

다양한 각도의 출구에서의 보행자 유동 시뮬레이션을 위한 설치류 실험

오혜진*, 유재희**, 박준영***,#

*금오공과대학교 기계설계공학과 대학원, **금오공과대학교 기계설계공학과 학부, ***금오공과대학교
기계설계공학과

Rodent Experiments for Pedestrian Flow Simulation at Exit with Various Angles

Hyejin Oh*, Jahee Lyu**, Junyoung Park***,#

*Graduate School of Mechanical Design Engineering, Kumoh national Institute of Technology,

**School of Mechanical Design Engineering, Kumoh national Institute of Technology.

***Department of Mechanical Design Engineering, Kumoh national Institute of Technology

(Received 20 April 2016; accepted 28 April 2016)

ABSTRACT

There have been many cases of deaths from crushing caused by dense crowds. Numerous studies about pedestrian flow have performed various simulations, but the experimental data to prove the simulations are still not enough. In this paper, the evacuation of pedestrians for proving pedestrian flow simulation is observed. Due to the possibility of real casualties, it is difficult to experiment with humans directly. Therefore, ten C57BL/6NCrSlc mice have been used. It is assumed that C57BL/6NCrSlc mice act like humans in panic situations. Electrical Stimulus Experiments on mice are conducted for exits with various angles. ICY software is applied in this paper. As a result, the mice escape fast at a proper angle of 45 to 60 degrees.

Key Words : Pedestrian(보행자), Evacuation(피난), Crowd Flow(군중유동), Rodent Experiments(설치류 실험), Discrete Element Method(이산요소법)

1. 서 론

현대 사회 문화의 발전에 따라 다수의 군중이 밀집하는 곳에서 압사 사고가 종종 발생한다. 이러한 군중이 밀집하는 장소는 음악 공연장, 스포츠

공연장, 각종 지역 축제 등이 있다. 실제로 국외 사례로는 2008년 인도에서 산사태가 발생했다는 소문에 놀란 사람들이 한꺼번에 대피하면서 150명이 사망한 사고가 있었고 국내 사례로는 2005년 경북 상주 시민 운동장에서 진행되던 가요 콘서트 무대에서 11명이 사망하고 70여명이 중경상을 입는 사고도 있었다. 이러한 병목구간에서의 사고들은 국가에 관계없이 다양하게 발생하고 있다.

Corresponding Author : pcello@gmail.com

Tel: +82-54-478-7377

이러한 보행자의 탈출은 다양한 방법을 적용한 이전의 여러 시뮬레이션 연구들이 있었다. CA(Cellular Automata)법은 동일한 상태의 자동자(Automaton)를 정해진 공간 안에 규칙적으로 배열하여 시뮬레이션 하는 방법으로 개념이 간단하며 수치적으로 이용하기 쉽다. 이러한 CA법을 이용한 연구로는 장애물이 있는 공간을 탈출하는 세포 자동자(Cellular Automaton)를 이용한 연구^[1]와 출구 근처에서 보행자들이 아치형을 이루는 것을 관찰한 연구^[2], 보행자가 탈출을 시도하기 전 모이기를 우선하거나 뒤쳐진 일행을 기다리는 집단행동(Kin behavior)을 고려한 연구^[3], 그리고 출구가 여러 개 있을 때 보행자가 들어 온 출구로 다시 빠져나가는 특성을 부여하여 시뮬레이션 한 연구^[4] 등이 있다. 그러나 이 방법은 셀을 점유하는 방식으로 쓰이기 때문에 입자들 간의 충돌이 어렵다. 다른 방식의 연구로는 Social Force Model이 있다. Helbing의 모델을 이용한 연구로서, 보행자가 싫어하는 요소들과 좋아하는 요소들을 각각 repulsive force, attractive force로 나누어 힘으로 표현하고 이 두 힘을 이용하여 좁은 공간을 빠져나가는 보행자의 탈출을 연구하였다^[5]. 기본적으로 CA법에서는 실제적으로 보행자들이 입구에 몰리면서 막히는 현상을 시뮬레이션 하는 것이 불가능하며, Social Force Model에서는 출구에서 보행자들의 탈출이 정체가 되는 것을 시뮬레이션은 가능하나, 보행자간의 실제적인 끼임현상, 즉, 충돌은 묘사가 힘들다. 따라서, Tsuji와 Ueda^[6-7]는 입자 유동 시뮬레이션에서 자주 사용되는 Discrete Elemental Method(DEM)을 이용하여 보행자의 탈출에 대한 연구를 진행하였다. DEM은 각각의 입자를 원이나 타원 등으로 가정하여 입자 유동 해석에 주로 사용하는 수치해석 방법이다. DEM을 이용하여 비상시 S자형 복도를 탈출하는 보행자의 유동을 해석하는 연구^[8]도 이전에 진행되었다. Fig. 1은 DEM을 이용한 병목구간에서의 보행자 유동 시뮬레이션의 예이다. 이 연구에서는 다양한 각도에서의 보행자의 탈출을 시뮬레이션 하였다. 그러나 이러한 보행자의 유동에 대한 시뮬레이션 연구들은 모두 실험적인 데이터가 부족하여 시뮬레이션 한 결과와 실제 상황에 대한 결과를 비교하는데 어려움

