

함정 재해의 신속 진압을 위한 경로 탐색에 관한 연구

박주헌¹·유원선^{2,†}·정정훈³·김숙경⁴
충남대학교 선박해양공학과 대학원¹
충남대학교 선박해양공학과^{2,†}
한국기계연구원³
방위산업기술지원센터⁴

A Study on the Path Search for the Rapid Suppression of Naval Ships Casualties

Ju-hun Park¹·Won-Sun Ruy^{2,†}·Jung-Hoon Chung³·Sook-Kyoung Kim⁴
Graduate School, Dept. of Naval Architecture & Ocean engineering, Chungnam National University¹
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chung-nam National University^{2,†}
Korea Institute of Machinery and Materials³
Defense Industry Technology Center⁴

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.

Naval ships could be seriously damaged by enemy attacks in battle. Moreover, this damage could be spread and deteriorated into a secondary accident. Secondary accidents that have adverse effects on naval ship's survivability, such as fire, flood, smoke extension, and patient occurrence, are defined as casualties. These casualties sharply degrade the survivability of naval ships. Furthermore, naval ships could be burned-out and sunk by casualties in isolated sea. Therefore, damage control and rapid suppression of the casualties in the naval ships is essential. This study was conducted in the establishment of suppression paths according to the characteristics of each casualty so that the developed system can support the rapid suppression in an emergency and even the training situation on a regular state. To establish the suppression paths, the two-dimensional numerical map is designed by converting the three-dimensional features of the naval ships, and the well known algorithms are compared to present the appropriate one for path finding problem on the naval ships. Finally, we devised a specific routing algorithm that fits the characteristics of each casualty in accordance with the Korean Navy's doctrines and handbooks of casualty suppression.

Keywords : Damage control(손상 통제), Fire(화재), Flood(침수), Numerical map(수치 지도), Path search(경로 탐색), Casualty suppression (재해 진압)

1. 서론

함정의 생존성은 위협 무기로 인한 피격으로 크게 위협받을 수 있으며, 이로 인한 위협 무기로 인해 화재 및 침수와 같은 재해가 발생할 수 있다. 함정의 생존성은 피격성, 취약성, 회복성으로 구성된 세 가지의 확률적 지표를 이용하여 정량적으로 정의할 수 있다 (Ball, 2003). 함정의 생존성은 임무수행능력과 직결되며, 고립된 해상에서 작전을 수행하는 함정의 생존성은 가장 중

요한 지표이다. 해상에서 원활한 작전 수행과 함정의 승조원을 지키기 위해 함정 생존성이 중요하다.

함정에서 발생할 수 있는 재해는 전투 상황, 운항 및 정박 상태에서 함정의 생존성이 저하되는 상황을 일컫는다. 특히, 적의 공격으로 인해 발생한 화재, 침수 등 2차 사고를 함정 재해라 할 수 있다. 함정은 화약 무기와 연료 등 다량의 인화성 물질을 적재하고 있어 화재 발생 시 선체 폭발 및 전소로 이어질 수 있는 큰 위험이 있다. 또한, 화재로 인해 발생한 연기 및 유독가스는 화재 진압을 어렵게 만들고 유독가스로 인한 인명 손상을 초래할

수 있다. 피격으로 인한 선체 파공으로 인해 침수 상황이 발생하면, 함 복원성에 큰 위험을 초래하며 신속히 대응하지 못하면 함정이 침몰할 수 있는 위험이 있다.

이러한 위험을 방지하고 함정의 임무수행능력을 신속하게 회복시키기 위해 손상통제는 함정의 임무 수행에 있어 상당히 중요하다. 현대에는 위험 무기의 발전으로 함정 생존성을 위협하는 상황이 되고 있으며, 함정의 손상통제 및 생존성 향상을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Chung et al. (2006)은 함정의 생존성 설계 개념 및 생존성 향상 대책에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 함정 생존성의 각 지표에 대해 연구가 진행되고 있으며, Shin et al. (2013)은 확률 통계에 기반 한 위험 시나리오의 생성에서부터 격실/장비 배치와 임무 수행기능 여부 평가에 중점을 둔 간이 취약성 해석에 대한 연구를 수행한 바 있다. 피격성 관점에서는 함정과 유사한 신호체계를 갖는 기만 함정의 시스템엔지니어링 관점에서 실현할 수 있는 방법에 대해 연구를 수행한 바 있다 (Kang et al., 2009). Ahn & Lew (2007)은 함정이 피랑 중 손상을 받아 침수되는 경우 함정의 침수상황을 가시화하고 복원성능 계산을 수행하여 침수 함정의 생존성 향상을 위한 대응방안을 제시하는 함정 손상통제 개념을 정립하였다. Lee (2003)은 손상선박의 손상 복원성과 구조 안전성을 고려하여 생존성을 평가할 수 있는 시스템에 관한 연구를 수행한 바 있다. 함정과 고층건물의 구조는 다층으로 구성된다는 점에서 유사한 특성을 갖는다. 함정의 생존성 연구와는 거리가 있지만, 다층구조의 경로 탐색 연구 또한 활발히 진행되고 있다. Kim et al. (2008)은 지하 공간이나 고층건물에서 화재 발생 시 건물의 상태 정보를 기반으로 Dijkstra 알고리즘을 이용한 3차원 대피 유도 방안을 제시하였다. 또한, Kim (2017)은 모바일 기기를 기반으로 비상 상황 발생 시 안전하고 신속한 대피 경로를 생성하여 모바일 기기를

통해 사용자에게 제공하는 방안을 개발하였다.

다층구조 건물에 관한 기존 연구는 화재 및 사고 발생 시 대피에 대해 다룬다. 본 연구에서는 함정 내부에서 화재, 침수 등 사고가 발생하였을 때 신속하게 진압할 수 있도록 사고 구역으로의 진압경로에 초점을 두고 연구하였다.

