, 2019

Revised | 26 December, 2019

Accepted | 25 March, 2020

OPEN ACCESS



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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

## 서론

### 배경 및 목적

최근 국내외적으로 기후변화로 인한 대형화재, 집중호우, 지진 등으로 재난발생 가능성이 높아지고 있으며(Climat Change Report, 2019), 주택뿐만 아니라, 사람들이 많이 모이는 복합시설과 다중이용시설에서 사회재난 사고가 발생할 때마다 재난관리에 있어 초기대응체계의 미비와 공공기관 간의 업무 협조체계의 미흡으로 인한 인적, 금전적인 피해 규모가 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(Hong et. al., 2017). 또한 재난관리에 있어 재난의 관리요소(예방, 대비, 대응, 복구) 중 대응 단계는 가장 짧은 시간 내에 효과적인 의사결정을 내릴 수 있는 시스템의 구축이 요구되고 있다. 이는 재난관리 업무 분야에서 화재, 풍수해, 산사태로 인한 주택 매몰과 인명피해 등의 다양한 사고가 발생하면서, 사고유형별로 적절한 대응체계 구축을 위해서는 실시간 현장 상황 분석 자료의 공유와 신속한 보고시스템의 구축이 매우 중요하다고 할 수 있다.

특히 우리나라의 자연·사회 재난 중 화재발생 추이를 보면, 2009년~2018년(10년)까지 평균 화재건수는 43,374건, 인명피해는 2,169명(사망 315명, 부상1,854명), 재산 피해액은 382,467백만원으로 나타났다(Fire Statistical Yearbook, 2018). 또한 어린이와 노약자들을 포함한 다양한 사람들이 몰리는 전통시장, 노유자시설, 다중이용시설 등 이용자 밀집지역에 대형 화재사고가 지속적으로 발생하고 있으며, 이러한 이용자 밀집 지역에서의 화재사고는 화염의 확장 가능성이 매우 높고, 소방대 진입이 어려운 경우가 많아 안전지역으로의 신속한 대피를 지원할 수 있는 기술이 요구되고 있으나, 실제 인력과 예산부족 등의 이유로 화재사고의 사각지대로 놓여있는 실정이다(Ministry of the Interior and Safety Portal, 2017).

또 다른 일면으로 최근 사회는 급속하고 방대한 지식정보체계가 여러 산업분야에 걸쳐 복잡다단하게 연계되고 소통하는 혁신적인 체계를 이루고 있다(Shin et al., 2018; Min et al., 2017). 이러한 가운데 생성되고 유통되는 정보는 경제적 가치를 가질 뿐 아니라 그 활용 정도에 따라 삶의 질을 높이는데 유용하게 쓰일 수 있다.

본 연구에서는 다양한 자연·사회 재난 중에서 화재에 착목하여 화재발생 시 전통시장, 노유자시설, 다중이용시설 등 이용자 밀집시설에서 화재발생 사실을 조기에 감지하고, 대피자가 안전하게 대피하기 위해 빅데이터와 첨단기술(IoT 등)을 활용한 재난감지 및 최적 대피경로를 선정하는데 목적을 두고 있다. 이를 위해 A\*알고리즘을 활용한 최적화된 새로운 알고리즘을 적용하여 상황인지 기반의 3차원 모델 기술에 적용할 수 있는 최적 대피경로 선정 알고리즘을 제시하였다. 또한 화재발생 시 대피자들은 어린이, 노약자, 남녀 등 다양한 특성에 따라 대피할 수 있는 속도가 다를 수 있다는 것을 가정하여 각각의 시나리오별로 대피시뮬레이션을 통해 건물 안의 대피자들의 속도에 맞는 최단거리 및 최단시간에 대피할 수 있는 최적의 대피 경로에 대해 연구를 수행하였다.

### 용어정의

본 연구에서 사용되는 알고리즘에 대해서 다음과 같이 정의를 하였다. 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘은 최적의 경로 산출은 실행시간이 빠르고 각 지점마다 거리에 대한 가중치가 양수인 점을 고려하여 음의 가중치가 없는 그래프에서 한 노드에서 다른 모든 노드까지 최단거리를 구하는 알고리즘이다.

A\*알고리즘은 초기 노드에서 목표 노드까지의 경로를 찾는 그래프 탐색 알고리즘으로 목표 노드까지의 가장 좋은 경로를 추정하기 위해 각 노드에 랭킹을 부여하는 휴리스틱 추정(heuristic estimate)을 사용하고 그 순서대로 노드를 방문하는 알고리즘이다. A\*알고리즘의 특징은 두 지점 사이의 최적 경로와 비용이 가장 적게 드는 경로를 가장 빠르게 찾을 수 있으며, 최

적의 탐색 방향을 평가하여 다른 방향으로 돌아서 다른 경로를 찾을 수 있다. 또한 A\* 알고리즘은 대피상황에 따라 다르게 정의될 수 있기 때문에 각 응용에 맞게 적절한 비용을 정의하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 A\* 알고리즘을 고도화하여 3D 모델로부터 최단경로를 산출하는데 필수적인 노드만을 뽑아내는 알고리즘을 이용해 Effective Evacuation Graph(EEG)를 구성하고, 대피경로를 최적화한 새로운 HPA\*E(Hierarchical Pathfinding Algorithm\* using Efficient evacuation graph) 알고리즘을 적용하였다.

## 선행연구

화재발생 시 대피시스템에 관련한 국내의 선행연구로는 다양하게 진행되어 왔다. Jang(2010)은 사람의 대피 경로를 계산하기 위해서 인공지능 이론에서 자주 사용되는 A\*알고리즘을 사용하여 최적의 경로를 계산하여, 화재 시 대피시뮬레이션 시스템의 가시성과 효율성 입증에 위한 대피경로 시뮬레이션 실험을 분석하였다. Choi et al.(2015)은 화재에 취약한 어린이 집 및 유치원을 대상으로 실시간 화재상황을 인식하여 스마트폰의 푸시 기능을 통해 자동 구현되는 피난 경로를 표기해주는 화재 대피용 안전 경로 시스템을 제안하였다. Jang et al.(2016)은 복층 건물에서 실내 재난상황이 발생했을 때 적절한 대피 경로들을 산출하기 위한 새로운 알고리즘(Multi-Tier based Route Planner(MTRP))을 제안하고, 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여, 빠른 탐색과 인원 분산을 위해 기존에 연구되었던 경로탐색 알고리즘들과, 경로탐색에 소요된 시간 및 사용자 대피시간을 비교하였다.

