

선박 재난 환경을 고려한 지능형 대피유도 시스템

강무빈¹ · 주양익[†]

(Received September 20, 2016 ; Revised October 10, 2016 ; Accepted October 10, 2016)

Intelligent evacuation systems for accidents aboard a ship

Moo-Bin Kang¹ · Yang-Ick Joo[†]

요약: 최근 크루즈 선박과 같이 선박의 대형화, 복합화가 진행됨에 따라 선박사고 시 인명피해가 증가하여, 선박 재난 시 승객 안전을 확보하기 위한 기술의 필요성이 증가하고 있다. 현재까지는, 선박 내 사고 상황 시 안내방송 및 화재경보 비상벨, 비상유도등과 같이 현재 위치에서 안전한 곳으로 대피하라는 단순한 신호만 줄 뿐 적절한 탈출 경로를 선택함에 있어서 도움을 주지는 못한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 여러 대피유도 방안이 제안되어 왔지만 다양한 위험요소와 그에 대한 특성에 대한 고려가 부족하여 실제 시스템에 적용하는 데 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 다양한 위험요소와 해당 특성을 고려할 수 있는 A* 알고리즘 기반의 대피유도 시스템을 제안한다. 가상 구조물 및 선박 내 재난 상황을 가정한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 성능을 검증하였다.

주제어: 재난안전, 대피유도, 경로탐색

Abstract: Passenger casualties in the case of ship accidents have increased because of the increase in size and complexity of current ships (such as cruise ships). Therefore, in recent years, emergency evacuation systems are receiving increased interest so as to ensure the safety of passengers. Currently, there are only basic instructions provided, such as announcements regarding the situation, alarms, and exit signs; however, no guidance toward a proper escape route has yet been provided. To solve this problem, several emergency guiding schemes have been proposed. However, these systems ignore some of the realities of ship accidents and are impractical because various risk factors are not considered. Therefore, this paper proposes an optimal route guiding system based on an A* algorithm for emergency escape during disaster situations. This system takes into account various possible risk factors. Performance evaluation using computer simulations showed that the proposed scheme is effective and leads to safe escape routes.

Keywords: Public safety, Emergency guiding, Path finding

1. 서론

최근 들어 선박 재난 사고가 꾸준히 발생하고 있으며, 대표적으로 1911년 타이타닉호 침몰사고가 있었고 최근 우리나라에서는 세월호 침몰 사고가 있었다. 그 이후에도 2015년 나일강에서는 여객선 침몰로 20명 이상이 익사하는 사고가 발생하였다. 이와 같이 선박의 경우 제한된 공간에 많은 인원과 화물이 적재되므로 침몰 사고 발생 시 상당한 인명 및 재산 피해가 발생할 수 있고, 선박 사고의 특성 상 사고 지점과 구조자원의 위치가 떨어져있고 사고 지역 접근까지 많은 시간이 소요되므로 사고 대응과 승객의 대피가 육상에 비해 상대적으로 지연되는 경향이 있다. 국제 해사 기구(International Maritime Organization; IMO)에서는 이러한 선박 재난 사고에 대비하기 위해, 여객선 설계 시 비

상 상황에서의 승객 탈출에 대한 규정인 Maritime Safety Committee / Circulation 1238 (IMO MSC/Circ. 1238)을 마련하고 있으며, IMO에서는 여객선 승객의 안전을 위해 이 규정을 만족할 것을 요구하고 있다[1]. 현재까지 이러한 IMO 규정을 만족하기 위한 많은 국내외 연구개발이 진행되어 왔으며, 선박 재난상황뿐만 아니라 육상 재난상황에 대응하기 위한 다양한 기술들이 개발되어왔다.

기존의 대피 방법은 안내방송 및 화재경보 비상벨, 비상유도등과 같이 소리와 빛으로써 현재 위치에서 안전한 곳으로 대피하라는 개략적인 신호만 줄뿐이다. 특히 비교적 좁은 지역에 많은 사람들이 있는 관광용 크루즈와 같은 선박에서는 선원들의 대피유도를 통해서 사람들을 대피하도록 하지만, 안내하는 선원들의 수가 충분하지 못하여 적절

[†] Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3125-5316>): Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: yijoo@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4419

¹ Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: moobin98@naver.com, Tel: 051-410-5080

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.

