

EgresSIM을 이용한 대형건축물의 미시적 대피시물레이션

곽수영 · 남현우 · 전철민*

Microscopic Evacuation Simulation in Large-scale Buildings using EgresSIM

Suyeong Kwak · Hyunwoo Nam · Chulmin Jun*

ABSTRACT

This paper introduces 'EgresSIM', which is microscopic evacuation simulation software. EgresSIM developed in this paper is a three-dimensional (3D) pedestrian evacuation simulator based on the improved model advanced from the floor field model (FFM), a microscopic pedestrian model. This software can simulate large size buildings that consist of a number of floors, stairs, rooms, and exit doors. Moreover, this software can arrange several hundreds or thousands of pedestrians in indoor space and check their movements through the 3D viewer in real time, as well as produce detailed results about evacuation situations such as which paths are employed by individual pedestrians, how long does it takes to evacuate, and how many evacuees are gathered at each of the exit doors. Building data needed in the simulation are constructed as XML files according to pre-defined indoor data models and information of simulation results is also created as XML log files. A moving pattern of pedestrians can be represented in many ways by adjusting the sensitivity parameters of two walk models supported by EgresSIM. Thus, evacuation simulation can be done based on many assumptions of situations such as movement to the nearest exit door or blackout after outage.

Key words : Evacuation Simulator, Indoor Evacuation, Pedestrian Simulation, Indoor Data Model

요약

본 논문은 미시적 대피시물레이션 소프트웨어인 'EgresSIM'을 소개한다. 본 논문에서 개발한 EgresSIM은 미시적 보행모델인 Floor Field Model과 이를 발전시킨 개선된 모델을 기반으로 하는 3차원 보행자 대피시물레이터이다. 이 소프트웨어는 많은 층과 계단, 방, 출입구 등이 있는 대형건축물에 대한 시물레이션이 가능하다. 또한, 수백, 수천 명의 보행자를 실내 공간에 배치하고 이들의 움직임을 3차원 뷰어를 통해 실시간으로 확인할 수 있고, 개별 보행자들이 어떤 경로로 이동하는지, 대피시간은 얼마나 소요되는지, 각각의 출구에 얼마나 많은 대피자들이 몰렸는지 등 대피 상황에 대한 상세한 결과를 산출한다. 시물레이션에 필요한 건물 데이터는 사전에 정의된 실내 데이터 모델에 따라 XML 파일로 구축되며, 시물레이션 결과 정보도 XML 로그 파일로 생성된다. EgresSIM에서 지원하는 두 가지 보행모델의 민감도 파라미터를 조정함으로써 보행자들의 이동 패턴을 여러 가지로 나타낼 수 있다. 이를 통해 최단 거리 출구로 이동하는 상황, 정전이 일어난 암흑 상황 등 여러 상황을 가정한 대피시물레이션 수행이 가능하다.

주요어 : 대피시물레이터, 실내 대피, 보행시물레이션, 실내 데이터 모델

* 본 연구는 국민안전처 재난안전기술개발기반구축사업 ("NEMA-기반-2014-116")의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Received: 12 January 2016, **Revised:** 31 March 2016,
Accepted: 23 March 2016

***Corresponding Author:** Chulmin Jun

E-mail: cmjun@uos.ac.kr

University of Seoul, Department of Geoinformatics

1. 서론

대형건축물에서 화재, 지진, 붕괴 등 재난이 발생했을 때를 가정해 재실자들의 대피 상황을 묘사하기 위한 여러 시물레이션 소프트웨어가 상용화되어 널리 사용되고 있다. Simulex, BuildingEXODUS, PathFinder 등을 이용하여 다양한 대피 상황에 대한 묘사가 가능하다^[3-5, 11, 13].

이러한 소프트웨어들은 SFPE, Steering 등의 보행모델을 이용하고 있다. 다만, 기존에 개발된 소프트웨어를 이용할 경우에는 보행모델의 수정이 불가능하므로 정해진 파라미터와 모델만 이용해야 한다. 따라서 원하는 보행 모델 설정 및 적용, 3D 시각화, 결과 분석 수행 등을 위한 자체적인 대피시뮬레이터를 개발하였다.

본 논문에서는 기존 소프트웨어에서 적용되지 않던 보행모델인 Floor Field Model(FFM)을 이용하는 3차원 대피시뮬레이터를 개발하였고 이를 ‘EgresSIM’이라 명명하였다. FFM은 Cellular Automata(CA)의 규칙을 이용하여 보행자의 움직임을 간단한 연산만으로도 효과적으로 모델링한다^[1, 6]. EgresSIM에서는 FFM을 기본 보행 모델로 이용하고 있으며, FFM에서 적용되지 않던 보행자의 자세, 타원형 모양, 회전에 의한 영향, 보폭 등 여러 가지 요소들을 추가한 개선된 CA 모델도 이용하고 있다^[10]. 두 모델을 통해 다양한 대피 상황에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 모델의 민감도 파라미터를 이용하면 여러 대피 상황을 모델링할 수 있는데, 예를 들어 출구로 향하려는 성향, 다른 보행자를 따라가려는 성향, 출구 쪽으로 자세를 더 향하려는 성향 등 보행자의 대피 성향을 조정할 수 있다^[7, 8].

