

함정 초기 설계 단계에서 레이아웃 설계 시 생존성을 고려하기 위한 간이 평가 방법과 애플리케이션

정진욱¹·정용국^{2,†}·주수현²·신종계^{2,3}·김종철⁴
대한민국 해군 해군본부¹
서울대학교 조선해양공학과²
서울대학교 해양시스템공학연구소³
국방과학연구소 제6본부⁴

A Simplified Assessment Method and Application for Consideration of Survivability in Spatial Layout Design at the Early Design Stage of Naval Vessels

Jin-Uk Jung¹·Yong-Kuk Jeong^{2,†}·SuHeon Ju²·Jong Gye Shin^{2,3}·JongChul Kim⁴
Republic of Korea Navy Headquarters¹
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University²
Research Institute of Marine System Engineering, Seoul National University³
6th R&D Institute, Agency of Defense Development⁴

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.

Survivability of naval vessels is defined as the ability to perform functions and missions in a combat environment. Survivability has close relationship with the spatial layout of naval vessels. In order to maximize survivability, it must be considered from the early stage of design. However the existing concept of survivability was intended to be applied to unit vessels. So it was not suitable for assessment of spatial layout results at the early stage of design. In this paper, a simplified assessment method which can evaluate the spatial layout considering the survivability in the early stage of design has been proposed. For this, assessment layers were defined on survivability components such as susceptibility, vulnerability, and recoverability. Assessment layers of each component were overlapped to deduce a survivability layer of spatial layout alternatives. In addition, the proposed method and optimization algorithm were used to derive optimal spatial layout alternatives considering survivability.

Keywords : Differential evolution algorithm(차분 진화 알고리즘), Early design stage(초기 설계 단계), Naval vessel survivability(함정 생존성), Spatial layout design(공간 배치 설계)

1. 서론

함정은 이동, 수송, 전투, 부대 운영, 행정 등 다양한 임무를 수행하는 복합 무기 체계이다. 이와 같은 임무를 수행하기 위하여 다양한 장비와 격실이 함정 내부에 배치된다. 격실 사이의 연관 관계는 함정이 임무를 성공적으로 수행하는데 중요한 요소이다. 그리고 이러한 관계를 고려한 함정 내부 공간 배치는 함정의 성능에 중요한 영향을 끼친다 (Hwang, et al., 2014). 최근 중요

도가 높아지고 있는 함정의 생존성 역시 내부 공간 배치에 영향을 받으며, 공간 배치를 개선하여 함정의 생존성을 향상시킬 수 있다 (Kim, et al., 2014). 그러나 함정은 격실과 장비를 배치할 수 있는 공간이 제한적이고 길이와 폭의 비의 값이 큰 날렵한 선형을 가지고 있기 때문에 공간 배치에 많은 제약이 따른다. 따라서 공간 제약 조건과 격실 사이의 연관 관계를 모두 고려하여 효율적인 공간 배치 안을 도출하는 것이 함정의 작전 성능 향상과 생존성 향상에 매우 중요하다.

함정을 개발할 때, 설계 초기 단계에서 성능과 관련된 요소를

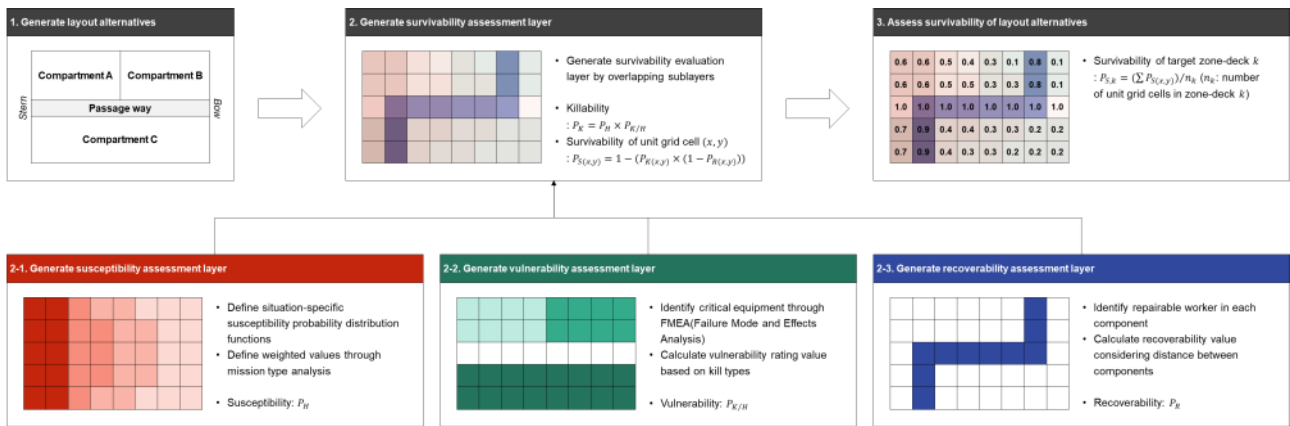


Fig. 1 An overall flow chart defining survivability assessment layers

고려하면 적은 비용으로 상대적으로 큰 개선 효과를 얻을 수 있다 (Tibbitts & Keane, 1999). 그러나 세부적인 설계가 확정되지 않은 상황에서 함정의 성능을 추정하고 고려하기는 어렵다. 특히, 함정 설계 초기 단계에서 생존성을 고려하기에는 어려운 점이 많다. 함정의 생존성은 일반적으로 Ball and Calvano (1994)의 방법을 이용하여 평가한다. 그러나 이 방법은 단위 함정 전체에 대한 생존성 평가 방법으로 함정의 특징이 명확히 나타나지 않는 설계 초기 단계에서는 생존성을 효과적으로 평가하기에 한계가 있다. 하지만 함정의 성능은 격실의 배치 결과에 영향을 받기 때문에 함정 초기 설계 단계에서도 격실의 공간 배치에 따른 생존성을 개략적으로 평가할 필요가 있다.

함정 공간 배치 문제를 해결하기 위하여 다양한 연구가 수행되어 왔다. Carson and Fireman (1987)의 연구에서는 함정의 전체 공간을 분할하고 분할된 공간에 기능을 할당하는 방법을 이용한 함정 일반배치 프로세스를 제안하였다. Nick (2008)의 연구에서는 함정의 공간 배치를 격실을 구획에 할당하는 구획 배치 단계와 구획에 할당된 격실의 기하학적 형상을 결정하는 격실 배치 단계로 나누어 공간 배치 문제를 단순화하여 해결하였다. Kim, et al. (2014)의 연구에서는 격실 간 관계와 생존성을 고려하여 공간 배치 결과를 평가하고 차분진화 알고리즘을 이용하여 최적 공간 배치를 수행하였다.

함정의 생존성과 관련된 연구로는 Ball and Calvano (1994)의 항공기 생존성 평가 이론을 바탕으로 한 생존성 분석 연구가 대표적이다. 이 연구에서는 단위 함정의 생존성을 분석하기 위한 기본적인 절차를 정립하였다. 그리고 Kim and Lee (2012)의 연구에서는 함정에 탑재되는 다양한 장비의 FMEA(Failure Mode and Effective Analysis)와 FTA(Fault Tree Analysis)를 통해 주요 구성품을 도출하고, 취약 면적을 정의하여 이를 바탕으로 취약성을 평가하는 절차를 제안하였다. Shin (2013)의 연구에서는 다양한 폭발 위협과 공간 배치 대안에 대하여 취약성을 정량화하고, 생존성을 고려한 함정 공간 배치를 수행하였다.

이처럼 함정 공간 배치나 함정의 생존성과 관련된 다양한 연구 사례가 있지만, 설계 초기 단계에서부터 생존성을 고려하여 공간 배치 결과를 평가하고, 최적화를 수행한 연구 사례는 제한

적이다. 따라서 본 논문에서는 설계 초기 단계의 제한된 정보를 바탕으로 공간 배치 대안의 생존성을 평가할 수 있는 간이 평가 방법을 제안한다. 그리고 이 평가 방법을 바탕으로 함정의 공간 배치 문제를 복도 유형에 따라 정의하고 차분진화 알고리즘을 적용하여 최적 배치대안을 도출하도록 한다.

2. 함정 생존성 간이 평가 방법

2.1 함정 생존성 평가 방법

함정의 생존성은 전투 환경에서 미주치는 다양한 위협 요소에 대응하여, 파괴되지 않고 견뎌낼 수 있는 능력으로 정의할 수 있으며, 생존성을 구성하는 요소에는 피격성(susceptibility), 취약성(vulnerability), 회복성(recoverability)이 있다 (Ball & Calvano, 1994). 피격성은 전투 환경에서 함정이 위협에 노출되는 정도를 의미하며, 취약성은 피격 시 함정 기능과 임무 수행능력을 상실할 가능성을 의미한다. 그리고 회복성은 피격 후 손상된 함정이 주어진 임무와 기능을 회복할 수 있는 능력을 의미한다.

하지만, 이와 같은 생존성 평가 개념은 완성된 단위 함정이나 전투기를 기반으로 정립된 개념으로, 초기 설계 단계에서 다양한 공간 배치 대안에 따른 생존성을 평가하기에는 알맞지 않다. 따라서 본 연구에서는 함정의 초기 설계 과정에서 공간 배치 대안에 대한 생존성을 평가할 수 있도록 간이 평가 방법을 이용하여 생존성을 평가하고자 한다. 그리고 평가 결과를 바탕으로 최적화 알고리즘을 적용하여 생존성을 고려한 최적 공간 배치 대안을 도출하고자 한다.