함정 생존성에 관한 기존 연구에서는 설계관점에서의 생존성 향상 방안을 제시하였으며, 함정 생존성 향상을 위한 개념 설계에 관한 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 함정 운용 관점에서의 생존성 향상 방안으로 함정 재해 발생 시 승조원의 패닉에 빠지지 않고 신속하게 진압/대응할 수 있도록 함정의 수치 지도를 이용한 진압 경로 설정 알고리즘을 개발하였다. 본 연구는 2장에서는 경로 탐색을 위한 함정 수치 지도 설계에 관해 기술하였으며, 다층구조의 함정에서 효과적으로 경로를 설정하기 위해 3차원의 함정 형상을 2차원 수치 지도로 설계하여 함정 재해에 대해 함 승조원이 신속하게 대응할 수 있도록 구체적인 경로를 제시하고자 하였다. 3장에서는 경로 탐색 알고리즘을 활용한 재해별 진압 경로 설정 시험을 수행하였다. 한국 해군의 손상통제 교범 분석을 통해 재해별 특성에 대해 정리하였으며, 개발된 알고리즘을 활용하여 재해별 경로 탐색 결과를 정리하였다.

본 연구는 함정 전투손상통제관리 소프트웨어(CDCMS, Combat Damage Control Management Software) 개발 사업 중 재해 진압경로 설정에 관한 내용이다. CDCMS는 함정의 손상통제에 관한 종합적인 관리 소프트웨어로 복원성, 최종강도, 화재, 피격, 충돌 좌초, 재해 진압, 탈출 및 이함여부 판단 등 전투 시 발생할 수 있는 손상에 대해 대응방안을 제시하고 효과적으로 통제하는 것을 목표로 한다. Fig. 1은 함정의 전부 갑판에서 화재가 발생한 것을 가정하고 중앙조종실에서의 신속대응반 파견 경

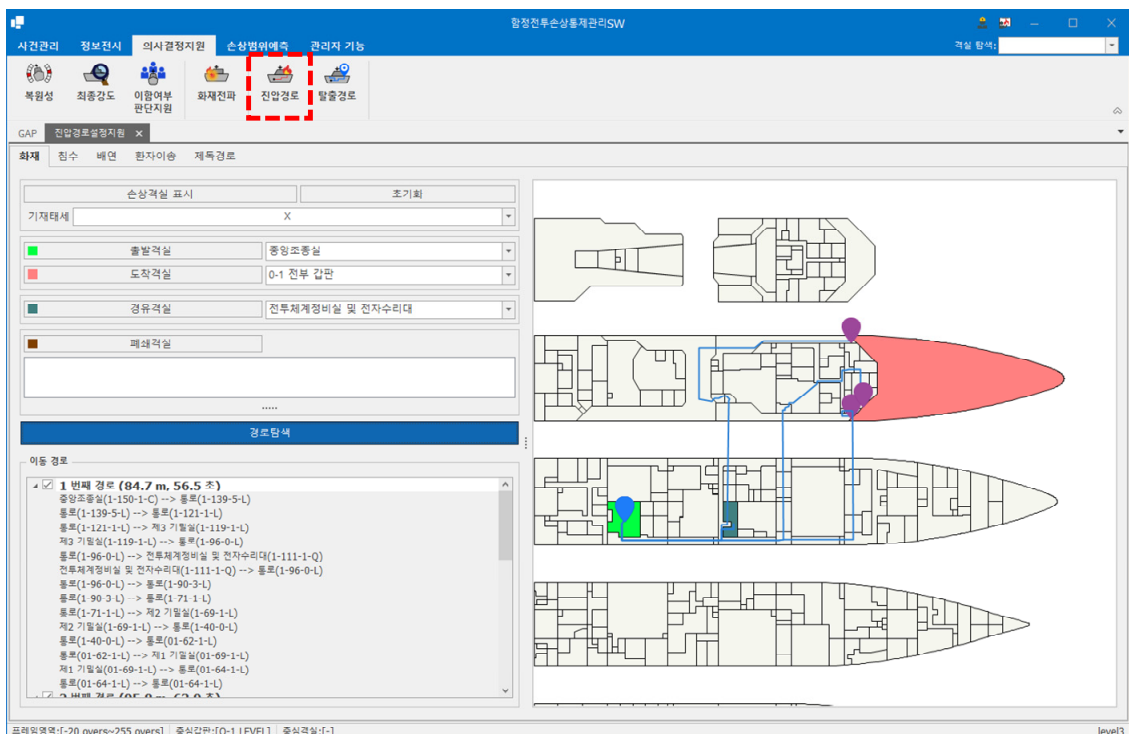


Fig. 1 Combat Damage Control Management Software(CDCMS)

로에 대해 0-1전부 갑판에 도달할 수 있는 모든 출입문에 대한 다중 탐색을 수행한 예시이다.

2. 함정 수치 지도

함정의 재해 상황 시 진압경로를 설정하고 함정 승조원이 눈으로 확인하고 재해 상황에 대해 대응할 수 있도록 함정의 교통장치도를 이용한 2차원 수치 지도를 설계하여 설정된 경로를 표시하였다(Fig. 2). 함정 수치 지도는 격실 폴리곤 레이어(Compartment polygon layer), 경로 절점 레이어(road node layer), 경로 직선 레이어(road line layer)로 구성된다. 격실 폴리곤 레이어는 함정 다층 구조 및 격실의 구체적인 위치를 표시하기 위해 설계하였다. 경로 절점 레이어는 함정의 격실 및 출입문 등 출입 장치에 대한 경로 절점을 표현하기 위해 설계하였다. 경로 직선 레이어의 경우 실질적인 경로탐색을 위한 레이어이며, 경로 절점 레이어를 기준으로 설계되었다. 또한, 각 레이어마다 경로 탐색을 위한 각각의 속성을 정의하였다. 각 레이어의 상세한 설명 및 속성에 대해서는 2.1절에 서술하였다.