Yoon et al.(2016)은 멀티레벨 클러스터링을 사용한 온도 예측 기법과 화재 대피 경로 도출을 위한 알고리즘을 제안하고, 대피시뮬레이션 실험을 통하여 제안하는 시스템의 성능을 분석하였다. Seo et al.(2016)은 다중이용 시설인 대규모 전시공간에 대하여 대피유도설비의 실효성을 파악하고, 대피 시 문제가 될 수 있는 요인들을 통해 대피유도설비의 인지범위의 실태조사를 실시하였다. Kim(2017)은 지상의 건물에 대하여 진행되고 있는 화재 대피 시스템의 동향을 분석하고, 모바일을 기반으로 화재발생 등 위험 구역 정보와 사용자가 입력한 위치를 기반으로 하는 탈출 경로 계산을 위한 다양한 알고리즘을 분석하였다. Koh et al.(2018)은 화재발생 위치와 사용자의 실내 위치를 추적하여 산출한 최적의 대피 경로를 비상구 유도등과 스마트폰 어플리케이션을 통해 안내하는 실시간 화재 대피 시스템을 분석하였다.

이러한 화재발생 시 대피시스템에 대한 다양한 선행연구는 주로 실험을 통해 대피시스템을 개선하거나 화재에 대한 신속한 대응을 위해 ICT 및 각종 센서가 많이 개발되어 있으나(Kim et. al., 2018) 이러한 여러 센서로부터 추출되는 화재 대응 운영시스템에 대한 연구개발은 매우 초보적 단계이므로, 최소의 인원으로 화재발생 시 화재 상황에 대하여 효율적으로 대응할 수 있는 스마트 시스템 기술개발의 연구는 미흡하다. 따라서 본 연구에서는 전통시장, 노유자시설, 다중이용시설 등 이용자 밀집시설을 대상으로 화재발생 시 대피자의 특성을 고려한 새로운 알고리즘을 통하여 대피 속도와 대피 시간을 통해 최적의 대피경로를 구현하는데 특징이 있다.

## 연구방법

본 연구는 어린이와 노약자들을 포함한 다양한 사람들이 몰리는 전통시장, 노유자시설, 다중이용시설 등 이용자 밀집지역에서 화재발생 시 최적의 대피경로를 파악하기 위해 대피시뮬레이션 시스템 방법으로 A\*알고리즘의 최적화를 통해 새로운 대피경로 알고리즘인 HPA\*E 알고리즘을 개발하여 화재발생 시 대피경로 행동 모델을 분석하였다. 또한 실제 적용 가능한

다중이용시설 별로 HPA\*E 알고리즘을 통해 다양한 시나리오를 분석하고, 상황인지 기반의 3D모델 기술을 활용한 시나리오 기반의 최적 대피경로를 파악하였다. 연구의 범위로서는 기초적 자료제공을 목적이므로 센서 설치위치와 장애요소에 따른 변수는 논하지 않는 것으로 하였다.

## 대피시뮬레이션 시스템 방법검토

### 대피시뮬레이션 시스템 개요

본 연구의 대피시뮬레이션 시스템은 A\*알고리즘의 최적화를 이용하여 화재발생 시 최적의 대피경로를 찾아 각 시설별로 시뮬레이션을 실시하였다. A\*알고리즘을 이용한 대피시뮬레이션은 한 쪽 변을 30cm의 정방형 메시(mesh)에 의해 건물공간을 분할하여 모델화하였다. 또한 대피자는 그 메시(mesh) 정보를 이용하여 대피가 완료되는 출구까지의 이동, 장애물과의 충돌 및 대피자들 간의 충돌을 검출하였다.

대피시뮬레이션은 대피자들을 건물공간 내에 복수로 배치하여, 군집상태로 대피상황을 가시화할 수 가 있다. 여기서 본 연구는 대피자가 군집상태로 대피경로를 되돌아가는 것을 가시화하기 위해, 대피경로의 일부에 통행불능 상태 설정을 추가하고, 도중에 대피자가 별도의 대피경로를 재선택 하는 행동을 모델화 하였다.

또한, 화재발생 시 대피행동의 모델화는, 대피자가 출구까지 최단경로를 선택하는 행동을 모델화 하였다. 대피시뮬레이션의 적용사례는 노유자시설과 다중이용시설의 지층을 대상으로 하고, 대피상황으로는 출구가 1개소 일 경우와 2개소 일 경우로 나뉘서 대피시뮬레이션을 실시하였다.

### 화재발생 시 대피경로 행동모델

대피시뮬레이션에 의한 대피경로 행동모델은 미리 설정된 대피완료 지점까지의 직선상으로 이동하기 위한 모델화이다. 이를 위해 대피자는 출구에 도달하기까지 방 출구, 계단 등 대피경로의 도중에 복수의 이동목표를 설정할 필요가 있다. 이때 건물 안에 있는 가구와 기타 시설물들이 복잡하게 배치되어있으면 이동목표를 자세하게 설정해야 하고, 경로상의 장애가 발생할 경우 별도의 대피경로를 재 선택 하는 등 행동을 모델화 하는 것은 매우 복잡한 과정을 필요로 한다(Kwon et. al., 2008).

따라서 본 연구에서는 대피완료 지점을 설정하면, 건물안에 있는 대피자는 도중의 장애물을 피하면서 대피완료 지점까지의 최단경로를 통해 대피하는 행동을 모델화 하였다. 또한 대상 건물이 대규모일 경우의 대피경로를 계산하는데 있어 부하를 저감시키기 위해 네트워크모델에 의한 최단경로와 메시(mesh) 모델에 의한 최단경로를 조합하여 최단경로를 산출하였다.