EgresSIM에서 이용하는 건물 데이터는 사전에 정의된 실내 데이터 모델을 이용한다. 실내 데이터 모델에는 FFM과 개선된 보행모델에 필요한 격자형 구조로 건물 정보가 저장된다. 또한, 시뮬레이션에 필요한 여러 가지 속성 정보도 포함하고 있으며, 다층, 계단, 수많은 방 등의 복잡한 구조에서도 활용될 수 있다. EgresSIM은 대피 상황을 동적으로 확인할 수 있는 3차원 뷰어를 제공한다. 3차원 뷰어를 통해 건물의 형태, 층별 대피 상황 등을 실시간으로 확인할 수 있다. 시뮬레이션을 마친 후에는 시뮬레이션 결과를 XML 형식의 로그로 저장한다. EgresSIM에서 제공하는 결과 분석 기능을 통해 로그를 불러오면 개별 보행자의 대피 경로 및 시간, 총 대피 시간, 출구별 대피 상황 등 다양한 결과 분석이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 EgresSIM의 핵심 요소인 두 가지 보행 모델을 소개하고, 3장에서는 소프트웨어의 여러 기능을 소개한다. 4장에서는 EgresSIM을 이용한 대피시뮬레이션 적용과 민감도 파라미터 실험 결과를 확인하며 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 이론적 배경

2.1 Floor Field Model

Burstedde et al.에 의해 2001년에 소개된 FFM은 CA

의 규칙을 이용하여 보행자의 미시적인 움직임을 모델링한다^[1]. 2차원의 CA 기반 모델을 설계하였고, 보행자는 주변 셀(cell)과의 관계를 통해 최종 목적지로 이동한다. 보행자의 움직임에 영향을 주는 요소로 인접한 출구와의 거리를 의미하는 Static Floor Field(SFF)와 주변 보행자와의 상호작용, 이끌림 효과를 의미하는 Dynamic Floor Field(DFF)를 이용한다. 또한, 주변에 다른 보행자가 있는지, 벽이나 장애물이 있는지 등도 고려하고 있다.

이러한 요소들은 격자로 분할된 공간에 각각의 필드로 할당된다. 격자의 크기는 40cm × 40cm 크기의 정사각형으로 정의하며, 하나의 셀에는 여러 개의 필드 값이 부여된다. 부여되는 값은 이웃 셀 여부, 장애물 존재 여부, 다른 보행자 점유 여부, SFF 값, DFF 값 등이며, 여러 값들의 연산을 통해 현재 보행자가 다음 단계에 어떤 셀로 이동할지 계산한다. 이동 규칙은 이동 확률(transition probability)에 의해 결정된다^[1, 6].

FFM은 경로 연산에서 이웃 셀과의 상호작용만을 고려하므로 빠른 속도를 보장한다. 그럼에도 불구하고 Social Force Model, SFPE 등 다른 보행 모델들과 비교하였을 때, 모델링의 정확도 측면에서 크게 뒤떨어지지 않는다^[2]. 다만, FFM은 보행자를 정사각형 셀에 배치하고 있다. 이로 인해 보행자의 크기와 모양도 셀과 동일하다. 이는 연산을 단순화시키는 장점이지만 보행자의 세밀한 크기와 모양을 반영할 수 없다는 단점이기도 하다. 보행자의 크기와 모양을 실제 보행자와 유사한 타원 형태로 적용하면 보행자 간의 회전, 충돌 등의 물리적 현상을 모델링할 수 있다. 따라서 FFM과 유사한 연산 구조를 가지면서 보행자의 크기와 모양을 타원 형태로 정의한 개선된 CA 모델을 개발하였다^[10].

2.2 개선된 CA 모델

개선된 CA 모델은 FFM과 보행자의 이동을 판단하는 방식은 유사하다. 다만, 보행자의 크기를 40cm × 40cm에서 50cm × 30cm로 변경하였다. 변경한 크기는 보행자의 신체크기 측정 자료에 근거하여 설정한 것이다^[9]. 따라서 하나의 셀 내부에 보행자를 배치하게 되면 보행자가 셀 크기를 넘어서게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 셀 크기를 30cm × 30cm로 변경하고 보행자를 셀 내부가 아닌 셀 간의 경계점에 배치하는 방식을 이용하였다. 기존 셀 기준으로 보면 경계점이지만, 실제로는 경계점을 새로운 셀로 정의한 방식이다.

또한, FFM에서 반영되지 않던 보행자의 자세를 고려하였다. 보행자의 자세는 Fig. 1에 해당하는 8가지 방향

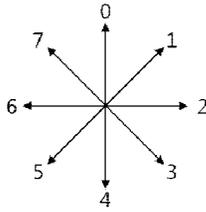


Fig. 1. The 8 directions of pedestrian postures

중 한 가지 방향으로 결정된다. 보행자는 자세를 통해 자신이 바라보는 방향을 알 수 있게 되고, 해당 방향으로 이동하려는 성향을 추가하였다. 또한, 어떤 방향으로 자세를 결정할 것인지 판단하기 위한 파라미터를 추가하였다. 이 파라미터를 통해 보행자들은 자신의 자세를 출구 쪽 방향으로 향하게 할 것인지, 임의의 방향으로 향하게 할 것인지 등을 조절할 수 있다. 보행자들이 자신의 자세를 출구 쪽으로 향하게 된다면 최대한 빨리 출구 쪽 방향으로 이동하려는 상황이며, 임의의 방향으로 자세를 향하게 하는 경우는 현재 자신이 어떤 방향으로 이동해야 할지 결정하지 못한 상황이다.

