

# 보행 방향 포텐셜 함수 기반의 탈출 경로 결정 알고리즘을 이용한 여객선 승객 탈출 시뮬레이션

하 솔<sup>1</sup>·조윤옥<sup>2</sup>·구남국<sup>1,†</sup>·박광필<sup>3</sup>·이규열<sup>1</sup>·노명일<sup>4</sup>  
서울대학교 공학연구소<sup>1</sup>  
삼성중공업 구조설계2팀<sup>2</sup>  
대우조선해양(주) 중앙연구소<sup>3</sup>  
서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소<sup>4</sup>

## Passenger Ship Evacuation Simulation using Algorithm for Determination of Evacuating Direction based on Walking Direction Potential Function

Sol Ha<sup>1</sup>·Yoon-Ok Cho<sup>2</sup>·Namkug Ku<sup>1,†</sup>·Kwangphil Park<sup>3</sup>·Kyu-Yeul Lee<sup>1</sup>·Myung-II Roh<sup>4</sup>  
Seoul National University, Engineering Research Institute<sup>1</sup>  
Samsung Heavy Industry, Structure Engineering Team 2<sup>2</sup>  
Daewoo Shipbuilding and Marine Engineering, R&D Institute<sup>3</sup>  
Seoul National University, Dept. of Naval Architecture & Ocean Engineering and Research Institute of Marine Systems Engineering<sup>4</sup>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This paper presents a simulation for passenger ship evacuation considering determination of evacuating direction based on walking direction potential function. In order to determine walking direction of a passenger, his/her position in two dimensional plane was adopted as a design variable, and fixed boundaries such as walls and obstacles were adopted as constraints. To solve this optimum problem, a walking direction potential function was adopted as an objective function. This potential function was configured as a kind of penalty function and it contained two components. One is a potential function concerned with the distance to the destination, and other is a potential function based on the effect of walls and obstacles. To determine evacuating direction, this problem was solved by minimizing the walking direction potential function every unit time during the simulation. The crowd behavior of the passenger consisted of the flock behavior, a form of collective behavior of a large number of interacting passengers with a common group. With the proposed algorithm, the test problems in International Maritime Organization, Maritime Safety Committee/Circulation 1238(IMO MSC/Circ.1238) were implemented and the direction of passengers and total evacuation time was analyzed.

**Keywords** : Advanced evacuation analysis(승객 탈출 해석), Algorithm for determination of evacuating direction(탈출 경로 결정 알고리즘), Walking direction potential function(보행 방향 포텐셜 함수)

## 1. 서론

선박의 탈출 상황에서 모든 승객이 탈출하는데 걸리는 시간을 계산하고, 탈출에 발생하는 병목구간을 미리 확인하는 것이 승객 탈출 시뮬레이션의 목적이며, 이에 관한 관련 규정은 2007년에 발표된 IMO MSC / Circ.1238 (IMO, 2007)이다.

본 논문에서 속도 기반 모델(velocity based model) (Park, et al., 2010a)을 적용해 승객 탈출 시뮬레이션을 하였다. 승객의 보행 방향을 결정하기 위하여 보행 방향 포텐셜 함수와 최적화 기법을 이용하였다. 승객의 보행 방향을 설계 변수로 고려하였으며,

벽과 장애물을 부등호 제약 조건으로 고려하였다. 목적지까지 거리를 나타내는 함수를 목적지 방향 포텐셜 함수(objective direction potential function)라 정의하였다. 벽과 장애물을 나타내는 함수를 장애물 방향 포텐셜 함수(obstacle direction potential function)라 정의하고 페널티 함수로 고려하였다. 목적지 방향 포텐셜 함수와 장애물 방향 포텐셜 함수의 합으로 보행 방향 포텐셜 함수(walking direction potential function)를 구성하고 목적 함수로 도입하였다. 승객의 보행 방향은 보행 방향 포텐셜 함수를 최소화 하는 방향으로 계산하였다. 승객의 이동은 매 단위 시간마다 계산된 승객의 보행 방향과 속력을 통하여 속도로 변환하여 적용하였다. 그리고 승객의 집단 행동에 대해서는 집단

Table 1 Comparison between simulation programs for advanced evacuation analysis of passenger ship

Advanced evacuation analysis program	This paper	IMEX	EVAC	Evi	Maritime EXODUS
Passenger model	Acceleration-based model	Acceleration-based model	Acceleration-based model	Velocity-based model	Velocity-based model
Geometry representation	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous	Discrete cell
Rotation of Passenger	O	X	O	X	X
Crowd behavior	Forces due to the crowd			Same velocity for each group	Gene concept
	Flock behavior	X	Helbing's group behavior		
Obstacle/Wall	Penalty force	O	unknown	-	-
IMO Test Case	O	X	X	O	O

행동 알고리즘(flocking algorithm)을, 마주 오는 승객에 대해서는 역류(counterflow) 알고리즘을 각각 적용하였다.