#### 네트워크 모델의 최단경로

메시(mesh) 모델에 의한 최단경로의 문제를 해결하는데 있어서 대피출구까지의 최단경로를 구하려고 하는 경우에는 A\* 알고리즘을 이용함으로써 계산량은 줄일 수 있지만, 건물의 규모가 크거나, 대피자의 수가 많으면 최단경로를 구하는 계산량은 급속하게 증대된다. 여기서 네트워크모델에 의한 최단경로와 메시(mesh) 모델에 의한 최단경로를 함께 이용하여 건물공간의 대규모화에 의한 계산량의 증가폭을 경감 할 수 있다. 네트워크 모델은 각 방을 정점으로 하여 각 방끼리 출입구를 통해 연결한 것이며, 여기서 최단경로는 각 방 출구 중에서 대피출구로 통하는 출구가 도출된다. 이러한 출구가 여러 개일 경우는 대피출구에 도달하기까지 방과 방간의 이동 횟수가 최소화 되는 출구를 최단경로로 하고, 그 이동 횟수가 동일한 경우에는

최단경로를 설정하고, 대피자는 같은 확률로 하나의 경로를 선택하도록 한다.

네트워크 모델에 의한 최단경로를 구하는 알고리즘은 모든 방에 대해서 최단경로의 문제를 해결할 필요가 있기 때문에 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘으로부터 최단경로를 산출 한다. Fig. 1은 네트워크 모델의 예시를 나타내고 있다. 또한 네트워크 모델의 데이터는 메시(mesh) 모델의 데이터상에 설정된 대피출구와 각 방의 출구로부터 자동적으로 생성된다.

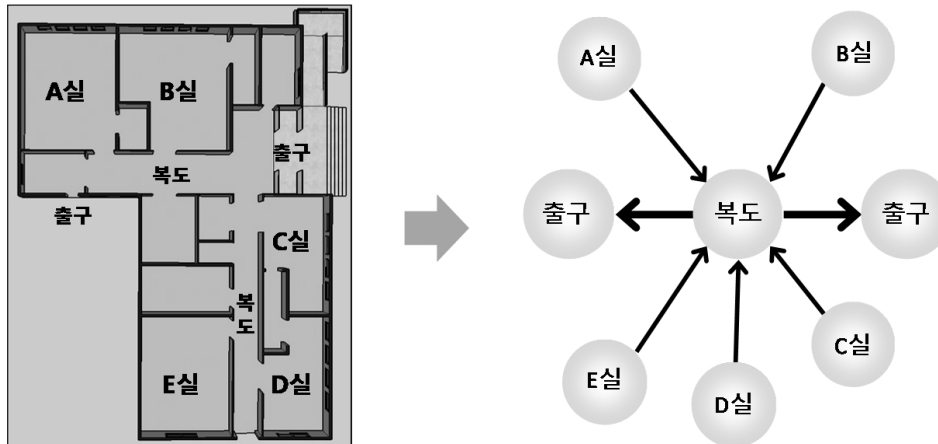


Fig. 1. The Case of Network Modeling

**메시(mesh) 모델과 A\*알고리즘에 의한 대피경로**

각 시설물별 대피경로에 대한 최단경로는, 메시(mesh) 데이터를 이용하여 가변 그래프에서의 최단경로를 산출하였다. 가변 그래프는 공간에 설정되어 있는 각 메시(mesh)를 정점으로 하여, 근접하는 상하좌우 4개의 메시(mesh) 중에서 대피자가 통행 가능한 메시(mesh)끼리 접속하고, 통행이 불가능한 메시(mesh)는 접속하지 않는 규칙으로 작성하였다.

또한 그래프의 무게는 통행 가능한 메시(mesh)끼리의 엣지를 균일한 값(1.0)으로 하였다. 다음으로 최소의 무게를 가진 최단경로를 구하기 위해서, A\*알고리즘을 사용하였다. A\*알고리즘은 최단경로를 검색하기 때문에 목적지까지의 무게 견적을 최소화 하면서 검색하는 것으로 계산량을 저감시키는 알고리즘이다. 여기서는 휴리스틱 추정으로서 목적지까지 직선 거리를 사용한다. 화재발생 시 대피자가 있는 공간에서부터 대피출구를 설정하면, 각 공간에 있는 벽, 가구 등의 장애물을 피해서 출구까지 이동하는 최단경로가 구해진다.

A\* 알고리즘에 의한 대피행동은, 네트워크 모델에 의해 대피출구까지가 최단거리가 되는 각 방의 출구를 찾고, 메시(mesh) 모델에 의해 대피자의 위치로부터 각 방의 출구까지의 최단거리로 대피한다. 단지 메시(mesh) 모델에 의한 최단경로는 근접하는 상하좌우 메시(mesh) 정방으로의 이동이 되고, 실제 공간에서는 최단경로가 되지 않는 경우도 있다. 그렇기 때문에 대피자는 메시(mesh) 모델의 최단경로에서 실공간의 최단경로를 선택한다. 구체적으로는 대피자가 메시(mesh) 모델에서 최단경로인 각 메시(mesh)와의 직선상에 장애물이 없는 메시(mesh) 중에서 가장 출구에 가까운 메시(mesh)로 직선적으로 이동한다. Fig. 2는 메시(mesh) 모델을 이용하여 단순 경로선택의 대피행동에 의한 대피자가 현재 있는 위치에서 방의 출구까지 실제 공간상의 최단경로를 이동하는 경로를 표시하였다. 또한, 이동 중에는 다른 대피자와의 충돌 가능성이 있기 때문에 대피시뮬레이션에서 메시(mesh) 데이터를 이용한 대피자간의 충돌시의 이동보정처리를 실시하였다.



