

〈응용논문〉

pISSN 1226-0606  
eISSN 2288-6036

## Differential evolution 알고리즘을 이용한 생존성 기반의 함정 격실배치 애플리케이션 개발

김영민<sup>1</sup> · 정용국<sup>1†</sup> · 주수현<sup>1</sup> · 신종계<sup>2</sup> · 신정학<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 조선해양공학과, <sup>2</sup>서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소,  
<sup>3</sup>대한민국 해군

### Development of a Naval Vessel Compartment Arrangement Application using Differential Evolution Algorithm

Youngmin Kim<sup>1</sup>, Yong-Kuk Jeong<sup>1†</sup>, SuHeon Ju<sup>1</sup>, Jong-Gye Shin<sup>2</sup>, and Jung-Hack Shin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University

<sup>2</sup>Department of Naval Architecture and Ocean Engineering and  
Research Institute of Marine Systems Engineering, Seoul National University

<sup>3</sup>Republic of Korea Navy

Received 27 May 2014; received in revised form 20 August 2014; accepted 25 August 2014

#### ABSTRACT

Unlike other weapon systems, a naval vessel has unique characteristics in that the vessel itself is a naval unit. In limited space, compartments with various objectives and characteristics need to be arranged, so that vessel performance is maximized. This paper studied a compartment arrangement algorithm that considers activity relationships among compartments and survivability of a vessel. Based on the study, a compartment arrangement application is developed that can generate various layout alternatives swiftly. The application developed in this study aims at automating a two dimensional compartment layout problem. A combinatorial optimization is performed with the differential evolution algorithm to achieve the optimized layout.

**Key Words:** Combinatorial optimization, Differential evolution, Layout design, Naval vessel design, Survivability, Vulnerability

## 1. 서 론

함정의 격실배치 문제는 다양한 목적과 기능을 가지는 격실의 특성을 고려하여 제한된 공간에 격실을 체계적으로 배치하고, 함정의 성능을 최대한 발휘하는 것을 목적으로 한다. 미국, 영국 등에서

는 함정의 초기 설계 단계에서부터 격실 간의 관계, 함정의 작전성능, 승조원의 거주성 등 다양한 조건을 고려하여 함정의 격실배치를 수행하는 체계적인 방법에 대한 연구가 수행되었으며, 이를 활용한 함정 공간배치 애플리케이션도 자체적으로 개발하여 사용하고 있다<sup>[1,2]</sup>. 반면, 우리나라의 경우에는 함정을 설계하는 과정과 내부 공간배치와 관련된 규정이 체계적으로 정의되어 있지만, 이를 적용할 수 있는 명확한 프로세스가 제시되어 있지

<sup>†</sup>Corresponding Author, jake8967@snu.ac.kr  
©2014 Society of CAD/CAM Engineers

않다<sup>[3]</sup>.

최근에는 합정에 탑재되는 무기체계가 점차 첨단화되고 합정 자체의 생존 능력이 중요하게 됨에 따라 생존성을 고려한 합정 설계에 대한 관심이 증가하고 있다. 하지만 합정의 생존성은 설계 초기단계에서 고려하기 어렵고, 다양한 설비 및 장비가 연관된 격실의 생존성을 평가하는 것이 현실적으로 불가능하기 때문에 생존성을 고려한 합정의 격실배치에 대한 연구는 미비한 상황이다. 따라서 다양한 요소들을 고려하여 합정을 설계하는 과정에서 합정의 내부 공간배치나 생존성을 고려한 연구가 필요하다.

제한된 공간에 설비, 부재등을 배치하는 문제는 다양한 분야에서 연구되어 왔다. 특히 조선산업에서는 작업장의 정반배치 문제<sup>[4,5]</sup>, 철판에 부재를 배치하는 Nesting 문제<sup>[6,7]</sup>, 공장 레이아웃 설계<sup>[8]</sup> 등의 사례에서 적용되고 있다.

