대한공간정보학회지
(Journal of Korean Society for Geospatial Information Science)
Vol.32 No.2 June 2024 pp.59-66

ISSN: 1598-2955 (Print)
ISSN: 2287-6693(Online)
http://dx.doi.org/10.7319/kogsis.2024.32.2.059

연구논문

패닉 상황을 고려한 동적 인지 에이전트 기반 화재 대피 시뮬레이션

Dynamic Recognition Agent-Based Fire Evacuation Simulation Considering Panic Situations

김동범* · 김혜민** · 전철민***
Kim, Dong Beom · Kim, Hye Min · Jun, Chul Min

要 旨

본 연구에서는 화재 발생 시 대피자들의 패닉 상황을 고려한 동적 인지 에이전트 기반 피난 모델을 제안한다. 연기의 확산을 묘사하고 에이전트가 연기를 인지할 수 있는 FFM을 기반으로 에이전트들의 연기 인식 전후에 따라 패닉 상황을 구현한 모델이다. 기존 FFM에서 모든 에이전트들의 보행 패턴이 동일한 가정과 달리, 개별 에이전트별 보행 특성을 다르게하여 보다 현실적인 보행 모델을 제안하는데 초점을 맞춘다. 실제 건물을 대상으로 50명부터 최대 500명까지 피난 시뮬레이션을 수행하며 기존 모델과 신규 제안 모델의 차이를 비교하였다. 시뮬레이션 결과, 화재 인지 후 공간 친숙도 하락 및 패닉 증가로 인한 대피 시간 증가와 병목 지점에서의 체류 시간 증가를 확인하였다. 현실적인 화재 대피 시뮬레이션을 통하여 건물의 피난 안전성 진단에 활용될 것으로 기대한다.

핵심용어 : FFM, 화재 대피 시뮬레이션, CA-ABM, 패닉 동적 인지

Abstract

This study proposes a dynamic perception agent-based evacuation model that considers evacuees' panic situations during a fire. Based on the Floor Field Model (FFM), this model simulates smoke spread and allows agents to perceive the smoke, implementing panic conditions before and after smoke recognition. Unlike the existing FFM, which assumes uniform walking patterns for all agents, this study focuses on proposing a more realistic walking model by differentiating the walking characteristics of individual agents. Evacuation simulations were conducted on an actual building with a population ranging from 50 to 500 people, comparing the differences between the existing model and the newly proposed model. Simulation results indicate that after recognizing the fire, there was an increase in evacuation time due to decreased spatial familiarity and increased panic, resulting in longer dwell times at bottleneck points. The realistic fire evacuation simulation is expected to be utilized for assessing building evacuation safety.

Keywords : Floor Field Model(FFM), Fire Evacuation Simulation,
CA-ABM(Cellular Automata-Agent Based Model), Dynamic Recognition of Panic

1. 서 론

최근 건축물의 대형화, 복합화로 인해 소방구조활동의 어려움이 증가하면서 피난 안전성 진단의 중요성이 강조되고 있다. 피난 안전성 진단이란 화재 시뮬레이터와 피난 시뮬레이터를 이용하여 화재로부터 재실자들이 안전하게 피난할 수 있는지 분석하는 과정을 의미한다(Kim and Jeon, 2015; Kwak *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2019).

화재 시뮬레이터와 대피 시뮬레이터의 연계 수준에 따라 논커플링(non-coupling), 세미커플링(semi-coupling), 커플링(coupling) 방식이 나뉜다. 이 중 화재가 보행자의 행동에 영향을 끼쳐 화재에 따른 현실적인 대피 행태가 묘사되는 방식이 커플링 방식이다(Koo, 2017;

Received: 2024.05.28, revised: 2024.06.09, accepted: 2024.06.15

* 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정(Master's Student, Department of Geoinformatics, University of Seoul, dbkim@uos.ac.kr)
** 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정(Master's Student, Department of Geoinformatics, University of Seoul, kimhm77@uos.ac.kr)
*** 교신저자 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(Corresponding Author, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul, cmjun@uos.ac.kr)

Koo *et al.*, 2017; Ahn, 2018; Koo *et al.*, 2019). 커플링 방식의 예시로는 상용 프로그램인 building EXODUS+CFAST(FSEG, 2017; NIST, 2017) 혹은 FDS+Evac (NIST, 2017; VTT, 2017)가 있다. 한편 국내의 경우, 커플링 방식이 국외 SW에 절대적으로 의존하고 있으며, 이는 소스 코드가 공개되어 있지 않아 연구자의 독립적인 확장 연구 및 개발에 한계점이 존재한다. 이의 한계점으로는 1)센서와의 연계를 통한 실시간 데이터(대피 인원의 분포 및 화재 감지) 기반 시뮬레이션에 있어 어려움이 따르며(Lee *et al.,* 2018; Lee *et al.,* 2019; Lee *et al.,* 2021; Ji *et al.,* 2022), 2)IndoorGML 등의 표준화된 실내 공간 데이터를 활용하거나 공간정보 플랫폼 기술과의 연계에 있어 한계점이 있다(Zhang *et al.,* 2015; Lee *et al.,* 2021).

