

과밀상태하의 병목구간에서 피난 시 보행자 압사사고 해석

송경원 · 박준영

금오공과대학교 기계공학부

Analysis for Jamming Accident on Emergency Escape through the Bottleneck under High Density Condition

Song, Gyeongwon · Park, Junyoung

Kumoh National Institute of Technology

요 약

공연과 스포츠 문화의 발전으로 한정된 구역에 불특정 다수의 사람들이 모이는 일이 빈번하게 일어나고 있다. 이에 비례하여 불특정 다수의 압사사고 역시 자주 일어나고 있다. 이러한 압사사고는 인도, 일본, 독일 등 세계 곳곳에서 일어나며, 국내에서도 자주 발생하는 압사사고는 단순히 안전불감증 문제로만 치부되어 특별한 과학적 해석이 행해지지 않는 문제점을 가지고 있다. 이러한 압사사고는 보행자의 심리와 물리적 충돌에 의한 힘에 의하여 일어나는 특징을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 집합행동심리를 고려한 이산요소법을 활용하여 과밀상태하의 병목구간에서의 보행자 피난 유동 해석 연구를 진행한다. 연구의 변수로는 출구의 폭, 출구 각도 그리고 보행자의 혼란정도를 나타내는 Panic Factor가 선택되었다.

1. 서 론

국부적으로 인구 밀도가 높은 지역, 예를 들면 실내 공연장, 스포츠 관람석, 만석의 영화관 또는 만석의 강의실에서 화재 혹은 지진과 같은 재난이 발생할 경우 사람들은 제한된 출구로 몰리게 된다. 이러한 피난 현상은 압사사고를 유발하고, 심한 경우 사망으로 이어지게 된다. 본 연구에서는 심리학적 효과를 고려한 이산요소법을 통하여 출구의 폭과 각도 그리고 보행자들의 혼란 정도를 나타내는 Panic Factor에 따른 보행자들의 탈출 유동 해석을 수행하였다.

2. 시뮬레이션 방법 및 조건

2.1 보행자들의 기본 운동 방정식

보행자들의 운동 방정식은 기존의 뉴턴 운동 방정식에 심리적 효과를 고려한 항을 추가한 다음과 같은 형태의 운동 방정식을 사용한다.

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{\vec{f}_a}{m} + \frac{\vec{f}}{m} \quad (1)$$

식 (1) 에서 \vec{f} 는 주위의 보행자들 혹은 벽으로부터 받는 힘의 향으로 보행자들이 밀집된 상태에서는 주 가속도 성분이 된다. \vec{f}_a 는 보행자들의 심리학적 가속 효과를 고려한 향으로 보행자들이 아직 밀집하기 전인 초기의 주 가속도 성분이 된다.

2.2 보행자들의 심리에 의한 영향

2.2.1 앞 보행자를 앞지르려는 행동

보행자들은 매 타임스텝마다 주위 환경을 고려하여 진행방향을 부여 받는다. 초기에 출구를 향하는 보행자는 다음스텝에서 전방 5구역의 보행자들의 밀도를 파악한다. 그 다음 미리 정한 직선 방향선호도와 밀도와의 비교 분석에 따라 진행 방향을 수정한다. 하지만 이때 5방향 모두 임계밀도를 넘는다면 보행자는 감속한다.

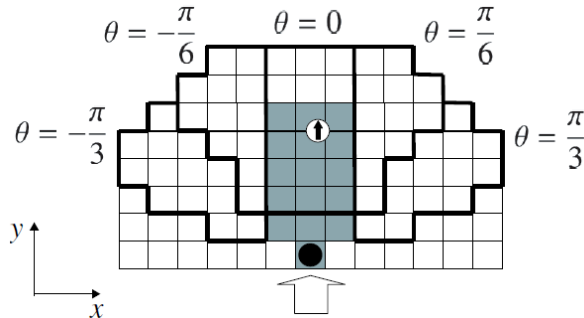


그림 1. 보행자가 고려하는 5구역

2.2.2 벽에서 멀어지려는 행동

시뮬레이션 초기 임의의 위치에 있는 보행자들은 시뮬레이션이 진행함에 따라 출구를 향해 이동한다. 이러한 과정 중에 보행자들은 다른 보행자를 피하기 위해 벽에 인접한 경로를 택하는 경우가 있다. 하지만 벽으로 다가간 보행자는 주위에 밀도가 낮은 공간이 있으면 벽으로부터 멀어지려고 시도한다. 하지만 출구 주위의 벽에서는 벽과의 거리를 고려하지 않고 출구만 고려하며 이동한다.

2.3 시뮬레이션 결과

2.3.1 출구 폭에 따른 영향

고정된 출구 각도 45도에서 출구 폭을 0.1m 간격으로 변화시켜가면서 실험해 보았다.

최소 출구 폭은 보행자 한 명만 나갈 수 있는 폭이다. 실험 결과 폭이 작을 때는 보행자들의 탈출이 힘들었지만, 폭이 0.7m를 넘어가면서 보행자들의 탈출이 수월해졌다. 특히 출구 폭이 0.8m에서부터는 거의 아무런 막힘없이 모든 보행자가 탈출 하였다.