합정의 내부 공간배치와 관련된 대부분의 연구는 Carson and Fireman<sup>[9]</sup>이 연구한 합정의 일반배치 프로세스에 관한 연구를 기반으로 하고 있다. 해당 연구에서는 합정의 내부 공간을 격벽과 갑판등을 이용하여 분할하고 기능을 할당하는 방법을 이용하여 내부 공간배치를 수행하는 프로세스를 제안하였다. Han<sup>[10]</sup>은 이러한 합정 공간배치 문제를 단순화하고 단일 갑판에서의 합정 공간배치 문제를 수학적으로 정식화하였다. 또한 유전자 알고리즘을 기반으로 한 최적 공간배치 알고리즘을 제안하였으며, 이를 실제 합정(FF-21)에 적용하여 그 결과를 비교 분석하였다.

Lee et al.<sup>[11]</sup>는 Han<sup>[10]</sup>의 연구를 바탕으로 유전자 알고리즘을 개선하고, 이를 Multi-Deck 문제에도 적용할 수 있도록 알고리즘을 개선하였다. 이후 퍼지 이론(Fuzzy set theory)을 적용하여 합정 공간배치 문제를 비제약 최적화 문제로 변형한 연구<sup>[11]</sup>와 최적해를 좀 더 빠르게 찾을 수 있는 알고리즘에 관한 연구<sup>[12]</sup>가 수행되었다.

공간을 체계적으로 배치하는 방법으로는 Murther<sup>[13]</sup>가 제안한 Systematic Layout Planning (SLP) 방법이 있다. 이 방법론에서는 시스템을 구성하는 액티비티를 정의하고 액티비티 간의 관계를 분석하여 다양한 공간배치 대안을 생성한다. SLP 방법론은 다양한 공간배치 문제에 적용되었으며, 대표적인 사례로는 조선소 레이아웃 설계 문제에 적용한 연구<sup>[14,15]</sup> 등이 있다.

그리고 설계 단계에서 합정의 생존성을 고려한 연구로는 Park<sup>[16]</sup>이 제시한 합정 생존성 설계 개념에 관련된 연구가 대표적이다. 이 연구에서는 합정의 생존성을 평가하기 위하여 피격확률을 계산하는 방법을 정립하였다. 그 밖에도 합정의 생존성 중 취약성을 평가하는 과정에 대한 연구가 다수 수행되었다<sup>[17,18]</sup>. 하지만 이러한 연구에서는 합정의 생존성을 공간배치 단계에서 고려하지 않았다. Shin<sup>[3]</sup>은 이를 개선하여 합정의 초기설계 단계 중 공간배치를 수행하는 과정에 SLP 방법을 적용하고, 생존성을 고려하여 격실배치를 수행하는 합정 일반배치 프로세스와 배치 결과를 평가하기 위한 방법을 정의하였다. 하지만 해당 연구에서는 다양한 대안을 생성하여 그 중 최적의 공간배치 결과를 도출하기 보다는 생성된 대안을 평가하는 과정에 중점을 두었다. 따라서 도출된 결과가 최적의 공간배치 대안이라 할 수 없다는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 Shin<sup>[3]</sup>의 연구 결과를 바탕으로 격벽과 갑판으로 나누어져 있는 합정 내부 공간을 구획으로 정의하고, 이 공간에 특정 기능을 수행하는 격실을 배치하는 방법을 정의하였다. 이때 다양한 배치안을 빠르게 생성하고 최적의 대안을 선정할 수 있도록 배치 알고리즘, 평가 방법, 애플리케이션을 개발하였으며, 배치 안을 평가할 때에는 생존성과 격실 간의 관계를 동시에 고려할 수 있도록 하였다. 격실 간의 관계는 승조원의 이동빈도, 기능적 유사성 등을 고려한 항목이며, 이러한 항목은 일반적인 공간배치 문제에서 물류량을 고려하여 배치 최적화를 수행하는 것과 유사한 기능을 수행한다. 본 연구에서는 이미 구획에 할당된 격실의 기하학적인 형상을 생성하는 것을 대상으로 하고 있기 때문에 2차원 배치 문제의 특성을 갖는다. 또한 조합 최적화 문제를 해결하기 위하여 진화적 접근 방법 중 하나인 Differential Evolution(DE) 알고리즘을 적용하여 최적화를 수행하였다.