이에 따라 화재 상황에서의 보행자들의 경로 선택 가정이 제한적이게 된다. 선행 연구들에서의 보행자(에이전트)들은 모두 동일한 보행 패턴을 지니고 있다. 최단거리, 최소 시간, 정해진 출구로만 이동해야 하는 상황과 같은 사용자 지정 등의 경로 선택 가정만 고려하고 있어(Lee *et al.,* 2021), 화재 발생에 따른 동적인 우회경로 및 동적인 화재 인지로 인한 개별 패닉 상황이 묘사되지 않고 있다. 이에 화재 확산과 이에 따른 개별적인 보행자 행동 패턴이 동시에 고려되는 시뮬레이션 모델에 대한 필요성이 요구된다. 보다 현실적인 화재 대피 시뮬레이션을 위해서는 모든 에이전트가 동일한 성격을 띄는 것이 아닌, 개별 에이전트 별 다른 성격을 나타내는 것으로 모델링을 하는 것이 바람직하다.

이에 본 연구에서는 개별 에이전트 별 각기 다른 인구의 특성을 부여하는 것에 초점을 맞추며, 그 특성 중 개별 에이전트 별 화재 인지에 따른 패닉 상황을 고려한 화재 대피 시뮬레이션 모델을 제안하고자 한다.

2. 화재 대피 시뮬레이션

2.1 공간 및 화재 모델

화재 대피 시뮬레이션은 공간 모델, 화재 모델 그리고 대피 모델로 구성된다. Fig. 1은 공간 및 화재 모델에 대한 연계 모식도이다. 공간 데이터 모델의 경우, 표준 실내 공간 데이터 모델인 IndoorGML 기반으로 화재 및 대피 모델에서 요구하는 형태인 격자 형태로 변환하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다(Jun, 2010). 화재 모델의 경우, 미국 표준 기술 연구소 NIST에서 개발한 오픈소스 화재 시뮬레이터인 FDS(NTIS, 2017; McGrattan *et al.,* 2013)로 환경을 구성하였다.

2.2. 기존 대피 모델

화재 시뮬레이터와 커플링 방식의 연계를 진행할 수 있는 대표적인 모델은 floor field model(FFM)이 있다 (Kirchner and Schadschneider, 2002; Nishinari *et al.,* 2004; Huang and Guo, 2008; Nam *et al.,* 2014; Nam

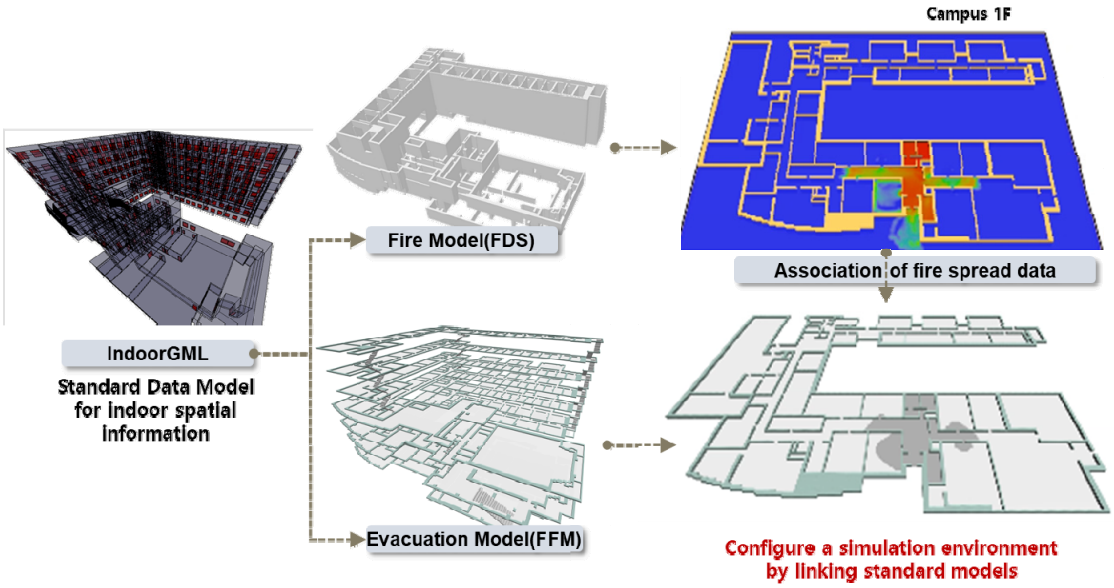

Figure 1. Schematic diagram of the integration of spatial data model, fire model, and evacuation model