수치 지도 설계는 상용프로그램인 AutoCad와 ArcGIS를 이용하여 Shape 중립 파일을 거쳐 개발된 프로그램 안에 수치 지도로 이식되었다. 함정의 수치 지도는 일반적인 지도와는 다른 특성을 갖는다. 이러한 특성은 2.2절에서 서술하였다.

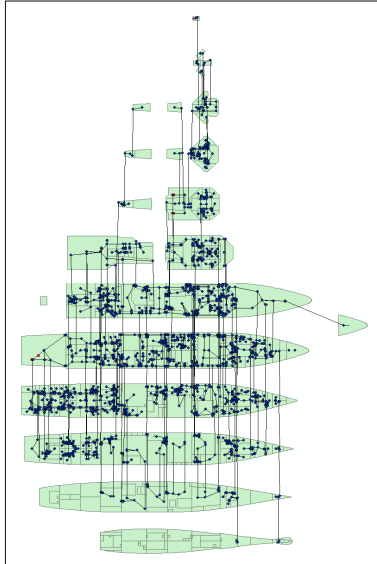


Fig. 2 Naval ship numerical map

2.1 함정 수치 지도의 구성

첫째로 Fig. 3의 격실 폴리곤 레이어는 함정의 도면을 기준으로 각 Deck의 격실을 도시하였다. 경로 설정을 위한 폴리곤 레이어의 속성은 격실의 명칭, 고유 번호, Deck 레벨, 격실 중심 X, Y 좌표를 갖도록 설계하였다(Table 1).

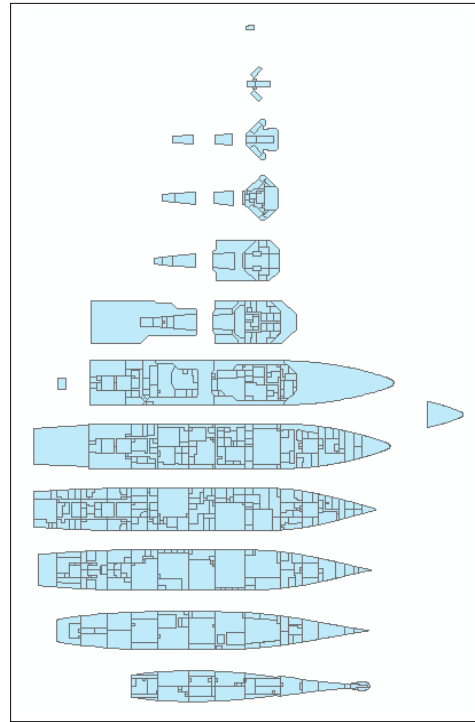


Fig. 3 Compartment polygon layer of each deck

둘째로 함정의 경로 절점 레이어는 함정의 격실과 출입문 및 출입 장치에 대해서 절점을 설정하고, 해당 절점들을 이어주는 경로 직선 레이어를 설계하고자 하였다(Fig. 4). 함정의 출입 장치는 도어, 경사사다리, 수직사다리, 해치(Hatch) 및 스커틀(Scuttle) 등 다양하게 구성되어있으며, 함정 교통장치도에서 출입 장치의 위치에 대해 절점을 설계하였으며, 특히 출입문 절점의 경우 격실 내·외부에 각각 절점을 설정하여 출입문 당 두 개의 절점을 설정하였다. 두 개의 출입문 절점을 설정한 이유는 출입문을 열고, 닫는 시간을 고려하기 위함이다. 경로가 교차하는 부분에는 경로 절점을 임의로 설정하여 경로 라인 레이어가 실제 경로와 동일하게 설정하였다. 경로 절점 레이어의 속성은 고유 ID 및 각 절점의 종류를 입력하였으며, 절점이 속해있는 격실의

Table 1 Attribute of compartment polygon layer

| ID | NameEN | CompartID | CentroidX | CentroidY | Level |
|-----|--|-----------|-----------|-----------|-------|
| 0 | VOID | 5-69-3-V | 450.159 | 34.1545 | 5 |
| 1 | NO.2 WASTE WATER BILGE TANK | 5-139-5-W | 316.701 | 35.2379 | 5 |
| ... | | | | | |
| 588 | NO.1 VACUUM COLLECTION HOLDING TANK ROOM | 4-63-0-Q | 256.667 | 301.716 | 3 |
| 589 | NO.2 VACUUM COLLECTION HOLDING TANK ROOM | 3-163-2-Q | 246.942 | 585.933 | 01 |

Table 2 Attribute of path nodes layer

| ID | Type | CompartID | Level | X | Y |
|------|------------------|-----------|-------|--------|--------|
| 0 | DOWNLADDER_NODE | 387 | 04 | 416 | 974 |
| 1 | UPPERLADDER_NODE | 399 | 03 | 416 | 855 |
| ... | | | | | |
| 1887 | ROAD_NODE | 302 | 01 | 486 | 606.5 |
| 1888 | RUNG_NODE | 582 | 01 | 770.71 | 536.99 |

고유 번호와 해당 절점의 층 번호를 갖도록 하였으며, 자동 입력을 위한 프로그램을 개발하여 입력하였다. 또한, 경로의 거리 및 위치를 계산하기 위한 X, Y 좌표를 갖도록 하였으며, ArcGIS를 이용하여 자동 입력하였다. 경로 절점의 종류는 수직 사다리, 해치, 경사 사다리, 출입문, 경로 절점으로 분류하였다(Table 2).