본 논문에서는 함정 초기 설계 단계에서 공간 배치 대안의 생존성을 간단하게 정량적으로 평가하기 위하여 생존성 평가 레이어 개념을 도입하였다. 이때, 격벽(bulkhead)과 갑판(deck)이 교차하여 만들어진 내부 공간을 구획으로 정의하였으며, 구획 내부에 복도와 격실의 위치를 결정하는 문제를 대상으로 하였다. 생존성 평가 레이어는 대상으로 하는 구획을 균일한 크기의 격자로 나누고, 단위 격자에 정량적인 평가 점수를 대응시켜 정의하였다.

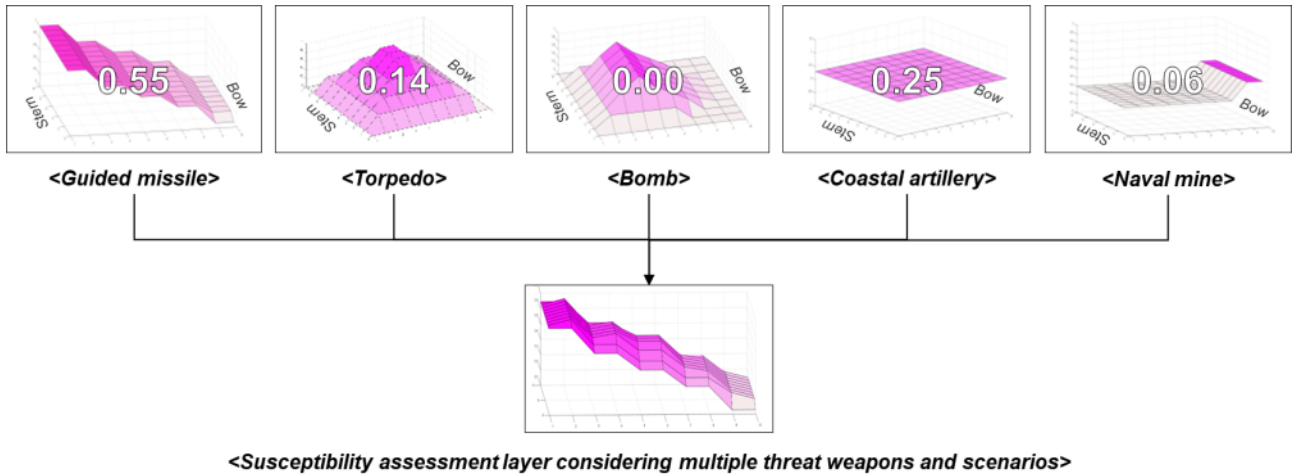


Fig. 2 A process calculating a susceptibility layer considering multiple threat weapons and scenarios

레이어 개념을 적용하여 정량적인 평가 결과를 가시화하는 방법은 문제점을 식별하고 개선하기에 용이하다. 또한, 단위 레이어를 정의하는 방법이 정해지고 나면 수시로 변경되는 공간 배치 대안과 연동하여 신속하게 생존성을 평가할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 생존성을 구성하는 요소가 변경되거나 새로운 생존성 평가 방법이 활용될 때에도 유연하게 대응할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 개념을 활용하여 공간 배치 대안에 대한 생존성 간이 평가 방법을 제안하였으며, Fig. 1은 각 단계 별 주요 내용을 나타낸다.

2.2 함정 생존성 간이 평가를 위한 생존성 평가 레이어 정의 방법

생존성 평가 레이어를 구성하는 요소 중 피격성 레이어는 함정이 위협무기에 피격될 확률을 단위 격자에 할당하는 방법으로 정의한다. 이를 정의하기 위해서는 위협무기의 특성에 따른 위치 별 피격 확률 정보, 함정의 임무와 전투 형태를 고려한 위협 시나리오 별 가중치 정보, 각 위협 시나리오를 구성하는 위협무기 별 가중치 정보가 필요하다. 본 논문에서는 각 위협무기의 특성에 따라 정의된 위치 별 피격 확률 값을 피격성 레이어를 구성하는 단위 격자에 할당하였다. 위협무기 특성에 따른 피격 확률은 Live Fire Testing & Evaluation(LFT&E), 모의 피격 시뮬레이션 결과를 통하여 산출할 수 있으며, 이러한 정보가 없는 경우에는 합리적인 가정을 통하여 산출할 수 있다.

다음으로는 위협 시나리오 별 가중치 값($w_{s(i)}$), 위협 시나리오 i 와 위협 시나리오를 구성하는 위협무기 별 가중치 값($w_{th(i,j)}$), 위협 시나리오 i , 위협무기 j)을 계산한다. 먼저 위협 시나리오에는 함정이 전체 생애주기 동안 맞이할 수 있는 다양한 위협 상황을 의미하며, 단일 위협무기뿐만 아니라 복합 위협무기에 따른 상황도 고려한다. 모든 위협 시나리오와 위협무기에 대한 가중치를 선정된 이후, 위협 시나리오에 따른 가중치($w_{st(j)}$, 위협무기 j)를 식 (1)과 같은 방법으로 계산한다. 모든 가중치는 대상 함정의 주 임무와 역할에 따라 달라질 수 있으며,

이를 반영하기 위하여 전문가의 의견을 수렴하여 합리적으로 가중치를 결정해야한다. Table 1은 위협 시나리오 3개, 위협무기 5개에 대하여 위협 시나리오에 따른 가중치를 계산하는 예시를 나타낸다. Table 1의 결과는 예시에서 대상으로 하는 함정이 전체 생애주기 동안 유도 미사일에 의한 위협을 55.0%, 어뢰에 의한 위협을 14.0%, 해안포에 의한 위협을 25.0%, 기뢰에 의한 위협을 6.0%의 확률로 맞이할 수 있음을 의미한다.

$$w_{st(j)} = \sum_i w_{s(i)} w_{th(i,j)} \quad (1)$$

마지막으로 식 (1)에서 계산한 위협무기 별 가중치를 위협무기의 특성에 따른 위치 별 확률 정보와 연계한다. 이때, 위협무기의 특성에 위치 별 확률 정보는 Fig. 2의 상단에 위치한 그림과 같이 격자의 높이로 표현할 수 있으며, 이 값을 위협 무기 별 가중치와 곱하여 대상 함정의 피격성 레이어를 계산할 수 있다. Fig. 2은 다양한 위협무기와 함정이 전체 생애주기 중 맞이할 수 있는 위협 시나리오를 고려하여 피격성 레이어를 계산하는 과정을 나타낸다.

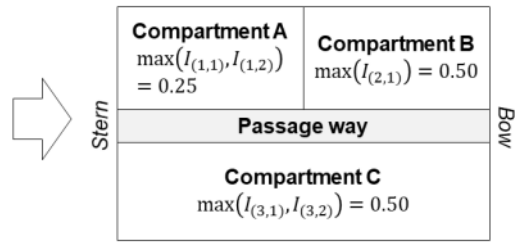
Table 1 An example of threat weapon weight by threat scenario

$w_{th(i,j)}$ \ $w_{s(i)}$	Threat scenario #1 (0.50)	Threat scenario #2 (0.30)	Threat scenario #3 (0.20)	$w_{st(j)}$
Guided missile	0.90	-	0.50	0.55
Torpedo	0.10	0.30	-	0.14
Bomb	-	-	-	0.00
Coastal artillery	-	0.50	0.50	0.25
Naval mine	-	0.20	-	0.06
Sum	1.00	1.00	1.00	1.00

Critical equipment list

ID	Critical equipment	Kill type	Importance score	Located compartment
E01	Maritime radar	Mission area kill	$I_{(3,1)} = 0.50$	Compartment C
E02	Maritime radar console	System kill	$I_{(3,2)} = 0.25$	Compartment C
E03	Anti-ship missile	System kill	$I_{(1,1)} = 0.25$	Compartment A
E04	Fire-control system	System kill	$I_{(1,2)} = 0.25$	Compartment A
E05	Naval artillery	Total kill	$I_{(2,1)} = 1.00$	Compartment B

Vulnerability score calculation method



- $P_{K/H(p)}$: Vulnerability score of compartment p
- $I_{(p,m)}$: Importance score of equipment m in compartment p
- $P_{K/H(p)} = \max(I_{(p,m)})$

Fig. 3 Critical equipment list and vulnerability calculation method

취약성 레이아웃은 Kim and Lee (2012)의 연구에서 제안한 함정 취약성 평가 방법과 Shin (2013)의 연구에서 제안한 공간 배치를 고려한 취약성 평가 방법을 활용하여 정의하였다. Kim and Lee (2012)의 연구에서는 (1) 위협 무기 체계 분석 (2) 함정 주요 구성품 정의 (3) 취약성 확률 계산의 3단계로 이루어진 함정 취약성 평가 절차를 제시하였으며, 함정 주요 구성품을 정의할 때에는 FMEA와 FTA를 수행하였다. 그리고 Shin (2013)의 연구에서는 생존성을 고려한 공간 배치 방법을 제안하였는데, 이 방법은 (1) 함정 주요 구성품 정의 (2) 생존성 정량화 (3) 생존성 계산의 3단계로 이루어져 있다. 이 연구에서는 각 격실에 배치된 주요 구성품을 기준으로 생존성을 정량화 하였으며, 생존성을 대표하는 값으로 취약성 값을 사용하였다. 이를 통하여 기존의 연구와 달리 함정 레이아웃 설계 단계에서도 주요 구성품 배치 위치를 기준으로 함정의 생존성을 정량적으로 평가할 수 있게 하였다.