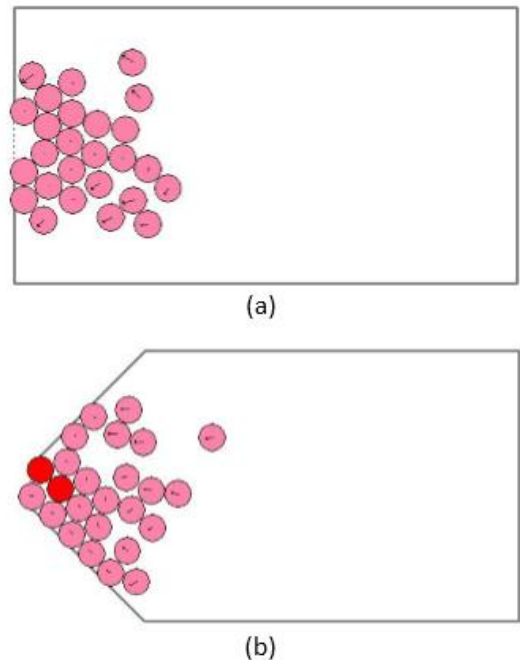


Fig. 1 Examples of pedestrian evacuation simulations using DEM. (a) Evacuation at 0 degree of exit angle. (b) Evacuation at 45 degrees of exit angle

을 가지고 있다. 예를 들어, Saloma가 CA법을 이용한 시뮬레이션과 쥐 실험을 병행한 연구^[9]에서는, 한 마리의 쥐가 water pool을 헤엄쳐서 여러 번 탈출하는 방식으로 진행되었기 때문에 출구에서의 병목 현상을 관찰할 수 없었다. 본 연구에서는 시뮬레이션과 실제 탈출의 비교를 위하여, 설치류 전기 자극 실험을 진행하였다. 실제 상황의 행위자는 쥐가 아닌 사람이지만 사람을 대상으로 한 실험 시 실제 사고의 위험이 따른다. 동물을 이용한 연구로, Ward 등은 물고기를 이용한 ‘집단지성’ 효과의 실험을 통하여 결정의 정확도가 의사 결정자의 숫자와 비례하여 증가한다는 것을 연구하였고^[10] Conradt는 물고기가 사용하는 대중의 지혜가 인간에게도 바람직하게 적용되어 배팅 업체, 인터넷 검색엔진, 주식시장 등에서 잘 활용된다는 것을 주장했다^[11]. 따라서, 사고 위험의 고려와 다수의 실험용 쥐의 탈출이 대중의 탈출과 유

사할 것이라는 가정 하에, 쥐로 모의실험을 진행하였다. 물, 전기, 소리 등의 자극을 이용하여 공포 반응을 유발하는 것을 공포조건화(fear conditioning)라고 하는데 본 실험은 전기 자극을 받은 쥐가 제한된 공간에서 공포를 느끼도록 하여 스스로 탈출하게 하는 능동회피실험(Active Avoidance Test)이다. 유사한 실험으로는 쥐가 물이 없는 플랫폼으로 헤엄치는 여러 번의 실험을 거치게 하여 쥐의 인지능력과 기억능력을 평가하는 모리스 수중미로(Morris Water Maze) 실험과 본 실험과 동일한 전기 자극을 이용하여 실험 대상이 공포를 느낀 동일한 장소로 다시 돌아가지 않게 하는 수동회피 실험(Passive Avoidance Test)이 있다^[12]. 쥐들의 평균 속도와 위치, 탈출하는데 걸리는 평균 시간은 동물행동측정 소프트웨어^[13]로 분석하였다. 본 연구에는 학생 창의성 향상을 위하여 2명의 여학생이 참여하였다.^[14]

2. 실험 조건

2.1 행위자 선정과 관리

본 실험에서는 생후 28주의 C57BL/6NCrSlc종의 암컷과 수컷 각각 다섯 마리씩을 이용하였다. 실제 상황에서 여성과 남성이 섞여서 있으므로 암컷과 수컷을 섞어서 이용하였다. 또한 이 종은 사람과 같이 개체들 간의 유전적인 차이가 적으므로 공포

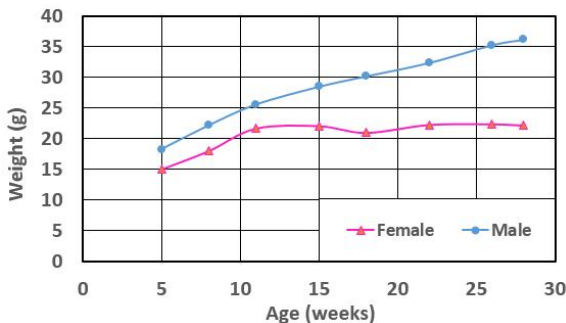


Fig. 2 Weight of mice according to age. Weight of male is increasing with time but weight of female converged on 22g