## 2. 합정 일반배치 알고리즘

### 2.1 합정 일반배치 프로세스

Shin<sup>[3]</sup>은 기존에 연구되어 있던 다양한 사례를 바탕으로 합정 초기설계 단계에서의 일반배치 프로세스를 정립하였다. 해당 연구에서 정의한 합정의 일반배치 프로세스는 일반배치 개념설정 단

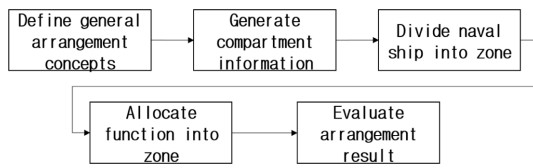


Fig. 1 General arrangement process of naval vessels

계, 함정 격실정보 생성 단계, 함정 공간 분할 및 구획 결정 단계, 구획별 격실기능 배치 단계, 격실 배치 결과 검증 단계로 이루어져 있으며, 이를 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

함정 일반배치 프로세스는 일반배치의 개념을 설정하는 것으로부터 시작된다. 이 단계에서는 함정의 작전요구 성능 등을 바탕으로 함정에 탑재될 장비 선정, 장비 혹은 격실의 배치 기본 전략을 설정, 그리고 배치 우선순위 결정 등을 수행한다. 다음 단계에서는 일반배치 개념을 바탕으로 해당 함정에 필요한 격실 목록과 격실의 주요 정보를 결정한다. 이 단계에서는 실질적으로 격실배치를 수행하기 위한 기본 정보인 격실의 목록과 각 격실의 면적 및 용적이 도출된다.

이후에는 격실 기본정보를 바탕으로 함정의 형상을 고려한 공간분할 및 구획을 결정하고 각 구획에 격실을 배치한다. 격실의 실질적인 기하학적 위치가 결정되는 단계는 구획별 격실기능 배치 단계이며, 이때 사전에 정의된 배치 우선순위에 따라 배치를 수행한다. 그리고 다음 단계에서는 요구사항과 사전에 정의된 평가 항목을 바탕으로 격실배치 결과를 검증한다. 본 연구에서는 함정의 일반배치 프로세스 중 실질적으로 격실의 기하학적인 형상과 위치가 결정되는 구획별 격실기능 배치 단계에 SLP 방법과 Space Filling Curve(SFC)를 적용하여 격실배치를 수행하였다.

2.2 SLP 방법을 이용한 함정 공간배치 방법론

SLP 방법은 앞서 언급한 것과 같이 특정한 시스템을 구성하는 액티비티를 분석하여 액티비티 간의 관계를 바탕으로 공간배치를 체계적으로 수행하는 방법을 의미한다. SLP 방법은 기본적으로 액티비티 간 관계 분석, 액티비티 관계도 작성, 공간관계도 작성, 그리고 배치 대안 생성의 단계로 이루어져있다. 일반적으로 액티비티는 특정한 기능을 수행하는 공정 등으로 정의되는데 이를 함정 공간배치에 적용하기 위하여 특정한 기능을 수행

하는 함정의 격실을 액티비티로 정의하였다.

함정 공간배치 문제에 SLP 방법을 적용하기 위해서는 함정에 배치될 격실의 다양한 정보가 필요하다. 첫번째 단계인 액티비티 간 관계 분석 단계에서는 격실 간 인접 제약조건, 승조원의 이동 경로 등을 고려하여 격실 간의 관계도를 사전에 정의한 기호로 표현한다. 일반적으로 SLP 방법에서는 A, E, I, O, U, X의 기호를 사용하며 각각의 기호는 Absolutely necessary, Especially important, Important, Ordinary closeness OK, Unimportant, Undesirable를 의미한다<sup>[19]</sup>. 이를 통하여 도출된 결과는 각 격실 간 인접도를 정성적으로 표현하며, 이를 Activity Relationship Chart(ARC)라 한다.