본 논문의 2장에서는 관련 연구 현황에 대해 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 구현한 속도기반 승객 탈출 모델에 대해 설명한다. 4장에서는 보행 방향 포텐셜 함수를 이용하여 승객의 보행 방향을 결정하는 방법에 대해 설명한다. 5장에서는 역류(counterflow) 알고리즘을 설명하고, 6장에서는 집단 행동 알고리즘을 설명한다. 7장에서는 시뮬레이션 구현 및 그 결과 분석하고, 8장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 언급한다.

## 2. 관련 연구 현황

승객 탈출 분석 프로그램은 승객의 이동을 추상적인 모델로 표현하는 방법이 중요하며, 이를 위해서 승객의 이동 및 보행과 관련된 여러 가지 모델들이 제시되어 왔다 (Hoogendoorn, et al., 2002). 승객의 이동 및 보행과 관련된 모델은 크게 거시적(macroscopic) 모델과 미시적(microscopic) 모델로 분류된다.

거시적 모델은 관심 영역에 대해 승객의 이동을 표현할 수 있는 편미분 방정식을 제시하고 이를 이용하여 특정 시간 동안 승객의 밀도나 속도의 변화를 기술한다 (Huges, 2000).

미시적 모델은 시간에 따라 각 승객의 행동을 개별적으로 기술하는 모델을 말한다. 미시적 모델은 크게 격자 기반 모델(fine network model)(Galea & Perez Galparsoro, 1994)과 연속 시간 기반 모델(continuous network model)(Vassalos, et al., 2002)로 구분된다. 격자 기반 모델은 공간을 일정한 형태(정사각형 또는 정육각형)의 격자로 분할하고, 이산화된 공간 속에서 승객 행동을 규칙에 기반하여 표현한다. 연속 시간 기반 모델은 다시 승객에 작용하는 요소를 속도로 표현한 속도 기반 모델(velocity-based model)과 승객에 작용하는 요소를 외력으로 표현한 가속도 기반 모델(acceleration-based model)로 분류된다 (Ha, et al., 2013; Park, et al., 2010b).

Galea, et al. (2003)은 속도 기반 모델(velocity-based pedestrian model)을 기반으로 'maritimeEXODUS'라는 여객선 승객 탈출 분석 프로그램을 개발하였다. Schreckenberg, et al.

(2001)은 속도 기반 모델을 바탕으로 'AENEAS'라는 여객선 승객 탈출 분석 프로그램을 개발하였다. Vassalos, et al. (2002)은 속도 기반 모델을 사용하여 'Evi'라는 승객 탈출 분석 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.

Helbing, et al. (2000, 2001)은 뉴턴의 운동 방정식을 기반으로 하는 가속도 기반 승객 모델을 제안하였다. Korhone and Hostikka (2009)는 Helbing이 제안한 가속도 기반 승객 모델을 기반으로 'EVAC'이라는 여객선 승객 탈출 분석 프로그램을 개발하였다. Table 1은 관련 연구에서 개발한 여객선 승객 탈출 프로그램의 주요 기능을 비교한 내용을 나타낸다.

본 논문에서는 속도 기반 모델을 이용하여 승객의 이동 과정을 표현하였다. 속도 기반 모델은 승객을 연속적인 좌표를 가지는 공간 상에서 승객과 승객 또는 승객과 물체 간의 상호 작용을 승객의 보행 속도에 작용하는 개별 요소로 고려하여 승객의 이동을 표현한다. 그리고 매 시간마다 결정되는 승객의 보행 방향은 보행 방향 포텐셜 함수를 이용하여 결정하였다. 또한 집단 행동과 마주 오는 승객에 의한 승객의 보행 속도 및 방향 변화에 대한 요소도 별도로 고려하였다.

