

# 장애물 회피에 페널티 보행 속도 알고리즘을 적용한 여객선 승객 탈출 시뮬레이션

박광필<sup>1</sup> · 하 솔<sup>2†</sup> · 조윤옥<sup>2</sup> · 이규열<sup>3</sup>

## Advanced Evacuation Analysis for Passenger Ship Using Penalty Walking Velocity Algorithm for Obstacle Avoid

Kwang-Phil Park · Sol Ha · Yoon-Ok Cho · Kyu-Yeul Lee

### ABSTRACT

In this paper, advanced evacuation analysis simulation on a passenger ship is performed. Velocity based model has been implemented and used to calculate the movement of the individual passengers under the evacuation situation. The age and gender of each passenger are considered as the factors of walking speed. Flocking algorithm is applied for the passenger's group behavior. Penalty walking velocity is introduced to avoid collision between the passengers and obstacles, and to prevent the position overlap among passengers. Application of flocking algorithm and penalty walking velocity to evacuation simulation is verified through implementation of the 11 test problems in IMO (International Maritime Organization) MSC (Maritime Safety Committee) Circulation 1238.

**Key words** : Evacuation analysis, Velocity based model, Penalty walking velocity, Flocking algorithm

### 요약

본 논문에서는 여객선의 승객 비상 탈출 시뮬레이션을 구현하였다. 승객의 행동에 미치는 요인 중 연령, 성별을 고려하여 승객 개인의 보행 속도에 반영하는 속도 기반 모델을 사용하였다. 승객들의 집단 이동을 구현하기 위해 플로킹 알고리즘을 적용하였다. 장애물과의 충돌 회피 및 승객 간의 위치가 겹치는 현상을 방지하기 위해 페널티 보행 속도를 도입하였다. 이 알고리즘을 이용하여 여객선의 승객 탈출 규정인 IMO (International Maritime Organization) MSC (Maritime Safety Committee) Circ.1238에서 정의한 11가지 시험 문제에 적용하였다. 시험 문제를 통해 승객의 위치가 겹치는 현상이 없이 시뮬레이션 되는 것을 확인하였다.

**주요어** : 탈출 분석, 속도 기반 모델, 페널티 보행 속도, 플로킹 알고리즘

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경

1994년 9월 북유럽에서 여객선인 Estonia가 침몰하여 852명이 사망하는 사건이 발생하였다. 이를 계기로 국제

해사 기구(IMO : International Maritime Organization) 해상 안전 위원회(MSC : Maritime Safety Committee)에서 승객탈출분석을 위한 지침(guideline)을 제시하고 있으며, 2007년 발효된 “신규 및 기존 여객선의 탈출 분석에 관한 지침”(IMO MSC/Circ.1238, guidelines on evacuation analysis for new and existing passenger ships)이 가장 최신 지침이다(IMO, 2007).

비상 상황에서 탈출 경로를 따라 승객이 탈출하는데 걸리는 시간을 계산하고, 승객의 병목 현상을 확인하여 제거하는 것이 IMO MSC/Circ.1238의 목적이다. 첫째로 약산식을 통한 계산 방법을 제공하고 있기는 하지만 이는 승객 개인의 특성을 고려하지 못하므로 현실과는 많은 차

접수일(2010년 3월 19일), 심사일(1차 : 2010년 9월 14일, 2차 : 2010년 12월 7일), 게재 확정일(2010년 12월 9일)

<sup>1)</sup> 대우조선해양(주) 선박해양연구소

<sup>2)</sup> 서울대학교 조선해양공학과

<sup>3)</sup> 서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템 연구소

주 저자 : 박광필

교신저자 : 하솔

E-mail: kppark@dsme.co.kr

이가 있다. 따라서 두 번째로 승객 개인의 특성을 고려한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 탈출 시간을 계산하는 방법을 인정하고 있다. 규모가 큰 크루즈선의 경우에 승객 개인의 특성을 고려하여 탈출 경로를 따라 탈출 시간을 계산하는 것은 많은 계산을 필요로 한다. 따라서 개인의 특성을 고려한 탈출 시간 계산을 위해서는 컴퓨터 시뮬레이션(computer-based simulation)이 필수적이다.

개인의 특성을 고려한 시뮬레이션을 위해서는 탈출 상황에서 승객의 보행 속도(walking speed)에 영향을 미치는 여러 요인들을 파악하여 승객 행동 모델을 구성 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 속도 기반 모델(velocity based model)을 바탕으로 탈출 상황에서 승객의 행동 모델을 구현하였다. 페널티 보행 속도(penalty walking velocity)를 이용하여 장애물을 회피하도록 하였고 플로킹 알고리즘(flocking algorithm)을 이용하여 승객의 집단 행동을 표현하였다. 이 때 승객 간의 위치가 겹치는 현상을 방지하기 위해 플로킹 알고리즘에 페널티 보행 속도 개념을 적용하였다. 또한 IMO MSC/Circ.1238 Annex 3에 있는 시험 문제(test problem)를 이용하여 프로그램을 검증 하였다.