한 대피유도가 힘들며[2], 대피유도에서 소외 되어있는 지역이 발생할 수 있다. 비상유도등의 경우도 단순히 출구 쪽만 가리키는 불빛만을 내고 있으며 만약 출구 쪽에 화재와 같은 위험 상황이 있다면 인지하지 못하며 탈출자를 위험한 곳으로 유도할 수 있다. 특히 탈출자가 탈출하는 도중 위험 상황의 확산에 의해 위험을 고려할 수 없으므로, 가까운 미래의 사고 상황에 대한 대응이 가능할 수 있도록 선박 내 재난상황에 대한 대응기술과 장비는 보다 세밀해지고 스마트해져야 한다.

최적 경로를 찾는 알고리즘은 많이 연구되어왔다. 대표적으로 Ant Colony System (ACS) 알고리즘을 사용한 최단 경로 탐색을 위한 휴리스틱 방식[3]에서는 많은 경우의 수를 탐색한 후 부적합한 경로는 제거되고 효율적인 경로만이 살아남게 하는 방식을 이용하여 최적의 경로를 찾는다. 이러한 방법으로는 경로를 찾는 과정에서 시간이 매우 오래 걸릴 수 있고 실시간으로 변하는 상황을 반영하기에는 다소 부적합하다. 재난지역 다수 조난자를 위한 최적 경로 유도 알고리즘[4]의 경우 재난환경에서의 실시간 최적 경로 추정이 가능하지만, 위험인자의 확산에 대한 고려가 부족하여 대피과정에서 소요되는 시간으로 인해 위험인자를 회피할 수 없는 상황이 발생할 수 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 단순하지만 실시간으로 다양한 위험요소에 의한 재난상황에 대응할 수 있으며 위험인자의 확산 특성을 반영하여 유도된 대피경로의 안전을 보장할 수 있는 효율적인 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 제안한 시스템의 근간이 되는 A* 알고리즘[5]에 대해서 간략하게 알아본 후, 3장에서는 제안하는 최적 경로 유도 시스템을 기술한다. 이후 4장에서 제안된 알고리즘의 다양한 성능측정결과에 대해 살펴보고, 이후 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. A* 알고리즘

한 지점에서 가장 가까운 출구까지의 길을 찾는 것은 가장 짧은 경로를 찾는 그래프 탐색 기술로 가능하며, 이는 크게 맹목적 탐색과 경험적 탐색 두 가지로 분류된다. 맹목적 탐색은 시작 지점으로부터 목표지점에 이르는 모든 경로를 탐색하는데 그 경로의 비용(cost)이 제일 작은 값을 선택하게 된다[4]. 이를 사용한 예로는 Dijkstra 탐색 방법이나 Floyd 알고리즘이 있다. 이러한 탐색 기법은 일반적으로 널리 적용되는 방법이지만 너무 많은 노드를 검색하여 탐색 효율이 좋지 않다. 반면 경험적 탐색은 목표 노드의 위치를 이용해서 탐색에 방향성을 부여해줌으로써 검색할 대상 노드 수를 줄여 알고리즘의 탐색 효율을 높이는 방법으로 상대적으로 복잡하고 많은 수의 노드에도 적용할 수 있다. A* 알고리즘은 대표적인 경험적 탐색 알고리즘으로 다른 경로 찾기 알고리즘에 비해 탐색 속도가 우수하여[4], 많은 분야에 적용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 A* 알고리즘을 기반으로 최적의 대피경로를 탐색하고자 한다.