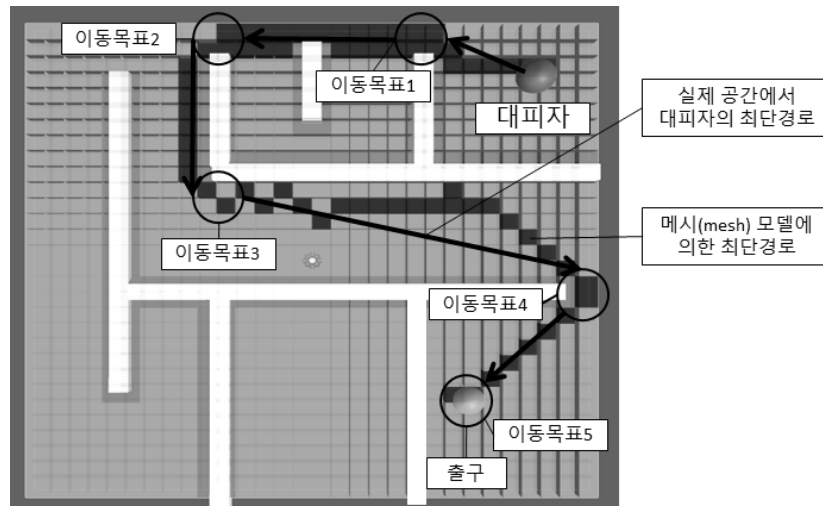


Fig. 2. Selecting the Shortest Path in Real Space

### A\*알고리즘의 의사코드

A\*알고리즘은 기본적으로 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘에서 사용된 의사코드에서 「가중최단거리」를 추가로 기록한 것이다. 기존의 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘에서 「최단거리」가 최소인 장소를 찾았다면, A\*알고리즘에서는 한 단계를 추가하여 「가중최단거리」가 최소인 장소를 찾는 것이다(Fig. 3). A\*알고리즘 의사코드의 구현 순서를 보면, 먼저 (1) 각 장소에 해당하는 값을 초기화하고 종료는 not-found로, 최단거리는 무한대로, 직전노드는 없음으로 설정한다. 그리고 (2) 출발지에서 직접적으로 연결된 장소들에 대해서는 최단거리를 기입하고, 직전노드에 출발지를 기입한다.

또한 (3) 각 장소의 가중최단거리를 각 장소로 계산해서 넣고, 최단경로가 not-found이면서 가중최단거리가 가장 짧은 장소를 선택하여 새 경로노드로 설정하고, 그 장소의 종료를 found로 바꾼다. (4) 최단경로가 not-found인 모든 장소들에 대해서, 아래 조건이 만족하는지 판단한다. 만약 「장소의 '최단경로」가 「새 경로노드의 '최단경로」 + 새 경로노드에서 그 장소까지 거리」까지 클 경우 장소까지의 새로운 경로를 찾은 것이다. 또한, 그 장소에 대해서는 「'최단경로」 = 새 경로노드의 '최단경로」 + 새 경로노드」에서의 장소를 말한다. 그리고 직전노드는 새 경로노드로 나타낸다. 마지막으로 (5) 목적지 장소의 종료가 not-found라면 다시 3단계로 복귀하여 새로운 경로를 찾는다. 여기서 가중최단거리는 각 장소가 핵심이라 할 수 있다. 각 장소는 장소의 “최단거리”+ $\alpha$  (장소에서 목적지까지 거리)를 나타내고,  $\alpha$ 는 임의로 설정가능한 상수를 말한다.

여기서 A\*알고리즘과 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘의 차이는 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘은 최단거리를 가진 장소를 계속적으로 선택해가면서 진행하는 반면, A\*알고리즘은 최단거리이면서, 목적지가 있는 방향의 장소를 선택하는 알고리즘이다.

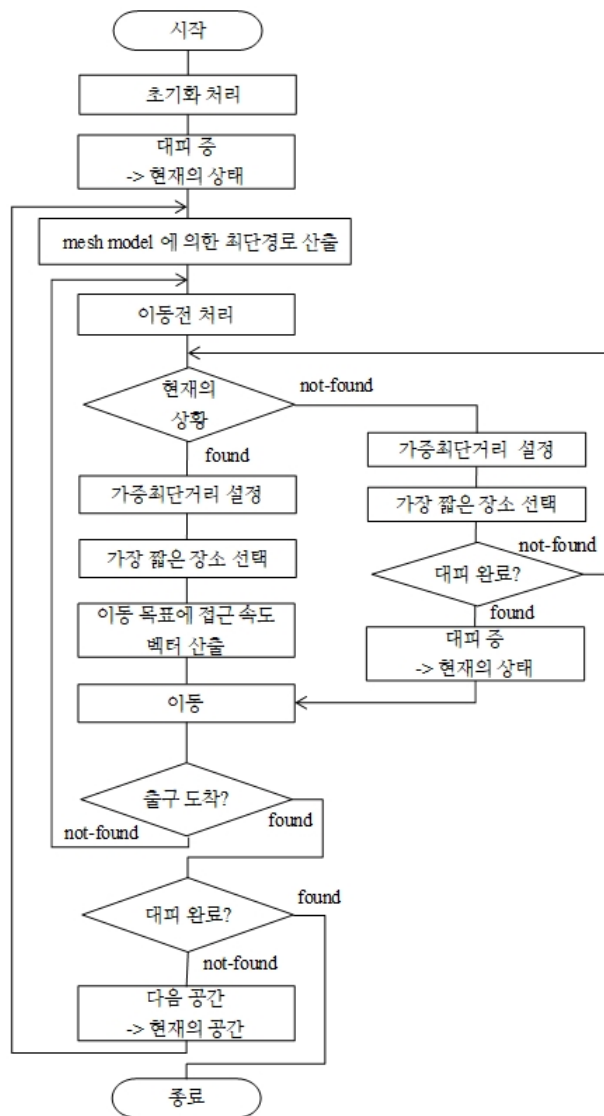


Fig. 3. A\*algorithm Pseudo Code

### HPA\*E 알고리즘 적용

화재 상황의 특성상 위험으로부터 대피자들이 최대한 짧은 시간에 대피하기 위해서는 최단대피경로를 산출하고 시간을 최소화할 필요가 있기 때문에 A\*알고리즘의 성능은 알고리즘에 이용되는 그래프(graph)의 크기에 매우 예민하므로 그래프의 크기를 줄이는 것이 알고리즘을 효율적으로 사용하는데 가장 중요하다. 본 연구에서는 A\*알고리즘의 최적화를 통해 새로운 알고리즘인 HPA\*E(Hierarchical Pathfinding Algorithm\* using Efficient evacuation graph) 알고리즘을 적용하였다.