## 3. 속도 기반 모델

본 논문에서는 승객의 행동을 기술하기 위해 연속 시간 기반 모델(continuous network model) 중 하나의 방법인 속도 기반 모델을 채용하였다. 따라서 승객을 2차원 평면상에서 운동하는 질점으로 모델링하고, 속도 기반 모델을 결정짓는 중요한 요소인 승객의 보행 속도  $V$ 를 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$V = V_{Walk} + V_{Group} \tag{1}$$

여기서,  $V_{Walk}$ 는 승객의 개별 특성에 따른 보행 속도이며,  $V_{Group}$ 은 집단 행동에 의한 속도이다.  $v_{walk}$ 는 식 (2)와 같이 정의하며, 여기서  $v_{Walk}$ 는 승객의 보행 속력,  $u$ 는 보행 방향이다.

$$V_{Walk} = v_{Walk} \cdot u \tag{2}$$

$v_{Walk}$ 는 IMO MSC / Circ.1238 (2007)에 정의된 연령과 성별에 따른 승객의 속력 분포를 사용하였다.

$u$ 는 식 (3)과 같이 정의하며,  $u_0$ 는 보행 방향 포텐셜 함수에 의해 결정되는 기본 보행 방향,  $u_{cf}$ 는 마주 오는 승객을 고려한 수정 보행 방향이다.

$$u = u_0 + u_{cf} \tag{3}$$

본 논문에서는 식 (1)를 통해 구한 최종 보행 속도를 적분하여, 다음 단위시간의 승객의 위치를 계산하는 속도 기반 모델을 이용하여 승객의 이동을 표현하였다. 식 (1)의 최종 보행 속도를 계산하기 위한 보행 방향 포텐셜 함수  $u_0$ 는 4장에서, 마주 오는 승객을 고려한 수정 보행 방향  $u_{cf}$ 는 5장에서, 그리고 집단 행동에 의한 속도  $V_{Group}$ 은 6장에서 상세히 기술하였다.

## 4. 보행 방향 포텐셜 함수를 이용한

### 보행 방향 결정

#### 4.1 보행 방향 결정 문제의 정식화

승객의 이동은 현재 위치에서 목적지까지의 거리를 감소시키기 위해서 움직이는 것으로 생각할 수 있다. 따라서, 승객의 이동을 시뮬레이션 할 때, 승객의 기본 보행 방향을 현재 위치에서 목적지까지 거리가 최소화되는 방향으로 정할 수 있다. 또한 장애물 근처에서는 목적지까지 거리 값이 커지도록 하여, 장애물을 고려한 보행 방향을 결정할 수 있다.

위의 문제에 대하여, 최적화 기법 중의 하나인 최대 경사법 (steepest descent method)과 페널티 함수법(penalty function method)을 통해 정식화 하였다. 우선 승객의 보행 방향을 설계 변수로 설정하였다. 그리고, 각 위치에서 목적지로부터의 거리를 표현하는 목적 방향 포텐셜 함수를 정의하였다. 그리고 벽, 장애물과 같은 부등호 제약조건을 장애물 방향 포텐셜 함수라 정의하고, 페널티 함수로 고려하였다.

위 두 함수로 구성된 목적함수를 통해 통해 매 단위시간 승객의 보행 방향을 결정하였으며, 그 목적함수를 보행 방향 포텐셜 함수라 정의하였다.

승객의 보행 방향 결정 문제는 이미 목적지가 최소값을 갖는다는 것을 알고 있기 때문에, 함수의 최소값을 구하는 문제가 아니며, 최적화 기법을 통해 매 단위시간 승객의 보행 방향을 결정하고자 하는 것이다.

#### 4.2 목적 방향 포텐셜 함수

목적 방향 포텐셜 함수  $f(x,y)$ 는, 승객의 위치로부터 목적지까지 거리를 나타내며, 식(4)와 같다.

$$f(x,y) = \frac{1}{2} k_f \rho_{goal} \tag{4}$$

여기서  $k_f$ 는 스케일링 계수이며,  $\rho_{goal}$ 은 승객의 위치  $r = [xy]^T$ 에서 목적지  $r_{goal} = [x_{goal}y_{goal}]^T$ 까지의 거리  $\|r_{goal} - r\|$ 를 나타낸다.

목적지를 향하는 승객의 보행 방향은, 목적 방향 포텐셜 함수의 음의 기울기로 구할 수 있다.

만일 출입문이 2개일 경우는 각각의 문에 대해 목적 방향 포텐셜 함수를 계산하여, 이 중 작은 값을 가지는 함수에 대해 음의 기울기를 계산하여 승객의 목적방향을 결정하게 된다.