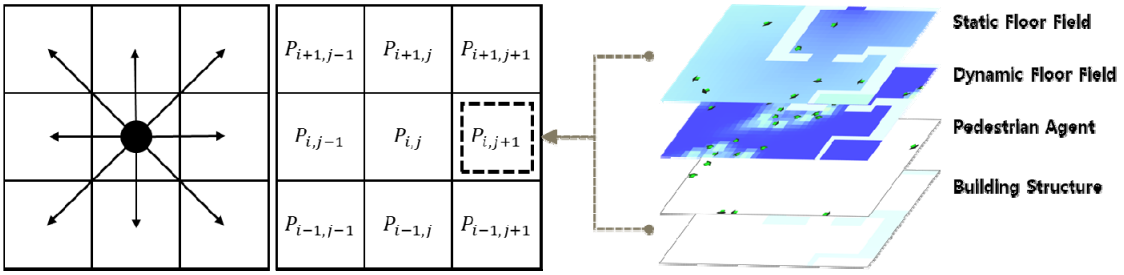

Figure 2. Basic floor field model (Lee *et al.* 2018)

et al., 2016). 전통적인 FFM의 경우, 보행 에이전트가 인접한 8개 셀만을 고려하여 이동확률을 결정하기 때문에 연산 속도가 빠르다는 장점이 있다(Helbing *et al.*, 2000). Fig. 2는 FFM에 대한 모식도이다. 대상 공간을 2D 격자 공간으로 정의하고, 에이전트는 하나의 격자에 위치하게 된다. 에이전트는 매 타임 스탭마다, 출구와의 거리로 결정되는 static floor field(SFF), 다른 보행자의 흔적을 나타내는 dynamic floor field(DFF)와 다른 보행자의 점유 여부 및 구조물 여부로 계산되는 이동 확률을 선택하게 된다.

한편, 화재 모델과의 커플링 방식을 위하여 화재 인지에 따른 우회 행동이 반영된 Extended FFM이 있다 (Lee *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2018). 연기 확산을 고려하여 에이전트의 우회 행동이 반영된 FFM의 경우, FDS를 활용하여 연기 확산 필드인 fire spreading field(FSF)와 연기 인지 필드인 fire recognition field(FRF)를 추가하여 에이전트의 이동 확률에 반영하였다(Figs. 3 and 4). 해당 모델의 경우, 에이전트가 화재 연기를 인지하게 되면 기존 SFF가 아닌 weighted static floor field(WSFF)로 교체되어 우회 행동을 반영하게 하였다. 하지만 우회 행동이 반영된 FFM의 경우에도 연기 인지 전후 시점에서 개별 에이전트들의 공간 친숙도 및 패닉 상황이 차등적으로 조성되지 않았다.

2.3. 동적 인지를 고려한 대피 모델

본 연구에서 제안하고자 하는 동적 인지를 고려한 대피 모델은 앞서 소개한 우회 행동이 반영된 대피 모델에 추가 개발한 모델로써 개별 에이전트들이 화재에 대한 동적 인지를 고려하는 모델이다. 앞 절 2.2에서 다룬 기존 화재 대피 시뮬레이션의 경우, 모든 에이전트들이 동일한 보행 패턴 특성을 가지고 있다는 가정이 존재하였다. 신규 제안 모델의 경우, 모든 에이전트들은 다른 보행 패턴을 지니는 현실적인 요소를 추가하는 것을 주 목적으로 하였으며, 본 연구에서는 그 요소를 패닉상황에 대한 동적 인지 요소가 해당된다. 여기서 동적 인지란 개별 에이전트 별 공간 친숙도 및 패닉 상황이 시뮬

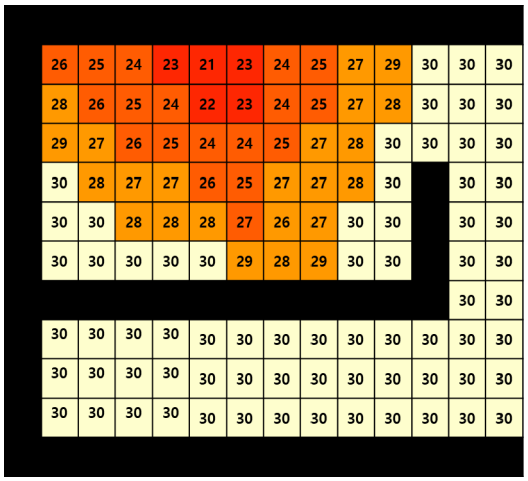

Figure 3. FSF (Lee *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2018)

