

초대형 건축물에서 군중의 대피 시뮬레이션을 위한 공간 및 보행자 모델링 기법

신동철, 이종민, 김희율

한양대학교 전자통신컴퓨터공학과

dcshin@vision.hanyang.ac.kr, igor@vision.hanyang.ac.kr, wykim@hanyang.ac.kr

Space and Pedestrian Modeling Method for Crowd Evacuation Simulation in Large-scale Buildings

Dongcheol Shin, Jong-Min Lee, Whoi-Yul Kim

Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

요약

본 논문은 대형 건축물 내에서의 보행자 대피 시뮬레이션을 위해, 광범위한 네트워크 모델과 세밀한 네트워크 모델을 통합하는 방법과 보행자가 자연스럽게 벽이나 장애물을 피하면서 이동할 수 있도록 하는 개선된 보행자 이동 모델을 제안한다. 제안하는 네트워크 모델을 통해 기존의 광범위 네트워크 모델에서 분석할 수 없는 보행자 개개인의 이동정보를 세밀한 네트워크보다 적은 양의 연산으로 계산할 수 있었고, 개선된 보행자 이동 모델을 통해 보행자가 자연스럽게 벽이나 장애물을 피하면서 이동할 수 있도록 하였다. 제안하는 방법을 대형 건축물인 코엑스 몰에 적용하여 대피 시뮬레이션을 수행한 결과, 3000명의 보행자에 대해 초당 10번 이상의 시뮬레이션 정보를 계산할 수 있었고, 대피 시의 방향 유도에 따른 대피 시간을 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근 건축기술이 발달하고 제한된 토지의 활용에 대한 관심이 높아지면서 공공 건축물들이 고층화·대형화 되고 있다. 사무, 상업 또는 주거가 복합적으로 구성된 대형 건축물은 수천에서 수만에 이르는 인원을 수용한다. 이러한 대형 건축물에서 화재와 같은 비상 상황이 발생할 경우 대규모의 이동이 발생하게 되고, 효과적으로 대피하지 못할 경우 큰 피해가 발생한다. 따라서 이러한 비상 상황에서 대규모의 인원을 효율적으로 관리하기 위한 안전 대책이 요구된다. 그러나 안전 대책 수립에 필요한 데이터를 얻기 위해 화재와 같은 재난 상황을 실제로 발생시킬 수는 없으므로 대규모 인원의 대피 상황을 현실에 가깝게 재현한 가상의 시뮬레이션이 이용된다. 보행자 대피 시뮬레이션은 정해진 시나리오에 따라 보행자를 각각의 목적지로 대피시키는 도중에 발생하는 현상 혹은 그 현상을 통해 얻어지는 수치를 관측하기 위한 것이다. 보행자 대피 시뮬레이션의 현실 반영도를 높이기 위해서는 건축물의 공간 구조와 사람의 행동 패턴에 대한 합리적인 모델이 필요하다[10].

건축물 내에서 보행자들의 대피상황을 시뮬레이션하는 대부분의 방법들은 시뮬레이션이 이루어지는 공간을 네트워크 구조로 구성한다. 네트워크 구조는 각각의 노드를 이루는 구역의 크기에 따라 광범위한 네트워크 모델(Coarse Network Model)과 세밀한 네트워크 모델(Fine Network Model)로 분류된다[1]. 광범위한 네트워크 모델은 전체 공간을 방, 사무실, 복도 내 교차로, 출입구 등의 실 단위로 분류하여 각각의 실을 노드로 구성한 것이며, 세밀한 네트워크 모델은 1m×1m보다 작은 일정한 크기의 격자로 전체 공간을 세밀하게 나누어서, 격자들을 노드로 구성한 것이다.

광범위한 네트워크 모델을 사용한 기존 시뮬레이션으로는 EXIT 89[2], EGRESS[3] 등이 있다. 광범위한 네트워크 모델을 사용한 시뮬레이션은 각 구역을 이동하는 보행자 군집을 그 밀도와 속도로써 표현하는 방법을 사용한다. 하지만, 이러한 방법들은 시뮬레이션 상의 각 보행자를 통로의 구조에 대한 고려 없이 목적지로 이동하게 함으로써, 비상 대피 상황에서의 보행자 경로의 변화를 확인할 수 없어 실용 가치가 적다.