보행자들은 주변 장애물과 보행자들의 배치 상황에 따라 회전을 자유롭게 할 수 있기도 하고, 회전할 수 없기도 한다. 주변에 아무런 제약이 없다면 자유롭게 자세를 변경할 수 있으며, 주변에 보행자들이 뺨뺨하게 몰려있다면 회전할 수 없게 된다. 즉, 보행자들 간의 자세가 서로 맞물리면서 영향을 주게 되고, 이러한 상호 작용이 전체적인 보행 상황에 영향을 미치게 된다. 보행자가 현재 자신의 자세를 결정하기 위한 식은 다음과 같다.

$$p_{ij} = N \xi_{ij} e^{-k_p S_{ij}} \quad (1)$$

- k_p 는 보행자들이 SFF 값이 작은 방향을 선호하는 정도에 대한 가중치. 값이 클수록 SFF 값이 작은 방향(출구를 향하는 방향)을 선호하게 됨. $k_p \in [0, \infty)$
- S_{ij} 는 주변 경계점의 SFF 값. $S_{ij} \in [0, \infty)$
- $\xi_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$ 는 현재 상황에서 해당 방향으로 자세를 취할 수 있는지에 대한 값. 가능하면 1, 불가능하면 0이 할당됨.
- $N = [\sum_{(i,j)} \xi_{ij} e^{-k_p S_{ij}}]^{-1}$

이 밖에도 보행자의 보폭의 조절, SFF, DFF 계산 식 등 추가적인 변경 사항들이 있다¹⁰⁾.

3. EgresSIM

EgresSIM을 구동하기 위한 PC 환경에 대해 간략히 설명하면 다음과 같다. EgresSIM은 Windows 7 이상의 버전에서 동작하며, DirectX 11 이상의 버전이 요구된다. 본 논문의 실험에 사용된 PC의 CPU는 Intel Xeon E5-2667, 메모리는 64GB, 그래픽카드는 NVIDIA Quadro K4000이다. 해당 PC 외에도 더 낮은 사양의 PC에서도 잘 동작하는 것을 확인하였다.

3.1 대형건축물 처리를 위한 실내 데이터 모델

EgresSIM에서 건물 데이터는 별도로 정의된 실내 데이터 모델에 따라 구축되었다. 실내 공간에 대한 여러 속성 정보를 포함하며, FFM 및 개선된 CA 모델에 필요한 격자형 기하정보를 저장할 수 있는 실내 데이터 모델을 정의하였다. 실제 건물은 여러 개의 층, 계단이 연결된 복잡한 구조를 가진다. 따라서 층과 계단을 각각 저장할 수 있고, 이들의 연결 구조를 정의할 수 있는 데이터 모델을 개발하였다.

우선, 각 층 및 계단은 모두 하나의 플레인(plane)이라 정의하였다. 예를 들어 2층이며 두 층을 연결하는 계단이 2개 있다면, 해당 건물은 층 플레인 2개, 계단 플레인 2개, 총 4개의 플레인으로 구성된다. 각각의 플레인은 고유의 ID를 가지며, 이를 통해 플레인 간의 연결 정보를 구성하였다. 플레인은 해당 플레인으로 진입하는 입구들과 다른 플레인 혹은 건물 밖으로 나갈 수 있는 출구들에 대한 정보를 가진다. 따라서 각각의 플레인들 간의 연결 및 보행자들의 플레인 간 이동이 가능하도록 하였다.

건물의 기하 정보는 40cm × 40cm 혹은 30cm × 30cm 크기의 셀들의 집합으로 저장된다. 각각의 셀에는 이동이 가능한 공간이면 0, 벽 및 장애물이 있으면 1, 건물의 외부이면 2의 값이 부여된다. 보행자들은 건물의 기하 정보가 0인 지역들만 이동할 수 있게 된다. 각 플레인은 이러한 셀들의 집합을 기하 정보로 포함하고 있으며, 해당 플레인의 MBR(Minimum Boundary Rectangle) 좌표를 가지고 있다. 이를 통해 여러 플레인들의 상대적 위치를 조절할 수 있다. 이 밖에도 층 플레인은 해당 층의 방과 출구들에 대한 정보를 가지며, 계단 플레인은 방에 대한 정보를 포함하지 않는다.

전술한 사항들을 포함하는 XML 데이터 모델을 설계하였다. Fig. 2는 설계된 실내 데이터 모델의 스키마 정보이다. 하나의 건물은 MapData에 저장되며, 이는 1개 이상의 플레인을 자식 노드로 가진다. 플레인들은 ID, 종류,