에 의한 대피 상황에서 군중의 대피와 유사한 행동 양상으로 대피할 것으로 가정하였다. 복부를 기준으로 한 쥐의 가로 길이는 암컷이 약 2cm, 수컷이 약 3cm이고 몸의 길이는 암컷이 약 5cm, 수컷이 약 6cm이다. Fig. 2의 생육 그래프를 참고하면 생후 28주인 실험시의 암컷과 수컷의 체중 차이가 14g정도 된다. 이것은 실제 상황에서 여자와 남자 혹은 아이와 어른의 체중 차이 정도에 해당한다. 실험기간 동안 임신 등의 조건적인 변화를 피하기 위하여 암컷과 수컷을 분리하여 사육하였으며, 실험 개체의 스트레스 조절을 위하여 LED 조명을 이용하여 12시간 수면 주기를 맞추어 쥐들이 휴식을 취할 수 있도록 하였다. 공포 실험에 의한 스트레스에 따른 이상행동을 방지하기 위하여, 1회 실험 시 실험 지속 시간이 총 40분을 넘기지 않도록 하였고 실험은 일주일에 3회 진행되었다.

3. 실험 장비 및 실험 방법

3.1 실험 장비

실험 장비는 Fig. 3 (c)와 같이 설치되었다. 전체적인 틀은 모두 4T의 아크릴로 제작하였으며 전기가 영향을 미치는 구간은 스테인리스 봉이 3mm 간격으로 설치되어있는 안전 구간부터 복도까지의 구간이다. 이 스테인리스 봉들은 전선을 통해 병렬로 최대 27V를 공급하는 Fig. 3 (b)와 같은 무진동 전기 자극 발생 장치(Isolated square wave stimulator),(PHIPPS&BIRD, NO. 7092-622)^[15,16]와 연결된다. 여기서 스테인리스 봉의 설치 간격은 병렬연결의 특성상 쥐의 발이 적어도 두 개의 봉을 동시에 밟아야하기 때문에 3mm로 설치하였다. 쥐는 실험 초기에 대기 구간(waiting section)에서 전기 자극을 받게 되고 자극을 받은 쥐들은 대기 구간 안에서 뛰어다닌다. 이후 검은 화살표 방향으로 칸막이(partition)를 열어주면 흰 화살표의 진행 방향을 따라 복도를 통해 뛰어나가게 된다. 뛰어나간 쥐들은 모든 실험 경우에서 동일한 7cm 폭의 출구(exit)를 통하여 안전 구간(safe section)으

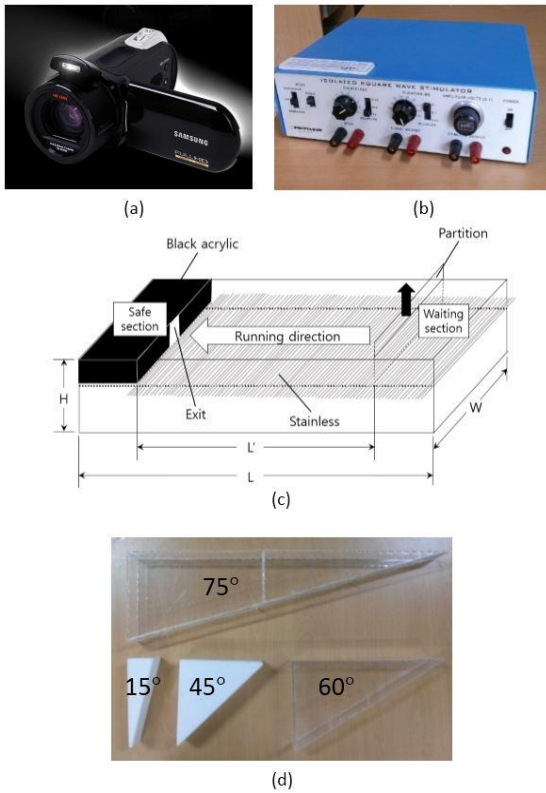


Fig. 3 Experimental settings. (a) All experiments are recorded using digital camera(Samsung Digital Cam), (b) Isolated square wave stimulator(PHIPPS&BIRD, CAT. NO. 7092-622), (c) General view of main equipment. $W = 40$ cm, $H = 20$ cm, $L = 100$ cm, $L' = 65$ cm, (d) Varying exit angles by using these structures. These are made by two.

로 탈출한다. 쥐들이 전기 자극을 피할 수 있는 공간인 안전 구간은 공포 상황을 피해서 안정을 찾을 수 있는 공간이어야 하기 때문에 어두운 곳을 선호하는 쥐의 습성 상 검은색 아크릴로 제작하였다. 본 연구는 쥐들이 뛰어나가는 것을 관찰하는 실험을 시작으로 실험 영상을 ICY로 분석하는 과정을 거쳐서 이루어진다. 실험 과정은 실험 장비의 위쪽에 통상적인 상업용 디지털 카메라인 Fig. 3 (a)와 같은 Samsung Digital Cam VM-HMX20C를 설치하여 촬영하였다. Fig. 3 (d)의 네 가지 아크릴 구조물은 출구 각도를 바꿀 때 장비 안에 출구를 중심으로 양쪽에 설치한다.

