

여객선 승객 탈출 시뮬레이션 개요

Simulation of Evacuation Analysis in a Passenger Ship



하 슬*

*서울대학교 공학연구소 연수연구원

1. 서론

1912년 4월 1일, 대서양을 횡단하여 항해하던 세계 최대의 여객선 타이타닉호가 침몰하는 사고가 발생하였다. 길이 270m, 너비 28m, 높이 30m, 그리고 GT 46,000ton에 달하는 타이타닉호가 침몰할 것이라고는 누구도 상상하지 못하였다. 특히 당시 탑승한 승객의 수에 비해 탈출 수단의 수가 턱없이 부족하였으며 이로 인해 피해가 더욱 가중되었다. 타이타닉호의 참사로 인해 해상에서의 인명 안전(SOLAS, Safety Of Life At Sea)에 관한 국제 회의가 결성되었으며 관련 협약이 오늘날까지 지속되고 있다. SOLAS에서는 비상 시 승객의 탈출 수단에 대한 규정을 제시하고 있다. 또한 1994년 9월 북유럽에서 Ro-Ro(Roll on/Roll off) passenger ship인 Estonia가 침몰하여 852명이 사망하는 사건이 발생하였다. 이 사건을 계기로 IMO MSC에서 승객 탈출 분석에 대한 논의를 시작하였으며, 1999년 승객 탈출 분석을 위한 guideline을 제시하였다. 현재 선급에서 제시되는 최신의 guideline은 2007년에 발효된 MSC/Circ.1238 guidelines on evacuation analysis for new and existing passenger ships이다. 여객선은 모두 SOLAS와 IMO의 규정을 만족해야 하며, 승객 탈출 시뮬레이션과 관련하여 SOLAS 규정에 따라 “Means of Escape Analysis”를 수행하여야 하고, IMO Circ.1238에 따라 “Evacuation Analysis”를 수행해야 한다. 관련

규정을 정리하면 Figure 1과 같으며, 2007년 발효된 ‘Guidelines on Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships’(이하 IMO MSC/Circ.1238)이 가장 최신 가이드라인이다(IMO, 2007).

비상 상황에서 탈출 경로를 따라 승객이 탈출하는데 걸리는 시간을 계산하고, 승객의 병목 현상을 확인하여 제거하는 것이 IMO MSC/Circ.1238의 목적이다. 관련 규정에서는 약산식을 이용한 계산 방법(simplified evacuation analysis)을 제공하고 있으며, 이를 필수적으로 만족하도록 규정하고 있다. 하지만 이 방법은 승객 개인의 특성을 고려하지 못하므로 현실과는 많은 차이가 있으며, 이에 두 번째 방법으로 승객 개인의 특성을 고려한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 탈출 시간을 계산하는 방법(advanced evacuation analysis)

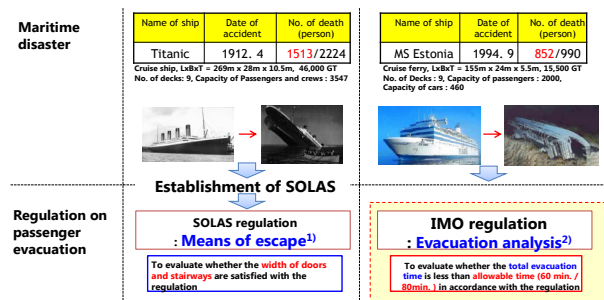


Figure 1 Establishment of regulations on passenger evacuation

도 제안하고 있다. 규모가 큰 크루즈선의 경우에 승객 개개의 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. 본 글에서는 여객선 승객 탈출 시뮬레이션의 개요와 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 여객선 승객 탈출 시뮬레이션에 대해서 간략히 소개한다.

2. 여객선 승객 탈출 시뮬레이션 개요

2.1 여객선에서의 승객 탈출 과정

IMO MSC Circ. 1238에 규정된 승객 탈출 과정은 Figure 2와 같이 여러 단계를 거쳐 이루어진다. 승객의 탈출 과정에서 집합 장소까지 집합하는 과정을 대피(escape)라고 하고, 구명정 진수까지 완료 하는 것을 탈출(evacuation)이라 한다. 침수(flooding)나 화재(fire)와 같은 비상 상황이 발생하면 선내에 비상 경보(alarm)가 울린다. 일정 시간 뒤에 비상 상황을 인지한 승객들은 집합 장소(assembly station)로 이동한다. Assembly station부터는 승객들이 승무원의 통제 하에 있다. 선장의 퇴선 명령이 있을 경우, 승객들은 승무원의 지시에 따라 구명정 탑승 대기 장소(embarkation station)로 이동한다. 순서에 따라 구명정에 탑승한 다음 구명정을

진수하여 탈출을 완료한다(Park et al., 2001).