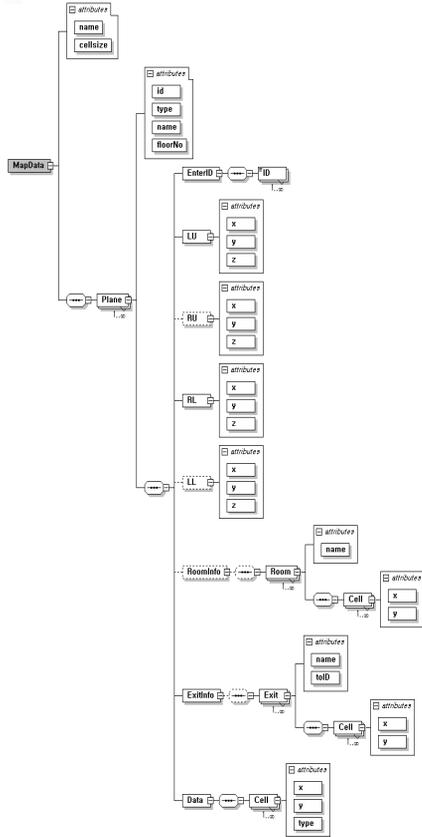


Fig. 2. Schema of indoor data model

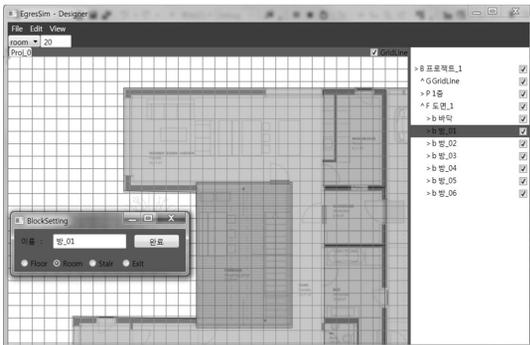


Fig. 3. Drawing the data structure using the tool

이름, 층 번호 등의 속성 정보를 가지며 이외에도 출구, 입구, MBR, 방 등의 정보를 자식 노드로 저장한다. 건물의 기하 정보는 Data 노드에 좌표와 셀 값으로 저장된다. Fig. 2의 XML 스키마를 따르는 건물 데이터는 EgresSIM에서 개발한 데이터 저작도구를 이용하여 제작된다. 저작도구는 2차원 공간에서 데이터를 그릴 수 있으며, 배경에

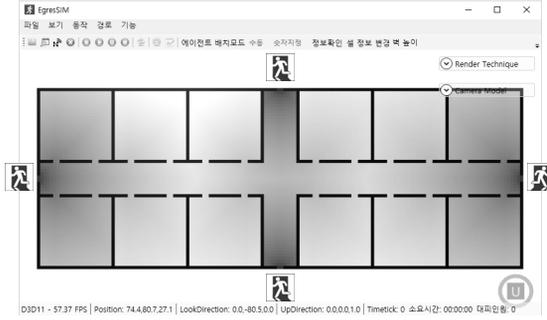


Fig. 4. Example of the calculated SFF

CAD나 건물 도면 그림 파일을 놓고 각각의 플레인의 모양과 크기에 맞게 직관적으로 그릴 수 있다. Fig. 3은 데이터를 그리는 예시이며, 저작도구를 통해 실제 건축물에 대한 데이터를 EgresSIM에서 요구하는 데이터 모델에 맞도록 정의할 수 있다.

3.2 Distance Map

FFM 및 개선된 보행 모델은 보행자들을 건물의 출입구로 향하게 하려고 SFF를 이용한다. SFF는 기존 대피시뮬레이터에서 출구와의 거리에 의해 생성되는 distance map과 유사하다^[11]. 건물의 모든 플레인은 정해진 격자 크기(30cm, 40cm)에 따라 분할되는데, 분할된 셀은 출구와의 거리 정보를 저장하는 SFF 값을 가지고 있다. SFF 값은 출구에서 0이며, 출구와 멀어질수록 커지게 된다. SFF의 계산 방법은 여러 가지가 있으며, EgresSIM의 두 보행 모델은 모두 Varas et al.의 SFF 계산 방법을 이용한다^[12].

Fig. 4는 EgresSIM에서 SFF가 계산된 예시이다. 해당 건물은 상, 하, 좌, 우에 4개의 출구를 가지고 있다. 바닥의 음영이 진한 것이 출구에서 가까운 지역이고, 옅은 것이 출구에서 먼 지역이다. 음영의 색은 각 셀의 SFF 값에 의해 결정된 것이다. SFF를 이용하면 보행자들은 현재 위치에서 가까운 출구를 찾아 대피할 수 있게 된다.

3.3 보행자 배치 및 모델 파라미터 설정

EgresSIM에서 보행자 배치는 총 세 가지 방법이 있다. 첫째, 건물 내 배치할 보행자의 수나 밀도를 지정하고 전체 공간에 임의로 배치하는 방법이다. 둘째, 방마다 배치할 인원을 직접 지정하는 방법이다. 셋째, 직접 배치할 지역에 마우스로 클릭하거나 드래그하여 수동 배치하는 방법이다.

보행 모델의 파라미터 중 직접 설정이 가능한 파라미터는 5가지이다. SFF의 영향력을 조절하는 k_s , DFF의 영향력을 조절하는 k_d , DFF의 확산 및 소멸 파라미터 α , δ ,

개선된 CA 모델에서만 사용하는 자세 파라미터 k_p 이다. k_s 가 클수록 보행자들은 출구 쪽으로 빠르게 이동하려고 하며, k_d 가 클수록 보행자들은 다른 보행자들을 따라가려는 성향이 커진다. α, δ 는 DFF의 영향 범위를 조절하기 위한 파라미터이다. 개선된 CA 모델에서 k_p 가 클수록 자신의 자세를 출구 쪽으로 향하려 하며, 이는 k_s 와 유사한 특징을 가진다⁶⁾.