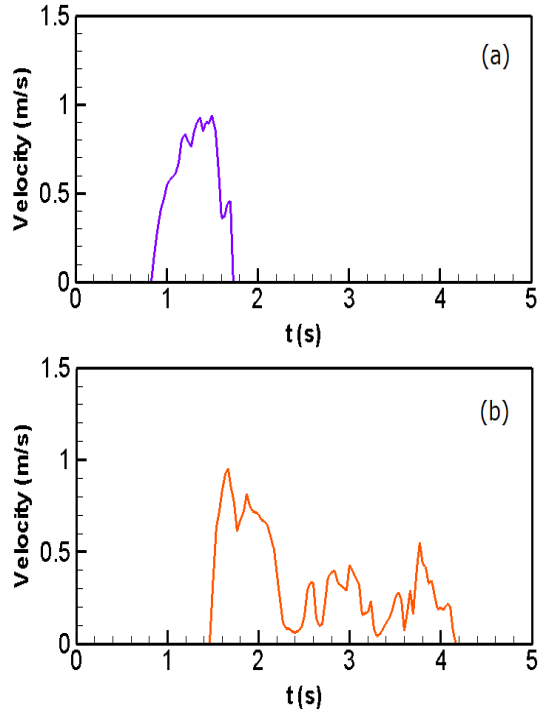


Fig. 4 Velocity with time. (a) Velocity with time when mice find exit directly. (b) Velocity with time when mice wander or crash with other mice.

3.2 실험 방법

본 실험은 출구 각도 0도, 15도, 45도, 60도, 75도, 총 다섯 가지 경우에 걸쳐 행하였다. 실험은 모두 동일한 방법을 반복한다. 먼저 실험에 이용할 암컷 쥐, 수컷 쥐 각각 다섯 마리를 대기 구간(waiting section)에 넣는다. 이 때 열 마리의 쥐들은 스테인리스 봉을 밟고 서있는 상태이다. 그 다음 전기 자극 발생기로 전기를 스테인리스 봉에 가해주면 전기 자극을 받은 쥐들이 놀라 패닉 상태에 빠지게 된다. 대기 공간의 쥐들이 모두 자극을 받아 뛰어다니면 칸막이(partition)를 열어주어 안전 구간(safe section)을 향해 탈출할 수 있게 한다. 영상은 칸막이를 여는 순간부터 쥐들이 모두 탈출할 때까지 촬영하였고 실험이 끝난 후에 컴퓨터로 옮겨 ICY 소프트웨어로 분석하였다. 소프트웨어를 이용하여 각도에 따른 평균 속도와 위치, 탈출하는데 걸리는 평균 시간을 분석하였다.