A* 알고리즘의 비용은 식 (1)과 같이 주어진다.

$$F(n) = G(n) + H(n) \quad (1)$$

여기서 $G(n)$ 은 시작지점에서 어떤 노드(n)까지 이동 비용의 누적 값을 나타내며, $H(n)$ 은 휴리스틱 값으로써 현재의 노드(n)에서 앞으로 목표까지의 비용 값을 예측하여 정한다. $F(n)$ 은 이들 두 요소의 합으로 나타내며 노드(n)에서 대피를 위해 선택한 경로의 전체 비용을 나타낸다. 이 값이 작은 노드들을 선택하다보면 가장 낮은 비용의 경로를 찾을 수 있을 것이다.

A* 알고리즘을 이용하여 가장 적은 비용의 경로를 찾은 후, 선택된 r 번째 대피 경로가 가지는 비용을 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$D_r = \sum_m d_{m,r} \quad (2)$$

여기서 $d_{m,r}$ 은 r 번째 경로를 m 개의 부분 경로로 나눈 것이다.

3. 최적 경로 유도 시스템

3.1 체감 거리 (weighted distance)

일반적으로 재난 상황이 발생했을 때 위험요소가 전혀 없고 구조물 내부에 대해 익숙하며 소수의 사람만 탈출하면 빠른 속도로 탈출할 수 있을 것이다. 하지만 큰 건물 내부와 같이 복잡한 구조를 갖거나, 선박 내부와 같이 좁고 복잡한 통로라면 최적의 경로를 찾아 탈출하기가 매우 어렵다.

이러한 환경에서 경로에 지장을 줄 수 있는 요소를 고려한다면, 같은 거리를 이동하더라도 물리적인 실제 거리와 위험요소를 고려하여 사람이 직접 체감하는 거리는 다를 것이다. 이를 체감 계수(a)로 나타내며 해당 지역의 침수, 화재나 장애물 등의 요소들을 고려하여 이동에 영향을 줄 수 있는 정도를 표현한다.

체감 거리(D_w : weighted distance)는 실제로 대피자가 체감하는 거리로써 값이 클수록 그 통로를 지나가는 것에 있어서 실제 물리적 거리보다 먼 거리를 이동하는 것과 같은 의미로 판단하며, 이는 실제 거리값(D)과 체감 계수(a)의 곱으로 나타내며 식 (3)와 같이 표현된다. 이는 내리막 경사와 같은 경우를 제외한다면 일반적으로 실제적인 거리 이상의 값을 가지게 될 것이다.

$$D_{w,r} = \sum_m d_m \cdot \alpha_m = \sum_m d_m \cdot \frac{\sum_{n=1}^N W_{n,m} \times O_{n,m}}{N_m} \quad (3)$$

$$, where N_m = \max(1, \sum_{n=1}^N O_{n,m})$$

여기서 체감거리 산출에 고려되는 다양한 N 개의 위험요소들 중 체감거리 산출 시, m 번째 부분 경로에서 해당 n 번째 위험요소를 고려하는 경우 $O_{m,n}$ 은 1로 설정되며, 그렇지 않은

경우 0으로 설정된다. N_m 은 m 번째 부분경로에 존재하는 위험요소의 수 혹은 1로 설정한다. 그리고 위험요소의 위험도 혹은 통과 난이도에 따라 가중치(W_n)를 설정하였으며, 각 위험요소를 아래첨자 n 으로 표시하여 화재(fire)는 W_f , 침수(waterlog)는 W_w , 기울기(slope)는 W_s 등과 같이 정의할 수 있다. 다양한 요소들을 고려할수록 체감거리는 정밀해지며 각 요소의 가중치를 어떻게 얼마나 잡느냐에 따라서 위험요소를 얼마나 큰 요소로 볼 것인지를 나타낼 수 있다. 각 요소의 가중치는 실제 측정이나 재난관련 시뮬레이터를 통해 반영할 수 있으며, 해당 값의 측정은 본 연구의 범위를 벗어나므로 본 논문에서는 특정 값으로 가정하여 반영될 것이다.