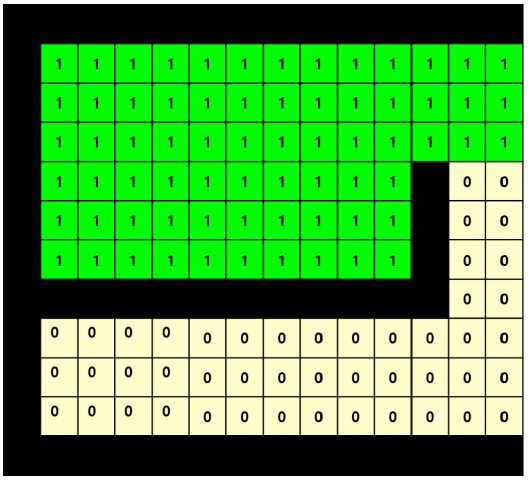

Figure 4. FRF (Lee *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2018)

레이션의 초기값과 다르게 화재 인지에 따라 동적으로 인지한다는 것을 의미한다. FRF 기반 개별 에이전트가 시각적으로 화재(연기) 인지 여부에 따라 공간 친숙도 및 패닉 상황을 차등으로 조정하였다. 이는 화재 인지에 따른 공간 친숙도 하락과 이끌림 현상 증가를 에이전트의 격자 선택 확률에 반영하게 된다.

$$P_{ij} = N_{\exp}(k_{DN}D_{ij} + k_{SN}S_{ij})(1-\eta_{ij})\epsilon_{ij} \quad (1)$$

where, P_{ij} denotes the transition probability of the cell(i,j), N is a normalization function to make the sum of transition probabilities. D_{ij} and S_{ij} denote the values of the SFF and DFF. k_{DN} and k_{SN} denote the sensitivity parameters for SFF and DFF before fire recognition. η_{ij} and ϵ_{ij} are status of fixed obstacles and occupancy status of other agents, respectively.

$$P_{ij} = N_{\exp}(k_{DF}D_{ij} + k_{SF}WS_{ij})(1-\eta_{ij})\epsilon_{ij} \quad (2)$$

where, k_{DF} and k_{SF} denote the sensitivity parameters for SFF and DFF after fire recognition. The rest are the same as in Equation (1).

이에 최종적으로 개별 에이전트가 화재 인지 전의 이동 확률은 Eq. (1), 화재 인지 후의 이동 확률은 Eq. (2)과 같다. 본 연구에서 패닉 상황에 대한 동적인지를 조절하는 파라미터는 Eq. (1)과 Eq. (2)에서 k_D와 k_S이다. k_D는 DFF에 대한 민감도 파라미터이며, 에이전트가 다른 에이전트를 따라가려는 이끌림 현상에 대한 강도를 조절하는 파라미터이다. k_S는 SFF에 대한 민감도 파라미터이며, 에이전트가 대상 공간에 대한 공간 친숙도(탈출구에 대한 최단 거리 정보를 알고 있는지)가 얼마나 되는지 조절하는 파라미터이다.

3. 대피 시나리오

3.1 대피 시나리오

Fig. 5는 시뮬레이션 환경인 공간과 화재 모델의 최초 발화지점을 의미한다. 공간 모델의 경우, 학교 캠퍼스 건물의 1층 공간을 대상으로 하였으며 격자화된 그리드의 크기는 30 x 30 cm로 설정하였다(Nam *et al.,* 2014). 대상 공간 모델의 경우, 총 23개의 강의실과 5개의 출구가 존재한다. 화재 모델의 경우, 발화지점은 화장실로 하였으며, 초기 발열량은 400kW 로 설정하였다(Lee *et al.,* 2019).

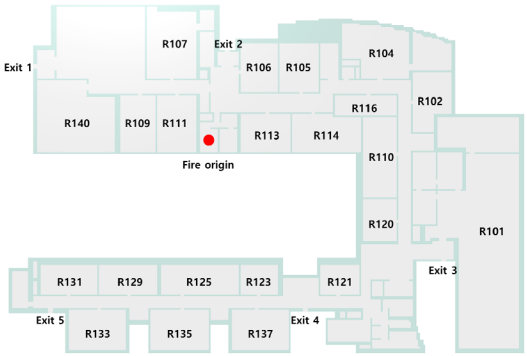

Figure 5. Evacuation environment

대피 모델에 대한 대피 인원 시나리오는 피난 인원의 50명부터 최대 500명까지 50명 단위로 구성하였다. 모델 비교의 경우, 기존 연구인 화재 연기를 고려한 우회 행동 모델과 본 연구에서 제안하고자 하는 패닉 상황을 동적으로 인지하는 모델로 진행하였다. 한편, 우회 행동 모델의 경우 Eq. (1)과 (2)에서 공간친숙도의 민감도 파라미터인 k_S와 패닉상황에 대한 민감도 파라미터인 k_D가 2와 1로 고정되어 있다(Lee *et al.,* 2021). 본 연구에서는 화재 미인지 에이전트들과 인지 에이전트들의 대피 패턴 차이를 확인하는게 주된 실험 목표이므로, 비교를 위하여 화재 미인지 에이전트들의 대피 패턴을 선행연구와 동일하게 파라미터를 설정하였다. 동적 인지 모델의 경우, k_{SN}과 k_{DN} 을 이와 동일하게 설정하였으며, 패닉 상황을 동적으로 묘사하기 위하여 k_{SF}와 k_{DF}는 각각 0.5와 3으로 설정하였다. k_S가 1미만의 값으로 설정된다면 에이전트는 대상 공간에서 출구에 대한 정보를 잘 알지 못하는 상황이라 알려져 있다(Kirchner and Schadschneider, 2002; Nishinari *et al.,* 2004). k_D는 0일 경우, 에이전트들의 이끌림 현상이 전혀 없는 것을 의미하며(Kirchner and Schadschneider, 2002; Jun, 2004) 현실의 화재 발생 시 패닉 상황을 극단적으로 묘사하기 위하여 3으로 설정하였다.