세밀한 네트워크 모델을 사용한 기존 시뮬레이션에는 EXODUS[4], SIMULEX[5] 등이 있다. 세밀한 네트워크 모델은 공간을 보행자 한 명이 차지하는 세밀한 격자로 나누기 때문에 각 보행자의 경로 변화를 확인할 수 있고, 이로 인해 발생하는 현상을 표현할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 최근의 대형 공공 건축물은 한 층의 규모가 100m×100m에 이를 정도로 크기 때문에, 이를 세밀한 네트워크 모델로 구성하여 시뮬레이션을 수행하려면 많은 자원과 긴 연산 시간이 필요하다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 기존의 광범위한 네트워크 모델과 세밀한 네트워크 모델을 결합하여, 대형 건축물 내를 구성하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 시뮬레이션 공간 전체를 세밀한 네트워크 모델로 구성하는 대신, 방, 사무실, 복도의 교차로, 출입구 등에 대해서만 선택적으로 세밀한 네트워크 모델로 구성하는 방법이다. 구조가 복잡하거나 장애물이 있는 공간에 대해서만 세밀한 네트워크 모델을 구성하기 때문에 기존의 세밀한 네트워크 모델보다 적은 연산으로도 실 단위의 보행자 이동에서 발생하는 현상을 표현할 수 있다. 또한 본 논문에서는 기존의 물리적 힘에 기반한 보행자의 이동 모델[9]에 벽이나 장애물에 대한 모델을 추가하여, 복잡한 통로를 이동할 때, 보행자 개체가 벽이나 장애물을 고려하는 자연스러운 움직임을 구현한다.

2. 통합 네트워크 모델

시뮬레이션은 설계 도면으로부터 추출한 공간 내 각 구역에 대한 번호(ID), 종류(Type), 물리적인 위치(Outline & Center Position) 등의 공간 정보(Zone Information)를 이용하여 통합 네트워크 구조를 생성함으로써 이루어진다[6].

2.1 광범위한 네트워크 모델 생성

설계 도면의 공간 정보 추출 방법[6]을 이용하면 설계 도면의 각 구역은 출입구, 교차로, 통로, 사무실 등으로 구분되며, 구분된 종류에

따라 광범위한 네트워크 모델의 노드나 에지를 구성한다. 즉, 출입구나 교차로는 노드를 구성하며, 각 출입구나 교차로를 이어주는 통로는 에지를 구성한다. 그림 1은 생성된 광범위한 네트워크 모델을 보여주고 있으며, 원과 선은 각각 광범위한 네트워크 모델의 노드와 에지를 표현한다.

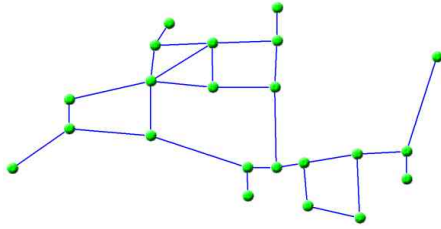


그림 1. 광범위한 네트워크 모델

광범위한 네트워크 모델을 이용하면 보행자의 이동을 임의의 노드에서 인접한 노드로 이동하는 것으로 표현할 수 있으며, 보행자의 다음 이동 방향, 즉, 다음 노드는 각자의 선호도 및 상황에 따라 결정된다. 비상 대피 시, 보행자는 각자가 인지하는 가장 가깝고 덜 혼잡한 통로를 통해서 출구로 나가려는 성향을 보이며, 이 때 통로의 혼잡도 및 통로까지의 거리를 고려하게 된다. 본 논문에서는 이러한 특징을 대피 경로 탐색에 적용하기 위해, 광범위 네트워크 모델의 에지 가중치 w 를 식 (1)과 같이 정의하였다. 에지 가중치는 각 에지의 양 말단에 연결된 두 노드 사이의 거리와 통로 혼잡도의 선형 조합으로 정의되며, 보행자로 하여금 출발지에서 목적지까지의 가중치 합이 가장 작은 경로를 탐색하도록 하면, 보행자는 되도록 가깝고 사람이 적은 경로를 통해 대피하게 된다.