Fig. 5는 시뮬레이션 초기에 파라미터를 설정하는 화면이다. 중앙 작은 창에서 5개의 파라미터와 임의로 배치할 인원을 설정할 수 있다. 수동배치에 체크 표시를 하면 보행자를 각 방 혹은 클릭한 지점에 직접 배치할 수 있다. Fig. 6은 500명의 인원을 임의로 배치한 화면이다. 보행자들은 FFM 모델에서는 원기둥으로, 개선된 CA 모델에서는 화살표로 표시된다. Fig. 7은 특정 방에 인원을 설정하는 UI이다. 이와 같은 방법으로 인원 배치 및 파라미터 설정을 한 후에 대피시뮬레이션을 수행하게 된다.

3.4 시뮬레이션 결과 생성

정해진 파라미터 및 인원 설정에 따라 대피시뮬레이션을 시작하게 되면 EgresSIM 중앙에 있는 3D 뷰어를 이용하여 시뮬레이션 상황을 실시간으로 확인할 수 있다. 또한, 시뮬레이션을 마친 후에는 시뮬레이션 결과 정보를 기록한 로그 파일을 제공한다. 로그 파일은 XML 형식으로 저장되며 저장되는 내용은 다음과 같다. 보행 모델의 종류, 시뮬레이션에 이용된 건물 데이터 경로, 총 대피 인원, 총 대피 시간, 각 보행자의 대피 경로, 출구별 대피 상황이 저장된다.

XML 형식으로 생성된 결과 파일을 EgresSIM 내부에 탑재된 결과 분석기를 통해 불러오면 각 보행자의 대피 경로 및 출구별 대피 상황을 시각적으로 분석할 수 있다. Fig. 8은 결과 분석기를 통한 결과분석의 예시이다. 왼쪽 위에 각 보행자의 대피 경로를 확인할 수 있는 3D 뷰어가 배치되어 있으며, 오른쪽 아래에는 출구별 대피 상황 정보를 그래프로 확인하는 화면이다. 분석을 원하는 출구를 선택하면 해당 출구에 대한 시간대별 누적 대피 인원을 그래프로 시각화할 수 있다. 이를 통해 보행자들이 시간대 별로 어떤 출구에 몰려들었고, 몇 명의 인원이 빠져나갔는지 확인할 수 있다.

4. 대피시뮬레이션 실험

EgresSIM을 이용하여 대형건축물의 대피시뮬레이션을 수행하기 위한 과정은 다음과 같다.

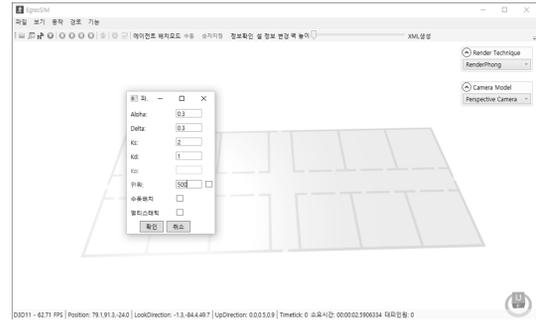


Fig. 5. Setting the initial parameters



Fig. 6. Randomly placement of 500 people

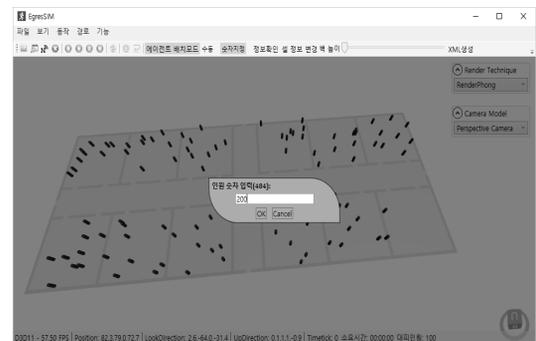


Fig. 7. UI to set the number of people in the room

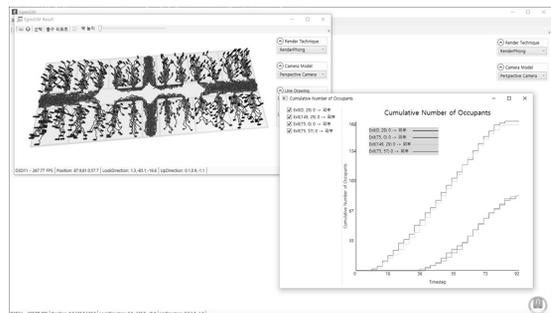


Fig. 8. Result analysis

- EgresSIM 저작도구를 이용하여 건물 데이터 생성
- XML 형식으로 제작된 건물 데이터 로드
- 보행 모델 파라미터 설정 및 보행자 배치
- 대피시뮬레이션 수행 및 대피 상황 확인
- 대피 종료 후, 시뮬레이션 결과 로그 생성
- 결과 분석기를 통해 시뮬레이션 로그 분석

위와 같은 과정을 통해 서울시 청량리역 지하철 역사를 대상으로 대피시뮬레이션 실험을 수행하였다. 청량리역은 지상역과 지하역 두 부분으로 구성되어 있으며, 두 역의 연결 통로가 존재한다. 청량리역은 총 5층으로 구성되어 있으며, 출구로 나가는 계단, 지하철 승강장과 로비 간 연결 계단 등 계단은 총 24개가 있다. 지하 청량리역(1호선)은 6개의 출입구가 있고, 지상 청량리역은 로비, 주변 백화점과 연결되는 출입구가 있다.