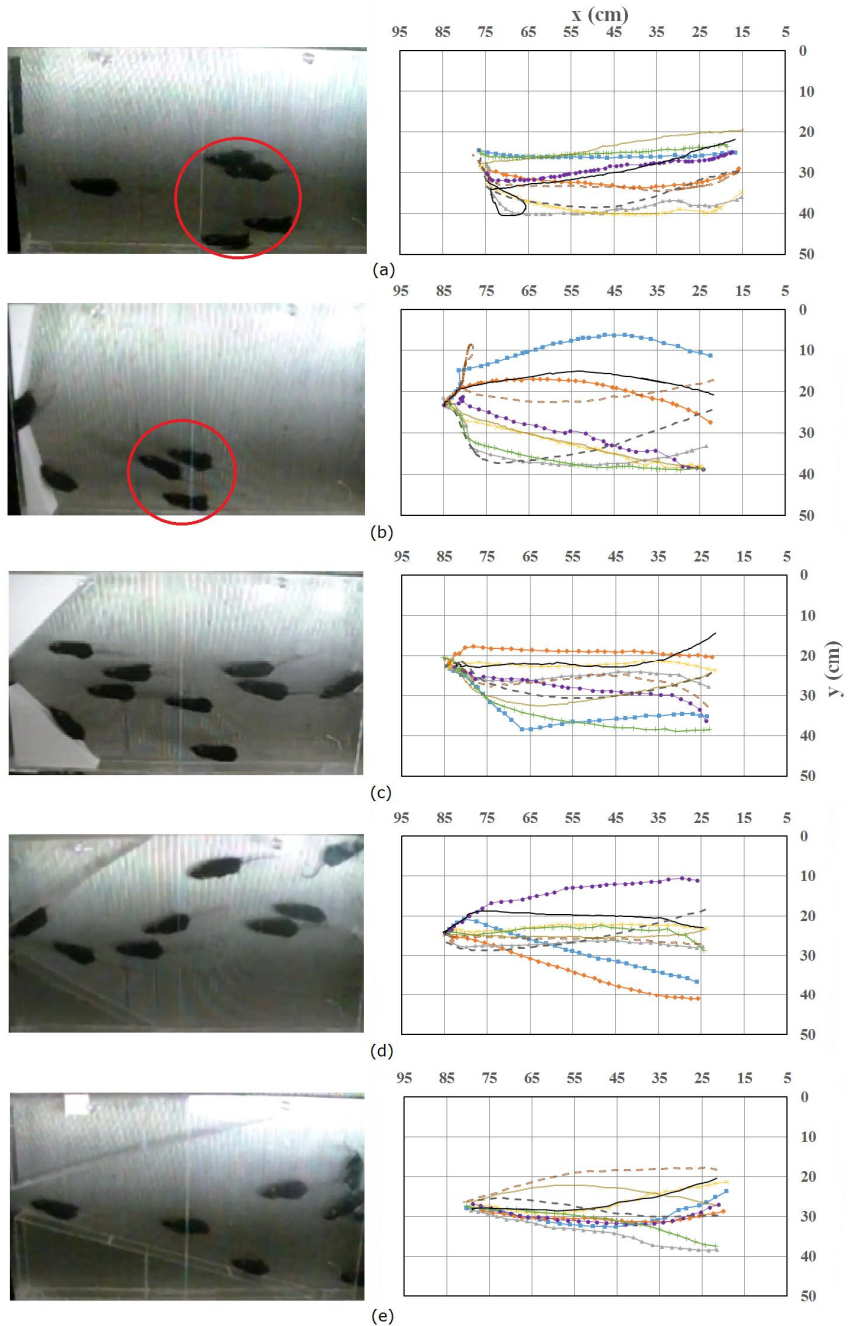


Fig. 5 Comparing between snapshots and escaping route of experiments according to variation of angle. Red circles are pointing gathered mice. (a) Exit angle 0 degree, (b) Exit angle 15 degrees, (c) Exit angle 45 degrees, (d) Exit angle 60 degrees, (e) Exit angle 75 degrees

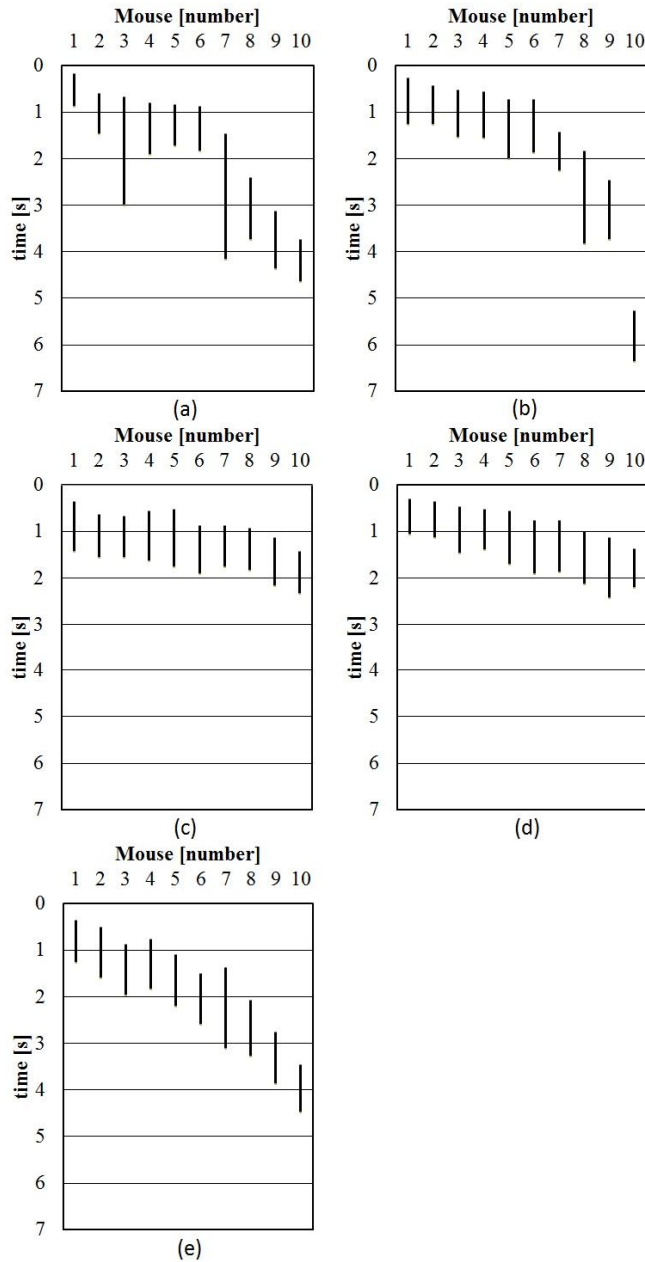


Fig. 6 Duration time of mice experiment. Each black line represents the time from the first mouse start to the last mouse gets out. (a) Exit angle 0 degree, (b) Exit angle 15 degrees, (c) Exit angle 45 degrees, (d) Exit angle 60 degrees, (e) Exit angle 75 degrees

3.3 용어 정의

쥐들의 속도는 시간에 따라서 계속 변화한다. 또한, 전기신호가 가해져도 바로 탈출을 시작하지 않고 일정한 delay를 가지게 되는 경우가 대부분이다. 이 현상은 실제 상황에서 대부분의 사람들이 화재경보알람 등이 울려도 바로 탈출하지 않고 망설이는 것과 유사한 효과이다. Fig. 4 (a)에 보인 것처럼, 전형적인 탈출 속도에서도 출발시간이 delay를 가진다. 또한, Fig. 4 (b)에 보인 것처럼, 탈출 중에도 중간에 정지하는 등의 행동을 보이기도 한다. 따라서, 속도를 단순히 거리를 시간으로 나눈 것으로 정의하는 것은 무의미하다. 따라서, 본 논문에서는 평균 속도(V_{avg}), 평균 탈출 시간(t_{avg})과 총 탈출 시간(t_{tot})를 다음과 같이 정의하였다. 먼저 가장 많이 사용되는 평균 속도에 관한 정의는 다음과 같다.