본 논문의 2장은 승객 행동 모델에 관련된 연구 현황을 소개 한다. 3장에서는 승객 탈출의 과정을 설명하고 승객 탈출 분석에 대한 규정(IMO, 2007; SOLAS, 2000)을 분석한다. 4장에서는 본 논문에서 구성한 탈출 시 승객 행동 모델에 대해 설명한다. 5장에서는 탈출 상황에서의 승객의 집단행동에 대해 설명한다. 6장에서는 구현된 시뮬레이션 프로그램을 검증하는 시험 문제 구현 결과를 보이고, 7장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해서 언급한다.

## 2. 관련 연구 현황

비상 상황에서 인명 탈출 분석을 위한 많은 시뮬레이션 프로그램들은 건물에서의 화재를 대상으로 한 것이 주를 이루고 있으며(Tomomatsu 등, 2001), Fujioka 등(2001)은 Tsunami에 대한 탈출 분석 시뮬레이션을 하였고, 선박에 대한 대피 시뮬레이션은 2000년 초반부터 개발되었다. 탈출 분석 프로그램의 핵심은 승객의 행동을 표현하는 행동모델인데(김홍태 등, 2001), 승객의 행동은 “보행 속도”로 표현 할 수 있다. 보행 속도에 영향을 미치는 요인은 다음과 같이 여러 가지가 있다.

$$V_{walking} = V_{walking}(age, gender, body size, weight, fire, flooding, obstacle, \dots)$$

승객의 보행 속도에 영향을 미치는 요인들을 고려해 주는 방법에 따라 속도 기반 모델과 가속도 기반 모델(acceleration based model)로 구분할 수 있다.

Galea 등(1994)과 Gwynne 등(2003)은 속도 기반 모델을 사용하여 maritime EXODUS라는 탈출 분석 프로그램을 개발하였다. Galea는 공간을 격자로 표현하고, 승객의 기본 보행은 공간상에 목적지로부터의 거리를 나타내는 포텐셜이 낮은 방향을 따라 이동하는 것으로 표현하였다. 승객간의 상호작용은 인접한 격자가 비어있는지에 대한 여부와 경험적인 규칙 및 확률에 기반을 두어 보행 속도에 직접 반영하였다. Schreckenberg 등(2001)도 Galea와 유사한 방법으로 승객의 행동을 표현하여 ANEAS라는 탈출 분석 프로그램을 개발 하였다.

Vassalos 등(2001)과 Majumder 등(2004)도 역시 속도 기반 모델을 사용하여 Evi라는 탈출 분석 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. Vassalos가 사용한 속도 기반 모델은 공간을 연속적인 좌표계로 표현하였으며, 승객간의 상호작용은 자신을 기준으로 한 공간상의 승객 밀도에 따른 감소 계수로 고려하였다. 그리고 장애물과의 상호 작용은 경험적인 규칙에 따라 감소 계수로, 선박의 운동이나 화제에 의한 영향 또한 실험 결과를 바탕으로 한 감소 계수로 곱해주어 표현하였다.

Helbing 등(2000, 2002)은 뉴턴의 운동방정식을 기반으로 하는 가속도 기반 모델을 제안 하였다. Helbing은 인체에 작용하는 물리적인 힘 뿐만 아니라, 심리적인 영향도 외력으로 고려하였다. 이렇게 운동 방정식에서 얻은 가속도를 한번 적분하여, 보행 속도를 얻는다. Korhone 등(2009)은 Helbing의 모델을 적용하여 FDS+Evac이라는 탈출 분석 프로그램을 개발 하였다. FDS+Evac은 공간을 연속적인 좌표계로 표현하였다. 승객간의 상호작용 및 장애물과의 상호작용은 운동방정식의 외력의 형태로 심리적인 영향 및 물리적 영향을 고려하였다. 국내에서도 박광필 등(2010)이 가속도 기반 모델을 제안하였다. 또한 김홍태 등(2001)과 공인영 등(2001, 2002)등은 가속도 기반 모델을 이용하여 IMEX라는 탈출 분석 프로그램을 개발 하였다. 하지만 2003년 이후로는 개발이 이루어지지 않아서 2007년 발효된 IMO MSC/Circ.1238에서 개정된 내용은 적용되지 않았다. 위 관련 연구 현황 중, 국내 연구현황을 제외한 주요 연구 현황을 Kuligowski 등(2005)과 Sharp 등(2003)을 참고하여 표 1에 정리하였다.