다음 단계에서는 액티비티 관계도를 작성한다. 액티비티 관계도는 격실 간 관계를 사전에 정의된

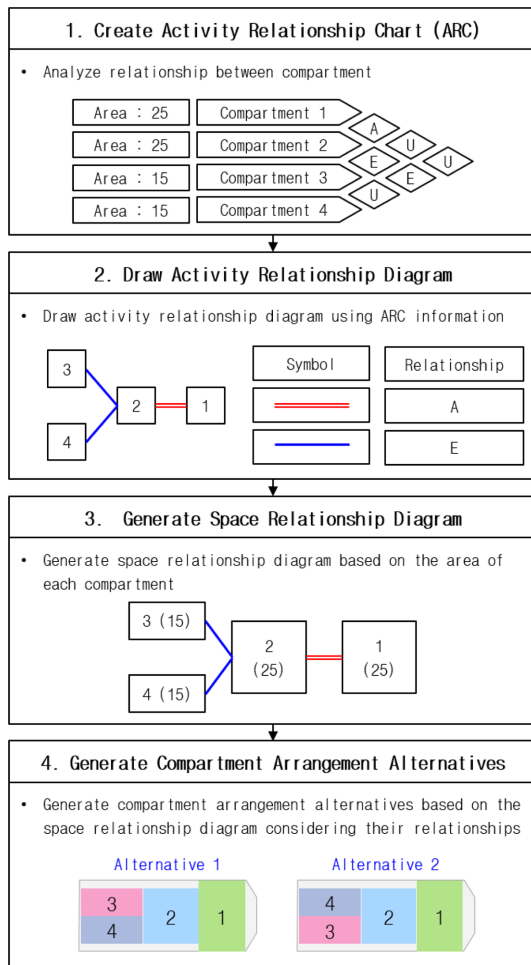


Fig. 2 Spatial arrangement methodology using SLP on naval ship compartment arrangement problem

기호로 표현한 것으로 격실 간의 상대적인 위치관계를 나타낸다. 이때 관계도가 높은 격실이 인접한 위치에 배치되도록 액티비티 관계도를 작성한다. 액티비티 관계도는 격실의 상대적인 위치관계만 고려하고 있기 때문에 다음 단계에서는 각 격실의 요구 면적을 고려하여 액티비티 관계도를 수정한다. SLP 방법의 마지막 단계에서는 면적이 고려된 관계도와 합정의 실질적인 형상을 바탕으로 격실배치 대안을 생성한다. SLP 방법의 전반적인 흐름은 Fig. 2에서 나타낸 것과 같다.

Shin<sup>[3]</sup>의 연구에서는 가상의 합정을 대상으로 SLP 방법을 이용한 합정 공간배치 방법론을 적용하였으며, 이를 통하여 알고리즘의 적용 가능성 및 효용성을 검증하였다. SLP 방법을 이용한 합정 공간배치 방법론을 적용하기 위해서는 합정의 임무와 기능과 같은 기본적인 요구사항이 사전에 명확히 정의되어 있어야 하며, 최소한 합정의 개략적인 형상과 갑판의 구분 등의 정보를 알고 있어야 한다.

이와 같은 방법으로 도출된 다양한 격실배치 대안은 평가하는 기준에 따라 우수한 정도가 다르게 평가될 수 있다. 본 연구에서는 기존의 연구에서 제안한 것과 같이 합정의 생존성과 격실 간 관계를 고려하여 격실배치 대안을 평가하였다. 합정의 생존성은 피격성, 취약성, 회복성으로 구성되는데, 그 중에서도 공간배치와 직접적으로 관련이 있는 취약성을 평가 기준으로 선정하였다. 이와 관련된 자세한 사항은 3.2절에서 자세히 서술하도록 한다. 또한 취약성뿐만 아니라 격실 간 관계를 고려하여 격실배치 대안을 평가하였는데, 이는 SLP 방법과 ARC 결과를 바탕으로 하였으며, 합정의 운용 편의성이나 승조원의 거주성 등도 고려할 수 있도록 하였다. 다음 장에서는 다양한 격실배치 대안을 자동으로 생성하고 평가 기준을 정확하게 적용하기 위하여 합정 격실배치 문제를 단순화하고, 목적함수를 수학적으로 표현하였다.