$$V_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} V_i}{N} \quad (1)$$

여기서, V_{avg} 는 각각의 쥐의 속도(V_i)의 평균 속도를 의미하고, N 은 쥐들의 개체 수이다. 또한 각 쥐들의 속도 V_i 는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$V_i = \frac{\sum_{\Delta t=1(t_{i,start})}^{\Delta t=n(t_{i,exit})} V_{i,\Delta t}}{n} \quad (2)$$

여기서, V_i 는 쥐의 속도를 시간평균한 속도, $V_{i,\Delta t}$ 는 각 시간대($\Delta t=0.033\text{sec}$)에서의 쥐들의 속도(거리/시간), $t_{i,\star t}$ 는 i 번째 쥐가 이동하기 시작한 시각, $t_{i,exit}$ 는 i 번째 쥐가 출구로 나간 시각이다. 마찬가지로, 평균 탈출 시간(t_{avg})은 다음과 같이 정의된다.

$$t_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{i,exit} - t_{i,start}}{N} \quad (3)$$

여기서 $t_{i,exit}$ 와 $t_{i,\star t}$ 는 각 쥐들의 탈출시각과 움직이기 시작한 시각이다. 총 탈출 시간(t_{tot})은 다음과 같이 정의된다. 따라서, 평균 탈출 속도는 거리를 평균탈출 시간으로 나눈 값과는 차이를 가질 수밖에 없다.

$$t_{tot} = t_{first,start} - t_{last,exit} \quad (4)$$

여기서 $t_{first,\star t}$ 는 첫 번째 쥐가 움직이기 시작한 시각이고, $t_{last,exit}$ 는 마지막 쥐가 출구로 나간 시각이다.

4. 결과와 토의

4.1 출구 각도에 따른 실험 개체의 탈출 경로

Fig. 5에서 출구 각도의 변화에 따른 실험의 스텝 샷과 쥐들이 탈출하는 경로를 비교하였다. 가장 이상적인 탈출 경로는 각 쥐들의 위치와 출구를 잇는 대각선이다. 먼저 출구 각도가 0도일 때는 Fig. 5의 경로 그래프에 설명되어있는 것과 같이 출구를 바로 찾아 나가지 못하고 이동거리가 다른 각도에 비해 긴 개체가 있는 것을 알 수 있다. 이렇게 우회하여 탈출하는 개체는 그렇지 않은 개체에 비하여 이동 거리가 약 10cm 가량 더 길고, 쥐가 출구를 찾는 동안 Fig. 4 (b)와 같이 전체적인 평균 속도도 감소한다. 15도에서도 0도와 유사하게 쥐들이 각각의 대각선 혹은 직선 방향의 출구를 바로 찾지 못하고 이동거리가 길게 이동한 것을 볼 수 있지만 0도에서보다는 작은 원을 그린다. 이는 비상상황시의 사람들의 대피시의 행동과도 상당부분 유사하다. 비상상황 시에 출구로의 탈출유도등에 의해서 적절하게 유도되지 못하는 경우에는, 사람들도 상당시간을 출구를 찾지 못해 헤매는 현상과 유사성을 보여준다. 하지만, 45도와 60도, 그리고 75도에서는 쥐들의 탈출 경로가 이상적인 탈출 경로와 유사해지면서 이동거리가 짧아지는 것을 알 수 있다. 즉, 가장 이상적인 출구까지의 방향을 옆쪽의 벽이 가이드를 해서, 비상탈출 시의 탈출 유

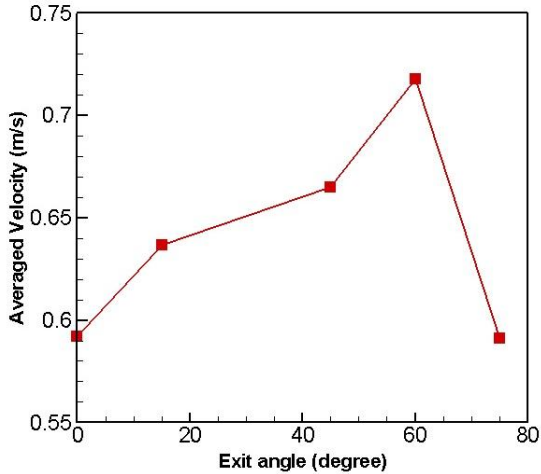


Fig. 7 Variation of average velocity according to various exit angles. Averaged velocity is proportional to exit angle except decreasing at 75 degrees

도등과 유사한 역할을 해주고 있다.

또한, 각도가 증가함에 따라서, 무리를 지어 평행하게 움직이는 숫자가 감소한다. 즉, 이것은 평행하게 같은 속도로 움직임에 따라서, 출구근처에서 충돌할 확률이 높아지고, 이에 따라서 탈출하는 시간을 지체시키게 된다. 따라서, 출구의 각도가 증가함에 따라서, 무리지어 평행하게 이동하는 개체들의 수는 줄어들고, 개체들 간의 충돌이 줄어들고, 개체들이 줄지어 이동하게 된다. 이에 따라서, 개체들의 탈출시간이 줄어드는 것으로 보인다.