본 논문에서는 Evi와 같은 속도 기반 모델에 공간을 연속적인 좌표계 상에 표현하고 있다. 하지만 장애물을 페널티 보행 속도를 이용하여 회피하도록 하였고, 승객간의

표 1. 승객 탈출 시뮬레이션 프로그램 비교

탈출분석 시뮬레이션 프로그램	본 논문	maritime EXODUS	Evi.	FDS+Evac
승객행동 모델	Velocity based model	Velocity based model	Velocity based model	Acceleration based model
공간표현 방식	Continuous	Fine	Continuous	Continuous
탈출객체 동적모델링	Inter-person distance (Flocking algorithm)	Potential, Emptiness of next grid cell	Density correlation	Functional analogy
장애물 고려방법	Penalty Velocity	Potential	Heuristic Algorithm	People-wall interaction force

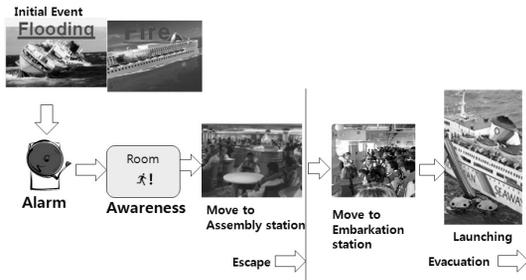


그림 1. 여객선 승객 탈출 과정

집단행동을 플로킹 알고리즘을 통해 수식적으로 고려하였다. 그리고 승객간에 위치가 겹치는 현상을 방지하기 위해 플로킹 알고리즘에 페널티 보행 속도 개념을 적용한 승객행동 모델을 사용하였다.

### 3. 여객선 승객 탈출 분석 개요

#### 3.1 여객선 승객 탈출 과정

여객선에서 승객이 탈출하는 과정은 그림 1과 같이 여러 단계를 거쳐 이루어진다. 침수(flooding)이나 화재 같은 비상 상황이 발생하면, 선내에 비상 알람이 울리게 된다. 비상 상황을 인지(awareness)한 승객들은 집합 장소(assembly station)로 이동한다. 선장의 퇴선 명령이 있을 경우, 승객들은 구명정 탑승 대기 장소인 승정 장소(embarkation station)로 이동한다. 구명정에 탑승한 다음, 구명정을 진수(launching)하여 탈출을 완료한다(IMO, 2007).

이 중에서 집합 장소까지 집합 하는 과정을 대피(escape)

라고 하고, 구명정 진수하여 탈출까지 완료하는 것을 탈출(evacuation)이라 한다.

승객 탈출 분석은 위의 탈출 과정의 두 단계에 따라 크게 대피 설비 분석(means of escape analysis)와 탈출 분석(evacuation analysis) 두 가지 단계로 이루어진다.

#### 3.2 관련 규정 분석

대피 설비 분석은 해상인명안전조약 (SOLAS, International convention for the Safety Of Life At Sea, 2000) 규정에 따라 탈출 경로에 있는 문(door)와 계단(stairway)의 최소 요구 폭을 계산한다. 탈출 분석은 탈출 시간을 계산하여, 최대 허용 탈출시간을 만족하는지 확인한다. 또한 혼잡 구역(congestion point)을 찾아서 제거한다.

대피 설비에 관한 국제 규정은 해양인명안전조약 II-2/규정 13 “대피 설비”(SOLAS 2000, SOLAS II-2/Circ.13 “Means of Escape”)와 화재안전장치 코드 c-2/13 “대피 설비 배치”(FSS (Fire Safety System) code c-2/13 “Arrangement of means of escape”)이며, 탈출 분석에 대한 규정은 IMO MSC/Circ.1238 “신규 및 기존 여객선의 탈출 분석에 관한 지침”이 대표적이다.

IMO MSC/Circ.1238에서 제시하고 있는 탈출 분석 방법은 계산 방법에 따라 다음의 두 가지가 있다.

- Simplified Evacuation Analysis
- Advanced Evacuation Analysis

두 가지 방법 모두 아래의 탈출 시간 계산 식인 식 (1)에 따라 탈출 시간을 계산하고, 혼잡 구역을 확인하는 측면에서는 동일하지만, 그 계산 방법에서 차이가 있다.

탈출 시간 계산 식 :

$$1.25 \cdot T + 2/3(E + L) \leq n \tag{1}$$

식 (1)의 T는 위기 상황 발생시에 승객이 위험을 인지하고 자신이 있던 위치에서 집합 장소까지 이동하는데 걸리는 이동 시간(travel time)이다. E는 구명정 탑승 대기 장소까지 이동 시간이며 L은 구명정 진수에 걸리는 시간이다. n은 전체 탈출 허용시간으로 60분에서 80분 이내일 것을 요구하고 있다. 1.25는 다음의 영향들을 고려하지 않기 때문에 도입한 안전계수(safety factor)이다.