실제 승객의 탈출 과정은 이보다 더 복잡할 수 있다. 예를 들어 구명 조끼는 보통 공간 절약을 위해 각 선실에 위치하며, 승객이 선실에 있지 않았다면 구명 조끼를 입기 위해 다시 객실로 돌아가려 할 것이다. 객실로 돌아가는 승객들은 이미 구명 조끼를 구비한 채 선실에서 나오려는 승객들과 마주치면서 혼란이 발생할 수 있다. 이와 같은 비상 상황에서의 다양한 요인들은 가상의 승객 모델에 해당 내용을 반영하거나 적절한 가정을 통해 승객 탈출 시뮬레이션에 고려하게 된다.

2.2 승객 탈출 분석

승객 탈출 분석은 크게 ‘Means of Escape Analysis’와 ‘Evacuation Analysis’의 두 가지 단계로 나누어진다. Means of escape analysis의 목적은 승객의 탈출 경로 확보이며, evacuation analysis의 목적은 승객의 탈출 시간을 계산하고 혼잡 구간을 파악하여 제거하는 것이다. Means of escape analysis는 전 선종에 대하여 규정하고 있는 필수 항목이며, simplified evacuation analysis는 Ro-Pax 선박에 대해서만 필수로 규정하고 있다. Advanced evacuation analysis는 현재 선급에서 필수로 규정하고 항목은 아니지만, 복잡한 선박의 경우 advanced evacuation analysis를 권장하고 있다.

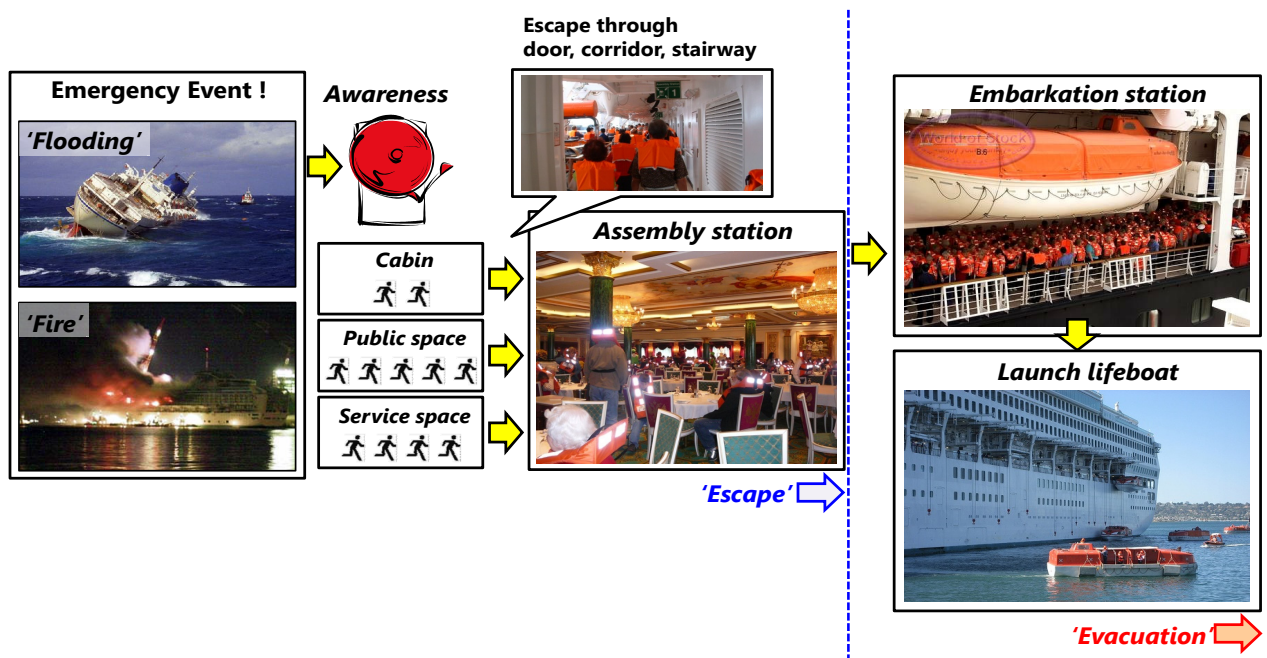


Figure 2 Summary of stages of passenger evacuation

2.2.1 Means of escape

Means of escape의 목적은 evacuation analysis를 수행하기 에 앞서, 적합한 탈출 수단이 확보 되었는지 분석하는 것이다. 적합한 탈출 수단이란 승객이 탈출하는 경로에 있는 문의 폭과 계단 통로의 폭을 의미한다. Means of escape 분석 결과가 규정을 만족하지 못할 경우 규정을 만족하도록 설 계를 변경한다.

예를 들어 Figure 3(a)와 같이 방 안의 사람 수가 많지 않을 때에는 주어진 문의 폭이 1m 이더라도 승객들이 대피하 는데 문제가 없다. 하지만 Figure 3(b)와 같이 방 안의 사람 수가 많을 때에는 주어진 문의 폭이 1m 일 경우 승객들이 빠르게 대피할 수 없다. 또한 좁은 문으로 사람이 몰리게 될 경우 안전 사고가 발생할 수 있다. Means of escape는 위 와 같이 여객선의 사람들이 탈출하기 위해 충분한 통로가 확보되었는가를 분석하는 과정이다. Means of escape 분석 결과 관련 규정에서 요구하는 문 폭을 만족하지 못할 경우 일부 객실을 삭제하거나 문의 폭을 증가시키는 것과 같이 배치 정보를 수정하여 관련 규정을 만족해야 한다.