4.2 출구 각도에 따른 실험 개체의 평균 속도

Fig. 6은 열 마리 쥐들의 실험 지속 시간을 나타낸다. 출구 각도가 0도와 15도로 작을 때는 실선의 길이 편차가 각도가 클 때보다 큰 것을 알 수 있다. 예를 들어, Fig. 5에서와 같이 출구를 바로 찾지 못하고 헤매는 쥐들의 실험 지속 시간이 Fig. 6에서 길게 나타난다. 따라서 Fig. 6의 다섯 가지 경우를 Fig. 5와 비교하여 순서대로 살펴보면 쥐의 탈출 경로가 직선에 가까울수록 실험 지속 시간의 편차가 작아지는 것을 관찰할 수 있다.

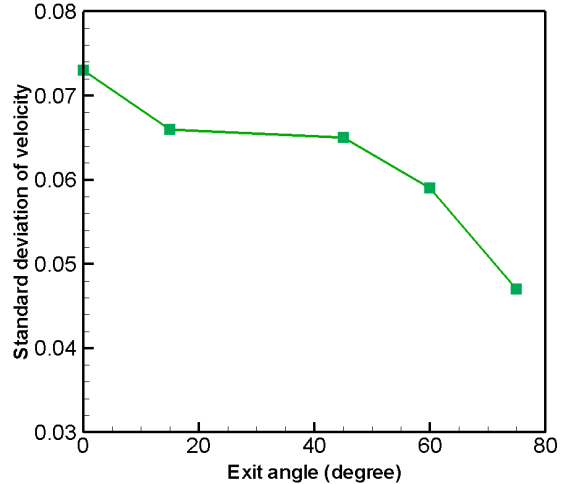


Fig. 8 Variation of standard deviation according to various exit angles. Standard deviation of velocity is decreasing as exit angle increases

실험 지속 시간이 길다는 것은 쥐가 탈출하는데 시간이 오래 걸린다는 것으로, 이 결과는 이후 언급할 평균 속도와 총 탈출 시간과 밀접한 관계가 있다.

4.3 출구 각도에 따른 실험 개체의 평균 속도 편차

Fig. 7은 각도의 변화에 따른 마우스의 평균 속도 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 5의 탈출 경로가 75도로 갈수록 이상적인 경로에 가까워지면서 옆쪽의 벽에 영향을 덜 받게 되므로 쥐들의 평균 속도도 출구 각도가 커질수록 빨라질 것으로 예상하였으나 75도에서는 오히려 평균 속도가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 75도를 제외한 나머지 실험들의 경우 쥐들이 벽의 영향을 거의 받지 않고 탈출한다. 그러나 75도에서는 쥐들이 벽을 보고 속도를 감소시키는 영향과 좁아진 통로로 인한 인접한 쥐들 간의 간섭에 의한 영향으로 전체적인 평균 속도가 감소하였다. Fig. 8은 출구 각도 변화에 따른 각 실험개체 쥐들의 속도간의 표준 편차를 나타낸 그래프이고 Fig. 4의 결과에서 나타난 것처럼, 각도가 커질수록 표준 편차가 작아진다.

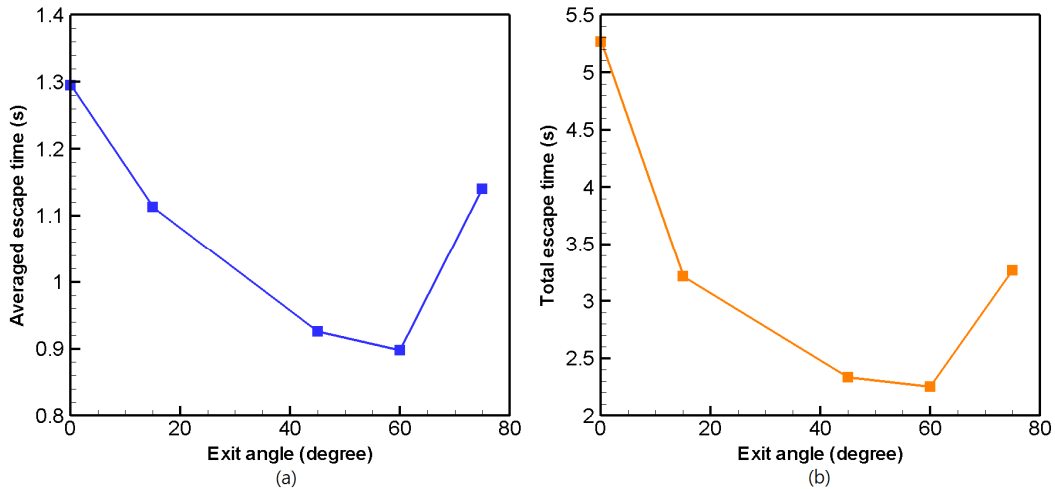


Fig. 9 Variation of average and total time to escape according to various exit angles. At 60 degree, both results show the lowest escape time. (a) Averaged escape time, (b) total escape time

각도가 작을수록 벽에 부딪치고 돌아서 나가는 쥐들이 늘어 평균 속도가 균일하지 않고 반대로 각도가 커질수록 이상적인 경로를 통해 탈출하는 쥐의 수가 많아져서 열 마리의 쥐가 균일한 평균 속도로 탈출하므로 속도의 표준편차가 작아진다.