현재 A\*알고리즘을 이용해 최단경로를 찾는 그래프는 기존에 제작된 3D 건물 모델로부터 추출하며, 해당 추출 알고리즘을 필수적인 노드로만 구성된 최소 크기를 갖는 그래프를 추출할 수 있도록 개선하여 시스템의 성능을 높일 수 있다. 이러한 3D 건물 모델로부터 최단경로를 산출하는데 필수적인 노드만을 뽑아내는 알고리즘을 이용해 Effective Evacuation Graph(EEG)를 구성하고, 대피경로를 최적화하기 위해 Fig. 4와 같이 의사코드를 구성하였다.

```

1. Input: nodes # 현재 시설물을 grid 형태로 나타냈을 때의 모든 노드들
2. Output: EEG
3. EEG = list()
4. for node in nodes:
5.   if is CornerPattern(node): # 모서리를 나타내는 패턴과 비교
6.     EEG.append(node)
7. return EEG

```

Fig. 4. HPA\*E algorithm Pseudo Code of EEG

## 이용자밀집시설 적용사례

### 이용자밀집시설 개요

본 연구의 대상이 되는 이용자밀집시설은 기존의 불특정 다수인이 이용하는 다중이용시설, 아동 및 노인 복지와 관련한 노유자시설, 전통적 상거래가 이루어지는 재래시장의 3대 시설물을 대상으로 하였다. 또한 화재와 같은 재난이 발생했을 경우 3대 시설물의 피해사례를 가정하여 대피자의 특성과 건물의 특성 등을 통한 시나리오기반의 최적의 대피경로를 선정 하는 기술을 통해 대상 시설물의 예상 대피경로를 분석하고 정량적 평가 지수에 따라 최적 대피경로를 선정하여 이를 시설물에 직접 적용하고 Test Bed 검증을 수행하여 최적 대피경로를 제시하는데 목적이 있다. 본 논문에서는 위의 3대 시설물 중에서 노유자시설인 「어린이집」을 대상으로 경로별 대피속도와 최단거리를 계산하여 대피시간을 산출하였다.

### 어린이집의 HPA\*E 알고리즘 적용 예시

노유자시설인 「어린이집」을 대상으로 HPA\*E 알고리즘을 적용하여 최적의 대피경로를 산출하였다. 대피경로를 산출하는데 있어 대피시간은, 건물 내에 설치된 센서를 이용하여 감지된 건물 내의 모든 인원이 대피하는데 소요되는 시간으로 정의 하였다. 최단 경로는 특정 위치에서부터 주어진 탈출구까지 이동 가능하고 안전하면서 가장 짧은 경로로써 HPA\*E 알고리즘을 이용해 산출한 경로를 정의하고 있다. 또한 대피자는 총 45명을 각 방에 15명씩 3 그룹으로 설정하였다.

최적 대피경로는 최단 경로 중 가장 짧은 대피 시간을 갖는 경로로써, 모든 인원이 대피하는데 걸리는 시간이 가장 짧은 경로와, 특정 탈출구에 인원이 몰리는 경우 발생하는 병목 현상에 의해 대피가 지연되는 경우를 최소화하는 경로로 이용 가능한 탈출구를 바탕으로 모든 최단 경로에 대해 시뮬레이션을 통해 병목 현상을 감지하고 대피 시간을 계산하여 가장 최적의 대피경로를 산출할 수 있도록 하였다. 어린이집의 출구가 두 개일 때 시뮬레이션을 통한 최적 대피경로 산출 결과 Fig. 5와 같이 총 8개의 최단 경로를 산출하였으며, 이때 탐색한 최단 경로 중 안전하지 않은 경로는 제외 하였다. HPA\*E 알고리즘을 통해 산출된 8개의 경로를 기준으로 대피 시뮬레이션을 진행하여 각 대피자 특성에 따라 지정된 속도를 바탕으로 대피경로를 산출하고, 대피 중 일어날 수 있는 대피자들끼리의 충돌 방지를 설계하여 병목현상을 제거 하였다. 그 결과 Table 1 및 Fig. 6과 같이 8개의 경로 중 경로 4의 대피시간이 19.60초로 가장 짧게 나와 최적의 대피 경로임을 확인할 수 있었다. 이를 기반으로 어린이집에 화재가 발생 했을 경우 대피자들의 위치와 출구의 개수 등의 다양한 상황을 상정하여 시나리오분석을 실시하였다.