2.2.2 Evacuation analysis

Evacuation analysis는 means of escape를 통해 확보한 탈 출 수단을 이용하여 승객이 탈출할 때의 탈출 시간을 계산 하고 최대 허용 탈출 시간 이내에 탈출하는지를 확인하며, 탈출 시 밀집 지역(congestion point)이 발생하는지 확인하 는 과정이다. Evacuation analysis에는 승객의 이동을 유체의 흐름처럼 가정한 약산식을 이용하는 ‘Simplified Evacuation Analysis’와 승객 개인의 특성을 고려하여 컴퓨터 시뮬레이션 (computer-based simulation)을 수행하는 ‘Advanced Evacuation Analysis’의 두 가지 방법이 있다. 각각의 특성을 비교하면 Figure 4와 같다.

Simplified evacuation analysis는 모두 동일한 특성을 가지

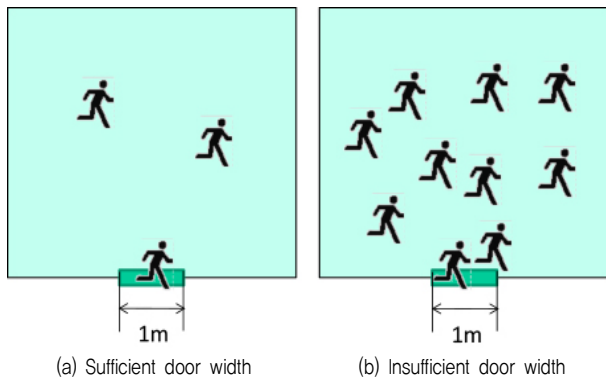


Figure 3 Door width according to the number of people in a room

는 입자로 구성된 유체의 흐름과 같이 승객들이 모두 같은 특성을 가진다고 가정하여 승객의 이동을 고려한다. 초기 설계 단계에서 빠르고 쉽게 피난 성능을 예측하여 구획 배치 에 반영할 수 있도록 단순화한 방법이다. Simplified evacuation analysis는 means of escape에서 정의한 객실, 문, 계단 통로 의 폭(width)과 분포(distribution)는 그대로 사용하며, 여기 에 추가하여 탈출 경로에 생성에 필요한 복도와 탈출 시나 리오(evacuation scenario)를 추가하여 약산식을 이용하여 계 산한다. Simplified evacuation analysis를 수행하면 그 결과로 총 탈출 시간과 탈출 경로 상의 밀집 지역(congestion point)을 얻을 수 있다.

이 때 탈출 시간은 탈출 시간(T: Travel Time), 승선 및 진수 시간(E+L :Embarkation Time)의 식으로 이루어지며 아 래와 같다.

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

$$E + L \leq 30 \text{ min}$$

여기서, A (awareness time)는 여객이 최초 신호(emergency alarm)가 시작된 시간부터 소집 장소로 움직이기 시작할 때 까지 걸리는 시간으로 낮 시간의 경우 5분, 밤 시간의 경우 10분으로 가정한다. T (travel time)는 승객이 현재 위치에서 중간 집결지(assembly station)까지 도착하는데 소요되는 시간을 의미한다. E+L (embarkation & launching time)은 퇴선 신호 명령에 의하여 여객 및 선원이 승정 장소에서 구명정에 승선하고 수면으로 진수하는데 까지 걸리는 시간 을 의미하며 통상적으로 30분 이내로 가정한다. n(calculated evacuation time)은 전체 탈출 소요 시간으로 ro-ro 선의 경 우 60분, 다른 여객선의 경우 90분보다 작은 값을 가져야 한다. 총 탈출 시간을 구성 항목 중 travel time을 제외한 나 머지 항목은 모두 상수로 결정된다. Simplified evacuation analysis의 경우 travel time은 약산식을 이용하여 계산한다.

Simplified evacuation analysis와 비교하여 advanced evacuation

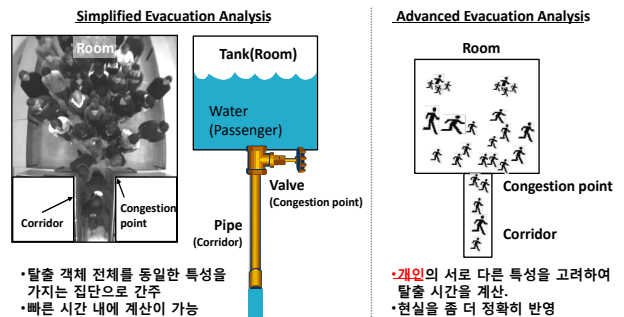


Figure 4 Concept of two evacuation analysis methods

analysis는 탈출 시간 중 awareness time(A)과 traveling time (T)에 대한 정의를 제외한 나머지 부분은 동일하다. Advanced evacuation analysis에서는 이 두 가지를 모두 traveling time 으로 정의한다. 단 advanced evacuation analysis에서는 개인의 특성을 고려한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 탈출 시간을 계산해야 한다. 즉, 승객이 각자 초기 위치에서 중간 집결지 (assembly station)으로 이동하는 시간을 계산하기 위해 승객 마다 각기 다른 특성과 awareness time을 설정한다.