지 증가하면서 평균 속도도 증가함에 따라 쥐들이 탈출하는 시간이 짧아졌다. 그러나 75도에서는 벽과 인접한 쥐들의 영향으로 인한 병목 현상과 유사한 현상이 발생하여 평균 속도 감소로 인해 대다수의 쥐들이 탈출하는 시간이 길어졌다.

4.4 출구 각도에 따른 실험 개체의 평균 탈출 시간

출구 각도에 따른 쥐들의 평균 탈출 시간과 총 탈출 시간은 Fig. 9와 같다. 평균 탈출 시간은 대다수의 개체의 탈출 시간이 어떻게 변화하였는지 알기 위해 측정하였고, 총 탈출 시간은 실험에 참여한 쥐들이 모두 탈출하는데까지 걸리는 시간을 측정하였다. 총 탈출시간은 화재와 같은 비상상황 발생 시에 유해가스의 도달시간과 비교되어야 하는 중요성을 가지지만, 측정의 편차가 큰 것이 단점이다. 본 실험의 결과에서는 두 그래프가 모두 비슷한 형태를 보여주기 때문에, 본 연구에서는 평균 탈출 시간을 주로 사용하였다. 계속해서 Fig. 9를 보면 출구 각도가 작을 때는 4.2절의 결과와 같이 감소한 평균 속도의 영향으로 대다수의 쥐들의 탈출 시간이 비교적 길다. 15도, 45도, 60도까

5. 결론

본 연구는 보행자의 병목구간에서의 탈출을, 설치류를 이용한 전기 자극 실험으로 대체하여 진행하였다. 이 실험 결과는 향후 DEM등을 이용한 보행자의 병목구간 탈출 시뮬레이션과의 비교 검증에도 사용이 가능하다. 실험은 열 마리의 실험용 쥐를 이용하여 0도, 15도, 45도, 60도, 75도로 출구 각도를 다양하게 변화시키며 실행되었다. 출구 각도가 0도에서 60도로 커질수록 평균 속도가 증가하여 쥐들의 탈출 시간도 짧아지나 75도에서는 오히려 평균 속도가 감소하여 쥐들의 탈출 시간이 길어진다. 따라서 가이드가 없는 경우(0도)와 너무 큰 경우(75도)보다 45도에서 60도 사이의 적절한 크기의 각도에서 쥐들이 신속하게 탈출할 수 있다.

후 기

“이 논문은 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Varas, A., Cornejo, M. D., Mainemer, D., Toledo, B., Rogan, J., Munoz, V., and Valdivia, J. A., "Cellular automata model for evacuation process with obstacles", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 382, no. 2, pp. 631-642, 2007.
2. Perez, G. J., Tapang, G., Lim, M., and Saloma, C., "Streaming, disruptive interference and power-law behavior in the exit dynamics of confined pedestrians", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 312, No. 3, pp. 609-618, 2002.
3. Yang, L. Z., Zhao, D. L., Li, J., and Fang, T. Y., "Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on Cellular Automaton", *Building and Environment*, Vol. 40, No. 3, pp. 411-415, 2005.
4. Yuan, W., and Tan, K. H., "An evacuation model using cellular automata", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 384, No. 2, pp. 549-566, 2007.
5. Helbing, D., Farkas, I., and Vicsek, T., "Simulating dynamical features of escape panic", *NATURE*, Vol. 407, No. 6803, pp. 487-490, 2000.
6. Tsuji, Y., "Numerical simulation of pedestrian flow at high densities, Pedestrian and Evacuation Dynamics," Vol. 3, pp. 27-38, 2003.
7. Ueda, I., "Simulation of pedestrian flow by particle flow model," A Thesis for a Master, Osaka University, Japan, 2006.
8. Song, G., and Park, J., "Discrete Element Method for Emergency Flow of Pedestrian in S-Type Corridor", *Journal of nanoscience and nanotechnology*, Vol. 14, No. 10, pp. 7469-7476, 2014.
9. Saloma, C., Perez, G. J., Tapang, G., Lim, M., and Palmes-Saloma, C., "Self-organized queuing and scale-free behavior in real escape", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 100, No. 21, pp. 11947-11952, 2003.
10. Ward, A. J., Herbert-Read, J. E., Sumpter, D. J., and Krause, J., "Fast and accurate decisions through collective vigilance in fish shoals", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 108, No. 6, pp. 2312-2315, 2011.
11. Conradt, L., "Collective behaviour: when it pays to share decisions", *Nature*, Vol. 471, No. 7336, 2011
12. Kim, H., Choi, J., Park, E., Lee, G., and Kim, E., *Animal behaviour tests of brain function for neuroscientist in Korean*, Sigma Press, pp. 40-56, 2006
13. ICYofficial cite, <http://icy.bioimageanalysis.org>
14. Kang, S. H. and Yune, S., "Differences of Creativity in Engineering Students by Gender," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 5, pp. 50-59, 2015
15. PHIPPS&BIRD official cite, <http://www.phippsbird.com>
16. Lee, G. M. and Park, M. S., "Manufacturing of MR Dampers and Estimation of the Bingham Model Parameters," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 13, No. 6, pp. 82~87, 2014.