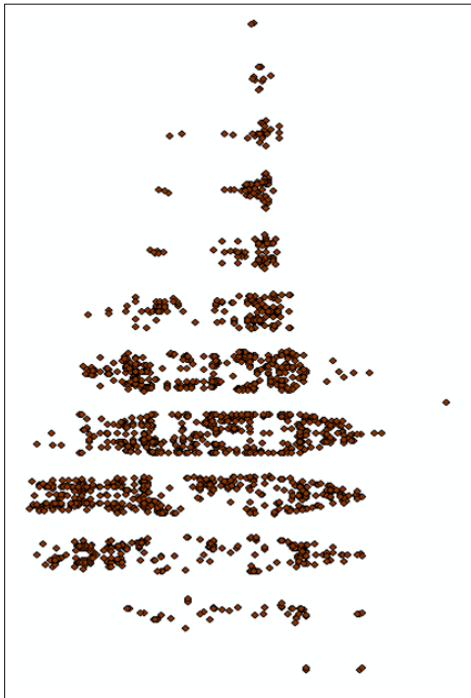


Fig. 4 Road nodes layer

세 번째로 경로 직선 레이어는 앞서 설계된 격실 폴리곤 레이어와 경로 절점 레이어를 기준으로 격실 및 통로, 출입 장치에 대한 절점을 AutoCad를 이용하여 수작업으로 이어 경로 직선 레이어를 설계하였다(Fig. 5). 경로 직선 레이어의 속성은 경로의 고유 ID, 시작 X, Y 좌표, 끝 X, Y 좌표, 경로 거리를 ArcGIS를

이용하여 자동 입력하였다. 또한, 시작 절점 번호와 끝 절점 번호를 갖도록 하였으며, 자동 입력을 위한 프로그램을 개발하여 입력하였다. 경로의 타입은 통로, 수직 경로, 경사 경로, 출입문 통로 네 가지로 구분되며, 경로의 시작 절점과 끝 절점의 타입으로 결정하였다. 수직 경로(Vertical_Ladder)는 시작 절점 또는 끝 절점이 수직 사다리 절점이며 이어진 경로의 절점이 해치 절점이면 수직 경로로 분류하였다. 경사 경로(Inclined_Ladder)는 시작 절점과 끝 절점이 경사 사다리 절점일 때 설정하였다. 출입문 통로(Door_way) 시작 절점과 끝 절점이 출입문 절점(Door_Node)일 때에는 출입문 통로로 설정하였다. 마지막으로 위 조건에 해당하지 않는 경로는 통로(GAP_ROAD)로 일괄 설정하였다(Table 3).

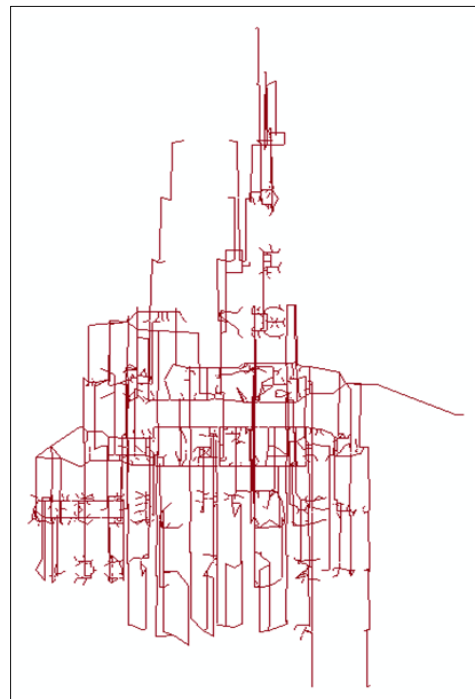


Fig. 5 Road line layer

Table 3 Attribute of road lines layer

| ID | Type | Start_X | Start_Y | End_X | End_Y | Distance | First_Node | Sec_Node |
|------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|------------|----------|
| 0 | GAP_ROAD | 443.701 | 1084.396 | 447.8878 | 1084.439 | 4.1869 | 263 | 264 |
| 1 | GAP_ROAD | 454.5 | 1090 | 454.5 | 1092.5 | 2.5 | 261 | 262 |
| ... | | | | | | | | |
| 2075 | GAP_ROAD | 451.5 | 867 | 444.5 | 867 | 448 | 299 | 5 |
| 2076 | GAP_ROAD | 451 | 844 | 445 | 843 | 448 | 302 | 3 |

2.2 함정 수치 지도의 특성

본 연구에서 설계한 함정 수치 지도는 경로 탐색 문제 관점에서 네 가지의 독특한 특징을 갖는다.

1) 함정 수치 지도는 면적 대비 상대적으로 많은 절점으로 구성된다. 함정은 두 개 이상의 출입문이 존재하는 격실이 있으며, 격실 및 통로의 교차점이 다수 존재하여 경로 절점의 수가 면적에 비해 많은 수를 갖고 있다. 이에 따라서 경로 선택의 다양성이 있다.

2) 함정은 여러 Deck으로 구성되어 있어 수평 및 수직 이동이 가능하여 경로의 종류가 다양하다. 특히, 수직 이동에 대해서는 수직 사다리와 경사 사다리가 존재한다. 함정의 경로 종류에 따라 승조원이 이동하는 속도가 다르며, 이를 Table 4의 경로 가중치로 구현하여 적용하였다.

3) 다양한 출입문이 존재한다. 해군 함정의 특성에 따라서 수밀·비 수밀 도어 및 해치, 스킨 등과 수직 경로를 위한 출입문도 존재한다. 함정의 출입문은 기재태세(Material condition)에 따라 개/폐 여부가 결정된다. 기재태세는 전투, 화재, 침수, 충돌, 화생방 오염 등의 피해에 대한 수밀도를 유지하기 위해 상황에 따라 출입문 및 수밀 장치에 대해 개폐 등급을 설정하는 것이다. 함정의 기재태세가 X 일 때 X 태세인 출입문 및 해치는 모두 폐쇄하며, 나머지 Y, Z 태세의 출입문 및 해치는 개방한다. Y 태세일 때는 X, Y 태세의 출입문 및 해치는 폐쇄하며, Z 태세의 경우에는 X, Y, Z 태세의 모든 출입문과 해치를 폐쇄한다. 함정 재해 진압경로 설정 시 기재태세에 따른 출입문의 개/폐 여부에 따른 영향을 구현하기 위해 출입문을 통하는 경로도 가중치를 설정하였다(Table 4). 이 가중치는 경로 탐색을 위한 Distance matrix에서 출입문 경로에 해당하는 경로에 해당 태세일 때 가중치를 곱하여 폐쇄되어있는 출입문 경로에 대해 개방되어있는 경로보다 두 배의 시간이 걸린다고 가정하여 설정하였다.