3.2 시뮬레이션 결과

Fig. 6은 제안 대피 모델에서 피난 인원이 300명 일 때, 대피 인원의 분포와 화재 연기의 확산을 시각화한 것이다. 시나리오의 경우, 50명부터 50명 단위로 최대 500명까지 시뮬레이션을 수행하였지만, 설명의 용이함을 위하여 중간 시나리오 지점인 300명을 시각화하였다. 초기 대피 인원은 건물 내에 랜덤하게 분포하여 시

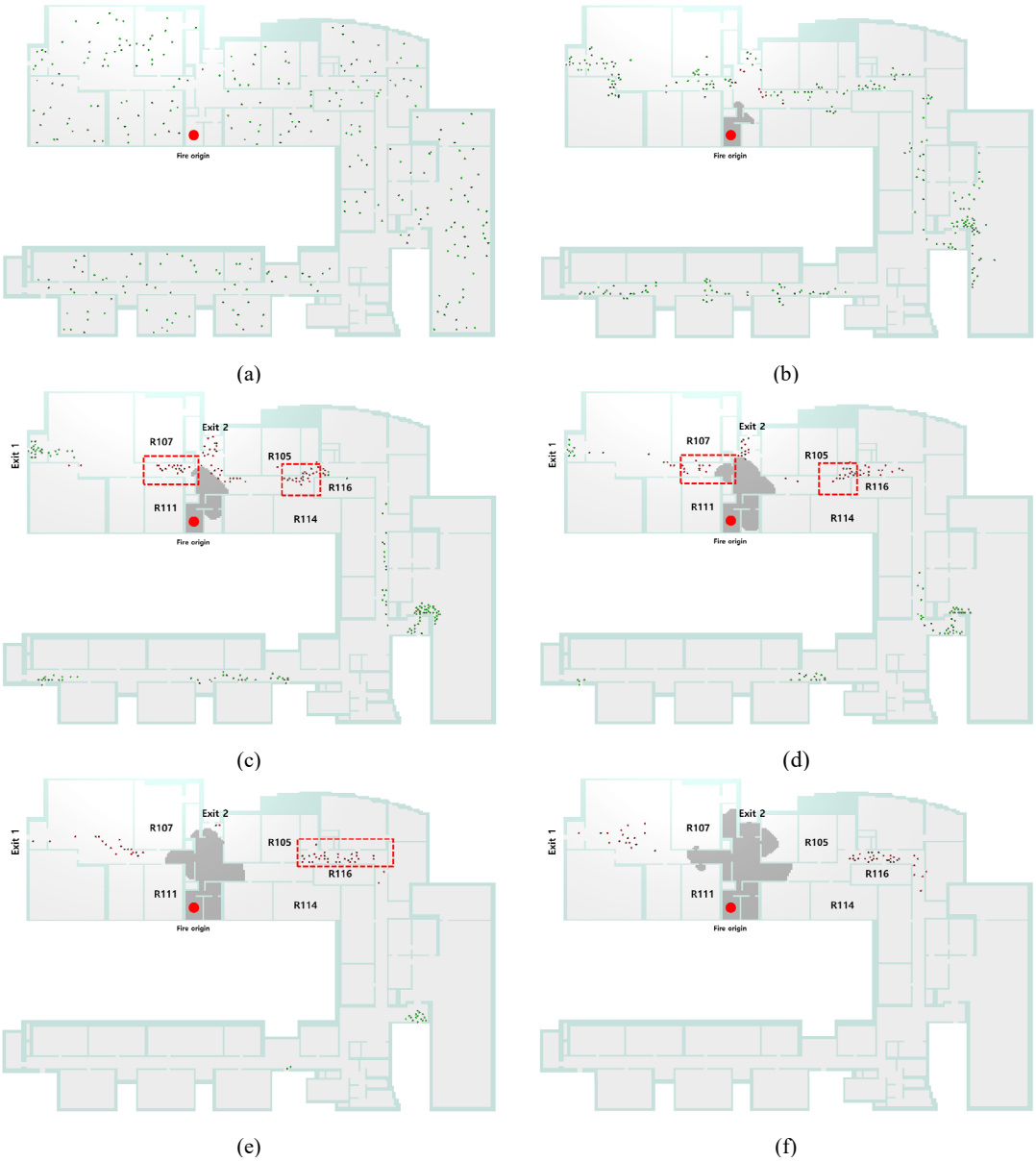

Figure 6. Proposed FFM based evacuation simulation during smoke spreading. (a) t=0, (b) t=50, (c) t=100, (d) t=150, (e) t=200, (f) t=250. The red dashed box indicates bottleneck areas