이러한 체감거리를 고려한 최적 대피경로는 식 (4)와 같이 전체 R 개의 경로 중 가장 적은 값의 D_w 를 갖는 r 번째 경로로 선택된다.

$$\text{Optimal path } I = \text{avg} \min_{r \in R} D_{w,r} \quad (4)$$

3.2 위험 예측치 (expected risk)

위험요소가 있는 통로에서 체감 계수만을 고려하여 경로를 표시할 경우, 최적 경로 결정시점과 대피자 이동상황 간의 시간 차가 존재하고 이 시간 구간동안 위험요소의 확산에 의해 대피자가 탈출하는 도중 위험에 처할 수 있다. 예를 들어 대피자가 탈출 도중, 화재발생 지점 부근의 위험요소로 인한 폭발이 발생하거나, 화재가 점점 크게 확산되어 현재 유도중인 탈출 경로 중 한 곳에 영향을 주는 상황을 가정할 수 있다. 따라서, 대피자의 위치와 속도, 잠재적인 위험요소를 고려하지 못하고 대피 당시의 상황만을 이용한 대피 경로 결정은 최적의 경로 선택이라 할 수 없다.

이렇게 가까운 미래에 예상되는 위험요소를 위험 예측치(expected risk)로 정의하며, 이를 최적 경로 유도 알고리즘에 고려하여 실시간으로 변할 수 있는 위험상황에 대처하고자 한다.

위험요소가 발생한 노드에서 다음 노드까지의 m 번째 부분 경로(d_m)와 해당 n 번째 위험요소가 번지는 속도(v)를 나누어 해당 경로의 안전을 보장할 수 있는 시간을 식 (5)와 같이 정의하였다.

$$t_{s,m} = \min\left(\frac{d_m}{v_1}, \frac{d_m}{v_2}, \dots, \frac{d_m}{v_N}\right) \quad (5)$$

시간이 흐름에 따라 t_s 는 감소하며, 또한 t_s 를 통해 위험 예측 계수($\bar{R}i$)를 구할 수 있다. t_s 가 크다면 발생할 시간이 많이 남은 것이므로 $\bar{R}i$ 은 0에 가까운 값을 나타내며, t_s 가 작다면 해당하는 위험요소가 곧 나타나는 것을 의미하므로 $\bar{R}i$ 은 1에 가까운 값을 갖는다. 하지만 $\bar{R}i$ 의 범위는 1 이하로 제한하지 않고 위험요소로 인해 예상되는 피해정도가 매우 큰 경우 1 이상의 값을 가질 수 있도록 하여, 일반적인 상황에서 고려된 위험요소의 정적(static) 가중치, W_n 과 별도로 동적으로 변할 수 있는 위험 정도를 반영할 수 있

는 장치를 마련하였다. 위험 예측 계수의 결정 방안 또한 본 논문의 범위를 벗어나므로 본 논문에서는 각 위험 예측치를 특정 값으로 가정하고 성능을 평가하였다.

이 위험 예측 계수, $\bar{R}i$ 를 포함하여, 즉 예상되는 위험요소의 영향까지 모두 고려하여 r 번째 경로에 대해 예측된 체감 거리(\bar{D}_w)는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\bar{D}_{w,r} = \sum_m d_m \cdot \frac{\sum_{n=1}^N W_{n,m} \times O_{n,m} \times \bar{R}i_{n,m}}{N_m} \quad (6)$$

$$, \text{where } N_m = \max\left(1, \sum_{n=1}^N O_{n,m}\right)$$

그리고, 위험 예측 계수를 고려한 체감 거리, \bar{D}_w 를 반영하여 최적 경로 결정 기준을 식 (7)과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{Optimal path } II = \arg \min_{r \in R} \bar{D}_{w,r} \quad (7)$$

3.3 제안된 최적 경로 유도 시스템

본 논문에서 제안하는 최적 경로 유도 시스템은 대상 구조물 내 설치된 센서를 통해 위험 인자의 유무(O_n)와 위험정도(W_n)를 파악하고 이를 토대로 각 위치에서의 위험 예측치를 고려한 체감거리를 산출하여 최적의 탈출경로를 탐색한다.