$$w_{ij} = \rho \frac{d_{ij}}{d_{i,maxj}} + (1-\rho) \frac{\sum_{n \in S_{ij}} \pi r_n^2}{area S_{ij}} \quad (1)$$

w_{ij} 는 i -노드와 j -노드를 연결하는 에지의 가중치이며, 거리와 보행자가 차지하는 면적에 비례하고 통로의 면적에 반비례한다. 각각의 보행자가 차지하는 면적을 계산하기 위해 사람을 원형으로 가정하였다. ρ 는 에지의 가중치 계산에 사용되는 거리와 혼잡도의 비율을 결정하는 수치이며, 수치가 0에 가까울수록 혼잡도를 많이 고려하고, 1에 가까울수록 거리를 많이 고려하여 에지의 가중치가 계산된다. d_{ij} 는 i -노드 중심에서 j -노드 중심까지의 유클리디안 거리를 나타내며, 마찬가지로 $d_{i,maxj}$ 는 i -노드 중심에서 최대거리를 갖는 j -노드 중심까지의 유클리디안 거리를 나타낸다. 따라서, 에지 가중치 w_{ij} 는 노드 사이의 정규화된 거리와 구역 S_{ij} 의 면적 대비 사람이 차지하는 면적에 관한 식이 된다.

2.2 세밀한 네트워크 모델 생성

광범위한 네트워크 모델은 에스컬레이터나 기둥 등에 대한 정보를 가지고 있지 않으므로, 이러한 세부적인 건축물에 대한 보행자의 이동 제약이 없다. 본 논문에서는 보행자로 하여금 이러한 장애물을 피해 원하는 목적지까지 자연스럽게 이동하도록 광범위한 네트워크 모델의 각 노드를 격자 셀 형태의 세밀한 네트워크 모델로 구성하였다. 그림 2는 세밀한 네트워크 모델을 나타내며, 각각의 셀은 세밀한 네트워크 모델의 노드를 의미한다.

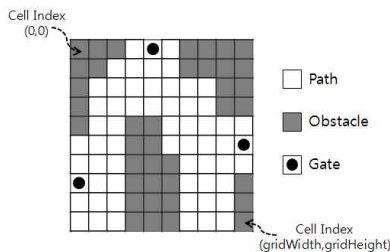


그림 2. 세밀한 네트워크 모델

광범위한 네트워크 모델의 한 노드는 세밀한 네트워크 모델의 격자 셀로 분할되어 통로, 장애물 그리고 출입구로 분류된다. 분류된 셀은 가중치를 가지며, 이는 보행자의 다음 노드 방향에 위치한 출입구까지의 경로를 계산하는데 사용된다. 셀의 가중치는 확산 기반의 알고리즘 [7][8]을 통해 계산되며, 결정된 셀의 가중치를 확산 지도라 한다. 세밀한 네트워크 모델에 대한 확산 지도를 생성하는 방법은 다음과 같다.

모든 복잡한 장애물을 포함하는 구역에 대해,

- 1) w 개의 출입구 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_w, y_w)$ 를 가지는 격자 셀 구조 생성
- 2) 3×3 크기의 평활화 행렬 생성

$$f_{p,q} = \frac{1}{9} \quad \forall p, q : p, q = 0, 1, 2$$

- 3) 벽과 장애물, 통로에 대한 격자 셀 지도 생성

$$l_{i,j} = \begin{cases} 1, & l_{i,j} \text{ is accessible} \\ 0, & l_{i,j} \text{ is inaccessible} \end{cases}$$

- 4) w 개의 출입구 각각에 대한 확산 지도 계산

$$\textcircled{1} \quad u_{i,j}(k+1) = l_{i,j} \cdot \sum_{p=0}^2 \sum_{q=0}^2 u_{i+p-1, j+q-1}(k) \cdot f_{p,q}$$

$$\textcircled{2} \quad u_{x,y}(k+1) := 1$$

- 3) $u_{i,j}$ 의 벽과 장애물을 제외한 모든 셀의 계수가 임계값(T) 이상 될 때까지 반복

보행자는 광범위한 네트워크 모델에서의 목적지 탐색과 세밀한 네트워크 모델에서의 목적지 탐색을 단계적으로 수행하게 된다. 즉, 먼저 광범위한 네트워크 모델의 목적지 노드가 선정되면, 선정된 노드 방향의 출입구 확산 지도를 이용하여, 다음 목적지 셀을 선정한다. 이 때, 다음 목적지 셀은 자신이 위치한 셀 주변의 가장 높은 가중치를 갖는 셀로 선택한다. 확산 지도에서 출입구의 셀은 가장 높은 가중치를 가지게 되고, 장애물 주변의 셀들은 상대적으로 낮은 가중치를 가지게 되므로, 보행자는 세밀한 네트워크 구조에서의 반복적인 경로 탐색의 수행을 통해 장애물과 일정거리를 유지하면서 원하는 출입구의 셀로 이동할 수 있다.