3. 승객 탈출 분석 모델

3.1 관련 연구 현황

3.1.1 승객 탈출 모델

승객이 이동 가능한 영역을 표현하는 방식에 따라 승객 탈출 분석 모델을 continuous 모델, fine network 모델, coarse network 모델의 세 가지로 구분할 수 있다(Kuligowski et al., 2005; Helioevorra, 2007). Continuous 모델에서는 승객의 이동 영역을 연속적인 실수 좌표계로 나타내기 때문에 승객의 위치를 매우 정확하게 나타낼 수 있지만, 계산량이 많고 계산 시간이 오래 걸린다는 한계점이 있다. Fine network 모델에서는 승객의 이동 영역을 이산화된(discrete) 격자 구조의 cell들로 나타내기 때문에 cellular automata 모델이라고 하며, 정형화된 규칙을 모든 cell에 적용시켜 승객을 이동시키기 때문에 계산 시간이 비교적 빠르면서도 어느 정도 정확한 분석을 수행할 수 있다. Coarse network 모델에서는 중요한 지점을 노드로 정의하고 그 사이를 승객이 이동하도록 함으로써, 매우 빠른 계산이 가능하지만 승객의

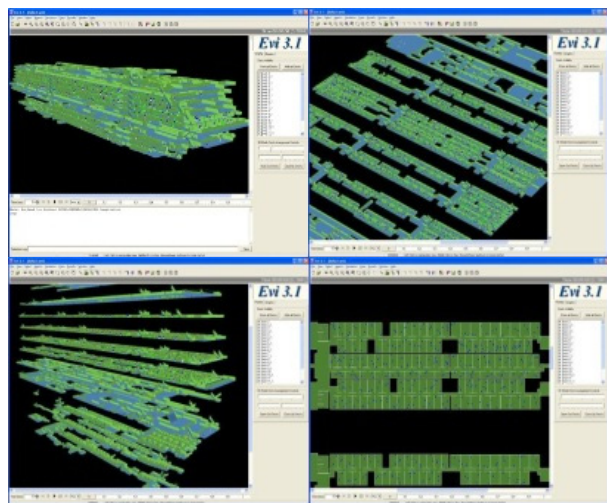


Figure 5 EVacuation Index (Evi)

위치를 정확하게 표현하기 어렵다는 한계점이 있다.

한편, 승객들은 주위 사람들과 함께 집단으로 행동하려는 경향이 있기 때문에, 승객 탈출 분석 시 이를 고려해야 한다. 집단이 있는 위치로 이동하려는 응집(cohesion) 행동, 집단이 움직이는 방향으로 이동하려는 정렬(alignment) 행동, 집단 안의 승객 간에 일정 간격을 유지하려는 분리(separation) 행동으로 집단 행동을 구분할 수 있다(Reynolds, 1987).

3.1.2 승객 탈출 분석 시스템

Evi는 대표적인 여객선 승객 탈출 분석 시스템으로서 continuous 모델로 표현되어 있으며, 집단 간에는 동일한 속도로 이동하는 특성을 통해 개략적인 응집, 정렬 행동을 나타내고 있으며, 일정 공간의 승객 밀도를 계산하여 밀도가 큰 경우에는 속도를 줄이는 특성을 통해 분리 행동을 나타내고 있다(Vassalos et al., 2001).