앞서 설명된 최적경로의 탐색 과정은 Figure 1과 같이 정리될 수 있다. 본 논문에서 제안하는 경로 유도 시스템에서는 이러한 과정을 통해 탐색된 경로를 구조물 내부 바닥이나 벽면에 방향을 지시할 수 있는 비상유도등 형태로 설치되어 재난 상황 시 탈출을 유도한다.

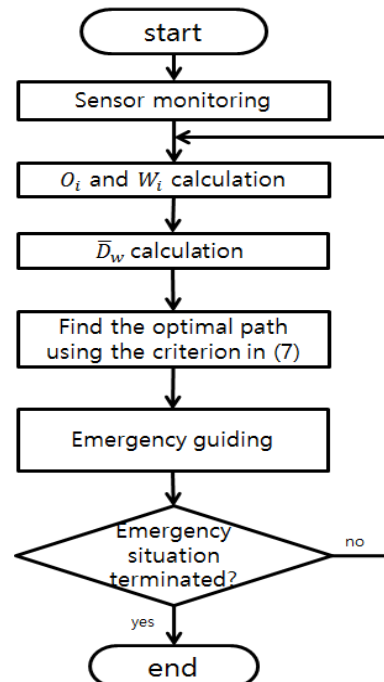


Figure 1: Optimal route discovery and leading process

4. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경 및 조건

제안하는 유도 시스템의 성능을 평가하기 위해서 실제 선박환경에 적용하기 앞서 보다 복잡한 구조의 구조물을 가정하였다. 이를 Figure 2에 나타내었으며 제안하는 최적 경로 유도 시스템을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 각 좌표의 차이가 통로의 길이로 주어지고 있고 탈출구는 그림과 같이 배치하였다. 굵은 선은 대피자가 이동할 수 있는 통로를 나타내며 각 지점의 바닥이나 벽면에 방향을 표시할 수 있는 유도등이 있다고 가정한다.

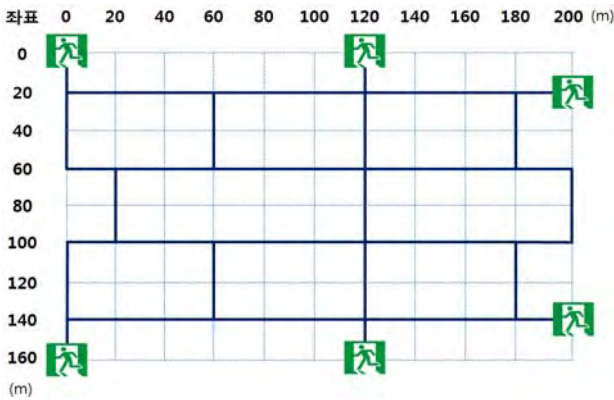


Figure 2: Virtual simulation environment

가상 구조물에서 나타날 수 있는 다양한 위험요소들은 공통적으로 화재 상황, 부분적인 압전 상태나 연기로 인한 시야방해 등이 있으며 특수한 상황으로는 선박 사고 및 결함으로 인한 침수, 기울어짐 등을 고려할 수 있다. 앞서 설명된 제안된 방식에서는 N 가지 위험 요소들을 고려하도록 설계되었지만, 각 위험 요소에 대한 영향, 가중치, 위험 요소의 전파 속도와 관련된 위험 예측치에 대한 정확한 정보를 적용하는 것은 본 연구의 범위를 벗어나므로 화재상황만을 고려하고 관련 파라미터를 가변적인 값으로 설정하여 성능 평가를 진행하였다. 하지만 향후 Fire Dynamics Simulator (FDS)와 같은 재난 시뮬레이터[7] 및 관련 연구 결과[8]를 토대로 해당 파라미터에 대한 보다 정확한 성능 평가 결과를 확보할 수 있을 것이다.