3. 보행자 이동 모델

대피 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 공간뿐만 아니라 공간에서의 보행자 이동 모델도 필요하다. K. Teknomo는 물리적 힘을 기반으로 하는 보행자 이동 모델을 제안하였다[9]. K. Teknomo가 제안한 보행자 이동 모델은 실제 보행자 이동 데이터를 토대로 모델의 파라미터를 조정하고, 검증 과정을 거쳐 사실적인 보행자의 움직임을 구현하였지만, 벽이나 장애물에 대한 보행자의 이동을 고려하지 않는다. 본 논문에서는 벽이나 장애물에 대한 보행자의 이동을 고려하기 위해서, K. Teknomo가 제안한 물리적 동력 모델(Physical-based Force Model)에 벽이나 기둥 등의 구조물에 대해 작용하는 힘을 추가하여 보행자 이동 모델을 구성하였다.

3.1 물리적 동력 모델

물리적 동력 모델은 목적지로 향하려는 힘과 보행자들 간에 일정 거리를 유지하려는 힘, 그리고 마주 오는 보행자와 충돌을 피하려는 힘의 중첩으로 정의된다. 물리적 동력 모델에서 사용되는 각각의 힘을 속도로 표현하면 다음과 같다.

$$\vec{v}_j(t) = \frac{\mu_{max}}{\alpha} \frac{\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)}{\|\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} \quad (2)$$

$$\vec{v}_a(t) = \frac{\mu_{max}}{\chi} \frac{(2r - \mathbf{y}(t))}{\|\mathbf{p}_i(t) - \mathbf{p}_j(t)\|} \quad (3)$$

$$\vec{v}_r(t) = \frac{\mu_{max}}{\beta} \sum_j \frac{(2r - d_{ij}(t))(\mathbf{p}_i(t) - \mathbf{p}_j(t))}{d_{ij}(t)} \quad (4)$$

보행자 i 의 속도 모델 $\tilde{\mathbf{v}}_i$, $\tilde{\mathbf{v}}_i$, $\tilde{\mathbf{v}}_i$ 는 각각 목적지로 향하는 힘, 보행자들 간에 일정거리를 유지하려는 힘, 마주 오는 보행자와의 충돌을 피하려는 힘을 표현한다. 수식 (2)는 보행자 i 를 현재 위치 \mathbf{p}_i 에서 목적 위치 \mathbf{q}_i 로 유도하는 힘이고, 수식 (3)은 보행자 i 와 정면으로 가장 가까운 곳에 있는 다른 보행자 k 가 영향 범위 r 내에서 γ 만큼의 방해 를 받았을 때에 발생하는 힘이며, 수식 (4)는 보행자 i 주변의 보행자 j 와의 거리 d_{ij} 가 가까워지면 발생하는 힘이다. 그림 3은 이를 나타낸다.

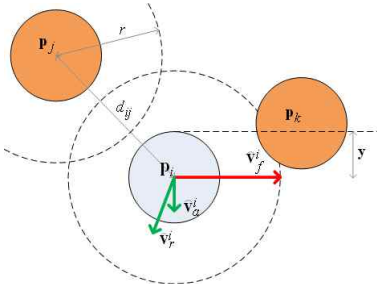


그림 3. 보행자에게 발생하는 물리적인 힘

μ_{\max} 는 보행자의 최대 속도를 의미하며, 각 수식의 α , χ , β 파라미터는 각각의 힘에 대한 정규화 값으로써 실험적으로 정해지는 수치이다. 보행자에 작용하는 힘을 통해 위치를 계산하는 것은 다음 수식을 이용한다.

$$m \frac{d^2 \mathbf{p}_i(t)}{dt^2} + \frac{d \mathbf{p}_i(t)}{dt} = \mu_{\max} \left\{ \begin{aligned} & \frac{\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)}{\alpha \|\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} + \frac{2r - \gamma(t)}{\chi \|\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} + \\ & \sum_j \left(\frac{2r}{\|\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} - 1 \right) \left(\frac{\|\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)\|}{\beta \|\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} \right) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

수식은 세 가지 속도 모델을 중첩한 형태라써, 일정 시간 간격 Δt 에 따라 보행자의 위치 \mathbf{p}_i 를 갱신함으로써 보행자를 이동한다. 보행자 위치의 계산은 오일러의 공식[9]을 사용한다.