- 승무원 및 승객의 돌발 행동
- 연기, 열, 유독가스가 승객의 이동 속도에 미치는 영향
- 선박 운동과 침수에 의한 영향
- 가족 집단행동

Simplified evacuation analysis과 Advanced evacuation

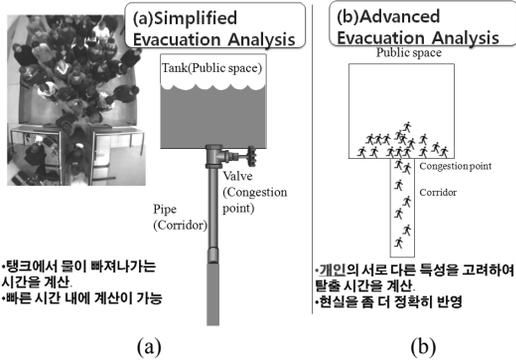


그림 2. Simplified evacuation analysis과 advanced evacuation analysis의 비교

analysis에서 차이가 있는 부분이 이동 시간 T의 계산 방법이다.

Simplified evacuation analysis은 그림 2(a)와 같이 사람의 이동을 유체의 흐름으로 가정한 식을 이용하여 이동 시간 T를 1회만 계산한다. 따라서 초기단계에서 빠르게 탈출 성능의 예측 및 배치 수정을 통한 대피 성능의 확보가 가능하다. 하지만 복잡한 현실을 정확히 반영하지 못하는 단점이 있다. 반면에 advanced evacuation analysis는 그림 2(b)와 같이 승객들의 서로 다른 특성을 고려하여 이동시간 T를 계산한다. 승객의 특성은 정형화된 특성을 가지고 있지 않으므로, 통계적 방법을 이용하여 동일 탈출 시나리오에 대해서 적어도 50회 이상의 반복 계산을 수행한다.

## 4. 탈출 상황에서의 승객 행동 모델

### 4.1 탈출 상황에서의 승객 개인의 행동 특성

현실적인 탈출 시간을 계산하기 위해서 승객의 행동을 정확히 분석 하는 것이 중요하다. 탈출 시에는 승객의 연령, 성별, 체중, 신체 사이즈, 침착성, 민첩성, 가족 동반 여부와 같은 승객의 개인적인 특성뿐만 아니라, 선박의 경사(static inclination) 및 운동(ship motion), 침수(flooding), 화재(fire), 연기(smoke), 그리고 이러한 상황으로 인한 공황(panic)상태 등 여러 가지 복잡한 요인들이 승객의 행동에 영향을 미친다. 이러한 다양한 요소의 영향을 받는 탈출 시 승객의 행동 특성(이강훈, 1997) 중에서 본 논문에서는 다음의 행동을 고려하였다.

#### ① 지름길 선택:

가장 가까운 거리를 택하여 탈출 하려는 성향

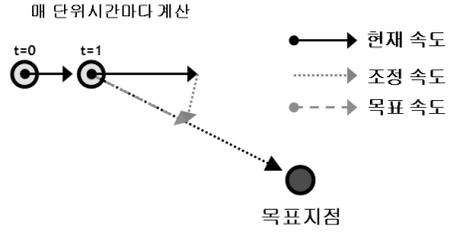


그림 3. 목표 지점으로 이동

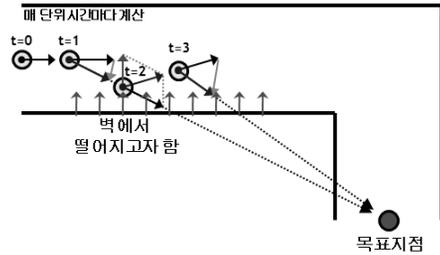


그림 4. 장애물 회피

#### ② 직진 지속성:

정면의 계단과 통로를 선택하거나 막다른 곳이 나올 때 까지 직진하는 경향

#### ③ 장애물 회피:

장애물이 있으면 돌아서 가는 경향

본 논문에서는 속도 기반 모델을 기반으로 탈출 승객의 연령, 성별에 따라 보행속도를 다르게 고려하였다. 목표 지점 이동은 지름길 선택과 직진 지속성을 고려하여 결정 하였다. 장애물 회피는 장애물에서 떨어진 거리에 반비례하는 페널티 보행 속도를 적용 하였다.