4) 3차원 형상의 함정을 2차원 수치 지도로 변환하여 함정의 수직 이동에 대해 2차원 이동으로 표현된다. 이때 경로 라인의 거리 계산 시 연결된 절점의 좌표로 계산하면 실제 거리와 다른 왜곡된 거리가 입력된다. 이를 보정하기 위해 상·하부 격실로 이동에 대해서는 경로 거리를 실제 사용되는 거리로 변환하여 사용하였다. 즉, 갑판 간의 거리는 갑판 높이이므로 수직 이동에 관해서는 GIS가 제시하는 좌표 계산 거리를 사용하지 않고 높이로 변환한다. 물론, 통로 타입에 따른 경로 가중치는 서로 다르게 사용하였다.

Table 4 Distance penalty for doors and ships material condition

| Door \ Ship | Ship | | |
|-------------|------|-----|-----|
| | X | Y | Z |
| X | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Y | 1.0 | 2.0 | 2.0 |
| Z | 1.0 | 1.0 | 2.0 |

3. 재해 특성에 따른 경로 탐색

함정 내 경로 탐색을 구현하기 위해 3종 경로 탐색 알고리즘을 고려하였으며, 함정 수치 지도의 특성을 반영할 수 있고, 수치 계산의 비용을 줄이기 위한 알고리즘을 선택하였다. 2.2절에서 기술한 함정의 수치 지도의 특성상 면적에 비해 많은 경로 절점을 갖고 있으며, 다양한 경로 선택지가 존재한다. 따라서 함정 내 경로 탐색은 많은 절점에서 다중 탐색에 유리한 APSP(All Pair Shortest Path)용 경로 탐색이 적합하다 (Brodnik & Grgurovič, 2017). 본 연구에서 설계한 함정의 수치 지도의 절점 수는 1888개로 많은 절점을 갖고 있다. 따라서 일 대 다 탐색에 유리하고 Fig. 6의 결과에 대입하였을 때 수치 연산 측면에서 가장 유리한 APSP 경로 탐색 중 하나인 Dijkstra 알고리즘이 본 연구에 적용하기에 가장 적합하다(Moon et al., 2016). Fig. 6에서 비교한 3종 알고리즘의 특징은 다음과 같다. Dijkstra 알고리즘은 P개의 절점과 E개의 간선으로 이루어진 그래프에서 하나의 출발지와 출발지를 제외한 다른 모든 절점 간의 최단 경로를 구하는 알고리즘이다 (Heo et al., 2013 cited in Dijkstra, 1959). A* 알고리즘은 하나의 출발지와 하나의 도착지 간의 일대일 최단 경로를 계산하는 알고리즘이다 (Heo et al., 2013 cited in Hart et al., 1968). Floyd 알고리즘은 N개의 절점으로 구성된 방향 그래프에서 각 절점을 출발 절점으로 하여 모든 절점 쌍 사이의 최단 경로를 구하는 방법으로 All-To-all 문제 해결의 가장 효율적인 방법으로 알려져 있다 (Lee et al., 2009).

함정의 재해는 서로 다른 특징을 갖는다. 특히, 화재와 침수는 진압을 위한 접근 방향이 서로 다르다. 이러한 재해 특성을 Table 5의 재해 종류에 따른 경로 가중치로써 구현하였다. 경로의 가중치는 해군 인터뷰와 해군 손상통제 교범을 통해 재해별 진압 절차를 분석하고, 합리적인 진압경로를 도출하기 위해 반복적인 수치 실험과 인터뷰를 통해 결정하였다. 또한, 함정의 격실은 수평 출입문과 수직 출입문이 모두 있는 경우와 둘 중 하나만 있는 경우로 나뉜다. 따라서 각 재해 특성에 따라서 도착 격실까지의 경로를 설정할 때 최종 도착 절점이 격실의 대표 절점이 아닌 도착 격실의 수평 출입문 절점 또는 수직 출입문 절점을 도착 절점으로 설정한다. 더 상세한 내용은 아래의 각 재해 경로 설정에 대한 절에서 서술하였다.

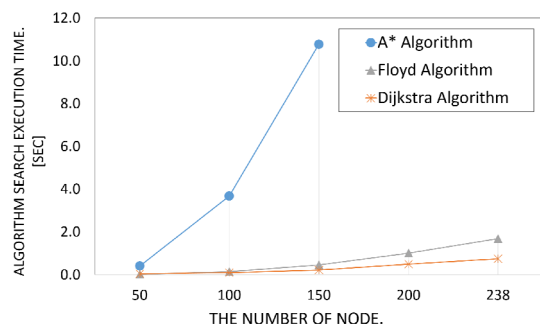


Fig. 6 All pair shortest path search time comparison (A* vs Floyd vs Dijkstra)

Table 5 Distance penalty for each casualty type

| | Fire | Flood | Patient transportation | Smoke emission |
|-----------------|------|-------|------------------------|----------------|
| Corridor | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Vertical Ladder | 2.0 | 2.0 | 100.0 | 0.1 |
| Inclined Ladder | 1.5 | 1.5 | 0.1 | 100.0 |
| Door Way | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |

경로 탐색 알고리즘을 적용하기 위해 절점 간 Distance matrix를 구성하고 출입 장치 개폐 여부에 대한 가중치 Table 4와 재해 및 경로 타입에 따른 가중치 Table 5를 Distance matrix에 적용하여 재해별 경로 탐색용 Penalty distance matrix를 이용하여 재해 별 최단 진압경로를 설정하도록 설계하였다.