3.2 벽과 장애물에 대한 모델

일반적으로 보행자는 상처를 입는 것을 방지하기 위해 벽이나 장애물로부터 일정거리를 떨어져 이동하는 특징이 있다[10]. 본 논문에서는 도면 내 통로에 대한 마스크 영상을 반전시킨 후, 이에 GVF(Gradient Vector Flow)를 적용하여 벽과 장애물로부터 일정거리를 유지하려는 힘을 정의한다[11]. GVF를 이용하여 구한 힘 벡터는 벽 혹은 장애물과의 거리가 가까워짐에 따라 선형적으로 그 크기가 증가한다. 그러나 실제로 보행자는 벽이나 장애물로부터 일정 거리 이상 떨어지면 그 영향을 거의 받지 않는다는 사실을 감안하여, GVF의 벡터 크기를 지수 형태로 정규화 하였다. 정규화 식은 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{v}}(\infty) = -\frac{\mu_{\max}}{c} \{ (\mathbf{v}(\infty) + 1)^\gamma - 1 \} \quad (7)$$

γ 는 벽이나 장애물과의 거리에 따라 벡터의 크기의 변화 정도를 조절하며, c 는 정규화 파라미터라써 그 값이 커질수록 벡터의 크기가 줄어들게 된다. 그림 4는 GVF를 사용하여 계산된 힘 벡터를 나타낸다.

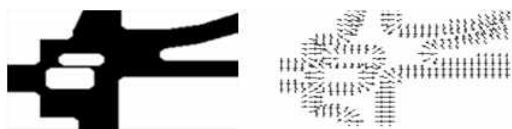


그림 4. GVF 힘 벡터

정규화를 거친 각 픽셀에 대한 벡터들은 기존의 물리적 힘 기반의 보행자 이동 모델에 합쳐져 최종적으로 다음과 같은 수식을 이루게 된다.

$$m \frac{d^2 \mathbf{p}_i(t)}{dt^2} + \frac{d \mathbf{p}_i(t)}{dt} = \mu_{\max} \left\{ \begin{aligned} & 1 - (\mathbf{v}_i(\infty) + 1)^\gamma + \\ & \frac{\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)}{\alpha \|\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} + \frac{2r - \gamma(t)}{\chi \|\mathbf{q}_i(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} + \\ & \sum_j \left(\frac{2r}{\|\mathbf{p}_j(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} - 1 \right) \left(\frac{\|\mathbf{p}_j(t) - \mathbf{p}_i(t)\|}{\beta \|\mathbf{p}_j(t) - \mathbf{p}_i(t)\|} \right) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

수식의 \mathbf{v}_i 는 각 보행자의 위치 \mathbf{p}_i 에 대한 GVF 벡터를 의미한다.

4. 보행자 대피 시뮬레이션

통합 네트워크 모델과 보행자 이동 모델을 이용한 대피 시뮬레이션의 전체 흐름은 그림 5와 같다.



그림 5. 대피 시뮬레이션 흐름도

보행자 대피 경로는 광범위한 네트워크 모델에서 먼저 노드 단위의 대피 경로를 탐색하고, 탐색된 노드로의 이동을 위해 현재 노드에서의 세밀한 네트워크 모델의 셀 단위 대피 경로를 탐색한다. 보행자의 위치는 물리적 동력 모델과 벽이나 장애물에 대한 모델로부터 발생한 힘의 합으로 계산한다. 매 시간 간격마다 보행자 위치를 갱신함으로써 보행자를 이동하며, 보행자가 출구에 다다르면 대피를 완료한다. 대피 시뮬레이션을 통해 사람 수, 대피 시간 등의 측정 결과를 얻을 수 있다.