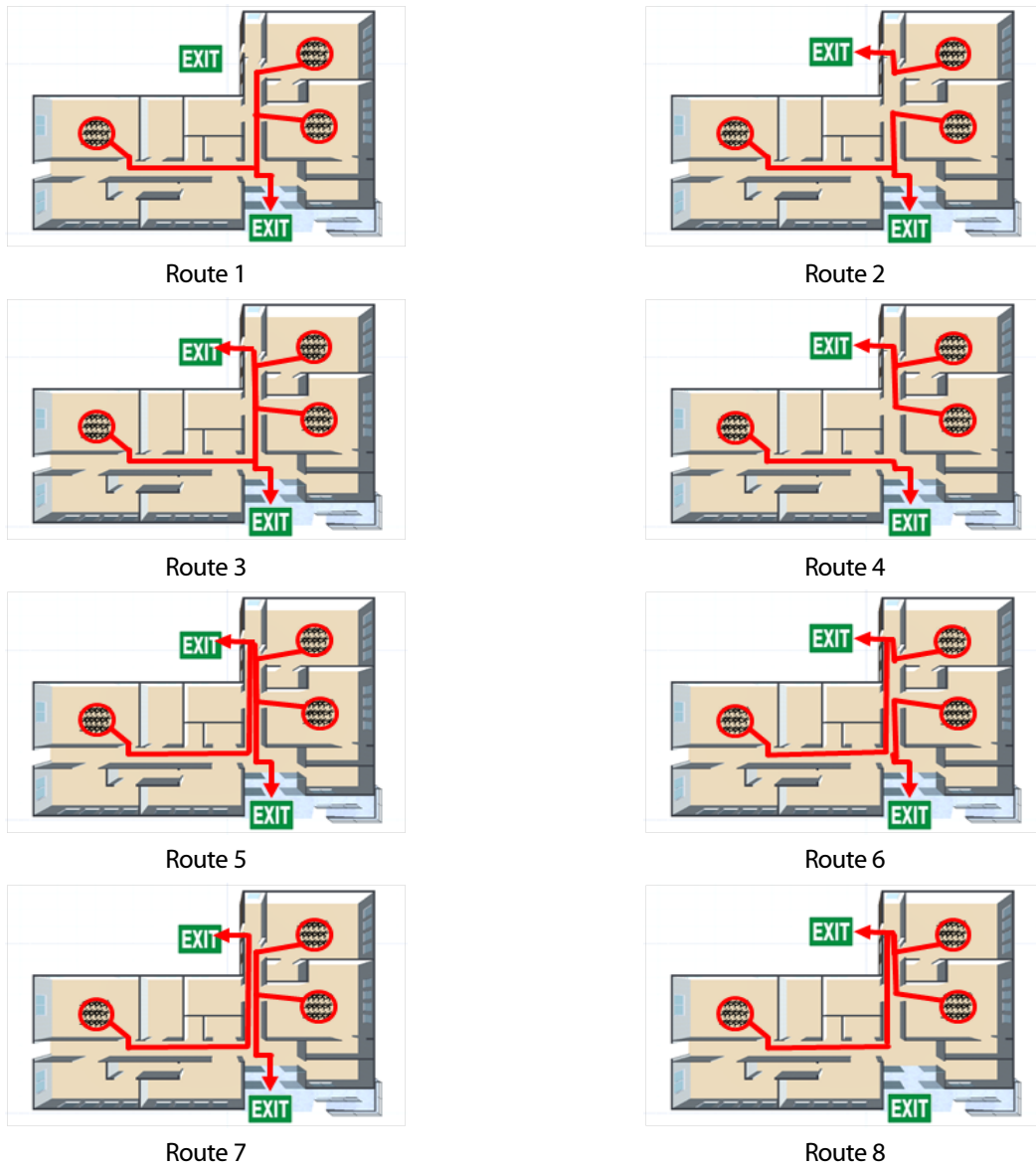


Fig. 5. The number of cases in all the shortest evacuation routes calculated by the HPA \* E algorithm

Table 1. Simulation of Evacuation Routes and Evacuation Times

경로	대피시간(초)
경로 1	28.20
경로 2	21.00
경로 3	24.30
경로 4	<b>19.60</b>
경로 5	23.50
경로 6	23.50
경로 7	23.50
경로 8	26.50

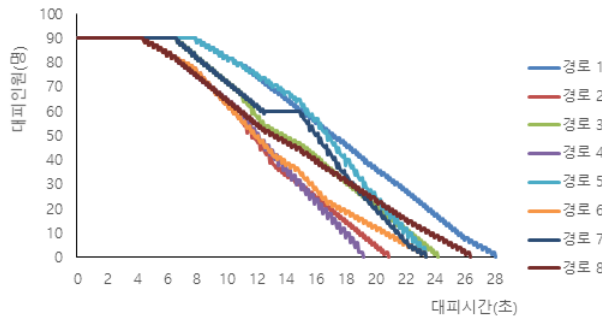


Fig. 6. Graph of Evacuation Time-The number of People Evacuation

### 어린이집 대피경로 시나리오

본론에서 제시한 대피시뮬레이션을 적용한 대피행동 실험의 대상은 「어린이집」을 대상으로 하고 대피자의 배치 정보를 Fig. 7과 같이 설정하였다. 한편 대피자의 경로를 계산하기 위해서 화재발생 시 각 방에서 동시에 대피하여 지상1층 옥외 출구까지 나가는 경로를 계산하였다. Table 2와 같이 대피자는 45명이 15명씩 3 그룹으로 A, B 위치로 나누어 배치하고, 발화 지점이 1개이고 출구가 3개 일 때 대피인원이 최적으로 분산 될 수 있도록 설정하였다. 마지막으로 발화지점이 2개이고 출구가 2개 일 때 대피인원이 최적으로 분산 될 수 있도록 설정하였다.

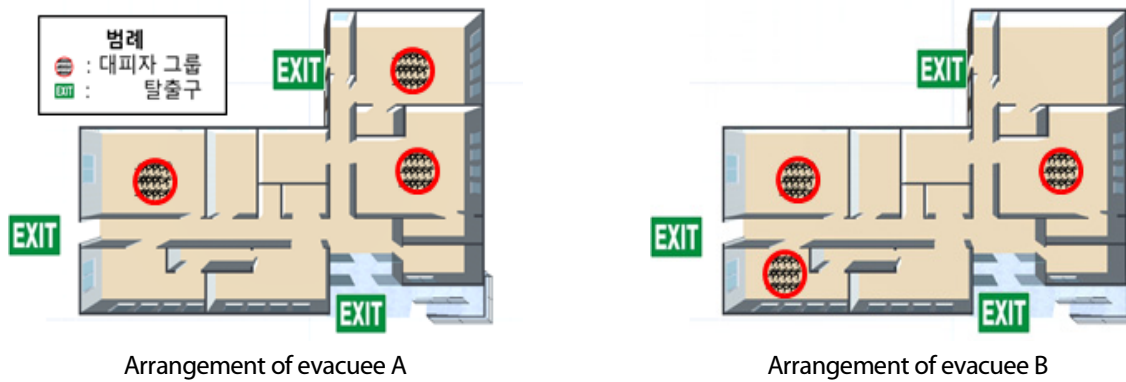


Fig. 7. Two patterns of evacuees arrangement

Table 2. Evacuation Route Scenarios of Daycare Facility

시나리오	대피인원(명)	인원배치	발화지점(지점수)	출구수	비고
1	45	A	1	3	모든 출구 이용가능
2	45	B	1	3	모든 출구 이용가능
3	45	A	2	2	북쪽 출구 이용불가
4	45	B	2	2	북쪽 출구 이용불가
5	45	A	2	2	서쪽 출구 이용불가
6	45	B	2	2	서쪽 출구 이용불가

### 3D 모델을 활용한 시나리오별 시뮬레이션 결과

위의 어린이집 적용 결과 분석을 바탕으로 화재발생 시 건물 안에 있는 대피자들의 다양한 특성을 고려하였다. 또한 대피자들의 상황에 맞는 6가지의 시나리오를 적용하여 최적의 대피경로와 시간을 분석하였다. 본문에서는 시나리오1의 결과를 중심으로 대피자 위치, 대피시간, 대피경로를 제시하였으며, 나머지 시나리오는 최단 대피시간을 표로 정리하였다.