뮬레이션이 진행되었다(Fig. 6(a)). 시뮬레이션에서 50초가 경과하였을 때, 화재 연기를 인지한 인원들이 나타나기 시작하였으나, 출구가 더 가까우므로 원래 이동 방향인 가장 가까운 출구로 탈출을 진행하였다(Fig. 6(b)). 그러나 100초가 경과된 이후부터는 화재 연기로 인하여 가장 가까운 탈출구(Exit 2)로 에이전트들이 대피하지 못하는 상황이 연출되기 시작한다(Fig. 6(c)). 이로 인하여 복도에서 에이전트들은 다른 탈출구로의 우회 대피 행동이 시작되며, 그로 인한 병목이 발생하게 된다(Fig. 6(b, c)). 주목할만한 점은 기존 연구와 달리, 화재를 인지한 개별 에이전트들의 패닉 상황 가중으로 인하여 병목의 정체 시간이 증가되었다는 것이다. 기존 모델의 화재 인지로 인한 우회 행동이 반영된 결과로 병목이 발생하였지만, 신규 제안 모델에서는 그

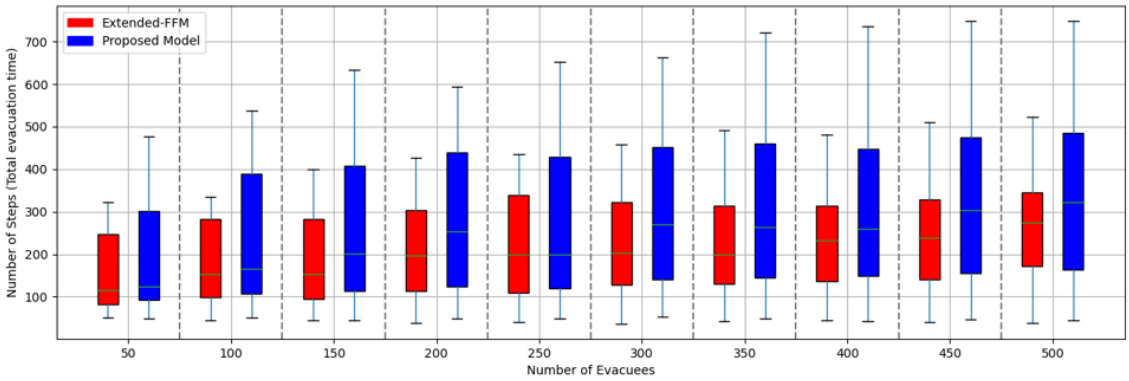

Figure 7. Box plot of total evacuation time vs. number of evacuees in recognition scenario

병목 정체 시간이 더욱 길어져 에이전트들의 대피 시간이 더 길어진 것이다.

이를 정량적으로 살펴보면 다음과 같다. Fig. 7과 8은 각 시나리오에 대하여 대피 인원 대비 총 탈출 시간을 나타낸 것이다. 가로 축은 시나리오 대상 대피 인원수를 나타내며, 세로 축은 에이전트 별 대피 시간을 나타낸 것이다. 화재를 인지하지 않은 에이전트의 경우, 50명 시나리오부터 500명 시나리오까지 에이전트들의 대피 소요 시간의 분포가 차이가 나지 않음을 확인할 수 있다. 이는 동적 인지 모델이라 할지라도 Eq. (1)의 이동 확률을 따르기 때문에, 기존 모델과 차이가 없는 것으로 나타났다. 한편, 화재를 인지한 에이전트의 경우, 50명 대피 시나리오에서부터 대피 시간이 오래 소요되는 에이전트들이 증가하기 시작하였다. 대피 시나리오의 에이전트 인원수가 더 많아질수록 그 차이는 커져감을 확인할 수 있다. 이는 Eq. (2)에서 k_{DF}의 성격이 반영된 것이라고 보이는데, 대피 인원 수가 많아질수록 특정 병목 지점에서의 패닉 에이전트들의 체류 시간이 더 길어지고, 이로 인하여 에이전트들의 이끌림 현상이 더욱 작용된 결과이다. 이는 실제 화재 대피를 고려하였을 때, 패닉 상황을 더욱 연출한 결과로 볼 수 있으며, 병목 구간에서의 체류 시간 증가는 Fig. 9와 Fig. 10에서 확인할 수 있다.