대상 건물에 1,000명의 보행자를 임의로 배치하였고, 보행모델은 개선된 CA 모델을 이용하였다. 시뮬레이션 파라미터는 $\alpha=0.3$, $\delta=0.3$, $k_s=2$, $k_p=2$, $k_d=1$ 로 설정하였다. 이 설정은 주변 보행자와의 상호작용이 있으며 정해진 출구로 빠르게 이동하려는 성향을 부여한 것이다⁷⁾. 보행자들이 역사 내부에 배치되어 있다가 대피 명령이 전달된 후, 빠르게 주변에 있는 출구로 대피하는 상황이라 가정하였다.

Fig. 9는 EgresSIM에서 청량리역을 불러온 후, 파라미터를 설정하고 1,000명의 보행자를 임의로 배치한 시뮬레이션 초기 모습이다. 역사는 2개의 부분으로 구분되어 있으며, 그림 상단에 있는 부분이 지하 청량리역(1호선)이고 하단에 있는 부분이 지상 청량리역(중앙선)이다. 3D 뷰어를 통해 원하는 화면을 자유롭게 볼 수 있다. Fig. 10은 2층에서 보행자들이 계단을 통해 내려와 이어진 계단을 올라 역사 바깥쪽 부분으로 이동하고 있는 과정을 보여준다. Fig. 11은 지하 청량리역의 개찰구와 주변 백화점의 연결통로 쪽으로 보행자들이 대피하고 있는 모습이다. Fig. 12는 1,000명의 보행자 중 850명 정도가 대피한 후, 남은 인원들이 대피하고 있는 모습이다. 지상 청량리역의 출구 지역이며 많은 보행자가 뺨뺨하게 몰린 채 상단 계단을 향해 이동하고 있다. Fig. 13은 시뮬레이션을 모두 마친 상태의 모습이다. 이번 실험에서는 총 307번의 연산을 통해 모든 보행자가 대피를 마쳤다. 시뮬레이션의 실제 수행시간은 약 22초가 소요되었으며 이는 PC의 사양에 영향을 받는 부분이다.

Fig. 14는 시뮬레이션을 마친 후에 결과 분석기를 통해 결과 로그 파일을 불러온 모습이다. 각각의 보행자마다

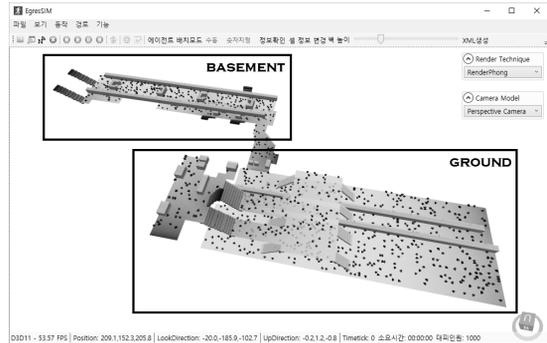


Fig. 9. Beginning process of simulation

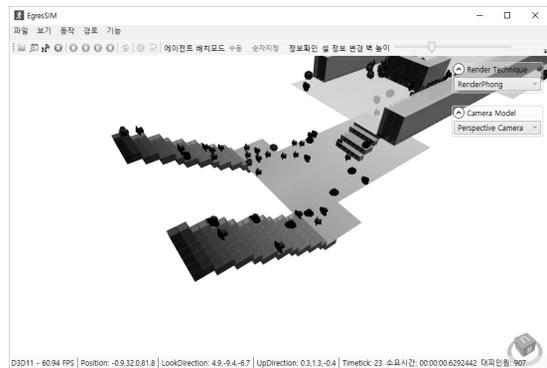


Fig. 10. Intermediate process of simulation

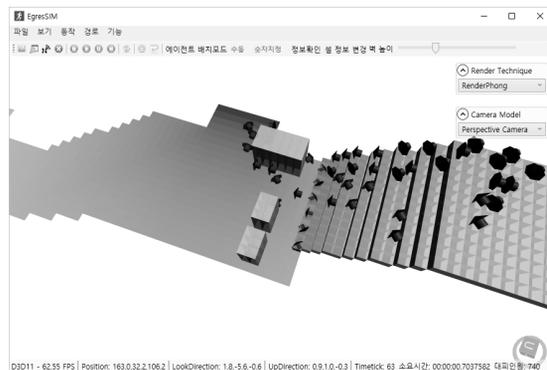


Fig. 11. Evacuation simulation at an exit

어떤 경로로 이동하였는지 확인할 수 있다. 모든 보행자의 경로를 시각화하면 보행자들이 몰려서 이동한 지역을 알 수 있다. Fig. 15는 출구별 대피 상황을 요약한 그래프를 자동 생성한 것이다. 좌측에 외부로 연결된 출구뿐만 아니라 각 플레인 간의 연결 통로들도 모두 목록화 되어 있다. 여기서 원하는 출구를 선택하면 해당 출구의 시간