Fig. 1는 가로 세로 10m × 10m인 방에 문이 2개가 있는 경우의 목적 방향 포텐셜 함수의 등고선을 표현한 것이다. 승객은 각 위치에서 등고선의 음의 기울기 방향인 등고선의 법선 방향으로 이동하게 된다. 따라서 승객이 P1에 있을 경우 승객의 목적 방향은 문A를 향하며, P2에 있을 경우 승객의 목적 방향은 문B를 향하게 된다.

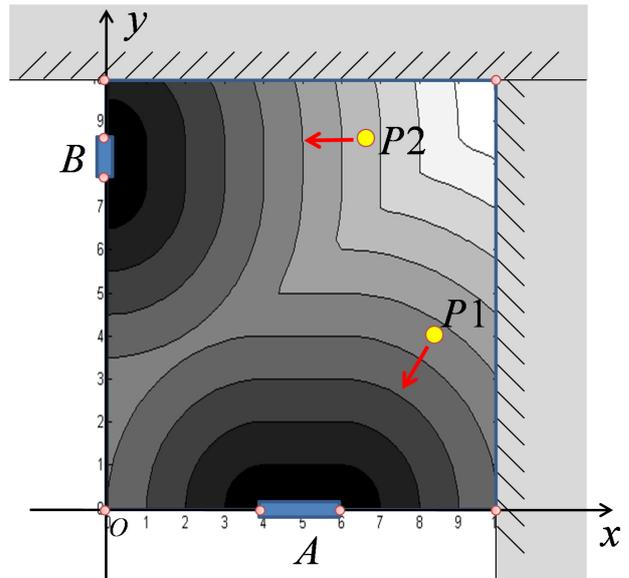


Fig. 1 An example of contour plot of objective direction potential function with 2 doors in a room

#### 4.3 장애물 방향 포텐셜 함수

승객이 장애물과 벽에 접근하지 않도록 하기 위해, 장애물 안쪽 및 장애물 주위의 일정한 거리 이내에 거리 값을 크게 하는 장애물 방향 포텐셜 함수는 식 (5)과 같다.

$$h(x,y) = \begin{cases} k_h \left( \frac{1}{\rho_{obs}} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2, & \text{if } \rho_{obs} \leq \rho_0 \\ 0, & \text{if } \rho_{obs} > \rho_0 \end{cases} \tag{5}$$

여기서  $k_h$  는 스케일링 계수,  $\rho_{obs}$  는 승객의 위치  $r = [xy]^T$  에서 장애물  $r_{obs} = [x_{obs}y_{obs}]^T$ 까지의 거리  $\|r_{obs} - r\|$  이며,  $\rho_0$  는 장애물의 영향을 받는 거리를 나타내는 양의 상수이다.

#### 4.4 보행 방향 포텐셜 함수를 이용한 보행 방향 결정

보행 방향 포텐셜 함수  $\Phi(x, y)$ 는 목적 방향 포텐셜 함수와 장애물 방향 포텐셜 함수의 합으로 식 (6)과 같이 구성하였다.

$$\Phi(x, y) = f(x, y) + h(x, y) \quad (6)$$

보행 방향 포텐셜 함수로부터 구해지는 승객의 보행 방향( $u_0$ )은 식 (7)과 같다.

$$u_0 = - \frac{\nabla \Phi(x, y)}{|\nabla \Phi(x, y)|} \quad (7)$$

Fig. 2(a)는 장애물이 없을 때의 보행 방향 포텐셜의 등고선을 표현한 것이며, Fig. 2(b)는 원형, 사각형, 삼각형 장애물이 있을 경우, 보행 방향 포텐셜 함수의 등고선을 표현한 것이다.

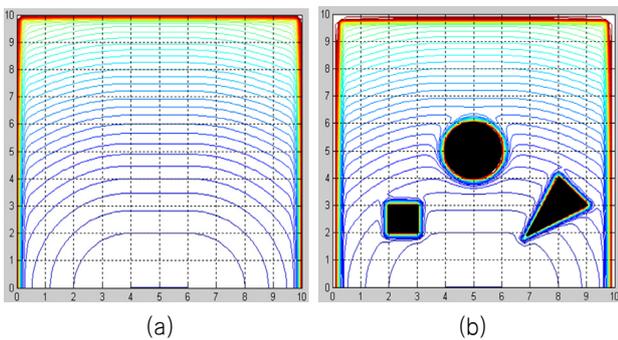


Fig. 2 Contour plot of walking direction potential function: (a) without obstacles and (b) with obstacles

### 5. 마주 오는 승객에 대한 고려

승객은 마주 오는 승객을 인지하여 충돌 회피(collision avoidance) 하는 동시에, 자신의 보행 방향과 동일한 방향으로 이동하는 승객의 뒤를 따라 종대 대형(trail formation)으로 보행하는 특징이 있다. 이런 특징을 반영하기 위하여, 역류(counterflow) 알고리즘 (Heliövaara, et al., 2012)을 사용하였다.