Fig. 9와 Fig. 10은 각각 기존 모델과 제안 모델에서

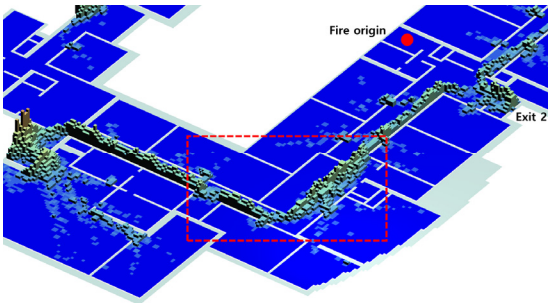

Figure 9. Occupancy of agents in the previous model. The red dashed box indicates bottleneck areas

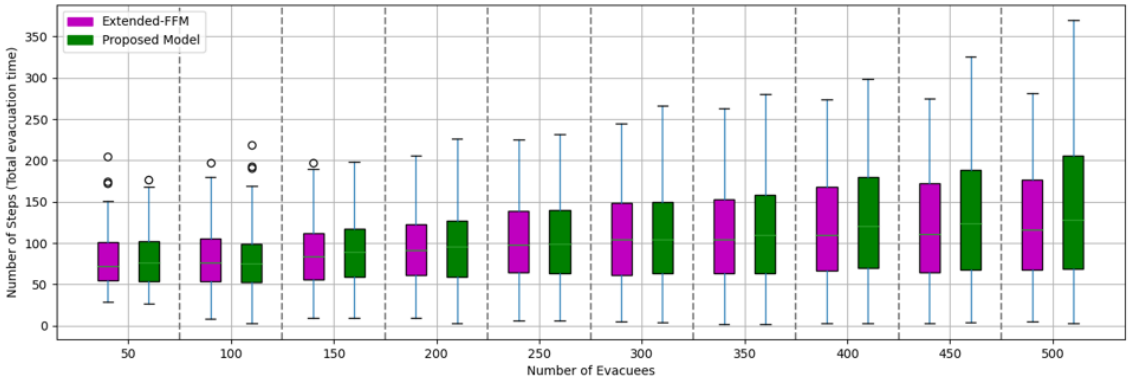

Figure 8. Box plot of total evacuation time vs. number of evacuees in non-recognition scenario

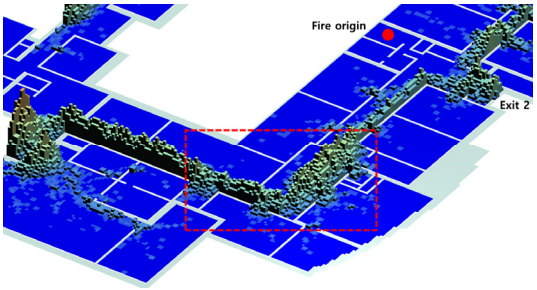

Figure 10. Occupancy of agents in the proposed model. The red dashed box indicates bottleneck areas

의 에이전트들의 점유도를 3D 시각화한 것이다. 에이전트들이 점유를 많이 할수록 셀의 높이가 높아지도록 하였다. 기존 모델과 제안 모델 모두 화재 연기로 인한 우회행동을 반영하여 그림에서 붉은색 점선 박스에 병목이 발생한 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안 모델의 경우, 화재 연기를 인지한 에이전트들이 패닉 상황이 강조되므로 병목 해소 시간이 더 길어지며 이로 인해병목 구간에서 체류 시간이 더 길어짐을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 개별 에이전트 별 화재의 동적인 인지에 따른 패닉 상황을 고려한 화재 대피 시뮬레이션을 제안하였다. 기존 우회 행동을 고려한 FFM의 경우, 에이전트들이 연기를 인지하여 다른 탈출구로의 우회 대피 행동을 실시하였지만, 에이전트들의 연기 인지 정도에 따른 대피 행동의 변화가 없었기에 실제 화재 발생 시의 모습을 묘사하는데 한계가 있었다. 본 연구는 화재 연기 인지 시, 에이전트들의 공간친숙도 하락 및 패닉 정도 상승을 활용하여 실제 화재 발생 시의 보수적인 관점에서 모습을 모의하였다.

본 연구에서는 실제 건물을 모델링하고, 가상의 발화 지점을 토대로 최대 500명까지의 대피 인원을 시뮬레이션하였고, 그 결과 연기를 인지한 에이전트들이 혼란을 통한 병목 정체 시간의 증가를 확인하였다. 본 실험 결과를 통해서, 기존 탈출구에서의 병목 현상 뿐만 아니라 패닉이 가중된 상황에서 동일한 병목 지점일지라도 에이전트들의 체류 시간이 길어 병목 해소 시간이 길어짐을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 실제 화재 대피 시, 화재를 인지한 대피자들의 병목 해소가 길어지는 장소를 확인함으로써 건물의 피난 안전성 진단의 기초자료로써 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 기존 모델에서 모든 에이전트들의 동일한 성격을 지닌다는 가정에서 개별 에이전트 별 각기 다른 특성을 보유한다는 특성을 추가하는 모델을 제안하는 데 주 목적이 있다. 추후 연구에 있어서는 이 특성을 살려 패닉 상황에서의 보다 세밀한 특징을 반영될 수 있을 것이다. 예를 들어, 보행자의 가시거리, 장애물의 성격, 그리고 인구 특성(연령 및 성별)에 따른 모델링 방식이 있을 것이다. 이외에도 재실자의 실시간 데이터 혹은 대피 경로를 동적으로 추천해주는 방법을 추가 연구한다면 피난 안전성 진단에 있어 더욱 활용성이 높아질 것으로 기대한다.