### 3. 생존성 기반의 합정 격실배치 알고리즘

#### 3.1 합정 격실배치 문제의 단순화

기존의 연구에서 정의한 합정 공간배치 방법에서는 격실 간 관계를 바탕으로 관계도를 작성하고 요구면적을 고려하여 설계자가 격실배치를 수동으로 수행하였다. 이러한 방법은 설계자의 의도를

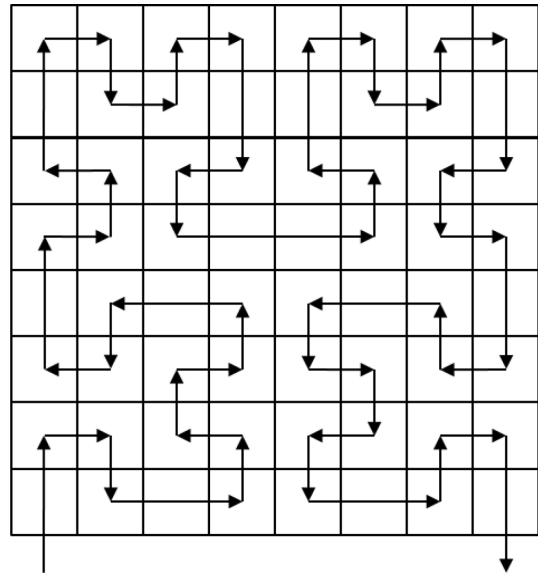


Fig. 3 Hilbert curve sample on 8 by 8 grid

정확하게 반영할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 설계자의 의도에 따라 항상 다른 배치결과가 도출될 수 있다는 한계점도 가지고 있다. 또한 격실의 수가 증가함에 따라 배치대안의 종류가 기하급수적으로 증가하기 때문에 모든 배치대안을 평가하여 최적의 배치결과를 도출하는 것이 현실적으로 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 2차원 합정 격실배치 문제를 SFC를 이용하여 1차원 할당 문제로 단순화하고 배치대안을 생성하는 과정을 자동화하였으며, DE 알고리즘을 활용하여 최적의 격실배치 대안을 도출할 수 있도록 하였다.

2차원 공간배치 문제를 1차원 할당 문제로 변형하는 방법은 복잡한 공간배치 문제를 해결하는 과정에서 많이 사용되어 왔다. 특히 Bozer *et al.*는 SFC를 사용하여 공간배치 문제를 1차원 할당 문제로 단순화 하는 공간배치 알고리즘을 제안하였다<sup>[20]</sup>. SFC는 격자로 표현되는 공간을 빠짐없이 채우는 곡선을 의미하며, 이 곡선은 일정한 패턴을 갖는다. 대표적인 SFC로는 Hilbert 곡선이 있으며, Hilbert 곡선은 Fig. 3과 같은 규칙으로 2의 거듭제곱을 한 변으로 하는 2차원 격자를 채우는 곡선이다<sup>[21]</sup>.

기본적으로 Hilbert 곡선은 정사각형 공간에만 적용이 가능하다. 하지만 공간배치 대상이 되는 공간은 직사각형 혹은 자유로운 형상을 가진 경우가 많다. 이를 개선하기 위하여 Bozer *et al.*<sup>[20]</sup>의 연구

에서는 직사각형 공간에 Hilbert 곡선을 생성하는 알고리즘을 구현하였으며, 이를 바탕으로 2차원 공간배치 문제를 1차원 할당 문제로 단순화하였다. 본 연구에서는 이러한 내용을 바탕으로 격실 배치 대안을 생성하고 해당 문제에 진화적 최적화 방법인 DE 알고리즘을 적용하여 최적의 격실배치 대안을 선정할 수 있도록 알고리즘과 애플리케이션을 구현하였다.

### 3.2 함정 격실배치 결과의 평가 방법

DE 알고리즘을 통하여 함정 격실배치 문제를 최적화 하기 위해서는 다양한 배치대안을 정량적으로 평가하는 기준이 필요하다. 본 연구에서는 Shin<sup>[3]</sup>의 기존 연구에서 정립한 취약성 평가방법과 격실의 상대적 관계도를 기반으로 한 함정의 운용성능 및 거주성 등을 고려한 평가방법을 적용하였다.