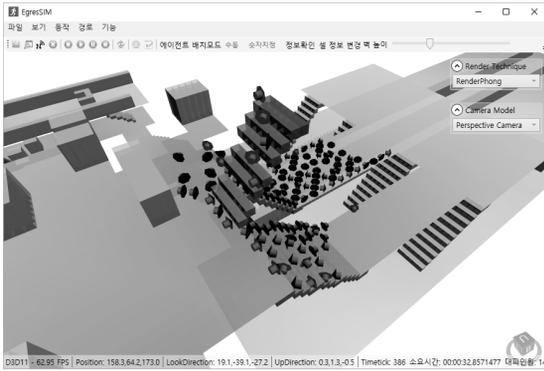


Fig. 12. Evacuation process of remaining people



Fig. 13. Termination of simulation

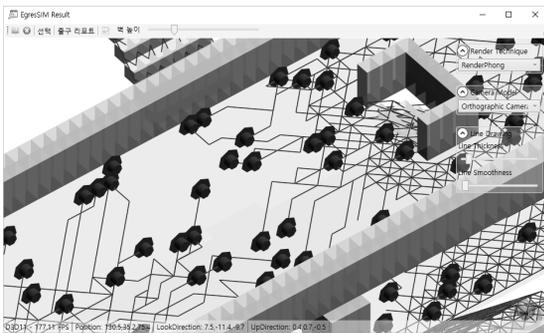


Fig. 14. Visualization of evacuation paths

변화에 따른 누적 대피 인원의 정보가 오른쪽에 그래프로 생성된다. Fig. 15는 외부로 나가는 출구만 선택한 것이며, 우측의 그래프를 보면 특정 출구(지상 청량리역의 로비와 연결된 출구)에 절반 이상의 보행자인 577명이 몰린 것을 알 수 있다. 그 외의 출구들은 50 ~ 130명 정도의 연산을 마친 후에 대피가 종료되어서 누적 대피 인원이 증가하지 않고 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

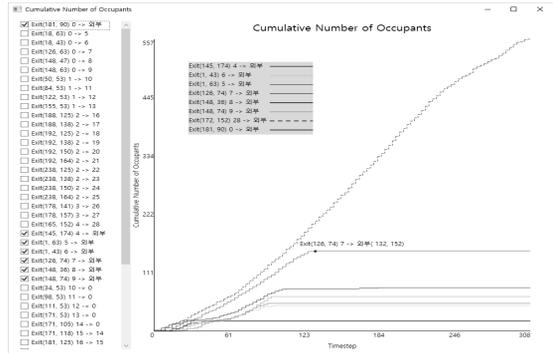


Fig. 15. The evacuation results of each exit

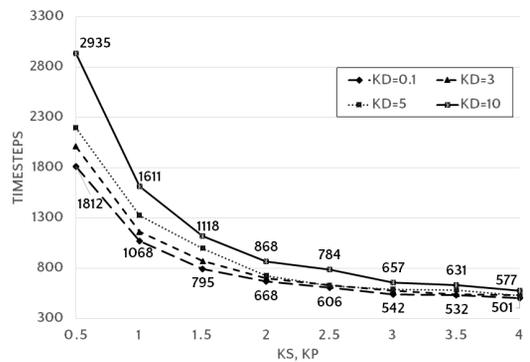


Fig. 16. Changes in evacuation times based on changes in k_s, k_p

이를 통해 어떤 출구에, 어떤 시간에 보행자들이 많이 몰리게 되었는지 분석할 수 있다.

Fig. 16은 개선된 CA 모델의 민감도 파라미터인 k_s, k_p, k_d 를 조절해가며 다양한 상황에 대한 대피 시간을 정리한 그래프이다. k_d 가 0.1, 3, 5, 10인 4가지 상황에 대해 k_s, k_p 의 변화에 따른 연산 횟수(대피 시간)의 변화를 요약한 것이다. k_d 가 가장 작은 0.1인 경우가 k_s, k_p 의 변화에 상관없이 가장 빠른 대피 시간을 보였고, k_d 가 가장 큰 10인 경우가 가장 느린 대피 시간을 보였다. 각 파라미터의 의미를 살펴보면, k_d 가 크면 출구로 향하려는 성향보다 다른 보행자들을 따르려는 성향이 커지면서 보행자들끼리 서로 뭉치는 현상이 발생하기 때문에 k_d 가 작은 경우보다 대피 시간이 오래 걸리게 된다. k_s, k_p 가 작은 경우는 보행자가 출구의 방향을 인지하지 못하는 상황, 큰 경우는 출구로 빠르게 향하려는 상황이다.

파라미터 실험 결과를 토대로 다양한 상황에 대한 대피 시간을 예측할 수 있다. 예를 들면, 보행자들이 대피

상황을 인지하고 가장 가까운 출구로 매우 빠르게 대피하고 있는 상황은 k_s, k_p 가 크고 k_d 가 작은 $k_s=4, k_p=4, k_d=0.1$ 인 경우이다. 이 경우는 501번의 연산 횟수를 거쳐 모든 보행자가 탈출을 완료하였다. 보행자들이 정전으로 인한 압축 상황에 대피하는 상황은 출구를 인지하지 못하고 주변 보행자들과의 상호작용이 큰 경우이다. 이는 k_s, k_p 가 작고 k_d 가 큰 $k_s=0.5, k_p=0.5, k_d=10$ 인 경우이다. 이 경우는 대피에 2935번의 연산 횟수가 소요되었다. 개선된 CA 모델에서는 2번의 연산이 약 1초에 해당된다. 따라서 가장 빠른 대피 상황은 약 250초, 압축 상황은 약 1467초가 지난 후에 탈출을 완료하였다.