5. 실험

통합 네트워크 모델과 보행자 이동 모델의 유효성을 검증하기 위해서, 코엑스 물을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

5.1 실험 환경

코엑스 물은 국내 대표적 복합용도 건축물로 공간 구성이 다양한 상가들이 밀집해 있으며, 불특정 다수의 많은 보행자의 유동이 발생하는 다중 이용 시설물로 대피 시뮬레이션 적용을 위한 환경에 적합하다. 코엑스 물의 축적 도면은 그림 6과 같으며, 실험은 점선으로 표시된 한 개의 층에 대해서 수행되었다.



그림 6. 코엑스 물 도면

실험을 위한 보행자 대피 시뮬레이션은 Visual C++으로 구현하였고, 실험을 위해 펜티엄 코어2 듀오 2.66Ghz PC를 사용하였다. 실험에 사용된 물리적 동력 모델의 파라미터는 K. Teknomo의 실제 보행자 데이터를 기반으로 하는 파라미터[9]를 사용하였고, GVF 벡터 정규화 파라미터는 실험적으로 결정하였다.

표 1. 실험에 사용된 파라미터

종류	물리적 동력 모델	GVF 벡터 정규화
파라미터 값	- α : 1 - χ : 1.25 - β : 0.005	- γ : 15 - c : 32

5.2 수행 속도

대피 시뮬레이션에서 각각의 보행자는 대피를 위해 출구 방향으로 이동한다. 이는 매 시간 간격마다 보행자 각각에 대한 위치를 계산하는 것으로써, 보행자 수가 증가함에 따라 시뮬레이션 수행 속도 또한 증가하게 된다. 보행자 수에 따른 시뮬레이션 수행 속도는 다음과 같다.

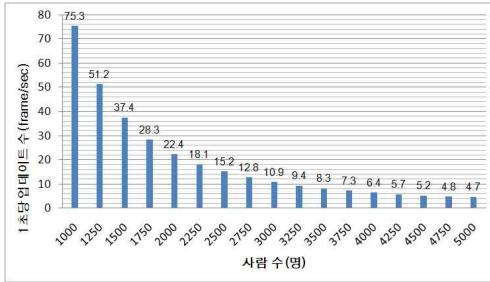


그림 7. 보행자 수에 따른 시뮬레이션 수행 속도 변화

실험 결과를 보면 3000명의 보행자에 대해 10 frame/sec 이상의 속도로 보행자 각각의 이동경로 계산이 가능하며, 5000명의 보행자에 대해서도 약 5 frame/sec의 속도를 유지하는 것을 볼 수 있다. 3~5000명의 보행자는 평상시의 일반적인 대형 건축물의 한 층에 분포하는 사람과 거의 비슷한 수로써, 본 논문의 방법이 대형 건축물 내에서의 보행자 대피 시뮬레이션을 실시간으로 수행할 수 있음을 보여준다.

5.3 대피 시뮬레이션 결과

제안하는 방법을 이용한 시뮬레이션은 화재와 같은 비상 대피 상황에서의 대피 경로 산정에 따른 시간 효율성을 판단하는데 응용될 수 있다. 본 논문에서는 이를 위해 광범위한 네트워크 모델의 경로 탐색에 사용하는 거리-혼잡도 가중치와 보행자 수의 변화에 따른 대피 시간을 측정하였다. 보행자의 대피는 90%이상의 보행자가 출구로 빠져나가는 데 걸리는 시간을 측정하였으며, 병목현상을 고려하여 각 출구에서는 1.5초당 1명의 보행자가 빠져나갈 수 있도록 설정하였다. 그림 8은 수식 (1)의 거리-혼잡도 가중치 변화에 따른 2500명의 보행자의 대피 시간을 측정된 결과이다.



그림 8. 거리-혼잡도 파라미터에 따른 대피 시간 변화

실험 결과는 거리만을 고려하거나 혼잡도만을 고려하는 하는 것 보다 거리와 혼잡도를 같이 고려하는 것이 빠른 대피시간을 보장하는 것을 보여준다. 거리와 혼잡도를 같이 고려하는 대피는 보행자로 하여금 복잡한 통로를 피해 가까운 출구로 이동하게 함으로써, 각 출구로 보행자를 분산시키기 때문이다. 그림 9는 거리-혼잡도 가중치를 0과 0.5로 고정하고, 보행자 수를 늘려가면서 대피 시간을 비교한 것이다.