4.2 시뮬레이션 결과

위험요소의 유무에 따라서 체감거리가 어떻게 달라지는지 비교하기 위해서 Figure 2 내부에 임의의 위치에 있는 탈출자는 아무런 위험이 없이 일반적인 유도등을 보고 탈출하는 상황과 Figure 2 내부에 임의의 위치에 위험요소를 적용하여 앞서 탈출한 동일한 경로로 탈출하였을 때를 비교하였다. Figure 2의 임의의 위치에서 위험 요소의 발생 확률은 20% 위험 예측치(\bar{R}_i)는 0.2로 가정하였다.

각 라운드당 100번씩 시뮬레이션을 수행하여 각 방식별 체감거리의 평균값을 Figure 3 ~ 5에 나타내었다. Figure 3

은 W_f 가 10일 때를 가정하였고, Figure 4는 W_f 가 15, Figure 5는 W_f 가 20를 가정하고 체감거리의 결과 값을 나타내었다.

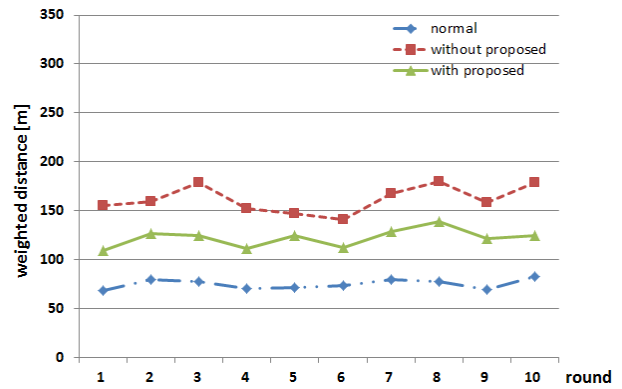


Figure 3: Weighted distance ($W_f = 10$)

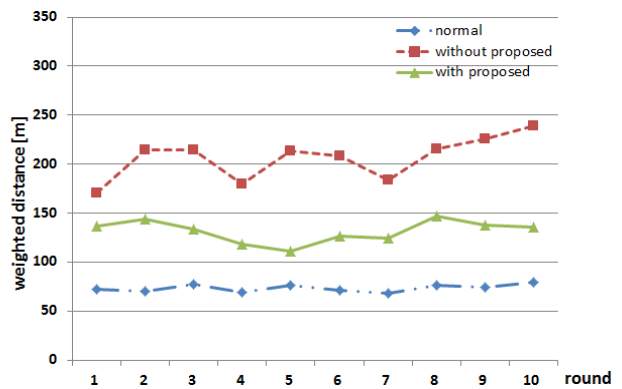


Figure 4: Weighted distance ($W_f = 15$)

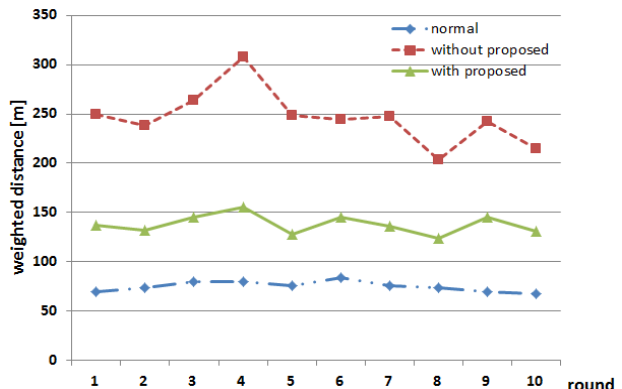


Figure 5: Weighted distance ($W_f = 20$)

각 그림에서 가장 낮은 체감거리를 보이는 상황은 아무런 재난이 발생하지 않은 일반적인 상황에서의 체감거리를 나타낸 것이고, 가장 높은 체감거리를 적색 점선은 재난상황이 발생하였지만 재난이 발생하지 않은 상황에서의 경로, 즉 일반적인 비상구 표시등을 따라 이동한 경우의 체감거리를 나타낸다. 마지막으로 가운데 있는 녹색 실선의 그래프는 제안한 시스템을 적용하였을 때 적색 점선 대비 감소하는 체감거리를 확인할 수 있다. 가중치가 증가함에 따라 전반적인 체감거리가 증가하지만, 제안한 시스템에서는 위험

요소를 회피하여 탈출 경로를 유도하므로 체감 거리가 비교적 일정한 것을 알 수 있다. 이는 가중치 값이 높을수록 대피유도 성능에 더 큰 영향을 끼친다고 판단할 수 있다.