5. 결 론

본 논문은 대형건축물의 미시적 대피시뮬레이션이 가능한 소프트웨어인 EgresSIM을 소개하였다. EgresSIM은 CA기반의 보행 모델인 Floor Field Model과 이를 개선한 CA 모델을 이용하여 보행자의 움직임을 모델링한다. 보행 모델과 대형건축물의 연계를 위한 실내 데이터 모델을 정의하였으며 데이터 모델의 스키마에 맞게 공간 및 속성 데이터를 저장하기 위한 저장도구를 개발하였다. 또한, 3D 뷰어를 이용해 시뮬레이션 수행 과정을 실시간으로 확인할 수 있으며, 다양한 인원 배치, 민감도 파라미터 설정을 통해 빠른 대피 상황, 압축 상황 등 여러 상황에 대한 시뮬레이션 수행이 가능하도록 하였다. 시뮬레이션 결과는 XML 형식의 로그 파일로 생성되고, 자동 결과 분석 기능을 개발하였다.

본 논문에서 개발한 EgresSIM을 이용하면 총 대피 시간, 보행자들의 대피 경로, 병목 예상 지점 파악, 출구별 대피 상황 분석 등이 가능하며, 이는 건물 피난 안전성 진단, 대피 안내 훈련 등의 상황에 활용 가능할 것으로 예상된다. 특히, 상용 소프트웨어와 달리 자체개발한 소스 코드를 이용하므로 다른 기술들과의 연계가 용이한 특징이 있다. 향후에는 여러 실내 센서 정보와 연계하여 실시간 센서 정보를 활용한 실내 대피시뮬레이션 기법에 대해 연구를 수행할 계획이다. 다만, 본 논문에서 정의한 실내 데이터 모델은 다른 대피 소프트웨어에서 사용할 수 없으므로 널리 알려진 데이터 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 호환성을 높이는 것이 필요할 것으로 판단된다.

References

1. Burstedde, C., Klauck, K., Schadschneider, A. and

Zittartz, J., "Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 295, No. 3-4, pp. 507-525, 2001.

2. Helbing, D., Farkas, I. and Vicsek, T., "Simulating Dynamical Features of Escape Panic", *Nature*, Vol. 407, No. 6803, pp. 487-490. 2000.

3. Jang, Y.J., Lee, C.H., Park, W.H. and Jung, W.S., "The Passenger Evacuation Simulation Using Fluent and EXODUS", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 10, No. 2, pp. 227-230, 2008.

4. Jang, B.O., "Design and Implementation of Evacuation Simulation of Indoor Environment Fire", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 19, No. 2, pp. 1-8, 2010.

5. Kim, D.E., Lee, H.J., Seo, D.G., Yi, J.W., HARADA, K., Hwang, E.K. and Kwon, Y.J., "An Analysis of algorithm fire & evacuation simulation developed by TFD and all countries of the world of simulation", *Proc. of 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering*, pp. 3-8, 2009.

6. Kirchner, A. and Schadschneider, A., "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, 2002.

7. Kirchner, A., Nishinari, K. and Schadschneider, A., "Friction effect and clogging in a cellular automaton model for pedestrian dynamics", *Physical Review E*, Vol. 67, No. 5, 2003.

8. Kirchner, A., Klupfel, H., Nishinari, K., Schadschneider, A. and Schreckenberg, M., "Discretisation Effects and The Influence of Walking Speed in Cellular Automata Models for Pedestrian Dynamics", *Journal of Statistical Mechanics-Theory and Experiment*, Vol. 10:P10011, 2004.

9. Lim, W.S., Ryu T.B., Choi, H.W., Choi, H.S. and Chung, M.K., "A Comparison of Gait Characteristics between Korean and Western Young People", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 25, No. 2, pp. 33-41, 2006.

10. Nam, H.Y., Kwak, S.Y. and Jun, C.M., "Developing a Cellular Automata-based Pedestrian Model Incorporating Physical Characteristics of Pedestrians", *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 22, No. 2, pp. 53-62, 2014.

11. Thompson, P., Wu, J. and Marchant, E., "Simulex 3.0: Modelling Evacuation in Multi-Storey Buildings", *Proc. of the Fifth International Symposium on Fire Safety Science, IAFSS, Melbourne*, pp. 725-736, 1997.

12. Varas, A., Cornejo, M. D., Mainemer, D., Toledo, B., Rogan, J., Munoz, V. and Valdivia, J. A., "Cellular automaton model for evacuation process with obstacles", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 382, No. 2, pp. 631-642, 2007.

13. Youn, H.J. and Hwang, Y.K., "A Study on the Research Trends Analysis for the Development of Evacuation Simulation Program", Proc. 2009 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 433-550, 2009.



곽수영 (sykwak@uos.ac.kr)

2010 서울시립대학교 공간정보공학과 공학사
 2012 서울시립대학교 공간정보공학과 공학석사
 2012~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정

관심분야 : GIS, 공간 분석, 공간 데이터베이스, 실내 대피



남현우 (hwnam@uos.ac.kr)

2010 서울시립대학교 공간정보공학과 공학사
 2012 서울시립대학교 공간정보공학과 공학석사
 2012~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정

관심분야 : 대피시뮬레이션, 보행모델, 공간데이터모델



전철민 (cmjun@uos.ac.kr)

1988 서울대학교 도시공학과 공학사
 1990 서울대학교 도시공학과 공학석사
 1997 Texas A&M University 도시 및 지역계획학 박사
 1997~1999 North Carolina RTI GIS 전문요원
 1999~현재 서울시립대학교 공간정보공학과 정교수

관심분야 : GIS, 공간 데이터베이스, 3차원 모델, 네트워크 알고리즘