본 연구에서는 상세한 정보가 정해지지 않은 함정 초기 설계 단계에서 레이아웃 설계 시 생존성을 고려하기 위하여 Shin (2013)의 연구에서 제안한 방법을 활용하여 격실 별 취약성을 정의하였다. Fig. 3은 본 연구에서 적용한 격실 별 취약성 값을 계산하는 과정과 결과를 나타낸다. 격실의 취약성은 해당 격실에 탑재된 주요 구성품의 중요도 점수를 기준으로 산출되며, 복수의 주요 구성품이 탑재된 경우에는 가장 큰 값을 해당 격실의 취약성 값으로 산출하도록 하였다. 그리고 위와 같은 방법으로 계산된 격실 별 취약성 값을 취약성 레이아웃을 구성하는 단위 격자에 할당하여 취약성 레이아웃을 정의하였다.

함정의 생존성을 구성하는 요소 중 회복성은 함정이 피격된 후 손상된 기능을 회복할 능력으로 정의할 수 있다. 하지만 생존성을 구성하는 다른 요소에 비하여 회복성을 정량적으로 계산하는 방법에 대해서는 많은 연구가 진행되지 않았다. 이는 회복성은 피격성이나 취약성에 비하여 승조원이 준비도나 숙련도와 같은 사람의 능력에 영향을 받는 요소이기 때문에 정량적으로 평가하기 어려운 특성을 가지고 있기 때문이다 (Piperakis, 2013). 또한 회복성은 함정을 설계하는 관점에서보다는 함정을 운영하는 관점에서 접근하는 것이 효율적이기 때문에 회복성을 취약성에 포함하여 평가하기도 한다 (Reese, et al., 1998).

앞서 언급한 Piperakis (2013)의 연구에서는 회복성을 정량적으로 평가하는 방법을 포함한 초기 설계 단계에서 적용 가능한 함정 생존성 통합 접근 방법을 제시하였다. 이 연구에서는 함정 설계에 사용되는 상용 프로그램인 Paramarine과 SURVIVE Lite에서 산출 가능 한 값을 기준으로 회복성을 정량적으로 평가하기 위한 성능 평가 지표를 제안하고 있으며, 이 평가 지표를 부양(float), 회복 지원(recovery support), 이동(move), 전투(fight) 성능을 기준으로 구분하였다. 최종 회복성 점수를 산출할 때에는 각각의 그룹에 따라 가중치를 부여하여 종합 점수를 산출하였다. 이와 같은 방법으로 함정 초기 설계 단계에서도 회복성 점수를 정량적으로 산출할 수 있지만, 제안된 방법은 필요한 정보가 많고, 공간 배치 최적화 알고리즘과 연동하여 적용하기에는 복잡하다는 단점을 가지고 있다.

이러한 점을 극복하기 위하여 일부 연구에서는 회복성을 간단하고 정량적으로 계산하기 위하여 주요 구성품과 부품의 고장을 및 평균 수리시간(Mean Time to Repair, MTTR)을 회복성 평가 요소로 사용한다 (Kim & Lee, 2014). 이 연구에서는 주요 구성품에 대하여 FMEA와 FTA를 수행하고, MTTR 유형과 고장률 유형에 따른 MTTR 값과 고장률 값을 바탕으로 시스템의 MTTR을 계산하였다. 본 연구에서는 이러한 내용을 바탕으로 공간 배치 결과와 연동 가능한 회복성 평가 방법을 제안하고 이를 레이아웃으로 표현하는 방법을 정의하였다. 이를 위하여 함정이 피격 당했을 때 발생할 수 있는 회복 상황을 정의하였다. 실제로 함정을 운영할 때에는 다양한 회복 상황이 존재할 수 있지만, 본 연구에서 대상으로 하는 초기 설계 단계에서는 화재 진압과 장비 수리 상황만 고려하도록 제한하였다. 그리고 각 격실에 배치된 승조원의 화재 진압 및 장비 수리 능력을 고려하여 회복 시간을 기반으로 하는 회복성 평가 방법을 정의하였다.

회복성을 평가하기 위해서는 함정에 배치될 모든 승조원의 회복 능력(화재 진압 능력, 장비 수리 능력)을 정량적으로 평가한 결과가 입력 값으로 필요하다. 기준 작업자의 회복 능력을 1.0 man으로 가정하였으며, 나머지 작업자의 회복 능력은 이 값을 기준으로 산정하였다. 예를 들어 특정 작업자의 회복 능력이 기준 작업자의 절반 수준인 경우에는 그 값을 0.5 man으로 하였

다. 다음으로 특정 격실의 화재 진압에 필요한 시수와 격실에 배치된 장비를 수리하기 위해 필요한 시수 정보가 필요하다. 화재 진압에 필요한 시수는 격실의 면적을 기준으로 산출하도록 하였으며, 격실의 면적을 화재 진압 시수로 변환하는 환산 계수를 도입하여 격실 면적에 비례하는 화재 진압 시수를 정의하였다. 그리고 장비 수리에 필요한 시수는 장비가 고장 났을 때 기준 작업자가 장비를 완전히 수리하기까지 걸리는 시간을 각 장비의 수리 요구 시수로 정의하였으며, 이 값은 전문가의 의견이나 통계적인 분석을 통하여 얻을 수 있다.

공간 배치 결과에 대한 회복성 점수는 각 격실의 예상 회복 시간에 따라 결정된다고 가정하였다. 이때, 예상 회복 시간과 회복성 점수의 관계는 Fig. 4와 같은 함수로 표현할 수 있다. 이 함수는 화재 진압 예상 시간($T_{R_1(p)}$), 장비 수리 예상 시간($T_{R_2(p)}$)과 이에 따른 회복성 점수($P_{R_1(p)}$, $P_{R_2(p)}$) 사이의 관계를 나타내고 있다. 일정 시간 동안은 회복성 점수가 감소하지 않고 최대 값을 유지하고 있으나, 사전에 정의된 임계 시간이 지난 이후에는 회복성 점수가 지속적으로 감소된다. 이는 화재 진압이나 장비 고장에 따른 피해가 지속적으로 증가하는 특성을 반영한 것이다.

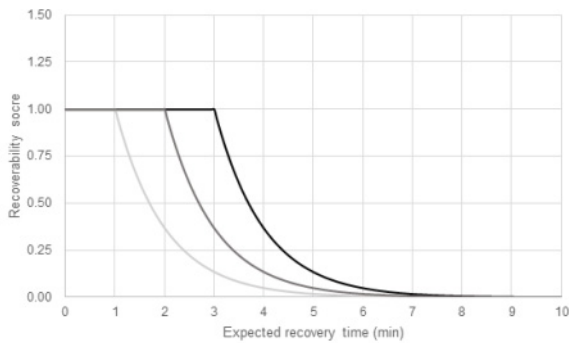


Fig. 4 Recoverability score function

이와 같은 방법으로 계산한 화재 진압 상황과 장비 수리 상황에 대한 회복성 점수는 각 격실의 특성을 고려하여 결정된 가중치 값을 이용하여 하나의 회복성 점수로 종합할 수 있다. 이 회복성 점수는 격실을 기준으로 계산할 수 있으며, 격실 p 의 회복성 점수 ($P_{R(p)}$), 화재 진압 가중치 ($w_{R_1(p)}$), 화재 진압 회복성 점수 ($P_{R_1(p)}$), 장비 수리 가중치 ($w_{R_2(p)}$), 장비 수리 회복성 점수 ($P_{R_2(p)}$)의 관계는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{R(p)} = w_{R_1(p)}P_{R_1(p)} + w_{R_2(p)}P_{R_2(p)} \quad (2)$$

위와 같은 방법으로 회복성 점수를 계산하기 위해서는 화재 진압 예상 시간과 장비 수리 예상 시간을 계산해야 한다. 화재 진압에 필요한 시수는 앞서 언급한 것과 같이 격실 면적에 비례한다고 가정하였으며, 이를 고려하여 화재 진압 예상 시간($T_{R_1(p)}$)은 식 (3)과 같은 방법으로 계산할 수 있다. 이때 α 는 환산 계수를 의미하며, $C_{1(p)}$ 는 격실 p 의 화재 진압 능력을 의미한다.

$$T_{R_1(p)} = (\alpha_{(p)} \times area_{(p)}) / C_{1(p)} \quad (3)$$

다음으로, 격실 p 에 배치된 장비 수리에 필요한 시수($rt_{(p)}$)는 식 (4)와 같이 격실 p 에 배치된 장비 m 의 수리 시수($rt_{(p,m)}$)의 총합으로 정의하였다. 그리고 이 값을 격실 p 의 장비 수리 능력인 $C_{2(p)}$ 로 나누어 장비 수리 예상 시간($T_{R_2(p)}$)을 식 (5)와 같은 방법으로 계산하였다.

$$rt_{(p)} = \sum_m rt_{(p,m)} \quad (4)$$

$$T_{R_2(p)} = rt_{(p)} / C_{2(p)} \quad (5)$$

본 연구에서는 격실 p 의 화재 진압 능력과 장비 수리 능력을 인접 격실에 있는 승조원의 지원을 고려하여 시간에 따라 이산적으로 증가할 수 있는 값으로 가정하였다. 따라서 $C_{1(p)}$ 과 $C_{2(p)}$ 값은 식 (6), (7)과 같이 특정 시간 t 에 격실 p 에 도착한 승조원의 회복 능력($c_{1(p)}(t)$, $c_{2(p)}(t)$)의 합으로 계산할 수 있으며, 시간에 따른 회복 능력의 변화 추이 예시는 Fig. 5와 같이 표현될 수 있다. Fig. 5에서 회복 능력이 이산적으로 증가하는 시점이 인접 격실에서 지원 승조원이 도착한 시점이다.