3.1 화재 진압경로 설정

함정은 화약 무기와 연료유 등 폭발 및 화재로부터 취약한 물질들이 있어 화재 발생 시 신속한 대응이 중요하다. 화재 발생 시 화염의 열과 연기가 위로 향하는 성질로 인해 수직 경로로의 접근이 어렵다. 따라서 화재 진압경로 설정 시 도착 격실의 출입

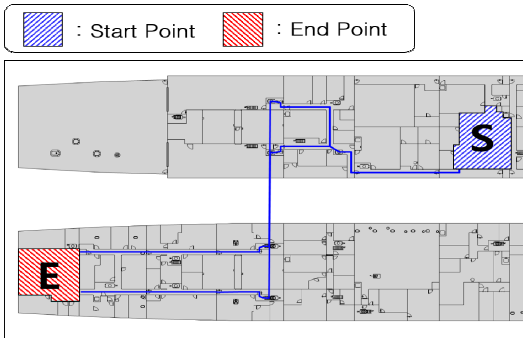


Fig. 7 Fire suppression path using horizontal doors of a compartment

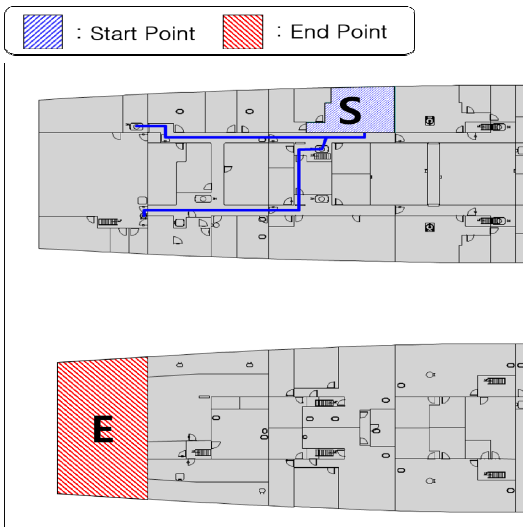


Fig. 8 Fire suppression path using the hatch

장치 중 수평 출입 장치로 통하는 경로를 이용한 진압경로를 우선 설정하도록 설계하였다. 또한, 격실의 모든 출입문 절점을 기준으로 도착지를 설정하도록 다중 탐색하였으며(Fig. 7), 출입문 절점이 없는 격실일 경우 해치 절점 또는 경사 사다리 절점을 도착지로 설정하도록 하였다(Fig. 8).

3.2 침수 진압경로 설정

함정의 선체 파공 및 파이프 누수로 인한 침수 재해 시 해수 유입으로 함정의 복원성 및 함 자세에 대해 부정적인 영향을 미치며, 심할 경우 함정이 침몰할 수 있는 상황까지 초래할 수 있다. 따라서 침수 재해 또한 신속하게 대응해야 할 필요가 있다. 침수 재해가 발생하면 격실의 하부부터 해수 또는 물이 차오르며, 수평 경로로 진입할 시 격실 하부에 차오른 물이 인접한 격실로 전파될 위험이 있다. 따라서 침수 재해 시에는 도착 격실의 해치, 스커틀과 같은 수직 출입 장치로 접근하는 것이 적절하며, 본 연구에서는 침수 재해에서는 도착 격실에 연결된 수직 경로 또는 경사 사다리가 있는 경우 해당 경로의 출입문에 해당하는 해치 또는 스커틀 절점을 도착지로 우선 설정하도록 하였다(Fig. 9). 수직 경로가 없는 경우 출입문 절점으로 접근할 수 있도록 설계하였다(Fig. 10).

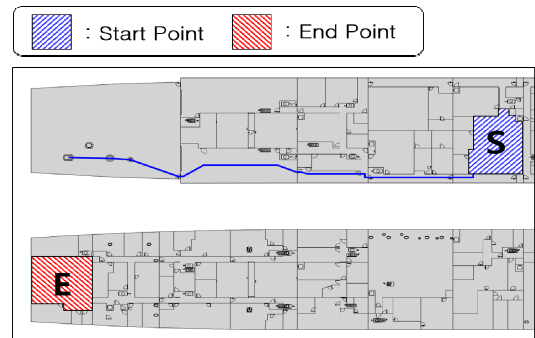


Fig. 9 Flood suppression path with the vertical path

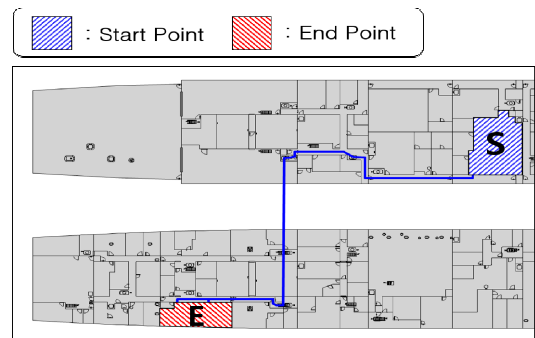


Fig. 10 Flood suppression path with the horizontal door

3.3 연기배출 경로 설정

화재 발생 시 생성되는 유해 가스 및 연기는 소화 작업을 어렵게 하며, 발생한 유해 가스로 인한 인명 손상을 초래할 수 있다.

따라서 소화 작업의 용이성과 유해 가스로부터 소화반 요원 및 함 승조원의 안전을 위해 함 외부로 연기의 배출은 필수이며, 연기 배출 시 타 격실에 전파되지 않도록 연기를 배출하기 위한 경로를 설정해야 한다. 화재로 인해 발생한 가스나 연기는 아래에서 위로 향하는 성질이 있어 하부에서 상부로 향하는 경로를 설정해야 한다. 따라서 Table 4의 연기배출 가중치를 Distance matrix에 곱하여 경로 탐색 시 수직 통로를 이용하는 경로를 설정하도록 설계하였다. 또한, 실제 함정에서는 비상 탈출구를 이용한 연기배출 경로를 우선 고려하여 설정한다. 이를 연기배출 설정 알고리즘에 적용하여 함정의 비상 탈출구를 이용한 경로를 설정하도록 하였다. 또한, 연기배출 경로 설정 시 도착지는 함 외부로 이어지는 해치 또는 출입문을 선택하도록 설정하였다(Fig. 11).