FDS+Evac은 연기 및 화재 전파 시뮬레이션을 고려한 빌딩 및 여객선 승객 탈출 분석 시스템으로서 continuous 모델로

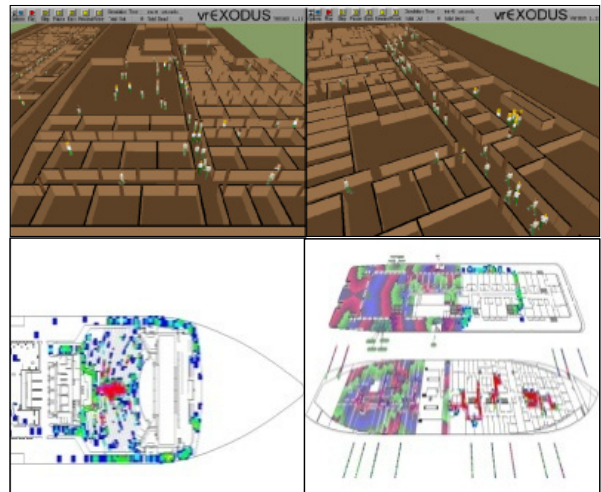


Figure 6 maritimeEXODUS

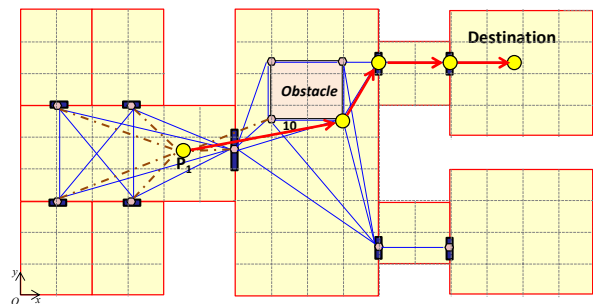


Figure 7 Shortest distance route using the Dijkstra algorithm and visibility graph

표현되어 있으며, 집단의 중심으로 이동하게 하는 외력을 반영하여 응집 행동을 나타내며, 집단 안의 승객 간에 거리를 계산하여 일정하게 유지하려는 힘을 반영함으로써 분리 행동을 고려하고 있으나, 정렬 행동은 고려하지 않았다(Korhonen, 2009).

MaritimeExodus는 fine network 모델을 사용한 여객선 승객 탈출 분석 시스템이다. 탈출구까지의 거리를 각 cell에 저장하여 potential map을 만들어 놓고, 그 값이 작아지는 방향으로 이동하려는 규칙을 정의하였다(Owen et al., 1996; Galea et al., 2003). 그리고 집단 간에 어른이 어린이를 돌보는 특성을 통해 응집 및 정렬 행동을 나타내었으나 분리 행동에 대한 고려는 하지 않았다.

3.2 속도 기반 승객 탈출 모델

승객의 행동은 크게 개인 행동(individual behavior), 군중 행동(crowd behavior), 그리고 비상 시 행동(emergency behavior)으로 나눌 수 있다. 본 글에서는 각각을 속도 기반 모델로 표현한 사례에 대해서 간략히 소개한다.

3.2.1 개인 행동

개인 행동을 표현하기 위해 승객의 형상, 보행 속력, 보행 방향, 그리고 승객의 회전 자세를 고려한다. 승객의 개인 행동을 묘사하기 이전에 개략적인 승객의 형상을 묘사하고, 승객을 속도 기반 모델로 표현하기 위해 개개의 속도를 결정한다. 승객의 속도는 다음 식과 같이 승객의 보행 속력($V_{individual} = v_{individual} \cdot u_0$)과 기본 보행 방향(u_0)에 의해 결정된다. 승객의 회전 자세는 승객의 보행 방향을 변경하는 역할을 한다.

$$V_{individual} = v_{individual} \cdot u_0 \quad (2)$$

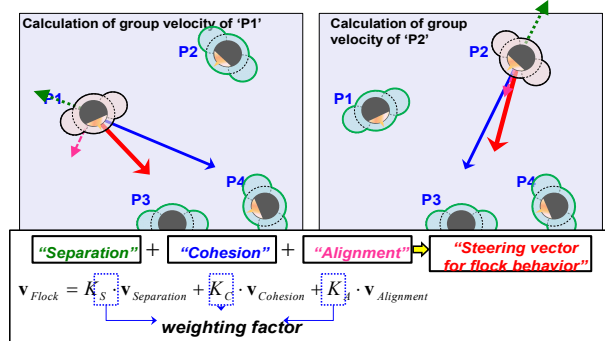


Figure 8 Flock behavior by combination of the separation, cohesion, and alignment behavior

승객은 최단 탈출 경로를 따라 이동한다고 가정한다. 승객의 기본 보행 방향은 최단 탈출 경로를 따라서 생성되며, 최단 탈출 경로는 Figure 7과 같이 가시 영역을 기준으로 하는 그래프인 “Visibility Graph”를 생성한 후 Dijkstra 알고리즘을 이용하여 계산한다.

3.2.2 군중 행동

승객의 집단 행동은 다른 승객과의 영향을 고려한 “flock behavior”와 승조원(crew)과 같은 지도자(leader)를 추정하는 “leader-following behavior”로 나누어 고려할 수 있다. 본 글에서는 flock behavior에 대해 간략히 소개한다.

비상 상황에서 승객은 다른 사람과 함께 행동하려는 경향이 있다. 예를 들면, 승객은 다른 승객들이 대피하는 탈출구로 함께 탈출하려는 경향이 있다. “Flock Algorithm”은 처음 Reynolds에 의해 제안되었으며, Hartman에 의해 승객에 적용되었다. “Flock behavior”는 일반적인 집단 내에서 사람 간의 상호 작용에 의해 영향을 받는 승객의 행동을 묘사한다. Flock behavior는 3가지 하위 행동 규칙인 “Cohesion”, “Separation”, “Alignment”로 구성된다. Flock behavior 적용 시 또 다른 중요한 항목은 승객의 인지 반경이다. 집단 행동 시 사람은 일정 반경 내의 다른 사람들에 의해 영향을 받으며, 인지 반경의 범위에 따라 사람의 행동이 달라진다.