$$C_{1(p)}(t) = \sum c_{1(p)}(t) \quad (6)$$

$$C_{2(p)}(t) = \sum c_{2(p)}(t) \quad (7)$$

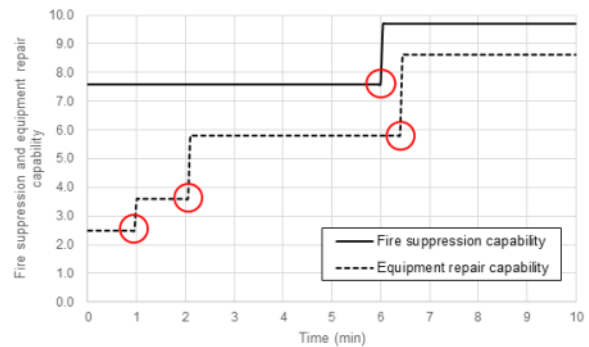


Fig. 5 Example of fire suppression and equipment repair capability

마지막으로, Fig. 5에서 표현된 것과 같이 인접 격실 q 에서 대상 격실 p 까지 지원 승조원이 도착하는데 걸리는 시간인 $at_{(p,q)}$ 는 공간 배치 결과를 고려하여 두 격실 간의 거리를 승조원의 이동 속도(v_c)로 나누어 계산하였다. 이때, 인접 격실 승조원이 지원할 수 있는 임계 거리(d_{th})를 정의하여 식 (8)과 같이 승조원이 도착하는데 걸리는 시간을 구분하여 계산하였다. 인접 격실에서 이동하는 승조원의 시간과 거리를 고려하였기 때문에, 공간 배치 결과에 따라 회복성 점수가 다르게 계산될 수 있다.

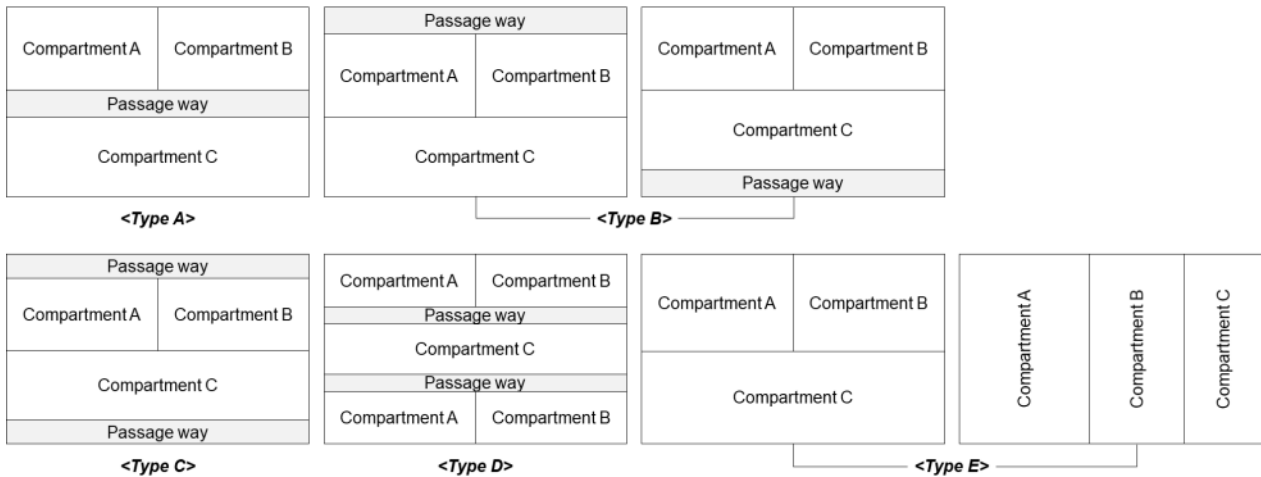


Fig. 6 Shape of passage way types

$$\begin{aligned}
 at_{(p,q)} &= d_{(p,q)} / v_c & d_{(p,q)} &\leq d_{th} \\
 at_{(p,q)} &= \infty & d_{(p,q)} &> d_{th}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

이와 같은 방법을 통하여 합정의 회복성을 정량적으로 평가할 수 있으며, 격실에 배치된 장비 뿐만 아니라 인접 격실에서 이동하는 승조원의 시간과 거리까지 고려하였기 때문에 공간 배치 결과가 회복성 점수에 영향을 미칠 수 있다. 최종적으로 계산된 회복성 점수는 격실이 차지하고 있는 레이어 격자에 할당된다.

3. 생존성 간이 평가 방법을 활용한 합정 공간 배치 최적화

3.1 합정 공간 배치 문제 간략화

합정 공간 배치 대안은 설계자의 의도나 평가 지표에 따라 다양한 결과가 도출 될 수 있다. 다양한 공간 배치 대안 중에서 가장 좋은 배치 대안을 찾기 위해서는 이를 평가할 수 있는 평가 지표나 방법이 명확하게 정의되어 있어야 하며, 효율적으로 해를 찾기 위한 최적화 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 합정 공간 배치 결과를 생존성 관점에서도 평가하기 위하여 생존성 간이 평가 방법을 활용하였으며, 최적화 알고리즘으로 차분 진화 (differential evolution) 알고리즘을 적용하였다 (Storn & Price, 1997). 차분 진화 알고리즘은 세대가 진화함에 따라 세대를 구성하는 해의 집합이 전체적으로 개선이 되는 진화적 접근법을 사용한 최적화 알고리즘으로, 각각의 해를 실수 벡터로 표현하는 특징을 가지고 있다 (Onwubolu & Davendra, 2009). 조합 최적화 문제를 해결하기 위한 방법으로는 유전 알고리즘 (genetic algorithm)도 널리 사용되고 있지만, 차분 진화 알고리즘은 실수 벡터를 이용하여 간단하게 문제를 모델링 할 수 있고, 단일 목적 함수를 가진 최적화 문제에서 유전 알고리즘에 비하여 좋은 성능을 낼 수 있다고 알려져 있다 (Price, et al., 2006).

본 논문에서는 차분 진화 알고리즘을 적용하기 위하여 합정 공간 배치 대안을 실수 벡터 형식으로 표현하는 방법을 정의하였다. 그리고 공간 배치 대안을 복도의 유형에 따라 분류하여 문제를 간략화하였다. 차분 진화 알고리즘을 적용하기 위하여 간략화한 합정 공간 배치 최적화 문제는 (1) 실적함 복도 유형 분석 (2) 복도 유형 별 실수 벡터 표현 방법 정의 (3) 공간 배치 대안 생성을 위한 조건 입력 (4) 차분 진화 알고리즘 적용 및 결과 분석의 순으로 진행된다.

첫 번째 단계에서는 합정 공간 배치를 간략화하기 위하여 실적함의 배치 유형을 복도의 형태에 초점을 맞추어 분석하였다. 합정은 일반적으로 상선에 비하여 폭이 좁고 길이가 긴 특성을 가지고 있다. 이로 인하여 전형적인 배치 유형이 존재한다. 함수, 함미 부분은 폭이 좁기 때문에 복도가 없이 격실이 배치되는 경우가 많으며, 폭이 넓은 중앙부에서는 복도가 가운데 또는 양 옆으로 존재한다. 그리고 이러한 특성은 동일한 합정이라도 데크에 따라 다르게 적용되기도 한다. 복도 유형을 기준으로 격실 배치 유형을 정의할 수 있으며, 이러한 방법을 통하여 복잡한 합정 공간 배치 문제를 단순화할 수 있다. 본 논문에서는 복도의 실적함 공간 배치 결과를 분석하여 일반적으로 발견할 수 있는 합정의 복도 유형을 다섯 가지로 분류하였다.

유형 A는 중앙부에 복도가 1개 있는 유형이고 대형 합정의 함수, 함미 부분이나 소형 합정의 중앙부에 사용되는 배치 유형이다. 유형 B는 복도가 측면에 1개 있는 유형이며, 대형 합정의 함미 부분(격납고 등)이나 중형 합정의 주 통로에 사용되는 배치 유형이다. 유형 C는 복도가 양 측면에 2개 있는 유형을 나타내며, 중, 소형 합정의 중앙부에 사용된다. 유형 D는 복도가 격실 사이 중앙에 2열로 배치되는 유형이며, 대형 합정의 중앙부에 사용되는 배치 유형이다. 특히 이 유형은 침실 구역을 배치하는데 많이 사용됨을 확인하였다. 마지막으로 유형 E는 복도가 존재하지 않는 유형으로, 폭이 좁은 합정의 함수, 함미 부분에 사용되는 배치 유형이다. Table 2와 Fig. 6은 실적함 분석 결과를 바탕으로 정의한 복도 유형 분석 결과에 대한 설명과 형상 나타낸다.