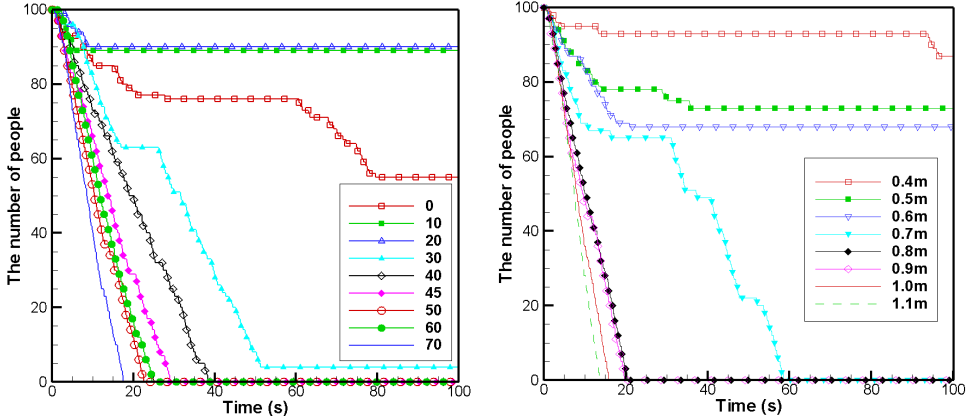


그림 2. 출구 각도와 출구 폭에 따른 매 시간 공간에 남아있는 보행자의 수

2.3.2 출구 각도에 따른 영향

0.8m의 고정된 출구 폭을 가지고, 출구 각도를 변경시켜 보면서 실험 해보았다. 실험 결과 보행자들은 각도가 낮을 때는 보행자가 모두 탈출하는 경우는 없었고 40도부터 거의 모든 경우에 보행자들을 100초 만에 탈출을 성공했다. 또한 그림 2에 나타난 것처럼, 시간에 따라 남아 있는 인원의 수는 출구 각도의 크기에 거의 반비례 한다는 것을 알 수 있다. 하지만 각도가 낮을 때는 크게 영향을 미치지 못했다.

2.3.3 Panic Factor에 따른 영향

Panic Factor란 보행자의 공황상태의 정도를 나타내는 변수이다. 시뮬레이션 초기 보행자들은 모두 같은 Panic Factor를 가진다. Panic Factor가 보행자에게 주는 영향은 다음과 같다.

$$\theta_i(t) = (1 - p_i)\theta_i^0(t) + p_i \cdot \theta_j(t)_i \quad (2)$$

식 (2)에서 $\theta_i(t)$ 는 보행자의 진행 방향을 나타내고, $\theta_i^0(t)$ 는 Panic Factor를 고려하지 않았을 때 보행자의 진행 방향을 나타낸다. 그리고 $\theta_j(t)_i$ 는 일정 반경안쪽의 다른 보행자들의 평균 진행 방향을 나타낸다. 이는 보행자들의 Panic Factor가 커지면 주위의 환경을 고려한 개인 희망 진행방향이 아닌 주위 보행자들의 평균 진행 방향을 따라 가는 것을 의미한다. 시뮬레이션 결과 Panic Factor가 0.3일 때가 가장 짧은 시간에 50명의 보행자가 탈출에 성공 한다는 것을 알 수 있었다. 하지만 80명의 보행자가 탈출 했을 때의 시간을 확인한 결과 Panic Factor가 증가 할수록 보행자의 탈출이 힘들어 지는 것을 확인했다. 이는 Panic Factor가 증가 하면 보행자가 출구 쪽으로 몰리는 것이 아니라 다른 사람들의 방향을 따라 벽 쪽으로 몰리는 현상이 발생하기 때문이다. 이는 비상식적으로

보일수도 있지만, 실제 피난 중에는 비이성적인 판단으로 인하여 발생이 가능할 것으로 생각된다.

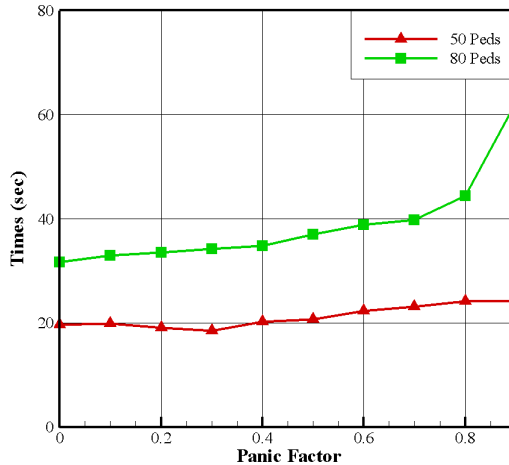


그림 3. 출구 각도와 출구 폭에 따른 매 시간 공간에 남아있는 보행자의 수

4. 결 론

본 논문에서는 집합행동심리를 고려한 이산요소법 프로그램을 활용하여 과밀상태하의 피난상황에서의 보행자들의 탈출 상황을 출구 각도와 출구 폭을 변화 시켜 가면서 보행자 유동에 대해서 알아보았다. 그리고 현재의 모델에서는 출구 각도 30도 이상에서 탈출 성공 확률이 급격히 증가하는 것이 발견되었고 출구 폭 0.8m 이상의 상황에서는 모두 탈출에 성공 한다는 결론을 얻었다. 또한 Panic Factor의 증가가 보행자의 탈출에 비효율적이라는 결론을 도출하였다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2009-0070914)

참고문헌

1. Tsuji, Y. (2004). "Numerical Simulation Pedestrian Flow at High Densities," PEDESTRIAN AND EVACUATION 2003, CMS Press, pp.27-38.
2. Park, J. (2003). Modeling the dynamics of fabric in a rotating horizontal drum, Doctoral Dissertation, Purdue University
3. Kimura, I. and Ihara, J. (1937). Observation for state of pedestrian flow in building, Proc. Jap. Arch. Eng., Vol. 5, pp. 307-316.
4. Fruin, J. J. (1987). Pedestrian planning and design, Elevator World Inc. New York
5. D. Helbing, I. Farkas and T. Vicsek. (1995). Simulating dynamical features of escape panic, Nature, 407, 487-490.