Fig. 3과 같이 매 단위시간마다, 자신 앞의 일정 영역을 3개의 겹쳐진 구역으로 나누고, 각 구역의 중심 방향을  $u^{-\theta}, u^0, u^{+\theta}$ 로 정의한다. 그리고 각 구역에 있는 상대 승객의 이동 속도 및 위치를 고려하여 점수(score)를 산정한다. 그 후,  $u^{-\theta}, u^0, u^{+\theta}$  중에서 점수가 가장 높게 나온 구역의 중심 방향으로 승객의 기

본 보행 방향  $u_0$ 를 변경한다. Fig. 3의 경우 오른쪽 구역이 가장 높은 점수로 계산되며, 따라서 승객은 오른쪽 방향인  $u^{+\theta}$ 로 자신의 보행 방향을 변경하게 된다. 이때의 수정방향이  $u_{CF}$ 이다.

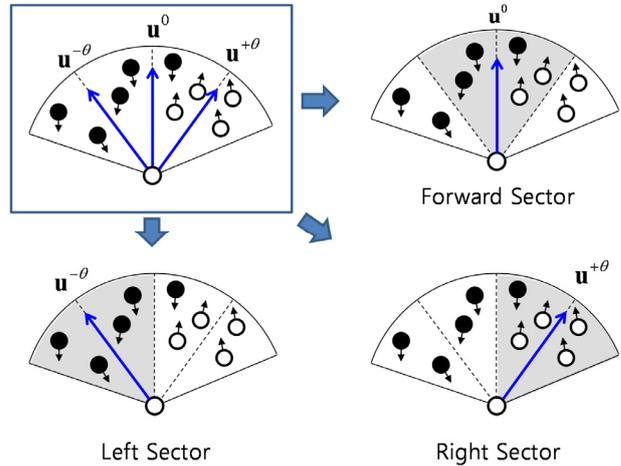


Fig. 3 Division of area in front of a passenger

### 6. 탈출 상황에서 승객의 집단 행동

탈출 상황에서는 개인은 주변 사람들의 영향에 의한 집단 행동을 한다. 이러한 집단 행동을 모델링 하기 위해서 식 (8)와 같이 집단 행동 알고리즘에 의한 속도를 고려하였다.

$$V_{Group} = k_S \cdot V_{Separation} + k_A \cdot V_{Alignment} + k_C \cdot V_{Cohesion} \quad (8)$$

$V_{Separation}(t)$ 은 주변 승객들과 거리를 유지하려는 성질로, 주위 사람들과 멀어지는 방향으로 이동하는 속도이며, 분리(separation)이라고 한다.

$V_{Alignment}(t)$ 는 주변 승객들의 평균 이동 방향으로 이동하려는 성질 즉, 주위 승객들의 평균 속도 방향으로 이동 하려는 속도로 정의되며, 정렬(alignment)이라 한다.

$V_{Cohesion}(t)$ 은 주변 승객들과 함께 이동하려는 특성으로, 승객들의 평균 위치로 이동하려는 속도이며, 응집(cohesion)이라 한다.

여기서  $k_S, k_C, k_A$ 는 각 속도의 스케일링 계수이다.

### 7. 예제 구현 및 결과 분석

보행 방향 포텐셜 함수, 역류 알고리즘 그리고 집단 행동 알고리즘을 적용하여, 예제 및 IMO MSC / Circ.1238의 시험문제 8을 구현하고 시뮬레이션 하였다. 이것은 승객 탈출 분석 시뮬레이션 프로그램을 검증하기 위한 여러 가지 시험문제들 중 하나이다.