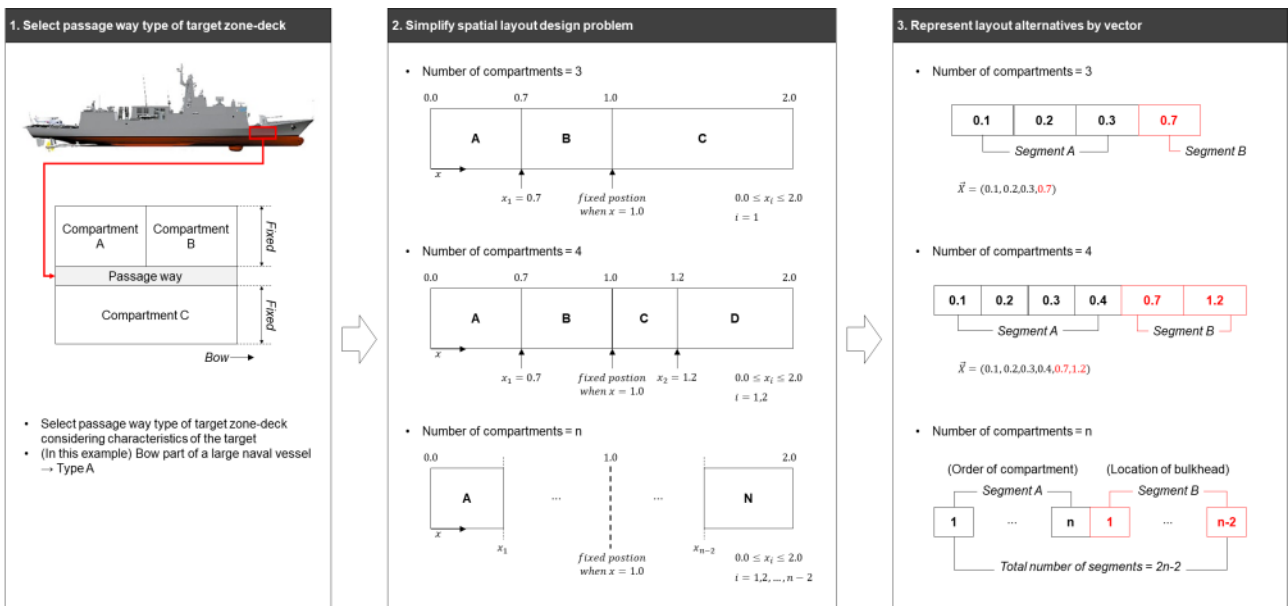


Fig. 7 Vector representation method of layout alternatives of naval vessels

Table 2 Passage way types of naval vessels

Passage way type	Description
Type A	- One central passage way - Bow and stern part of a large naval vessel - Center part of a small naval vessel
Type B	- One side passage way (starboard or port side) - Stern part of a large naval vessel - Center part of a medium naval vessel
Type C	- Two side passage ways in both sides - Center part of a small naval vessel or medium naval vessel
Type D	- Passage ways in two rows in the middle between compartments - Center part of a large naval vessel (bedroom compartment area)
Type E	- No passage way - Bow and stern part of a naval vessel which is narrow

차분 진화 알고리즘을 적용하기 위해서는 하나의 해(solution)를 실수 벡터 형태로 표현하는 방법을 정의해야한다. 본 논문에서는 복도 유형에 따라 공간 배치 대안을 실수 벡터 형태로 표현할 수 있는 방법을 정의하였다. Fig. 7은 앞서 정의한 복도 유형 중 복도 1개가 중앙부에 위치한 유형 A에 대하여 실수 벡터를 정의하는 방법을 나타낸다. 유형 A는 가운데 위치한 복도를 기준으로 좌현과 우현에 격실이 1열로 배치되는 전형적인 배치 유형이다. 이때, 복도의 위치와 함정의 폭은 제약 조건으로 사용되기

때문에 격실의 폭 방향 길이는 고정되어 있다. 유형 A로 정의된 구획에 n 개의 격실이 배치된다고 가정하면, 복도를 기준으로 좌현에 배치되는 격실부터 우현에 배치되는 격실까지 순서대로 나열할 수 있다. 이를 하나의 띠 형태로 공간 배치 대안을 표현할 수 있으며, 공간 배치 대안의 형상을 결정하는 변수는 각 격실의 길이와 순서가 된다.

따라서 실수 벡터를 두 개의 요소(segment)로 나누어, 첫 번째 요소는 격실의 순서를 나타내고 두 번째 요소는 격실과 격실을 구분하는 격벽의 위치를 나타내도록 하였다. 앞서 가정한 것과 같이 n 개의 격실이 있는 경우에는 첫 번째 요소에서는 n 개의 실수 값이 필요하고, 두 번째 요소에서는 $n - 2$ 개의 실수 값이 필요하다. 첫 번째 요소에 할당된 n 개의 실수 값은 0.0에서 1.0 사이의 값을 가지도록 하였으며, 각각의 값을 n 개의 성분에 할당하였다. n 개 성분의 크기를 비교하여 격실의 순서를 결정하였으며, 두 번째 요소에 할당된 $n - 2$ 개의 실수 값은 0.0에서 2.0 사이의 값을 가지도록 하였다. 0.0에서 1.0 사이의 값은 구획의 길이를 기준으로 좌현 격벽 위치의 상대적인 위치를 나타내며, 0.0 이 가장 함미에 가까운 위치, 1.0 이 가장 함수에 가까운 위치를 의미한다. 그리고 1.0에서 2.0 사이의 값은 구획의 길이를 기준으로 우현 격벽 위치의 상대적인 위치를 나타낸다. 우현 격벽의 위치는 1.0 이 가장 함미에 가까운 위치, 2.0 이 가장 함수에 가까운 위치를 의미한다. n 개의 격실을 구분하기 위해서는 $n - 2$ 개의 격벽이 필요하지만, 이 경우에는 좌현과 우현을 구분하는 위치가 해당 값이 1.0 인 경우이므로, $n - 2$ 개의 격벽의 위치만 정의해도 공간 배치 대안을 표현할 수 있다. 유형 A에 대한 자세한 실수 벡터 정의 방법은 Fig. 7에 나타낸 것과 같으며, 다른 복도 배치 유형에 대해서도 격실의 순서와 격벽의 위치를 결정하는 값을 정의하여 공간 배치 대안을 표현할 수 있다.

다음 단계에서는 실수 벡터로 표현된 복수의 해를 이용하여

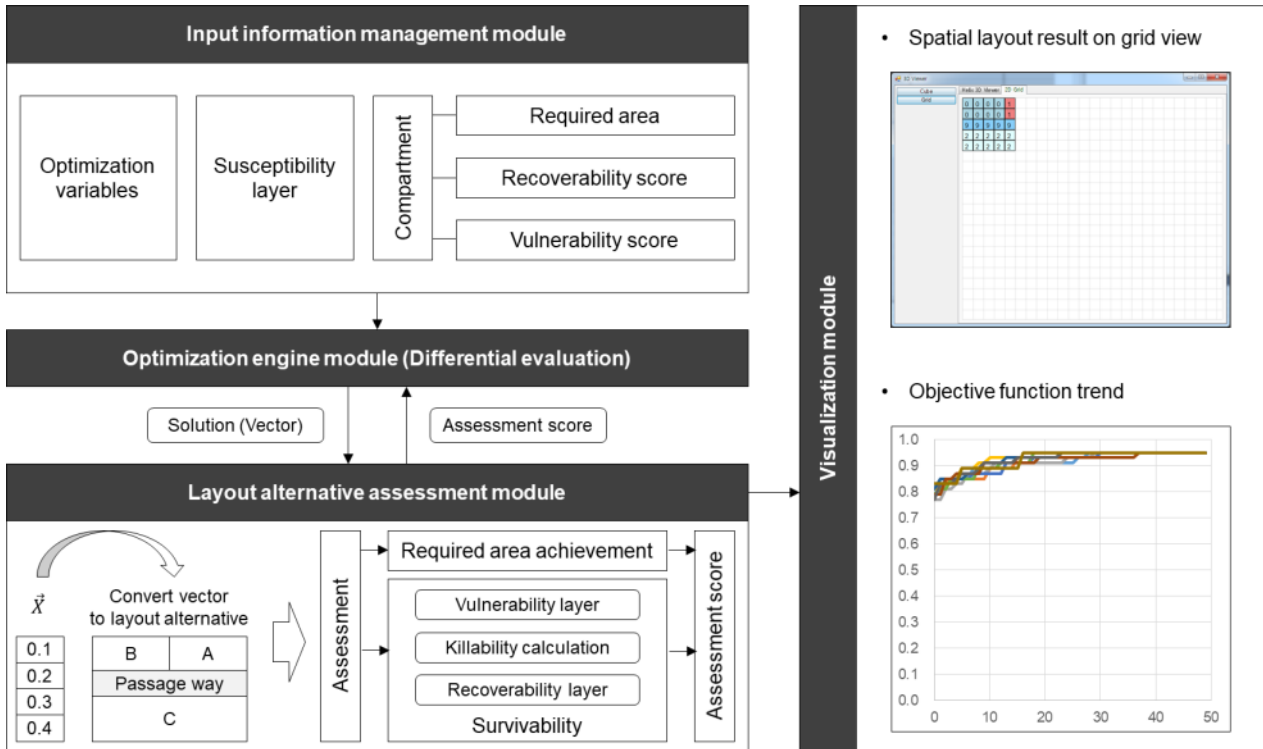


Fig. 8 Structure and main feature of spatial layout optimization application

공간 배치 대안을 생성하기 위한 조건을 입력한다. 유형 A의 경우 배치 할 격실의 수, 배치 가능 영역의 크기와 형상, 횡 방향 복도 시작 위치, 횡 방향 복도 종료 위치 등을 조건으로 사용할 수 있다. 그리고 공간 배치 대안을 평가하기 위해서 각 격실 별 면적 요구조건, 취약성 정량화 평가 결과, 격실 별 수리 인원 배치 현황 등도 필요하다.