모든 승객은 자신의 주변에 있는 승객들과의 충돌을 피하려는 경향이 있다. 이러한 경향에 의해 집단 내에서 개개인인 일정 간격을 유지하려는 특성을 가진다. 이러한 경향을 separation behavior라 한다. Cohesion behavior는 승객은 주변 사람들이 모여있는 곳으로 이동하려는 경향을 묘사한다. 또한, 승객은 주변 승객의 행동을 영향을 받아 함께 탈출하



Figure 9 Movement of passengers with counterflow in case of a dense crowd

려는 경향을 가지며, 이를 고려한 것이 alignment behavior”이다.

3.2.3 비상 시 행동

비상 상황에서 대부분의 승객은 미리 지정된 중간 집결지(assembly station)로 탈출을 시도하나, 실제 상황에서 승객들은 보다 다양한 행동 패턴을 가진다. 예를 들면, 어떤 승객들은 자신의 선실(cabin)로 이동하여 중요한 짐을 찾거나 혹은 함께 탑승한 가족이나 친구를 찾기도 한다. 따라서 비상 상황이라는 특수한 상황을 고려할 때 모든 승객이 지정된 공간을 향해 탈출하는 것이 아니며, 일부 승객은 선실(cabin)로 되돌아가거나 다른 구역으로 이동할 수 있다. 이때 탈출하는 승객의 흐름과 반대 방향으로 이동하는 승객들이 있으며, 반대 방향에서 서로 마주 보면서 오는 승객들은 상대편을 피하는 행동(counterflow-avoiding behavior)을 보여준다(Figure 9 참조).

선박 내에서의 비상 상황이라는 특수한 조건으로 인해 비상 시에는 선박의 자세가 기울어지는 경우도 있으며, 이로 인해 기울어진 탈출 경로 내에서 승객의 보행 속도는 기울어진 각도에 영향을 받는다(Figure 10 참조).

4. 승객 탈출 시뮬레이션

4.1 IMO MSC/Circ.1238 내의 테스트 예제

국제해사기구는 IMO MSC/Circ.1238 Annex 3 탈출 시뮬레이션 도구의 검증에 관한 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 문제로 구성되어 있다. 2가지 항목은 소프트웨어의 여러 가지 요소들이 의도한 대로 실행되는지를 점검하는 구성요소 시험(component testing), 주어진 상황에 대해

예상되는 인간 행동 특성이 나타나는지 시험하는 정성적 검증(qualitative verification)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 Table 1과 같다.

이중 시험 문제 8에 대해서 적용한 사례를 소개한다. 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. Figure 11과 같이 10m×10m인 두 방이 10m×2m의 복도로 서로 연결되어 있을 때, 100명의 승객을 그림과 같이 분포시킨 후 탈출 시뮬레이션을 2단계에 걸쳐 수행한다.

1단계에서는 방 1에 100명의 승객을 분포 시킨 후 방 2로 이동시킬 때 걸리는 통과 시간을 기록한다. 2단계에서는 방 2에 10명, 50명, 100명으로 늘려 가면서, 방 2에서 방 1으로 이동하게 한 후 1단계를 반복한다. 이때 역류하는 승객이 많아질수록 기록되는 총 탈출 시간도 증가해야 한다. 방 2의 승객 수가 늘어날수록 총 탈출 시간도 늘어났으며

Table 1 Tests for verification of an advanced evacuation analysis programs recommended by IMO MSC/Circ.1238

Test	Description
Test 1	Maintaining the set walking speed on a corridor
Test 2	Maintaining the set walking speed up a staircase
Test 3	Maintaining the set walking speed down a staircase
Test 4	Exit flow rate
Test 5	Response time
Test 6	Rounding corners
Test 7	Assignment of population demographic parameters
Test 8	Counterflow: two rooms connected via a corridor
Test 9	Crowd dissipation from a large public room
Test 10	Exit route allocation
Test 11	Staircase

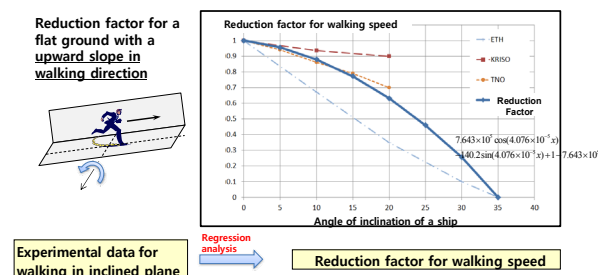


Figure 10 Example of regression analysis for reduction factors for walking speed in cases of flat ground with an upward slope in the walking direction

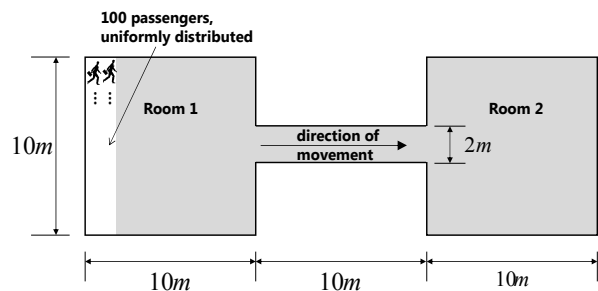


Figure 11 Configuration of IMO test 8: counterflow—two rooms connected via a corridor

로, 시험 문제의 목적을 달성하였고, 승객이 벽을 통과하거나 승객 간에 겹치는 현상이 발생하지 않는 것을 확인하였다. Figure 12는 2단계 중 방 2에 50명, 100명의 승객을 분포시킨 후 탈출 시뮬레이션을 수행한 예시이다.