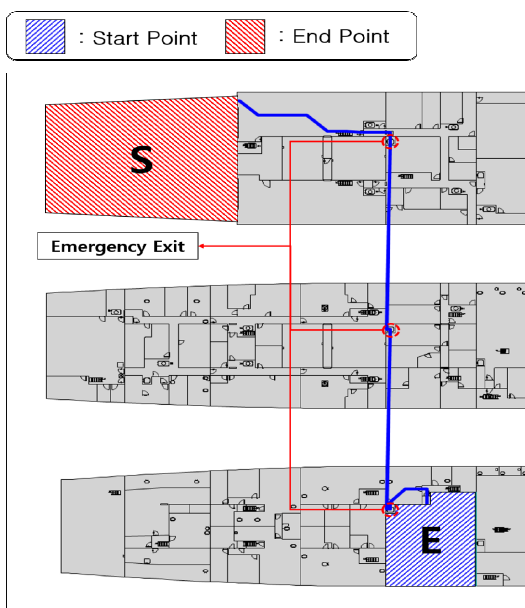


Fig. 11 Smoke emission path using emergency exit

3.4 환자이송 경로 설정

함정의 다양한 상황에서 인명사고 발생 시 환자를 안전하게 의무실로 이송해야 한다. 따라서 이송 시 부상 위험이 없고 통행이 수월한 경로로 이송해야 한다. 함정 통로의 종류는 Table 4의 4가지로 구분된다. 특히, 수직 경로로 환자를 이송하는 경우 환자에게 불필요한 움직임으로 인한 추가적인 부상 가능성과 들것 요원의 이동이 어려운 문제점이 있다. 따라서 Table 4의 환자이송에 대한 경로 가중치는 수직 경로 이동을 지양하기 위해 100배의 가중치를 곱하여 Distance matrix를 구성하고, 이를 이용하여 환자이송 경로를 설정하도록 하였다(Fig. 12).

3.5 경유지 설정 및 폐쇄구역 우회 경로 설정

화재, 침수 등 재해 진압을 위한 수리반 요원, 환자이송 요원 등 도착 격실에 이동 시 먼저 수행해야 하는 임무가 있는 경우와 특별히 필요한 장비를 지참이 필요한 경우에 대해 특정 격실을

경유 하고 도착 격실에 도착할 수 있도록 경유지를 설정하여 도착까지 도달할 수 있는 경로 설정을 지원하도록 알고리즘을 설계하였다. 출발지에서 경유지의 대표 절점까지 경로 탐색을 수행하고, 경유지 절점에서 도착 격실의 출입문 절점까지의 경로 탐색하여 두 번의 경로 탐색을 통해 경유지를 설정하여 경로를 설정할 수 있도록 하였다(Fig. 13).

함정의 치명적 손상으로 인해 격실 및 통로의 통행이 자유롭지 못한 경우 또는 작전 상황에 따라서 우회하는 경우에 대해 해당 구역을 우회하여 도착 격실로 도착할 수 있는 경로 설정을 지원하도록 알고리즘을 설계하였다. 손상 격실에 해당하는 경로 절점을 Distance matrix 구성 시 통행할 수 없는 절점으로 설정하여 해당 절점을 우회하는 경로를 설정하였다(Fig. 14).