차분 진화 알고리즘을 적용하여 도출된 해를 정량적으로 평가하기 위해서는 배치 대안에 대한 목적 함수를 정의해야한다. 본 연구에서는 격실 별 요구면적 만족도와 생존성 평가 결과를 목적 함수로 사용하였다. 특정 구획에 배치된 격실 i 의 요구면적 만족도와 생존성 평가 결과는 각각 $area_i$ 와 $surv_i$ 로 정의하였으며, 구획 전체의 요구면적 만족도와 생존성 평가 결과는 각각 $AREA$ 와 $SURV$ 로 정의하였다. 각각이 값은 식 (9), (10)와 같이 전체 구획에 배치된 격실의 평가 결과 중 최솟값을 최댓값으로 나누어 계산하였으며, 0.0에서 1.0 사이의 값이 도출되도록 하였다.

$$AREA = \frac{\min(area_i)}{\max(area_i)} \quad (9)$$

$$SURV = \frac{\min(surv_i)}{\max(surv_i)} \quad (10)$$

그리고 차분 진화 알고리즘을 적용할 때, 각 단계에서는 식 (11)에서 정의한 것과 같이 요구면적 만족도와 생존성 평가 결과

의 곱으로 표현되는 Z 값의 최솟값이 최대화 되는 방향으로 해를 탐색하도록 하였다. 이를 식으로 나타내면 식 (12)와 같으며, 이와 같이 최솟값을 최대화 하는 방향으로 최적화 알고리즘을 적용하면, 구획을 구성하는 격실의 목적함수 값의 편차를 줄이면서 전체적으로 우수한 해를 탐색할 수 있는 효과가 있다.

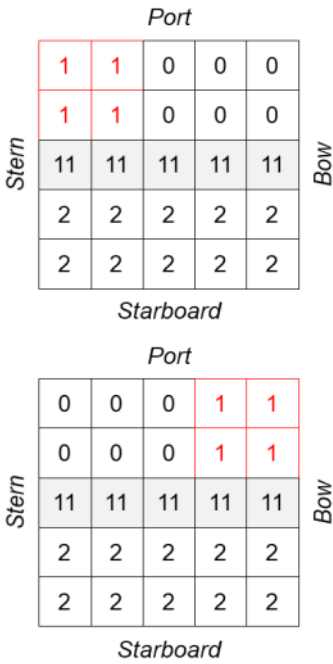
$$Z = AREA \cdot SURV \quad (11)$$

$$Maximize(Z) \quad (12)$$

3.2 합정 공간 배치 최적화 애플리케이션

합정 공간 배치 최적화 애플리케이션은 입력 정보 관리 모듈, 차분 진화 최적화 연산 모듈, 공간 배치 평가 모듈, 배치 결과 가시화 모듈로 이루어져 있다. 입력 정보 관리 모듈에서는 합정 공간 배치 최적화를 수행하기 위하여 필요한 변수와 제약 조건, 그리고 목적 함수를 계산하기 위한 격실 별 요구 면적과 생존성 산출에 필요한 정보를 관리한다. 이때 제약 조건은 공간 배치 대안을 생성하는데 필요한 조건을 의미하며, 대상 구획의 배치 유형, 격실의 수, 배치 영역의 전체 크기와 형상, 복도의 위치 등을 의미한다. 최적화 연산 모듈에서는 입력 받은 정보를 바탕으로 복수의 배치 대안을 생성하고, 차분 진화 알고리즘을 이용하여 복수의 배치 대안으로 구성된 집합을 점진적으로 개선한다. 배치 대안을 개선하기 위해서는 정량적으로 평가하는 기능이 필요한데, 이 기능은 공간 배치 평가 모듈에서 담당한다. 공간 배치 평

• Optimization results



• Objective function trend (Generation = 50)

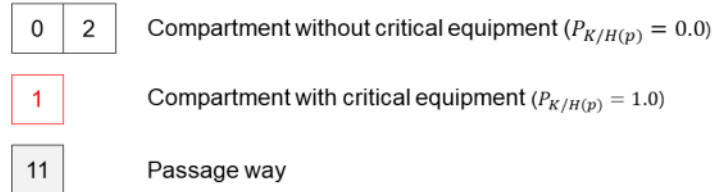
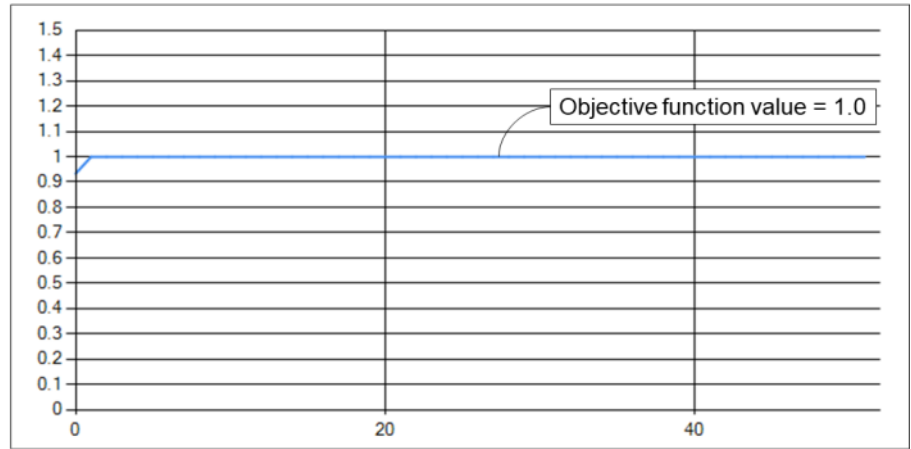


Fig. 9 Optimization result of example #1

가 모듈에서는 요구면적 달성도와 생존성을 앞서 정의한 방법에 맞추어 평가하며, 사용자가 지정한 반복 계산 횟수를 초과하거나 목적 함수 값이 일정 횟수 이상 개선되지 않는 경우 수렴한 것으로 판정하여 반복 계산을 종료한다. 마지막으로 배치 결과 가시화 모듈에서는 실수 벡터 형태로 도출된 배치 대안을 사용자가 확인할 수 있도록 공간 배치 형태로 변환하여 결과를 출력한다. 함정 공간 배치 최적화 애플리케이션을 구성하는 모듈과 각 모듈의 기능은 Fig. 8에 나타난 것과 같다.

3.3 생존성 간이 평가 방법을 활용한 함정 공간 배치 최적화 결과 및 분석

이 절에서는 다양한 상황을 반영한 예제를 가정하여 본 논문에서 제안하는 생존성 간이 평가 방법과 함정 공간 배치 최적화 애플리케이션을 적용하였으며, 그 결과를 분석하였다. 총 네 가지 종류의 예제를 정의하였으며, 첫 번째 예제에서는 문제를 단순화하여 생존성 간이 평가 방법과 함정 공간 배치 최적화 애플리케이션의 기본 기능을 확인하였다. 두 번째 예제에서는 대상 공간의 크기를 확장하고, 위치에 따라 다른 피격성 값을 가지는 레이어를 활용하여 생존성을 평가하였다. 세 번째 예제에서는 회복성이 레이어가 공간 배치 결과에 미치는 영향을 분석할 수 있도록 특정 격실에 회복성 값을 부여하여 평가 방법과 애플리케이션을 적용하였으며, 마지막으로 네 번째 예제에서는 본 논문에서 제안하는 방법과 선행 연구 (Shin, 2013)에서 제안한 방법의 결과를 비교하였다. 각 예제의 자세한 결과는 아래에서 다루도록 한다.

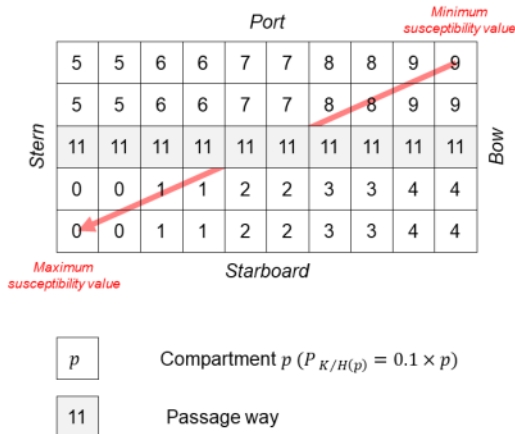
먼저 첫 번째 예제에서는 3개의 격실을 가로, 세로 각각 5칸

인 크기의 격자에 배치하는 단순한 문제를 정의하여, 사용자가 의도한대로 공간 배치 결과가 도출되는지를 확인하였다. 이때 적용한 배치 조건은 Table 3과 같으며, 복도 유형은 복도가 가운데 1개 위치하는 유형 A를 적용하였다. 별도의 요구 조건을 정의하지 않았기 때문에, 복도는 배치하는 영역의 가운데로 지정하였다. 첫 번째 예제에서는 3개의 격실을 배치하는 문제를 가정하였는데, 각 격실의 요구 면적은 단위 격자를 기준으로 각각 6, 4, 10으로 가정하였다. 그리고 피격성 값을 위치에 따라 다르게 가정하였는데, 우현이 좌현보다 피격 확률이 높도록 가정하였다. 각 격실의 취약성 정량화 값은 세 격실 중 두 번째 격실에만 1.0으로 부여하고, 나머지 격실에는 주요 구성품을 할당하지 않아 취약성 값이 0.0이 되도록 가정하였다. 이 예제에서는 회복성 레이어를 고려하지 않았으며, 앞서 가정한 상황을 바탕으로 도출된 결과를 분석하여 취약성이 높은 격실이 피격성이 높은 위치를 피하여 배치되는 것을 확인하고자 하였다.