4.2 IMO/MSC Circ.1238 ANNEX 1의 예제 적용 사례

IMO/MSC Circ.1238 ANNEX 1에서는 승객 탈출 시뮬레이션 시스템의 검증을 위해 2개의 main vertical zone(MVZ; 화재 시 격리되는 수직 구역)으로 이루어진 보다 복잡한 예제를 제공한다. 이 예제는 4개의 deck로 구성되어 있으며, deck #8에 2개의 중간 집결지(assembly station)가 존재한다. 총 승객의 수는 1,138명이며, deck #6에 469명, deck #7에 469명, deck #9에 200명이 분포된다. Deck #8은 초기에는 승객에

분포되지 않는다. 이 예제의 주요 사양은 다음과 같다.

- 길이: 약 40미터, 폭: 약 26미터
- 총 승객 수: 1,138명
- deck 개수: 4개 (deck #6 ~ #9)
- 중간 집결지 개수: 2개

초기에 승객을 분포시킨 모습은 Figure 13과 같다.

승객 탈출 시뮬레이션을 수행한 결과는 Figure 14와 같으며, 전체 승객 탈출 소요 시간(travel time)은 481초로 계산되었다.

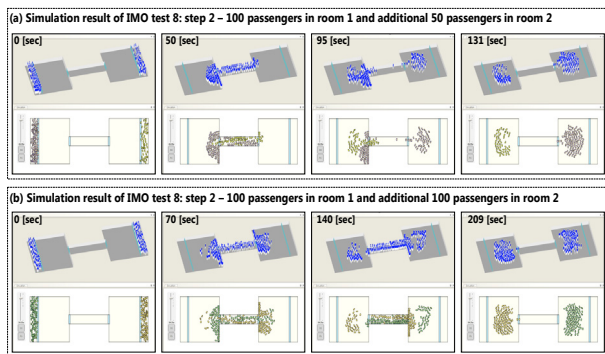


Figure 12 Simulation results of IMO test 8

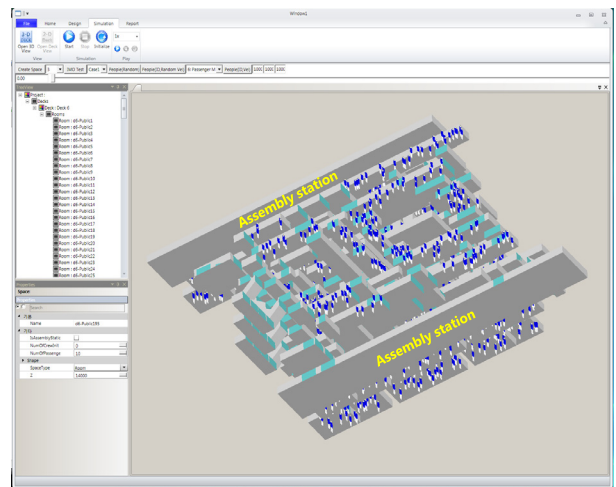


Figure 13 Example of main vertical zone 1 in IMO/MSC Circ. 1238 ANNEX 2: 3D view

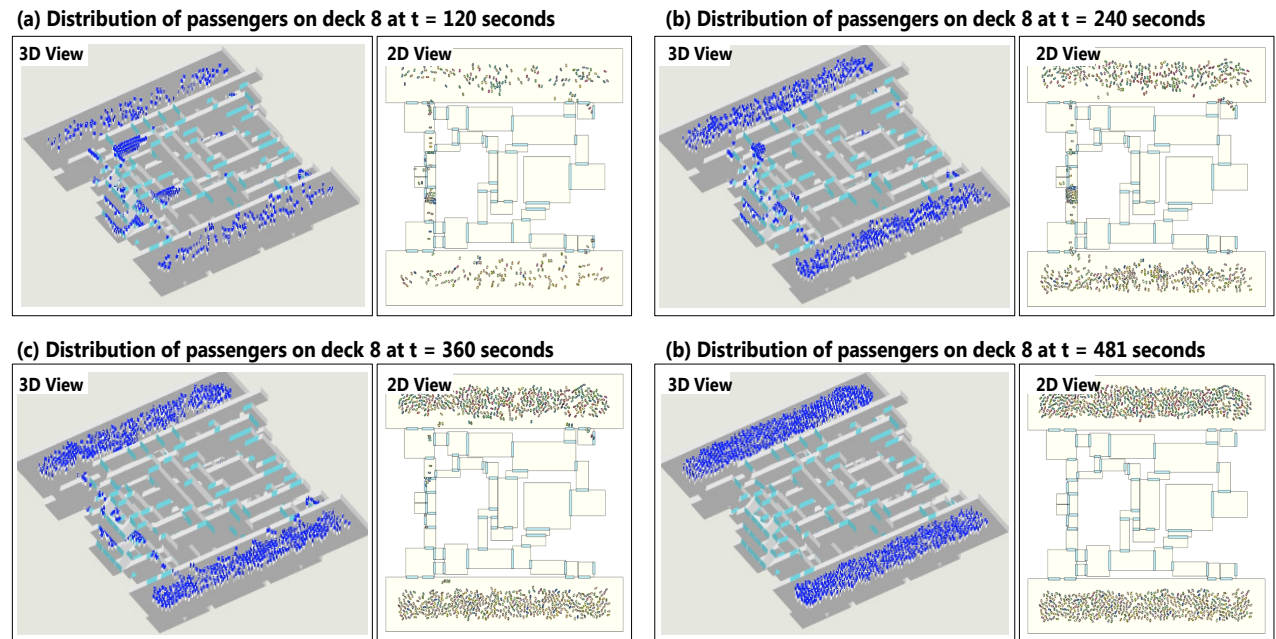


Figure 14 Example of main vertical zone 1 in IMO/MSC Circ. 1238 ANNEX 2: simulation result

5. 결 론

본 글에서는 여객선 승객 탈출 시뮬레이션의 개요에 대해서 간략히 살펴보았다. 승객 탈출 분석은 means of escape, simplified evacuation analysis, advanced evacuation analysis로 나뉘며, 승객 탈출 시뮬레이션은 이 중 advanced evacuation analysis에 해당한다. 승객 탈출 시뮬레이션을 위해서는 승객 탈출 분석 모델을 정의할 필요가 있으며, 본 글에서는 속도 기반 승객 탈출 모델과 이에 대한 간략한 적용 사례를 소개하였다.

보다 정확한 여객선 승객 탈출 시뮬레이션을 위해서는 제안한 승객 모델이 실제 상황과 얼마나 유사한지에 대한 실험 및 검증이 필요하다. IMO에서는 실제 크기의 선박에서 탈출 상황을 가정하고 모의 실험을 수행하여 데이터를 축적하는 “SAFEGUARD” 프로젝트를 수행한 바 있다. 또한 실제 위급 상황에서 발생하는 여러 가지 위험 요소를 고려하는 것이 필요하다. 화재 및 침수와 같은 위험 상황에서 대피 경로가 차단되는 경우도 있으며, 이 때 승객은 극심한 공포나 두려움으로 인해 일반적인 행동 이외에 특이한 행동을 취하는 경우도 발생할 수 있다. 인체 모델, 인체 동역학 모델을 적용하여 승객의 역학적인 보행을 고려한 연구도 존재한다. 