### 4.2 목표 지점 이동

승객이 목표 지점으로 이동 중에 현재 이동 방향이 목표하는 방향과 다르다면 방향을 수정해 주어야 한다. 이는 그림 3과 같이 현재 속도(current velocity) 벡터와 목표 속도(desired velocity) 벡터의 차이에 해당하는 조정 속도(steering velocity) 벡터를 도입하여 현재 속도에 더해 주어 해결 하였다.

### 4.3 장애물 회피

그림 4와 같이 이동 경로에 벽과 같은 장애물이 있을 경우 식(2)와 같이 장애물 표면에 법선 방향으로 거리에 반비례 하는 페널티 보행 속도를 부과함으로써 장애물에 가까이 다가가는 것을 방지 하였다.

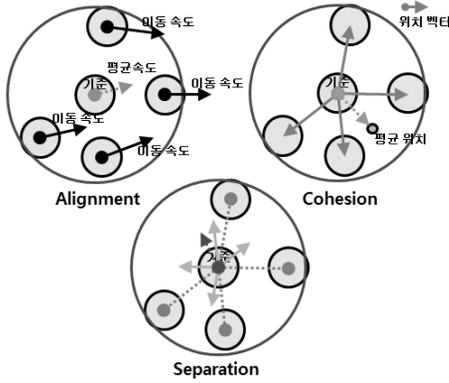
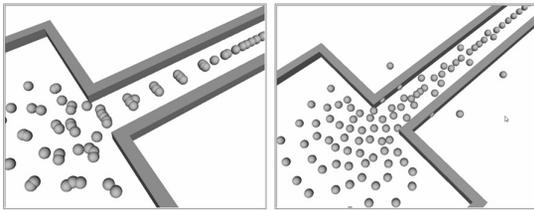


그림 5. 플로킹 알고리즘



(a) 목적지를 향하는 속도만 적용한 경우 (b) 목적지를 향하는 속도와 플로킹 알고리즘을 적용한 경우

그림 6. 페널티 보행 속도 적용 여부에 따른 구현 결과

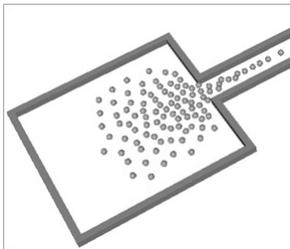


그림 7. 목적지를 향하는 속도, 플로킹 알고리즘, 벽에 대한 페널티 보행 속도를 적용한 경우의 구현 결과

$$V_{wall}(r) = \frac{1}{r} \vec{n} \quad (2)$$

$r$  : 장애물에서 떨어진 거리  
 $\vec{n}$  : 장애물 표면의 법선 벡터

### 5. 탈출 상황에서 승객의 집단행동

탈출 상황에서 승객 개인의 행동은 4장에서 설명 하였

다. 탈출 상황에서는 여러 사람이 함께 탈출을 하게 되는데, 이때 사람들은 주변 사람들의 행동을 따르는 집단행동을 한다(Helbing, 2000). 이러한 집단행동을 모델링 하기 위해서 플로킹 알고리즘(Reynold, 1987; Hartman 등, 2006)을 이용하였다.

플로킹 알고리즘은 그림 5와 같이 다음 세 가지 알고리즘으로 구성된다.

- 정렬(Alignment) : 주변 개체들의 평균 속도에 맞추어 이동하려는 성질
- 응집(Cohesion) : 주변 개체들의 평균 위치로 이동하려는 성질
- 분리(Separation) : 주변 개체들과 거리를 유지하려는 성질

분리에 의한 속도는 장애물에 적용한 페널티 보행 속도와 동일한 개념으로 승객간의 거리에 반비례 하는 페널티 보행 속도를 적용하였다.

위의 세 가지 알고리즘을 이용하여 승객의 집단행동을 구현하였다. 목적지를 향하는 속도만 적용하고, 플로킹 알고리즘을 적용하지 않으면 그림 6(a)와 같이 승객들이 겹쳐지는 현상이 나타난다. 플로킹 알고리즘을 적용하면, 그림 6(b)와 같이 승객들이 간격을 유지하며 이동하지만, 승객간 거리를 유지하기 위한 상호작용 때문에, 벽을 통과하는 현상이 나타난다. 본 논문에서는 위와 같은 현상을 방지하기 위하여 장애물에 대해 페널티 보행 속도 개념을 적용하여 이러한 현상이 발생하지 않도록 하였다. 장애물에 의한 페널티 보행 속도를 추가로 적용하면, 그림 7과 같이 승객이 서로 겹치거나 벽을 통과하지 않고 이동한다. 이 결과로 플로킹 알고리즘과 페널티 보행 속도를 고려한 것이 승객의 탈출 행동을 자연스럽게 표현하는 것을 알 수 있다.