Table 3 Layout conditions and values for example #1

Layout condition		Value
Passage way type		Type A
Number of compartments		3
Size of target zone-deck	Length (x_{max})	5
	Breadth (y_{max})	5
Location of passage way	y_{pass}	3

• Optimization results



• Objective function trend (Generation = 3000)

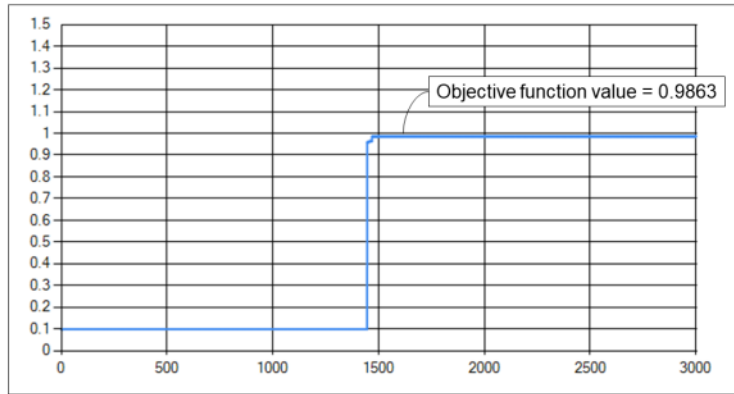


Fig. 10 Optimization result of example #2

앞서 정의한 것과 같이 공간 배치 조건을 입력하고, 차분 진화 알고리즘을 이용하여 함정 공간 배치 최적화를 수행한 결과, Fig. 9와 같이 공간 배치 결과가 도출되었다. 이때 모든 격실이 요구 면적을 만족함을 확인하였으며, 취약성이 높은 두 번째 격실이 피격성이 낮은 좌현에 배치된 것을 확인할 수 있었다. 문제가 단순하여 도출할 수 있는 공간 배치 대안의 수가 많지 않았기 때문에 목적 함수 값이 초기에 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

두 번째 예제에서는 문제의 복잡도를 향상시켜서 10개의 격실을 가로 10칸, 세로 5칸 크기의 배치하도록 하였다. 이때 공간 배치 조건은 Table 4와 같으며, 복도 유형은 첫 번째 예제와 마찬가지로 유형 A로 가정하였다. 각 격실의 요구 면적은 10개의 격실 모두 동일하게 가정하였으며, 배치 구역의 피격성은 위치에 따라 Table 4에 나타낸 것과 같이 가정하였다. 이는 함수에서 함미로, 우현에서 좌현으로 갈수록 피격 확률이 높아지는 경향을 나타내고 있다. 다음으로 격실 별 취약성 값은 격실 번호가 클수록 큰 값을 가지도록 가정하였다. 따라서 0번 격실의 취약성 값은 0.0, 1번 격실의 취약성 값은 0.1, 2번 격실의 취약성 값은 0.2가 되도록 하였으며, 마지막 9번 격실까지 각 격실마다 0.1씩 차이가 나도록 하였다. 두 번째 예제에서도 첫 번째 예제에서와 마찬가지로 회복성 레이어를 정의하지 않았으며, 차분 진화 알고리즘은 반복 횟수 3,000번, 한 세대를 구성하는 개체 수 200개, 가중치 3.0, 교배율 0.1이 조건에서 시행하였다.

위와 같이 두 번째 예제를 가정하여 함정 공간 배치 최적화 알고리즘을 적용한 결과 Fig. 10과 같이 공간 배치 최적화 결과가 도출되었다. 첫 번째 예제와 마찬가지로 모든 격실이 요구 면적을 만족하면서 취약성이 높은 격실이 피격성이 낮은 위치에 배치되는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 10은 차분 진화 알고리즘이 진행됨에 따라 목적 함수 값이 수렴하는 것도 포함하고 있다.

세 번째 예제에서는 이전의 예제에서 확인하지 못한 회복성 레이어의 영향을 확인하기 위하여 회복성 레이어를 적용하여 함정 공간 배치 최적화 결과를 확인하였다. 공간 배치를 수행하기 위하여 적용한 조건은 Table 5와 같으며, 구획의 복도는 중앙부

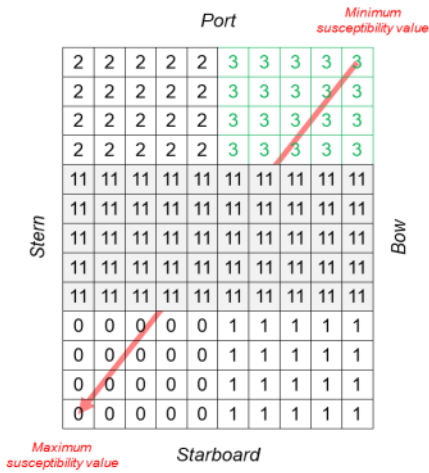
에 복도가 1개 있는 유형 A를 가정하였다. 그리고 회복성의 영향을 명확하게 확인하기 위하여 복도의 폭을 기존의 예제보다 크게 정의하였다.

Table 4 Layout conditions and values for example #2

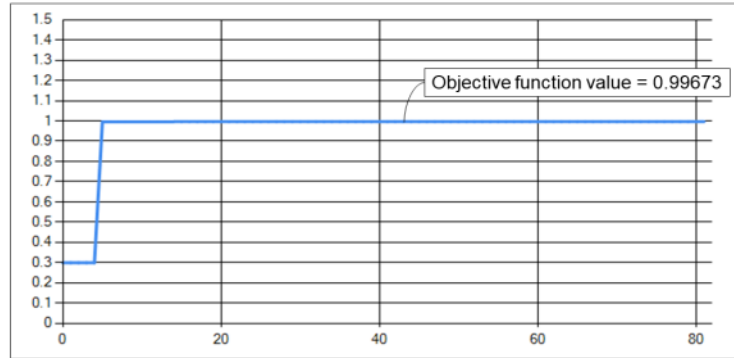
Layout condition		Value
Passage way type		Type A
Number of compartments		10
Size of target zone-deck	Length (x_{max})	10
	Breadth (y_{max})	5
Location of passage way	y_{pass}	3
Susceptibility layer		

각 격실의 요구 면적은 모든 격실이 동일하게 단위면적을 기준으로 20이 되도록 하였으며, 배치 구역의 피격성 레이어는 Table 5에서 나타낸 것과 같이 함수좌현(A)-함미좌현(B)-함수우현(C)-함미우현(D) 순으로 큰 값을 가지도록 하였다. 이때 함미좌현(B)과 함수우현(C)은 동일한 피격 확률 값을 가지도록 하였다. 각 격실의 취약성은 두 번째 예제와 마찬가지로 격실 번호가 클수록 큰 값을 가지도록 가정하였으며, 격실 간 취약성 값의 차이는 0.25로 하였다. 마지막으로 회복성이 공간 배치 결과에 미치는 영향을 확인하기 위하여 3번 격실의 회복성을 0.10으로 가정하였다. 그리고 차분진화 알고리즘을 적용할 때 사용되는 변수는 반복 횟수 80회, 개체 수 50개, 가중치 3.0, 교배율 0.1로 하였다.

• Optimization results



• Objective function trend (Generation = 80)



- 0 1 2 Compartment without recoverability
- 3 Compartment with recoverability ($P_{R(3)} = 0.10$)
- 11 Passage way

Fig. 11 Optimization result of example #3

세 번째 예제의 결과는 Fig. 11에 나타난 것과 같으며, 모두 요구 면적을 달성한 배치 결과가 도출되었음을 확인할 수 있다. 결과를 자세히 살펴보면, 취약성 값이 가장 큰 3번 격실이 피격성이 가장 낮은 위치에 배치되었으며, 3번 격실 다음으로 취약성 값이 큰 2번 격실이 3번 격실과 인접하게 배치되는 것을 확인할 수 있다. 회복성 적용 여부에 따른 목적 함수 값의 개선 여부를 확인해보면, 약 0.12% 증가한 것을 확인할 수 있다. 이는 3번 격실 자체의 회복성과 3번 격실의 회복성이 2번 격실의 회복성에 영향을 주어 생존성이 증가한 것으로 분석할 수 있다. 다만, 회복성을 고려하기 전에도 이미 높은 목적 함수 값을 가지고 있었기 때문에 증가율이 높지 않은 것도 확인할 수 있다.

Table 5 Layout conditions and values for example #3

Layout condition		Value
Passage way type		Type A
Number of compartments		4
Size of target zone-deck	Length (x_{max})	10
	Breadth (y_{max})	13
Location of passage way	y_{pass}	5, 6, 7, 8, 9
Susceptibility layer		

공간 배치 최적화 방법을 선행 연구인 Shin (2013)의 연구에서 정의한 500톤급 소형 기상 함정에 적용하고, 그 결과를 비교하였다. 배치 구역의 크기와 주요 격실의 요구 면적, 격실의 주요 구성품과 취약성 값은 선행 연구와 동일한 값을 사용하였다. 하지만 피격성을 계산할 때에는 선행 연구에서 사용한 방법과 달리 배치 구역에 피격성 레이어를 정의하여 계산하였다. 피격 확률은 함수에서 함미로 갈수록 값이 커지도록 가정하였으며, 격실의 취약성 값을 계산할 때에는 격실에 배치된 전체 구성품의 취약성 중 최댓값을 사용하였다. 그리고 선행 연구에서 고려하지 않은 회복성을 추가로 고려하였으며, 회복성은 5번 격실(사관실)에만 0.10을 부여하였다.