감사의 글

이 논문은 2023년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 지원되었음. (This work was supported by the 2023 Research Fund of the University of Seoul.)

References

1. Koo, H. M., 2017, A study on improvements performance-based design standards through a comparsion of life safety assessment results according to three coupling methods of fire and evacuation simulation, Master's thesis, Graduate School of Pukyong National University. pp.3-4.
2. Koo, H. M., Oh, R. S., Lee, S. H. Ahn, S. H., Hwang, C. H. and Choi, J. H., 2017, A comparative study on life safety assessment results depending on whether coupling of fire & evacuation simulation for performance based design, Proc. of 2017 spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 47-48.
3. FSEG, Univesity of Greenwich's buildingEXODUS Official Webpage, https://fseg.gre.ac.uk/fire/news.html #SoftwareNews
4. Helbing, D., Farkas, I. and Vicsek, T., 2000, Simulating dynamical features of escape panic, Nature, Vol. 407, No. 6803, pp. 487-490.
5. Huang, H. J. and Guo, R. Y., 2008, Static floor field and exit choice for pedestrian evacuation in rooms with internal obstacles and multiple exits, physical review E, Vol. 78, 021131.
6. Ji, Y., Wang, W., Zheng, M. and Chen, S., 2022, Real time building evacuation modeling with an improved cellular automata method and corresponding IoT system implementation, buildings, Vol. 12, No. 6,

pp. 718.
7. Jun, C. M., 2010, An enhanced floor field based pedestrain simulation model, Journal of Korea Spatial Information System Society, Vol. 12, No. 1, pp. 76-84.
8. Kim, J. Y. and Jeon, Y. H., 2015, The case analysis through fire simulation FDS and evacuation simulation Pathfinder, Venturing and Entrepreneurship, Vol. 10, No. 6, pp. 253-260.
9. Kirchner, A. and Schadschneider, A., 2002, Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics, Physica A: statistical mechanics and its applications, Vol. 312, No. 1-2, pp. 260-276.
10. Korhonen, T. and Hostikka, S., 2009, Fire dynamics simulator with evacuation: FDS+ Evac. Technical Reference and User's Guide, VTT Technical Research Centre of Finland, pp. 17-26.
11. Kwak, S., Nam, H. and Jun, C., 2016, Microscopic evacuation simulation in large-scale buildings using EgresSIM, Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 25, No. 1, pp. 53-61.
12. Lee, J. Y., Lee, M. H. and Jun, C. M., 2018, Fire evacuation simulation using FFM and FDS, Journal of the Korean Association of Geographic Information, Vol. 21, No. 2, pp. 12-22.
13. Lee, M. H., Lee, J. Y. and Jun, C. M., 2019, Agent-based evacuation model considering smoke spreading, Journal of Korean Society for Geospatial Information Science, Vol. 27, No. 6, pp. 43-52.
14. Lee. M. H., Lee. J. Y. and Jun. C. M., 2021, An extended floor field model considering the spread of fire and detour behavior, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 577. No. 126069.
15. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C. and Overholt, K., 2013, Fire dynamics simulator technical reference guide volume 1: mathematical model, NIST special publication, Vol. 1018, No. 1, p. 175.
16. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C. and Overholt, K., 2013, Fire dynamics simulator user's guide, NIST special publication, Vol. 1019, No. 6.
17. Nam, H., Kwak, S. and Jun, C., 2014, Developing a cellular automata-based pedestrian model incorporating physical characteristics of pedestrians, Spatial Information Research, Vol. 22, No. 2, pp. 53-62.
18. Nam, H., Kwak, S. and Jun, C., 2016, Comparison of improved floor field model and other models, Proc. of the 8th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, pp. 95-101.
19. Nishinari, K., Kirchner, A., Namazi, A. and Schadschneider, A., 2004, Extended floor field CA model for evacuation dynamics, IEICE Transactions on information and systems, Vol. 87, No. 3, pp. 726-732.
20. Zhang, W., Zhou, Y., Tian, W. and Hu, B., 2015, GIS-based indoor pedestrian evaucation simulation combining the particle swarm optimization and the floor field model, 23rd International Conference on Geoinformatics, IEEE, pp. 1-4.