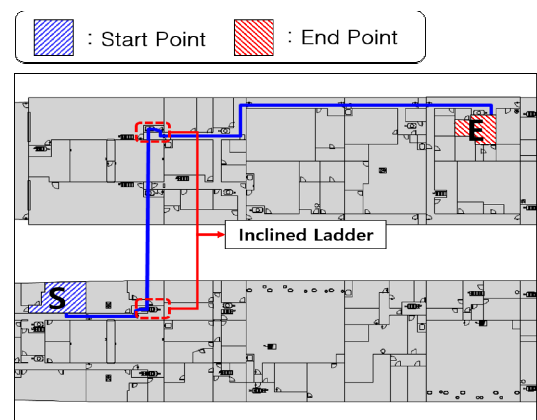


Fig. 12 Patient transport path using the inclined ladders

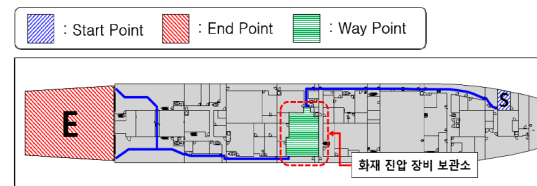


Fig. 13 Path search including the waypoint

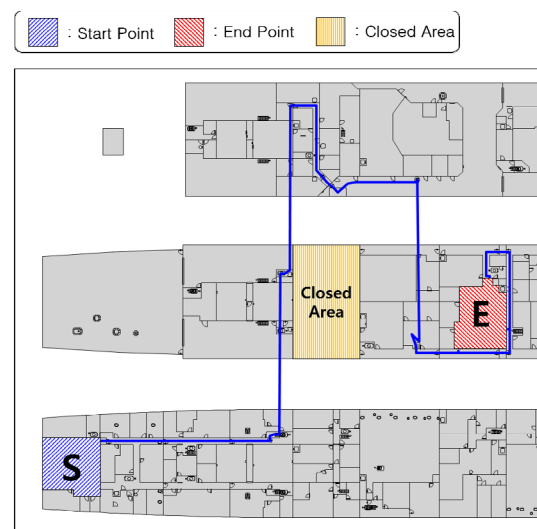


Fig. 14 Path search bypassing the closed area

3.6 CCW 경로 설정 알고리즘

함정에서 탈출 상황 발생으로 인해 승조원들이 급히 이동하면 타 승조원과 동선이 겹쳐 충돌 등 통행을 방해하는 상황을 유발하게 된다. 따라서 대한민국 해군에서는 승조원 간 충돌을 막고 통행을 원활하게 하기 위해서 전투 배치 및 탈출 상황에서 반 시계 방향(CCW, Counterclockwise)으로 통행한다. 본 연구에서도 CCW 이동에 대해 알고리즘에 적용하였다. CCW 경로 설정을 위해 경로 절점과 기준 벡터와 외적 값의 부호에 따라 좌·우회전을 판별하고 좌회전 이동에 대해 가중치를 곱해 이동을 지양하도록 설계하였다. CCW 이동에 대해 출발지 절점(P_1)과 도착지 절점(P_2)으로 기준벡터(\vec{a})를 설정하여 경로 벡터 \vec{b}_i , \vec{c}_i 과의 외적을 통해 좌회전 경로에 페널티를 부과하였다. 출발지에서 도착지까지 페널티 경로가 더 적은 경로를 설정하도록 설계하였다(Fig. 15). Fig. 16은 최단 경로 탐색과 CCW 경로에 대해 비교하였다.

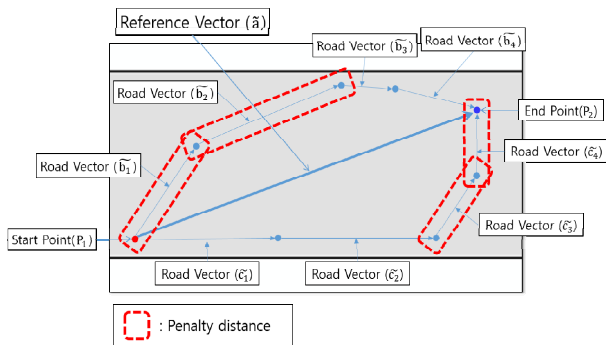


Fig. 15 CCW Identification using a reference vector

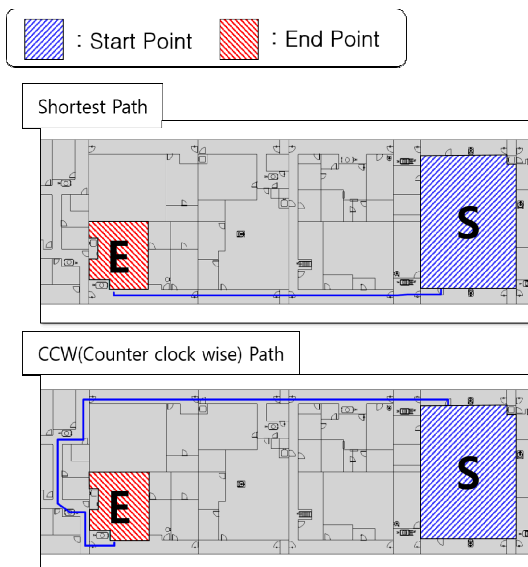


Fig. 16 Comparison of a shortest path and a CCW path

4. 결론

본 연구에서는 해군 함정의 2차사고 발생 시 신속한 재해 진

압을 지원함으로써 임무수행능력 회복에 대해 초점을 두고 손상 통제의 하나의 방안으로 함정에서 화재 등 재해가 발생하였을 때 수리반 요원이 신속하게 대응할 수 있도록 재해 진압경로 설정에 대해 제시하였다. 특히, 3차원 형상의 함정의 격실 및 경로를 2차원 수치 지도로 변환하여 빠르게 경로 설정을 지원할 수 있도록 수치 지도를 설계하였다. 또한, 한국 해군의 재해 진압 교리/교범에 따라 함정 재해에 대하여 각 재해 특성에 부합하는 경로 설정 알고리즘을 설계하였다.

본 연구는 재해 상황으로 발생 된 함정의 폐쇄구역을 회피하고 패닉 상태의 진압 요원의 재해 상황별 이동 경로를 제시함은 물론이며 재해 진압 훈련 지원에 도움을 줌으로써 함정의 생존성 향상을 기대한다.

후기

본 연구는 방위사업청 방위산업기술지원센터의 지원(사업명: 함정 전투손상통제관리SW 개발, 과제번호: UC160001D)하에 수행되었습니다.

References

Ahn, B.K., & Lew, J.M., 2007. A study on the damage control system and flooding simulation of naval vessels using M&S. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(4), pp.526–533.

Ball, R.E., 2003. *The fundamentals of aircraft combat survivability analysis and design 2nd*. New York.

Brodnik, A., & Grgurovič, M, 2017. Solving all-pairs shortest path by single-source computations: Theory and practice. *Discrete Applied Mathematics*, 231, pp.119–130.

Chung, J.H. et al., 2006. Necessity of survivability design technique on korean naval vessel and its developing guidance. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(4), pp.41–49.

Heo, Y.J., Cha, J.H., Cho, D.Y. & Song, H.C., 2013. Optimal block transportation path planning of transporters considering the damaged path. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(5), pp.298–306.

Kang, H.J., Shin, J.G., Lee, D.K., & Choi, J., 2009. A study on deception ship for ship susceptibility improvement based on system engineering approach. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(3), pp.313–324.

Kim, H.K., 2017. A study of evacuation route guidance system using location-based information. *Journal of the Korea Academy Industrial Cooperation Society*, 18(9), pp.18–23.

Kim, Y.W., Lee, C.Y., & Kim, D.H., 2008. A design and implementation of a scheme of three-dimensional refuge guide, *Proceedings of the Korea Academy Industrial Cooperation*

Society, pp.282-285.

Lee, D.G. 2003. A study on the survivability assessment system of damaged ships. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(2), pp.34-40.

Lee, K.Y. et al., 2009. The embody of the direction escape algorithm for optimization escape. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 23(10), pp.115-120.

Moon, J.H., Ruy, W.S., & Cha, J.H., Comparison of optimal path algorithms and implementation of block transporter planning system. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea* 53(2), 2016.4, pp.115-126.

Shin, Y.H., Kwon, J.I. & Chung, J.H, 2013. Development of simplified vulnerability analysis program for naval vessel. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(6), pp.390-396.