Fig. 12는 선행 연구에서 도출된 공간 배치 결과와 본 논문에서 제안한 방법으로 도출된 공간 배치 결과를 비교하는 그림이다. 취약성은 선행 연구와 동일한 값을 활용하였으나, 격실 별 취약성 계산 시 모든 구성품의 합이 아닌 최댓값을 사용했기 때문에 선행 연구에 비하여 다소 낮은 취약성 값을 가지게 된 것을 확인할 수 있다. 전체 공간 배치 결과 중 주 갑판(main deck)의 배치 결과를 분석해보면, 예상한 것과 같이 취약성이 높은 격실이 상대적으로 피격 확률이 낮은 함수부에 배치된 것을 확인할 수 있다. 그리고 회복성 값을 부여한 사관실 근처에 취약성이 높은 격실이 인접하여 배치된 것도 확인할 수 있다.

선행 연구에서는 함정의 취약성 기대 값을 계산할 때 정규화를 고려하지 않고 계산하였기 때문에 다양한 결과에 대한 비교를 정량적으로 수행하기 어려운 단점이 있었다. 하지만 본 연구에서는 모든 평가 결과를 0.0에서 1.0이 사이의 값이 되도록 하여 다양한 결과를 동일한 지표로 평가할 수 있도록 개선하였다.

4. 결론

마지막으로 네 번째 예제에서는 본 논문에서 제안하는 함정

함정의 생존성은 함정이 전투 환경에서 마주치는 다양한 위협

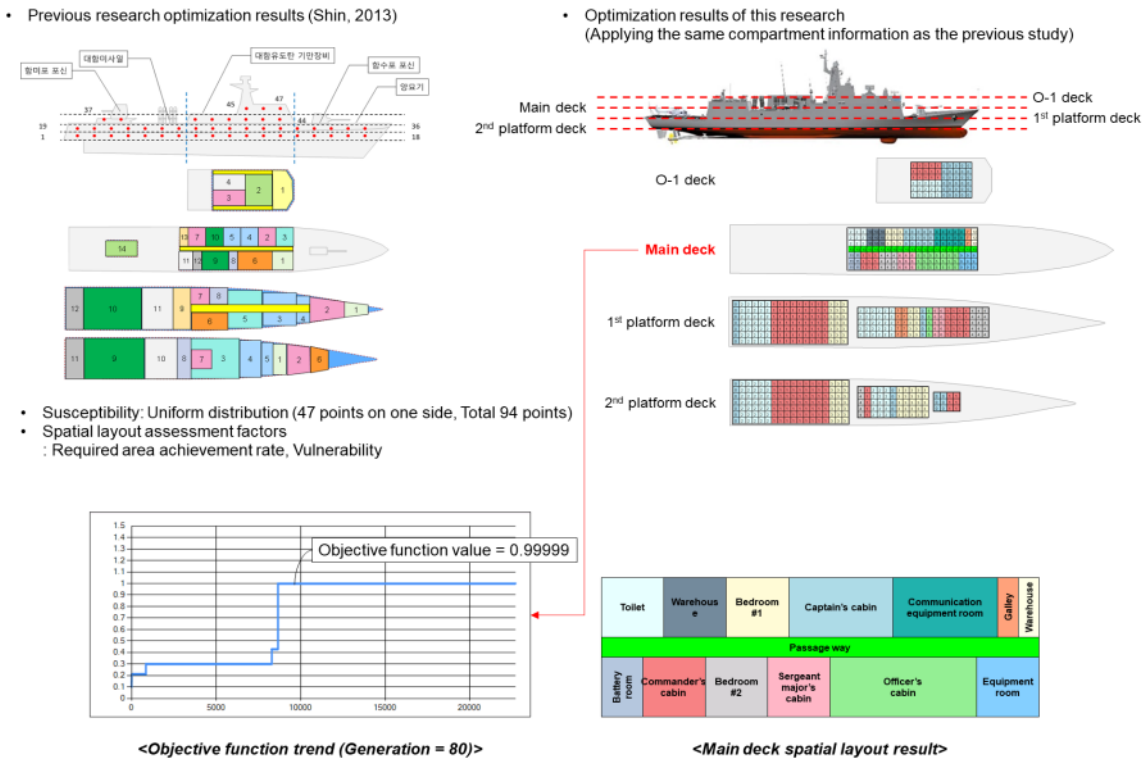


Fig. 12 Comparison with previous research results of naval vessels spatial layout design

요소에 대응하여, 파괴되지 않고 임무를 수행할 수 있는 능력으로 정의할 수 있다. 생존성은 함정의 외부 형상이나 레이아웃에 따라 다르게 평가될 수 있는데, 본 연구에서는 설계 초기 단계에서 생존성을 고려하여 레이아웃을 설계하기 위한 생존성 간이 평가 방법을 제안하였다. 그리고 차분 진화 알고리즘을 적용한 함정 공간 배치 최적화 애플리케이션을 개발하고 예제 문제를 가정하여 효용성을 확인하였다.

본 연구에서 제안한 생존성 간이 평가 방법에서는 기존의 연구에서 제안한 방법을 응용하여 생존성을 피격성, 취약성, 회복성으로 나누어 평가하였으며, 레이아웃 설계 결과와 연동하기 위하여 생존성을 구성하는 요소를 나타낼 수 있는 레이어를 정의하였다. 생존성 레이어는 위치 별 피격 확률, 취약성 값, 회복성 값을 나타내며, 배치 구역에 대한 생존성은 각각의 레이어를 중첩하여 표현하였다. 특히 기존의 연구에서는 생존성을 구성하는 요소 중 회복성을 고려한 연구가 부족하였는데, 본 연구에서는 함정의 회복 상황을 화재 진압과 장비 수리 상황으로 정의하고, 격실에 배치된 승조원의 수리 능력과 회복 상황에 따른 예상 회복 시간을 기반으로 회복성을 정량적으로 평가하는 방법을 정의하였다.

또한 함정 공간 배치 문제를 간략화하기 위하여 다양한 실적선의 레이아웃을 분석하여 함정의 배치 유형을 복도의 형상을 기반으로 분류하였다. 간략화 된 함정 공간 배치 문제를 기준으로 차분 진화 알고리즘을 적용한 애플리케이션을 개발하였으며, 다양한 예제와 선행 연구에서 가정한 500톤급의 가상 함정 공간 배치 문제에 적용하였다. 이를 통하여 함정 초기 설계 단계에서

다양한 레이아웃 설계 결과를 도출하고, 생존성, 면적 활용률을 기준으로 정량적으로 평가할 수 있음을 확인하였다.

후기

본 연구는 국방과학연구소 국방특화연구실사업 “차세대 함정 첨단 함형 특화연구실” 과제(과제번호: 0457-20120032)와 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업 “중소형조선소 시뮬레이션 기반 생산관리 시스템 개발” 과제(과제번호:10050495)와 미래창조과학부 ICT 융합 Industry4.0S(조선해양) 기술개발 사업 “해양호선 생산 코스트 최적화 생산 전략 및 실행 시뮬레이션 기술 개발” 과제(과제번호: S1106-16-1020)의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

References

- Ball, R.E. & Calvano, C.N., 1994. Establishing the fundamentals of a surface ship survivability design discipline, *Naval Engineers Journal*, 106(1), pp.71-74.
- Carlson, C.M. & Fireman, H., 1987. General arrangement design computer system and methodology. *Journal of Naval Engineers*, 99(3), pp.261-273.

Hwang, I.H. Shin, J.H. Kim, Y.M. & Shin, J.G., 2014. Spatial arrangement of naval ships considering functions and relationships between compartments. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 51(5), pp.388–395.

Kim, K.S. & Lee, J.H., 2012. Simplified vulnerability assessment procedure for a warship based on the vulnerable area approach. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(7), pp.2171–2181.

Kim, K.S. & Lee, J.H., 2014. Integrated survivability assessment given multiple penetration hits. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 28(1), pp.69–76.

Kim, Y.M. Jeong, Y.K. Ju, S.H. Shin, J.G. & Shin, J.H., 2014. Development of a naval vessel compartment arrangement application using differential evolution algorithm. *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 19(4), pp.410–422.

Nick, E.K., 2008. *Fuzzy optimal allocation and arrangement of spaces in naval surface ship design*. Ph.D. Thesis. University of Michigan.

Onwubolu, G.C. & Davendra, D., 2009. *Differential evolution: A handbook for global permutation-based combinatorial optimization*, Springer: Germany.

Piperakis, A.S., 2013. *An integrated approach to naval ship survivability in preliminary ship design*. Ph.D. Thesis. University College London.

Price, K. Storn, R.M. & Lampinen, J.A., 2006. *Differential evolution: a practical approach to global optimization*. Springer Science & Business Media: Germany.

Reese, R.M. Calvano, C.N. & Hopkins, T.M., 1998. Operationally oriented vulnerability requirements in the ship design process. *Naval Engineers Journal*, 110(1), pp.19–34.

Shin, J.H., 2013. *A study on the spatial arrangement of naval ships considering survivability*. Master's Thesis. Seoul National University.

Storn, R. & Price, K., 1997. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4), pp.341–359.

Tibbitts, B. & Keane, R.G., 1999. Acquisition reform: It all starts with design. *Naval Engineers Journal*, 111(1), pp.39–53.



정진욱



정용국



주수현



신종계



김종철