### 7.1 보행 방향 포텐셜 함수를 적용 여부에 따른 비교

보행 방향 포텐셜을 적용 여부에 따른 보행 경로의 차이를 비교하기 위하여, 본 논문과 동일한 속도 기반 모델의 상용 프로그램인 Evi (Vassalos, et al., 2002)와 비교하였다. Fig. 4와 같이 승객이 좌측 하단에 위치한 방으로부터 우측 상단의 목적지까지 가는 예제이며, 중간에 4개의 장애물이 배치된 10m × 10m의 방을 지나게 된다. Evi는 Fig. 4 (a)와 같이 장애물을 제외하고 승객이 지나갈 수 있도록 R1~R9로 표현된 9개의 하위 구역으로 나누고, 하위 구역간에는 가상의 문으로 연결 한다. 하지만 본 논문에서는 보행 방향 포텐셜 함수를 이용하여 Fig. 4 (b)와 같이 방에 위치한 4개의 장애물을 바로 표현한다.

Evi에서 승객은 출발지와 목적지 사이의 가상의 문을 중간 목적지로 정하며, 문의 폭 중에서 가장 가까운 곳이 구체적인 목적지가 된다. 따라서 승객은 목적지까지 대각선 방향으로 가는 것이 빠르지만, 다음 가상의 문으로 직진 방향으로 가는 것이 빠르다면 Fig. 5 (a)와 같이 직진 방향으로 이동하게 된다. 본 논문에서 구현한 보행 방향 포텐셜 함수를 이용하게 되면, Fig. 5 (b)와 같이 목적지를 향해 대각선으로 장애물을 회피하며 바로 이동하게 된다. 이는 승객의 보행을 자연스럽게 구현한 것으로 볼 수 있다.

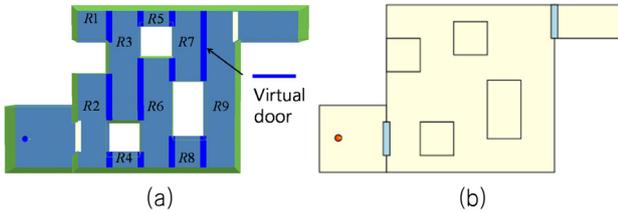


Fig. 4 Modeling of test problem: (a) Modeling by Evi program (b) Modeling by program proposed in this paper

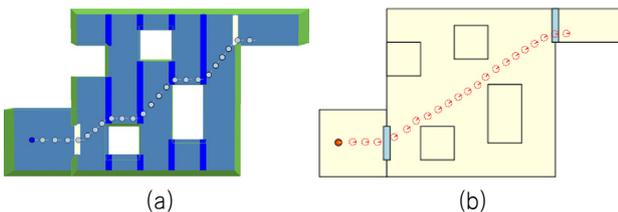


Fig. 5 Simulation results of passenger evacuation by (a) Evi and (b) the program implemented in this paper

### 7.2 집단 행동에 의한 영향 검증

집단 행동에 의한 영향을 검증하기 위해 IMO MSC / Circ.1238의 시험문제 8번 중 일부를 구현하고 시뮬레이션 하였다. 시험문제 8번은 Fig. 6과 같이 승객들이 10m × 10m의 방을 나와 2m

폭의 복도를 통과하는 것이다. 승객은 초기에 Fig. 6과 같이 20명이 세로 1열로 분포되어 있는 경우를 시뮬레이션 하였다.

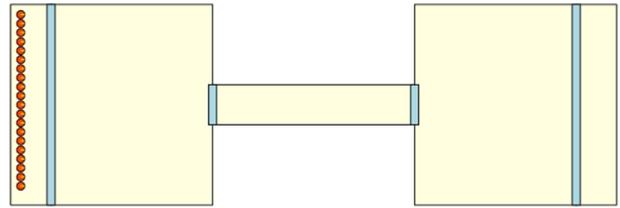


Fig. 6 Initial configuration of the test problem No.8 in IMO MSC / Circ.1238

보행 방향 포텐셜 함수에 의한 속도만 있는 경우는 Fig. 7 (a)와 같이 승객들의 위치가 겹치는 현상이 나타났다. 분리(separation)에 의한 속도를 적용하면, Fig. 7 (b)와 같이 서로 거리를 유지하면서 이동을 하게 되지만, 서로 모이거나 속도를 맞추면서 이동하는 특성은 없다. 추가적으로 정렬(alignment)에 의한 속도를 적용하면, Fig. 7 (c)와 같이 자신과 비슷한 속도를 가진 옆 사람들과 속도를 맞추어 같이 이동하는 특성이 반영되어, 시작 배열의 형태와 비슷하게 세로로 늘어서서 이동하는 것을 확인할 수 있다. 이에 추가적으로 응집(cohesion)에 의한 속도를 적용하면, Fig. 7 (d)와 같이 승객들이 서로 모여서 이동하는 특성이 반영되는 것을 확인할 수 있다.