다음으로 가상의 구조물에서 임계 시간에 대한 생존 확률을 Figure 6에 나타내었다. 재난상황이 발생하지 않은 경우에는 생존 확률을 검토할 필요가 없으므로 본 실험에서 제외하였고, 일반적인 인간의 평균 보행속도에서 속보(3 m/s)로 이동한다고 가정하였다[6]. Figure 6에서 가로축은 탈출에 걸리는 임계시간을 나타내며, 이 임계시간 안에 탈출에 성공하였다면 생존한 것으로 가정하였다. 제안한 시스템을 적용시킨 환경에서는 위험한 경로를 회피하여 대피를 유도하므로, 탈출까지 걸리는 시간이 줄어들어 생존율이 증가한다고 볼 수 있다. 재난상황 시 생존에 필요한 임계시간이 20초 정도로 짧은 경우에는 대피에 필요한 기본 시간보다 짧게 설정되어 제안한 방식의 적용 여부가 성능에 영향을 미치지 못하지만, 30초~180초의 구간에는 그 성능 차이가 확연히 드러남을 확인할 수 있다. 그리고 190초 이상의 임계시간은 제안한 방식을 적용하지 않더라도 탈출에 필요한 충분한 시간이 확보된 상황이므로 두 방식의 성능이 동일함을 알 수 있다. 하지만 이 경우에도 재난상황에서의 대피자 행동패턴이나 병목현상이 고려된다면 제안된 방식과의 성능 차이가 발생할 것으로 예상된다.

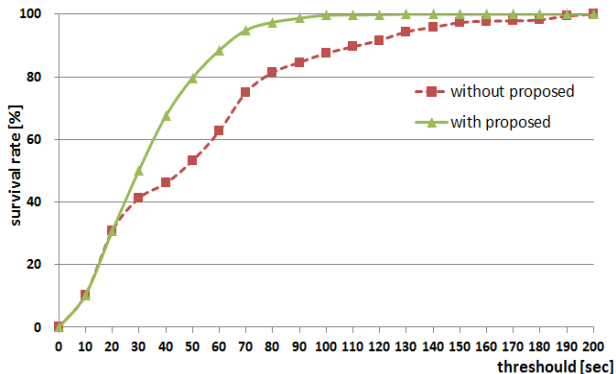


Figure 6: Survival rate according to escape time

4.3 실제 선박환경 적용

제안하는 시스템의 실제 성능을 확인하기 위해 한국해양대 실습선 한바다호 환경에 적용하여 시뮬레이션을 해보았다. 먼저 한바다호에 적용하기 위해서는, 발생할 수 있는 위험요소를 판단할 수 있도록 각종 센서나 장치들로 측정할 수 있어야 하고, 또한 방향을 표시할 수 있도록 각 위치에 유도등이 필요하다. 다음 Figure 7은 한국해양대의 실습선인 한바다호의 구조도의 일부이며 해당 구역에서 재난상황을 가정한 시뮬레이션을 수행하였다. 한바다호는 실습선으로써 해당 선박에 대해 익숙한 인원이 일반적으로 생활하고 있지만, 설정한 구역은 외부 사람들이 한바다호에 탑승하게 되면 주어지는 침실이므로 해당 실습선에 대해 익숙하지 않은 사람이 타게 되며, 위험 상황 시 대피에 어려

움을 겪을 수 있기 때문에 해당 구역을 선정하게 되었다.