#### 시나리오1 대피 시뮬레이션

시나리오 1은 Fig. 8과 같이 화재가 1개소에서 발생하는 상황을 가정하고, 대피인원은 15명씩 3개 그룹으로 배치하여 출구가 3개일 때를 가정하였다. 시뮬레이션 결과 상위 5개의 경로를 대피시간 Table 3과 그래프(Fig. 9)로 나타내었다. 5개의 대피경로 중 최적의 대피 경로는 대피시간이 17.10으로 나타난 경로 1이 최적의 대피경로임을 확인 할 수 있었다(Fig. 10).



Fig. 8. Scenario 1 overview

Table 3. Scenario 1 Evacuation Time by Evacuation Route

경로	시간(초)
경로 1	17.10
경로 2	18.20
경로 3	19.80
경로 4	21.80
경로 5	22.80

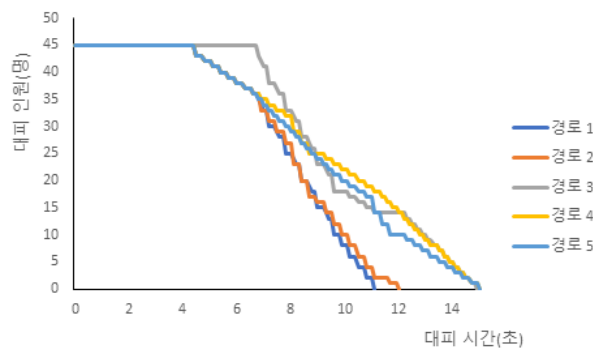


Fig. 9. Graph of Evacuation Time-The number of People Evacuation

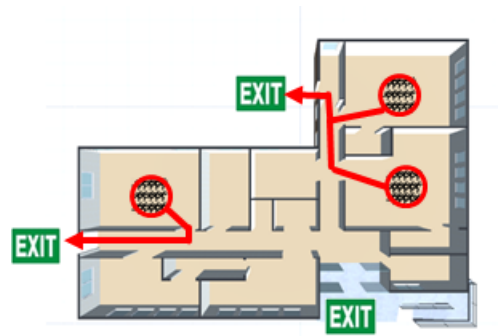


Fig. 10. Optimal route(Route1)

시나리오2-시나리오6 대피 시뮬레이션

시나리오 2는 화재가 1개소에서 발생하는 상황을 가정하고, 대피인원은 15명씩 3개 그룹으로 배치하여 출구가 3개일 때를 가정하였다. 시뮬레이션 결과 대피 시간 상위 5개의 대피 시간을 Table 4에 나타내었다. 5개의 대피경로 중 최적의 대피 경로는 경로 1로 나타났으며 대피시간은 11.00으로 확인 되었다.

Table 4. Scenario 2 Evacuation Time by Evacuation Route

경로	시간(초)
경로 1	11.00
경로 2	12.40
경로 3	13.90
경로 4	15.10
경로 5	15.20

시나리오 3은 화재가 2개소에서 발생하는 상황을 가정하고, 대피인원은 15명씩 3개 그룹으로 배치하여 출구가 3개일 때를 가정하였다. 시뮬레이션 결과 대피 시간 상위 5개의 대피 시간을 Table 5에 나타내었다. 5개의 대피경로 중 최적의 대피 경로는 경로 1로 나타났으며 대피시간은 15.80으로 확인 되었다.

Table 5. Scenario 3 Evacuation Time by Evacuation Route

경로	시간(초)
경로 1	15.80
경로 2	18.40
경로 3	19.90
경로 4	19.90
경로 5	22.10

시나리오 4는 화재가 2개소에서 발생하는 상황을 가정하고, 대피인원은 15명씩 3개 그룹으로 배치하여 출구가 2개일 때를 가정하였다. 시뮬레이션 결과 대피 시간 상위 5개의 대피 시간을 Table 6에 나타내었다. 5개의 대피경로 중 최적의 대피 경로는 경로 1로 나타났으며 대피시간은 12.20으로 확인 되었다.

**Table 6.** Scenario 4 Evacuation Time by Evacuation Route

경로	시간(초)
경로 1	<b>12.20</b>
경로 2	15.00
경로 3	15.40
경로 4	18.30
경로 5	19.60

시나리오 5는 화재가 2개소에서 발생하는 상황을 가정하고, 대피인원은 15명씩 3개 그룹으로 배치하여 출구가 2개일 때를 가정하였다. 시뮬레이션 결과 대피 시간 상위 5개의 대피 시간을 Table 7에 나타내었다. 5개의 대피경로 중 최적의 대피 경로는 경로 1과 경로 2로 나타났으며 대피시간은 15.20으로 확인 되었다.

**Table 7.** Scenario 5 Evacuation Time by Evacuation Route

경로	시간(초)
경로 1	<b>15.20</b>
경로 2	<b>15.20</b>
경로 3	17.40
경로 4	18.20
경로 5	19.20

시나리오 6은 화재가 2개소에서 발생하는 상황을 가정하고, 대피인원은 15명씩 3개 그룹으로 배치하여 출구가 2개일 때를 가정하였다. 시뮬레이션 결과 대피 시간 상위 5개의 대피 시간을 Table 8에 나타내었다. 5개의 대피경로 중 최적의 대피 경로는 경로 1로 나타났으며 대피시간은 18.50으로 확인 되었다.