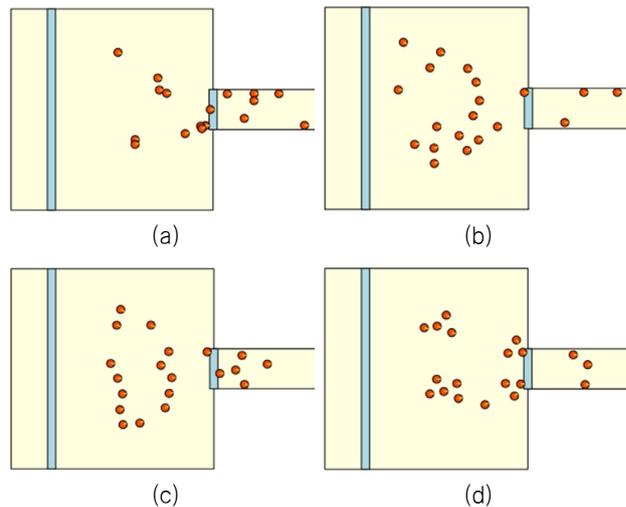


Fig. 7 Simulation results of passenger evacuation considering group behavior by flocking algorithm (a) without group behavior, (b) with separation velocity, (c) with separation and alignment velocity, and (d) with separation, alignment and cohesion velocity

### 7.3 마주 오는 승객 수에 의한 영향 비교

MSC/Cir.1238의 시험문제 8번의 목적은 마주 오는 승객의 수가 많아지면, 승객의 이동에 걸리는 시간이 늘어나는지 확인하는

Table 2 Comparison of total evacuation time between cases with and without counterflow algorithm for the test problem No.8 in IMO MSC / Circ. 1238

Number of person in Room 2	0	10	50	100
Total evacuation time without counterflow algorithm (sec.)	87	169	Not end	Not end
Total evacuation time with counterflow algorithm (sec.)	88	118	220	273

것이다. Fig. 8와 같이 10m × 10m인 두 방이 10m × 2m의 복도로 서로 연결되어 있고, 30~50세의 남성 100명이 왼쪽 방1에 분포되어 있다. 마주 오는 승객은 방2에 분포하는데 이 승객 수를 변경하며, 모든 승객이 반대편 방으로 이동하는 데 걸리는 시간을 측정한다. 방2의 승객이 100명인 경우, 역류(counterflow) 알고리즘을 적용하지 않은 경우와 적용한 경우에 대하여 시뮬레이션이 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8 (a)와 같이 역류 알고리즘을 적용하지 않은 경우는 초기부터 정체되는 현상이 발생하여, 시간이 계속 지나도 시뮬레이션이 종료되지 않았다. Fig. 8 (b)와 같이 역류 알고리즘을 적용한 경우는 사람들이 서로 피하면서 이동하며, 앞사람을 따라서 줄지어 빠져나가면서, 250초 정도가 흐르면 대부분 사람이 반대편 방으로 빠져나가는 것을 확인할 수 있다.

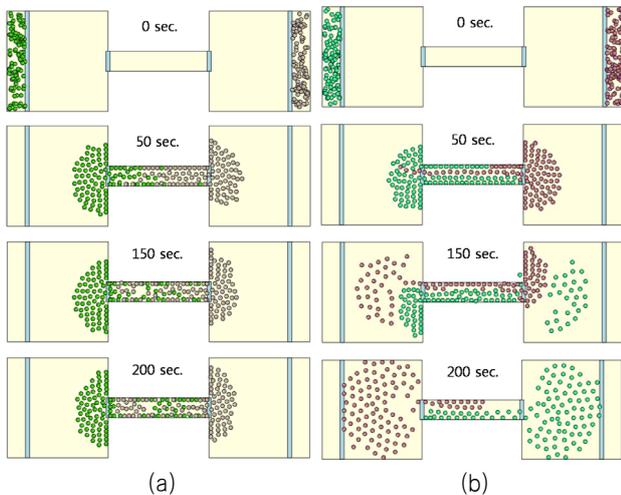


Fig. 8 Simulation result of passenger evacuation for the test problem No.8 in IMO MSC / Circ.1238 : (a) without and (b) with counterflow algorithm

마주 오는 승객이 있는 문제에 대하여, 역류 알고리즘을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 시뮬레이션 결과를 Table 2에 나타내었다. 역류 알고리즘을 적용하지 않은 경우, 마주 오는 승객의 수가 50명 이상일 경우 통로에서 정체 현상이 발생하여, 시간이 지나도 시뮬레이션이 종료되지 않았다. 하지만 역류 알고리즘을 적용하면, 중간 통로에서 정체되는 현상 없이 시뮬레이션 되었다. 이것은 승객의 자연스러운 이동이 구현된 것으로 볼 수 있다.