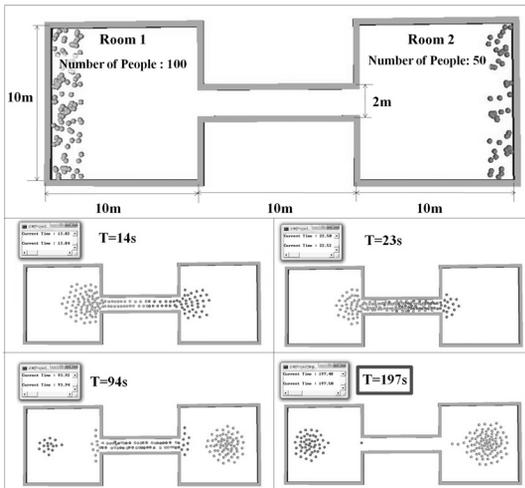
### 6. 예제 구현 및 결과 분석

국제해사기구는 IMO MSC/Circ.1238 Annex 3 탈출 시뮬레이션 도구의 검증을 위한 지침 (guidance on validation/verification of evacuation simulation tools)을 발표하여 소프트웨어를 테스트 할 수 있도록 하였다. Annex 3에 있는 탈출 소프트웨어 검증은 크게 2가지 항목으로 분류되는 11가지의 구체적인 시험 문제들로 구성되어 있다.

2가지 항목은 소프트웨어의 여러 가지 요소들이 의도한 대로 실행되는 지를 점검하는 구성요소 시험(component testing), 주어진 상황에 대해 예상되는 인간 행동 특성이 나타나는지 시험하는 정성적 검증 (qualitative verifi-

**표 2.** IMO MSC/Circ.1238의 탈출 분석 소프트웨어 검증 항목

Component testing	
Test 1	Maintain set walking speed in corridor
Test 2	Maintain set walking speed up staircase
Test 3	Maintain set walking speed down staircase
Test 4	Exit flow rate
Test 5	Response time
Test 6	Rounding corners
Test 7	Assignment of population demographic parameters
Qualitative verification	
Test 8	Counterflow - two rooms connected via a corridor
Test 9	Exit flow : crowd dissipation from a large public room
Test 10	Exit tour allocation
Test 11	Staircase



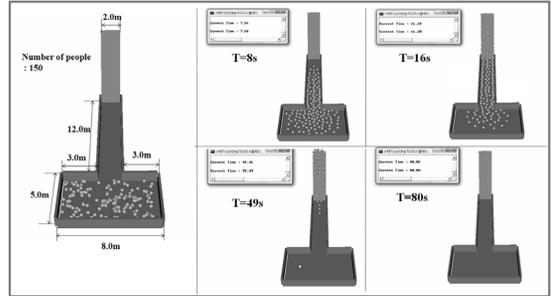
**그림 8.** 시험 문제 8 - 방 2에 50명의 승객을 배치한 경우

ation)이 있다. 11가지 구체적인 시험들 중 1번~7번 시험 문제는 구성요소 시험에 포함되고, 8~11번 시험 문제는 정성적 검증에 포함되며, 각 시험 문제의 구체적인 내용은 다음 표 2와 같다.

본 논문에서 제안한 모델을 11가지 시험 문제에 대해 구현하고, 각 시험 문제의 요구조건을 모두 만족하는 것을 확인하였다. 이를 보여주기 위해 구성요소 시험 문제들 보다 다소 복잡한 정성적 문제들 중에서 시험 문제 8과 시험 문제 11에 대하여 구현 및 분석한 내용을 6장에 소개한다.

**표 3.** 방 2의 승객 수에 다른 탈출 시간의 변화

방 2의 승객 수(명)	0	10	50	100
총 탈출 시간(sec)	69	123	197	245



**그림 9.** 시험 문제 11 - 계단에 대한 경우

### 6.1 시험 문제 8의 구현 및 분석

본 시험 문제 8은 승객들 간에 서로 반대 방향으로 이동하여도 겹치거나 벽을 통과하지 않고 잘 이동할 수 있는지와 반대 방향으로 이동하는 승객이 늘어날수록 총 탈출 시간이 늘어나는 것을 확인하는 것이 목적이다.

그림 8과 같이 10m×10m인 두 방이 10m×2m의 복도로 서로 연결 되어 있을 때, IMO MSC/Circ.1238의 표 3.4에 주어진 30~50세의 남성에게 해당하는 보행속도를 100명에 대해 분포 시킨다.

단계 1) 방 1에 100명의 승객을 분포 시킨 후 방 2로 이동시킬 때 걸리는 통과 시간을 기록한다.

단계 2) 방 2에 10명, 50명, 100명으로 늘려 가면서, 방 2에서 방 1으로 이동하게 한 후 단계1을 반복한다. 이때 역류하는 승객이 많아질수록 기록되는 총 탈출 시간도 증가해야 한다.