따라서 다양한 요소를 고려한 승객 모델을 제안하고 이에 대한 실험과 검증이 동반되어야 보다 정확한 승객 탈출 시뮬레이션을 수행할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Galea, E.R., Lawrence, P., Gwynne, S., Filippidis, L., Blackshields, Sharp, D., G., Hurst, N., Wang, Z. and Ewer, J. (2003), “Simulating ship evacuation under fire conditions”, Proceeding of Second International Pedestrian and Evacuation Dynamics Conference, CMS Press, Greenwich, 159-172.
- Ha, S., Ku, N.K., Roh, M.I. and Lee, K.Y. (2012), “Cell-based evacuation simulation considering human behavior in a passenger ship”, Ocean Engineering, 53, 138-152.
- Kuligowski, E. D. and Peacock, R. D. (2005), A review of building evacuation models, Technical report, National Institute of Standards and Technology, Fire Research Division, Building and Fire Research Laboratory.
- IMO (2007), Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ship, IMO MSC/Circ.1238.
- Korhonen, T. and Hostikka, S. (2009), Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+ Evac-Technical Reference and User’s Guide, VTT Technical Research Centre of Finland.
- Owen, M., Galea, E. and Lawrence, P. (1996), “The EXODUS evacuation model applied to building evacuation scenarios”, Journal of Fire Protection Engineering, 8(2), 65-84.
- Park, J. H., Kim, H. T., Lee, D. K., Lee, J. G. and Park B. J. (2001), “Simulation-based Evacuation Analysis on a High Speed Coastal Passenger Ship”, 한국시뮬레이션학회 2001년 추계학술대회논문집, 444-449.
- Reynolds, C.W. (1987), “Flocks, herds and schools; A distributed behavioral model”, Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 25-34.
- Vassalos, D., Kim, H.S., Christiansen, G. and Majumder, J. (2001), “A mesoscopic model for passenger evacuation in a virtual ship-sea environment and performance based evaluation”, Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics. 