## 8. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 보행 방향 포텐셜 함수를 도입하여 승객의 보행 방향 결정을 하고, 마주 오는 승객에 의한 특성을 반영하기 위해 역류 알고리즘을 적용하였으며, 승객의 집단 행동을 표현하기 위해 집단 행동 알고리즘을 적용하였다. 이 포텐셜 함수와 알고리즘을 IMO MSC / Circ.1238의 시험문제에 대해 구현하여, 승객의 이동이 보다 자연스럽게 나타나는 것을 확인하였다. 향후 선박의 복잡한 구획을 현실적으로 표현하기 위한 연구를 추가적으로 진행할 예정이며, 이를 바탕으로 탈출 시뮬레이션을 수행할 예정이다.

## 후기

본 연구는 (a) 대우조선해양(주), (b) 지식경제부 산업원천기술 개발사업(10035331, 시뮬레이션 기반의 선박 및 해양플랜트 생산 기술 개발), (c) 서울대학교 공학연구소, (d) 서울대학교 해양시스템공학연구소의 지원을 받아 연구되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

## References

Galea, E. & Perez Galparsoro, J., 1994. A Computer-Based Simulation Model for the Prediction of Evacuation from Mass-Transport Vehicles. *Fire Safety Journal*, 22(4), pp.341-366.

Galea, E.R. Gwynne, S. Lyster, C. & Glen, I., 2003. Analysing the Evacuation Procedures Employed on a Thames Passenger Boat Using the MaritimeEXODUS Evacuation Model. *Fire Technology*, 39(3), pp.225-246.

Ha, S. et al., 2013. Passenger Ship Evacuation Simulation Considering External Forces Due to the Inclination of Damaged Ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(3), pp.175-181.

Helbing, D. Farkas, I.J. Molnar, P. & Vicsek, T., 2001. Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *Conference on Pedestrian*

*and Evacuation Dynamics*, Duisburg, Germany, 4-5 April 2001, pp.21-58.

Helbing, D. Farkas, I. & Vicsek, T., 2000. Simulating Dynamical Features of Escape Panic. *Nature*, 407, pp.487-490.

Heliövaara, S. Korhonen, T. Hostikka, S. & Ehtamob, H., 2012. Counterflow Model for Agent-Based Simulation of Crowd Dynamics. *Building and Environment*, 48, pp.89-100.

Hoogendoorn, S. Bovy, P. & Daamen, W., 2002. Microscopic Pedestrian Wayfinding and Dynamics Modelling. *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, 123, pp.123-155.

Hughes, R.L., 2000. The Flow of Large Crowds of Pedestrians. *Mathematics and Computers in Simulation*, 53(4-6), pp.367-370.

IMO, 2007. Guidelines for Evacuation Analysis For new and Existing Passenger Ship, *IMO MSC / Circ.1238*.

Korhone, T. & Hostikka, S., 2009. Fire Dynamics Simulator With Evacuation FDS+Evac, *Technical Reference and User's Guide*, VTT Research Notes.

Park, K.P. Cho, Y.O. Ha, S. & Lee, K.Y., 2010a. Acceleration Based Passenger Evacuation Simulation Considering Rotation of Passenger on Horizontal Plane. *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 15(4), pp.306-313.

Park, K.P. Ha, S. Cho, Y.O. & Lee, K.Y., 2010b. Advanced Evacuation Analysis for Passenger Ship Using Penalty Walking Velocity Algorithm for Obstacle Avoid. *Journal of the Korea Society for Simulation*, 19(4), pp.1-9.

Schreckenberg, M. Meyer-Konig, T. & Klupfel, H., 2001. Simulating mustering and evacuation processes onboard passenger vessels; model and applications. *International Symposium on Human Factors On Board*, Bremen, Germany, 19-21 September 2001.

Vassalos, D. Christiansen, G. Kim, H.S. Bole, M. & Majumder, J., 2002. Evacuability of Passenger Ships at Sea, *Safety at Sea and Marine Equipment Exhibition (SASMEX)*.