방 2의 승객 수가 늘어날수록 총 탈출 시간도 늘어났으므로, 시험 문제의 목적을 달성 하였고, 승객이 벽을 통과 하거나 승객 간에 겹치는 현상이 발생하지 않는 것을 확인 하였다.

### 6.2 시험 문제 11의 구현 및 분석

다음 그림 9와 같이 복도를 지나 계단으로 연결되는 방이 있다. 방에 150명의 승객을 분포 시키고, 계단을 향해 이동하도록 하였을 때, 방의 출구와, 계단의 입구에서 혼잡 구간이 발생 하는 것을 확인하는 문제이다.

그림 9에서 보는 것과 같이 방 출구와 계단 입구에서 혼잡 구간이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 승객이

벽을 통과하거나, 승객끼리 겹치지 않는 것을 확인 하였다.

## 7. 결론 및 향후 연구 계획

본 연구에서는 속도 기반 모델을 기반으로 탈출 상황에서 승객의 행동 모델을 구현하였다. 공간을 연속적인 좌표를 통하여서 표현 하였으며, 페널티 보행 속도를 이용하여 장애물을 회피하도록 하였다. 승객간의 집단행동을 플로킹 알고리즘을 이용하여 표현하였고, 기존의 속도 기반 모델과 같이 승객간의 상호작용을 승객 주위의 승객 밀도나 승객간의 거리에 따라 보행 속도에 감소 계수로 고려하는 방법 대신에, 플로킹 알고리즘에 페널티 속도 개념을 동일하게 적용하여 승객간의 상호작용을 고려하였다. 이러한 알고리즘을 시험 문제에 적용하여 승객 간의 위치가 겹치거나 벽을 통과하는 현상 없이 승객들이 이동하는 것을 확인하였으며, 국제해사기구 요구하는 승객 탈출 시뮬레이션 도구의 검증을 위한 시험 문제의 요건을 만족 하는 것을 확인하였다.

현재까지는 국제 해사 기구에서 요구하는 시험 문제에 적용을 하였지만, 추후에는 실제 선박의 전체 구획에 대한 탈출 과정에 대한 시뮬레이션 및 검증이 필요하며, 선박의 경사 및 화재에 의한 영향 등을 추가적으로 고려 할 것이다.

그리고 화재 및 침수와 같은 위험 상황에서는 승객은 극심한 공포나 두려움으로 인해, 일반적인 행동 이외에 특이한 행동을 취하는 경우도 발생할 수 있다. 승객들은 이런 위험 상황에서 행동 특성을 반영하기 위해 패닉 모델(panic model)등도 고려할 예정이다. 또한 승객을 단순한 구의 형태로 표현하였던 것을, 승객의 실제 형상에 가깝도록 표현하도록 고려하며, 승객의 이동을 현실적으로 표현하기 위해 승객의 회전 자세 등도 고려할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 a) 대우조선해양(주) b) 서울대학교 해양시스템공학 연구소 c) 서울대학교 BK 21 해양기술인력양성사업단 d) 지식경제부 산업원천기술개발사업(10035331, 시뮬레이션 기반의 선박 및 해양플랜트 생산기술 개발) e) 국방과학연구소 수중운동체기술특화센터 SM-11 과제 “수중 운동체의 체계/부체계 기능 및 성능 시뮬레이션을 위한 네트워크 기반의 가상 복합 시스템 모델 구조 연구” f) 한국학술진흥재단(KRF-2008-314-D00494)의 지원을 받아 연구되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 공인영 외, “해양 위해도 저감 핵심기술 개발(II), 인적요소를 고려한 탈출분석 기법 개발,” 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구보고서, 2001년 12월.
2. 공인영 외, “해양 위해도 저감 핵심기술 개발(III), 인적요소를 고려한 탈출분석 기법 개발” 한국 해양연구원 해양시스템안전연구소 연구보고서, 2002년 12월.
3. 김홍태, 이동곤, 박진형, “인적요소를 고려한 선상 탈출 시뮬레이션 기술,” *한국시뮬레이션학회 2001년 춘계학술대회 논문집*, pp. 135-140, 2001년.
4. 박광필, 조윤옥, 하솔, 이규열, “평면상 승객의 회전 자세를 고려한 가속도 기반의 승객 탈출 분석 시뮬레이션,” *한국 CAD/CAM학회 논문집*, 15(4), pp. 306-313, 2010년 8월.
5. 이강훈, 인간 행동패턴에 대한 관찰과 피난로 설계에의 적용방법에 관한 연구(A study on human behavioural patterns in building fires and application of theirs to the designing of escape routes), *대한건축학회 논문집*, 13(7), pp. 83-92, 1997년.
6. M. Fujioka, K. Ishibashi, H. Kaji, and I. Tsukagoshi, “A multi-agent based simulation model for evacuees escaping from tsunami disaster”, *한국시뮬레이션학회 2001년 추계 학술대회논문집*, pp. 306-312, 2001년.
7. E.R. Galea, and J.M. Perez Galparsoro, “A computer - based simulation model for the prediction of evacuation from mass-transport vehicles,” *Fire Safety Journal*, vol. 22, pp. 341-366, 1994.
8. S. Gwynne, E.R. Galea, C. Lyster, and I. Glen, “Analysing the evacuation procedures employed on a thames passenger boat using the maritimeEXODUS evacuation model,” *Fire Technology*, vol. 39, pp. 225-246, 2003.
9. C. Hartman and B. Benes, “Autonomous boids,” *Computer Animation and Virtual worlds*, vol. 17, pp. 199, 2006.
10. D. Helbing, I. Farkas, and T. Vicsek, “Simulating dynamical features of escape panic,” *Nature*, vol. 407, pp. 487-490, 2000.
11. D. Helbing, I. Farkas, P. Molnar, and T. Vicsek, “Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations,” *Pedestrian and evacuation dynamics*, pp. 21-58, 2002.
12. IMO, “Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ship,” *IMO MSC/Circ.1238*, 2007.
13. T. Korhonen, and S. Hostikka, “Fire dynamics simulator with evacuation FDS+Evac : Technical reference and user’s guide,” VTT Technical Research Centre of Finland, 2009.
14. E. Kuligowski, and R. Peacock, “A review of building evacuation models,” *NIST TN*, vol. 1471, 2005.