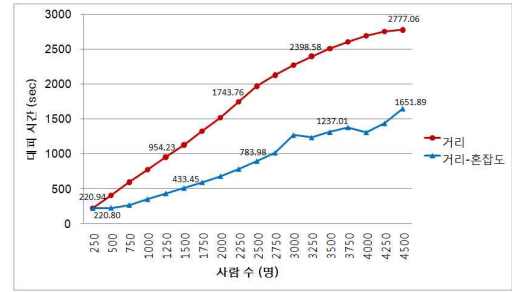


그림 9. 보행자 수에 따른 대피 시간 변화

인원이 증가함에 따라 총 대피 시간도 같이 증가하지만, 거리만을 고려한 경우(거리-혼잡도 가중치=0)보다 거리와 혼잡도를 같이 고려했을 때(거리-혼잡도 가중치=0.5)에 더 빠른 시간 내에 대피를 할 수 있음을 알 수 있다. 보행자 수가 증가함에 따라 혼잡도를 고려하는 효과는 더욱 커지며, 250명에 대한 실험을 제외하면 혼잡도를 고려해서 대피를 하는 것이 그렇지 않은 경우보다 약 2배 정도 빨리 대피할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 대형 건축물 내에서의 보행자 대피 시뮬레이션을 위해, 통합 네트워크 모델로 공간을 구성하는 방법과 개선된 보행자 이동 모델을 제안하였다. 통합 네트워크 모델과 개선된 보행자 이동모델을 이용한 대피 시뮬레이션은 전체 공간을 세밀한 네트워크 모델로 구성하지 않고도 보행자 각각에 대한 경로를 탐색하기 때문에, 세밀한 네트워크 모델보다 적은 연산으로 보행자 개개인의 대피를 시뮬레이션 할 수 있다.

실험 결과, 제안하는 방법은 3000명의 보행자에 대해 초당 10번 이상의 시뮬레이션 정보를 계산함을 확인하였고, 대피 경로 변경에 따른 대피 시간 측정이 가능함을 확인하였다. 실험 결과는 통합 네트워크 모델과 보행자 이동 모델이 대피 시뮬레이션에서의 보행자 이동을 잘 표현할 수 있을 뿐 아니라, 대피 시뮬레이션을 기존의 세밀한 네트워크 모델보다 적은 연산으로 수행해 낼 수 있다.

참고문헌

- [1] S. Gwynne, E.R. Galea, M. Owen, P.J. Lawrence and L. Filippidis, "A Review of the Methodologies Used in Evacuation Modelling," Fire and Materials, Vol. 23, pp.383-388, 1999
- [2] R.F. Fahy, "EXIT 89: An evacuation model for high-rise buildings," International Symposium of Fire Safety Science, pp.815-823, 1991
- [3] N. Ketchell, S. Cole, D. M. Webber, C. A. Marriott, P. J. Stephens, I. R. Brearley, J. Fraser, J. Doherty and J. Smart, "The EGRESS Code for human movement and behaviour in emergency evacuations," Engineering for Crowd Safety, pp. 361-370, 1993
- [4] M. Owen, E.R. Galea and P.J. Lawrence, "The exodus evacuation model applied to building evacuation scenarios," Fire Protection Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 65-86, 1996
- [5] P.A. Thompson, E.W. Marchant, "A Computer Model for the Evacuation of Large Building Populations," Fire Safety Journal, Vol.24, No.2, pp.131-148
- [6] Su-Youn Kwon, Yoon-Sun Lee, Byung-Ju Ahn, Whoi-Yul Kim and Jae-Jun Kim, "Development of methods for extracting space information from 3D CAD," ICCIT, Vol.1, pp.70-73, 2008
- [7] G.K. Schmidt, K. Azam, "Mobile Robot Navigation in a Dynamic World Using an Unsteady Diffusion Equation Strategy," International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.642-647, 1992
- [8] M.Khider, S.Kaiser, P.Robertson, and M.Angermann, "A Novel Movement Model for Pedestrians Suitable for Personal Navigation," IONNTM, 2008.
- [9] K. Teknomo, "Microscopic pedestrian flow characteristics: development of an image processing data collection and simulation model," Ph.D. Dissertation, Tohoku University Japan, Sendai, 2002
- [10] D. Helbing, I. Farkas and T. Vicsek, "Simulating dynamical features of escape panic," Nature 407, 487-490, 2000
- [11] C. Xu, J.L. Prince, "Gradient Vector Flow : A New External Force for Snakes," CVPR, pp. 66-71, 1997