**Table 8.** Scenario 6 Evacuation Time by Evacuation Route

경로	시간(초)
경로 1	<b>18.50</b>
경로 2	18.50
경로 3	19.20
경로 4	19.20
경로 5	23.80



## 결론

본 연구는 다양한 자연·사회 재난 중에서 화재에 착목하여 화재발생 시 건물 안의 대피자의 다양한 상황을 가정하고, 대피 시뮬레이션을 통해 최적의 대피경로를 파악하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 또한 대피자가 군집상태로 있을 경우, 최적의 대피경로와 대피시간을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 기존의 A\*알고리즘을 보다 고도화 하여 최적의 대피경로를 산출 할 수 있는 새로운 HPA\*E 알고리즘을 제안하였다.
- (2) 노유자시설인 어린이집을 대상으로 시나리오별 대피시뮬레이션의 적용하여, 출구가 두 곳으로 대피하는 경우와, 출구가 세 곳으로 대피하는 경우를 비교한 결과, 대피자가 두 방향으로 대피하기 전의 출구에서 대피자들이 가장 정체되기 때문에 대피시간에 있어 큰 차이가 나지 않았다.
- (3) 두 방향 이상으로 대피 시 대피경로가 통행불능이 반복 되어, 같은 경로로 대피하는 다른 대피자와의 충돌이 생겨, 대피시간이 더 정체 되는 것을 알 수 있었다.
- (4) 또한 각각의 시나리오를 통해 두 방향 이상으로 대피 시 대피경로가 통행불능이 반복 되는 과정에서 대피자들끼리 대피순서의 정보를 전달받았다고 가정할 경우 대피시간을 산출하여 시나리오에 따른 최단 대피시간을 파악할 수 있으며, 그 대피 상황을 본 시뮬레이션으로 보다 가시화 할 수 있었다.

본 논문의 대피시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있는 바와 같이, HPA\*E알고리즘을 이용, 기본적 최단거리 알고리즘을 통하여 화재발생 시 대피시뮬레이션을 3D모델로 재현하고, 최적의 대피경로와 대피시간을 시나리오별로 산출함으로써, 가상적 상황을 통해 화재가 발생되었을 때 건물 안의 대피자가 안전하고 빠른 대피를 통해 인명사고의 위험을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

또한 향후 연구에서는 다양한 건축물과 재난 상황을 상정한 시뮬레이션을 통해 대피경로 재 선택 시의 확률적인 예측을 기반으로 대피자의 탐색행동을 모델화 하는 것이 필요하다. 또한 공간 토폴로지 기반의 다익스트라(Dijkstra) 라 알고리즘 활용과 A\*알고리즘, HPA\*E알고리즘을 적용하는 단계까지의 기존 연구를 심도 있게 분석하여 화재의 확산 방향 정보가 들어간 대피알고리즘을 구현하고 고층 건물에도 적용 하는 것을 연구과제로 하고 있다.

## Acknowledgement

본 연구는 행정안전부 및 국립재난안전연구원의 재난안전 취약핵심역량도약기술개발사업(2018-MOIS33-003, Bigdata 활용, 시설물 안전 대피 및 관리기술 개발)의 연구비 지원으로 수행 되었습니다.

## References

- [1] Choi, J.H., Kwon, M.R. (2015). "Proposal of safe fire escape system for the day-care center and the kindergarten." The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC), Vol. 15, No. 6, pp. 297-301.
- [2] Hong, E.K., Kim, M.S., Yeom, T.J., Park, M.J. (2017). "A Study on the Enough Space per Head about Inner Evacuated Facility." Journal of the Korea Society of Disaster Information, Vol. 13, No. 1, pp. 15-25.

- [3] Jang, B.O. (2010). "Design and Implementation of Evacuation Simulation of Indoor Environment Fire." *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 19, No. 2, pp. 1-8.
- [4] Jang, M.S., Lim, K.S. (2016). "Planning Evacuation Routes with Load Balancing in Indoor Building Environments." *KIPS Transactions on Computer and Communication Systems*, Vol. 5, No. 7, pp. 159-172.
- [5] Kim, H.K. (2017). "A Study of Evacuation Route Guidance System using Location-based Information." *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 9, pp. 18-23.
- [6] Kim, S.Y., Kim, G.Y., Hwang, I.H., Kim, D.S. (2018). "Research of IoT concept implemented severity classification system." *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, Vol. 14, No. 1, pp. 28-35.
- [7] Koh, Y.J., Go, N.U., Kim, C.Y., Lee, S.H., Park, S.S. (2018). "Real-time Fire Evacuation System based on Indoor Location Tracking and Route Optimization." *Korea Information Science Society*, 2018.12, pp.1659-1661.
- [8] Kwon, J.G., Roh, Y.S. (2008). "The shelter course guidance system using a sensor network." *The Korean Society Of Computer And Information*, Vol. 13, No. 5, pp. 237-246.
- [9] Min, S.H., Jin, S.J., Lim, T.H., Ha, J.H., Yoo, S.H. (2017). "An Analysis on the Economic Impacts of the Data Industry." *Korea Information Science Society*, Vol. 12, No. 1, pp. 25-50.
- [10] Ministry of the Interior and Safety Portal (2017). "Statistical Yearbook of Natural Disaster, Disaster Yearbook." <http://www.safekorea.go.kr/idsiSFK/neo/main/main.html>.
- [11] Shin, K.Y., Yeo, Y.J., Kim, J.H., Lee, J.D. (2018). "A Study on the Case of the Conflict between Technological Innovation and Regulation in ICT Convergence Industry." *Innovation Studies*, Vol. 13, No. 1, pp. 259-292.
- [12] Seo, D.G., Hwang, E.K., Kim, J.H., Kim, W.H. (2016). "An Experimental Study on the Cognition of Evacuation Sign in Large Exhibition Space." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 6, pp. 29-34.
- [13] Yoon, J.Y., Jin, Y.J., Park, S.Y., Lee, H.J. (2016). "Customized Evacuation Pathfinding through WSN-Based Monitoring in Fire Scenarios." *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 41, No. 11, pp. 1661-1670.