15. L. Guarin, J. Majumder, V. Shigunov, G. Vassalos, and D. Vassalos, "Fire and flooding risk assessment in ship design for ease of evacuation," *2nd International Conference on Design for Safety*, 2004.
16. J. Park, H. Kim, D. Lee, J. Lee, and B. Park, "Simulation-based evacuation analysis on a high speed coastal passenger ship," *한국시뮬레이션학회 2001년 추계학술대 논문집*, pp. 444-449, 2001.
17. J. Park, H. Kim, H. Whang, and D. Lee, "Development of an agent-based behavior module for evacuation models focused on the behaviors in the dark," *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, pp. 347-356, 2007.
18. C.W. Reynolds, "Flocks, herds and schools; A distributed behavioral model," *SIGGRAPH '87 Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 21(4), pp. 25-34, 1987.
19. D. Sharp, S. Gwynne, and E.R. Galea, "Maritime and coastguard agency, research project 490 Phase 1, *The effect of ship motion on the evacuation process task 3.1b, Critical review on model of evacuation analysis*," 2003.
20. M. Schreckenberg, T. Meyer-Konig, and H. Klupfel, "Simulating mustering and evacuation processes onboard passenger vessels; model and applications," *International Symposium on Human Factors On Board*, 2001.
21. SOLAS II-2/Regulation 13, "Means of escape", 2000.
22. K. Tomomatsu, S. Uehara, and K. Nakano, "Evacuation simulation system applied to the conventional hall and the hospital," *한국시뮬레이션학회 2001년 추계학술대 논문집*, pp. 380-386, 2001.
23. D. Vassalos, H. Kim, G. Christiansen, and J. Majumder, "A mesoscopic model for passenger evacuation in a virtual ship-sea environment and performance based evaluation," *Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics*. 2001.



**박 광 필** (kppark@dsme.co.kr)

1997 서울대학교 조선해양공학과 학사  
1999 서울대학교 조선해양공학과 석사  
1999~현재 대우조선해양 선박해양연구소

관심분야 : 모델링 & 시뮬레이션, 탄성학, 다물체계 동역학



**하 솔** (hasol81@snu.ac.kr)

2003 서울대학교 조선해양공학과 학사  
2003~현재 서울대학교 조선해양공학과 석박사통합과정

관심분야 : 모델링 & 시뮬레이션, 수중운동체(잠수함, 어뢰)



**조 윤 옥** (yocho00@snu.ac.kr)

2006 부산대학교 조선해양공학과 학사  
2006~2009 대우조선해양 해양특수선구조설계팀 대리  
2009~현재 서울대학교 조선해양공학과 석사과정

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 탄성학



**이 규 열** (kylee@snu.ac.kr)

1971 서울대학교 공과대학 조선공학과 학사  
1975 독일 하노버 공과대학 조선공학 석사(Dipl.-Ing.)  
1982 독일 하노버 공과대학 조선공학 박사(Dr.-Ing.)  
1994~2000 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 부교수  
2000~현재 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 교수

관심분야 : 최적 선박 설계, 형상 모델링, 모델링 & 시뮬레이션, Dynamics & Control