Figure 7: Simulation environment

한바다호에 통로나 출구 중 한 곳에 위험상황이 있다고 가정한 후 제안한 알고리즘을 사용하여 시뮬레이션한 결과를 Figure 8에 나타내었다. 크루즈 선박이나 대형 복합구조물과 달리 비교적 단순한 구조에 대한 실험이어서 Figure 3~5와 달리 성능 차가 크지 않지만, 제안된 알고리즘을 적용할 경우 체감거리 측면에서 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

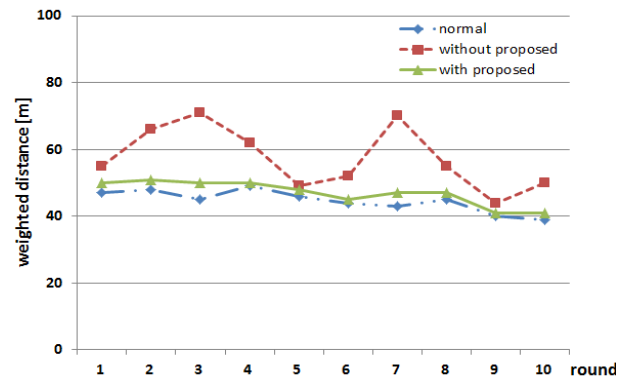


Figure 8: Weighted distance on the ship ($W_f = 10$)

5. 결 론

본 논문에서는 다양한 위험 요소가 고려된 환경에서 재난 상황 시 안전한 출구까지의 체감거리를 이용한 지능형 대피유도 시스템을 제안하였으며, 최적 경로 유도 알고리즘을 통해 찾아낸 경로를 구조물 내 비상 유도등을 이용하여 최적의 탈출 경로를 설정하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 제안된 알고리즘을 통해 효과적으로 탈출경로를 제시함을 확인하였다. 아울러 본 논문에서 제안한 알고리즘은 각종 재난 상황에서의 각 위험인자에 대한 위험도와 해당 위험인자의 전파속도 등에 대한 고려를 포함하여, 관련 재난 상황연구나 관련 시뮬레이터 등과의 간단한 인터페이스를 통해 실제 상황에 대한 적용이 충분히 가능할 것으로 보인다. 따라서 본 논문에서 제안된 방식이 적용될 경우 비상용 안전장치가 갖는 안전 수준을 높임으로써 재난 상황 시 인명피해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2016R1D1A3B03934492).

References

- [1] International Maritime Organization, Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ship, IMO MSC/Circ.1238, 2007.
- [2] K. T. Kim, S. J. Cho, and G. W. Jeon, "A study on the optimal routing planning algorithm for rescue of multiple victims in disaster area," *Journal of Korea Safety Management & Science*, vol. 12, no. 2, pp. 17-23, 2010 (in Korean).
- [3] S. H. Ok, J. H. Ahn, S. H. Kang, and B. I. Moon, "A combined heuristic algorithm for preference-based shortest path search," *Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 47, no. 8, pp. 74-84, 2010 (in Korean).
- [4] M. B. Kang, G. Park, S. H. Yim, and Y. I. Joo, "Design of optimal evacuation route guidance system for accidents on board the ship," *Proceedings of the 40th KOSME Spring Conference*, p. 158, 2016 (in Korean).
- [5] Red Blob Games, <http://www.redblobgames.com/path-finding/a-star/introduction.html>, Accessed May 12, 2016.
- [6] J. H. Choi and W. H. Hong, "A development of occupant's vertical travel time prediction model from high-rise building's experimental data," *Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design*, vol. 28, no. 11, pp. 375-382, 2012 (in Korean).
- [7] Y. S. Park and D. J. Lim, "A study on the simulator development for fire evacuation of the high-rise buildings," *Proceedings of the 15th ICROS Annual Conference*, pp. 921-924, 2000 (in Korean).
- [8] D. H. Rie, J. S. Park, J. S. Joe, and J. Y. Kim, "Development of crowd evacuation simulation system for building fire," *Proceedings of the Korea Institute of Fire Science and Engineering Conference*, pp. 304-309, 2008 (in Korean).