Shin<sup>[3]</sup>의 연구에서는 함정의 취약성을 정량화 하기 위하여 함정에 탑재되는 장비 및 설비를 정의하고, 해당 장비 및 설비가 함정 전체 시스템에 미치는 영향을 고려하기 위하여 FMEA(Failure Mode & Effective Analysis)를 수행하였다. 또한 장비 및 설비 간 연관관계에 따른 고장모드 분석을 위하여 FTA(Fault Tree Analysis)를 수행하였고, 이를 통하여 해당 장비의 취약성을 정량화 하였다. 특정 장비 및 설비가 함정 전체 시스템에 미치는 영향은 Kill type을 정의하여 구분하였고, Total kill은 1.0, Mobility kill은 0.7, Mission area kill은 0.4, 그리고 System kill은 0.25의 중요도 점수를 부여하였다. 다음으로 격실의 취약성은 앞서 정의한 장비의 취약성 정량화 값을 이용하여 해당 격실에 탑재된 장비의 취약성의 총합을 계산하여 이를 격실의 취약성 정량화 수치로 사용하였다. 예를 들어 격실 A에 탑재된 장비 1, 2, 3의 취약성이 0.25, 0.75, 0.15로 도출된 경우 격실 A의 취약성 정량화 수치는 이들의 합인 1.15로 도출된다.

취약성 정량화 수치는 함정의 생존성을 평가하는 기준으로 사용되며, 이 값은 함정이 피격되는 위치에 따라 다르게 계산된다. 함정이 피격되는 위치가 정의되면 무기의 종류에 따라 피격 범위가 결정되고, 피격 범위에 포함되는 격실은 모두 피격당한 격실로 간주한다. 함정의 전체 취약성 값은 피격 당한 격실의 취약성을 모두 더하여 도출한다. Fig. 4는 함정의 특정 위치가 피격되었을 때 피격 위치와 이에 따른 피격 범위, 그리고 피격당

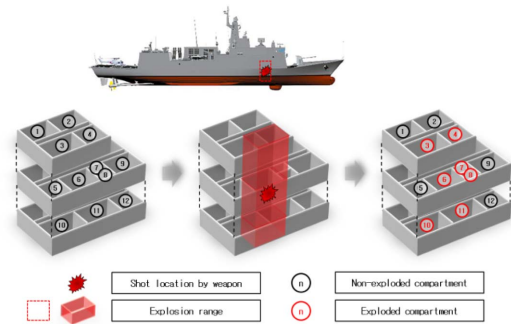


Fig. 4 Identification process of exploded compartment

한 격실을 식별하는 방법을 나타낸다. 격실 6과 같이 전체 격실이 피격 범위에 포함된 격실뿐만 아니라 격실 3, 7, 8, 10, 11과 같이 일부분만 포함된 경우도 피격당한 격실로 간주하여 취약성 정량화 값을 도출하는데 사용하였다.

함정의 운용성능 및 거주성은 배치된 격실의 상대적 관계도를 이용하여 평가한다. 격실의 상대적 관계도는 전문가 인터뷰를 통하여 도출된 ARC를 바탕으로 정량화한다. 이때 격실의 상대적 관계도는 정비 용이성, 거주성, 기동성, 해군 설계 관습 등을 종합적으로 고려할 수 있도록 한다. 격실 간 상대적 관계도를 이용한 평가 점수는 실제로 인접하여 배치된 격실 간의 점수만 유효한 점수로 사용하였으며, 격실 간의 관계도가 정의되어 있더라도 인접하지 않은 격실 간의 점수는 전체 평가 점수를 도출하는 과정에 사용하지 않는다.

### 3.3 목적함수 구성 방안

취약성 정량화 지수와 격실 간 상대적 관계도를 바탕으로 한 함정의 운용성능 및 거주성 정량화 지수는 독립적으로 평가되는 값이다. 본 연구에서는 각각의 평가결과를 하나의 목적함수로 표현하기 위하여 다목적 최적화 문제에서 많이 사용되는 가중치법을 이용하여 목적함수를 구성하였다. 취약성 정량화 지수는 피격 위치가 결정되었을 때 손상되는 격실이 전체 함정의 생존성에 기여하는 정도를 나타낸 수치이기 때문에 값이 작을수록 취약성 측면에서 좋은 배치대안이라 할 수 있다. 또한 격실 간 상대적 관계도를 바탕으로 한 함정의 운용성능 및 거주성 정량화 수치는 값이 클수록 관계도가 높은 격실이 인접하여 배치되기 때문에, 계산된 값이 클수록 좋은 배치대안이라 할 수 있다. 이러한 평가 기준의 특징을 반영하여 본 연

구에서는 합정 격실배치 문제의 목적함수를 식 (1) 과 같이 구성하였다.

Minimize  $Z$

$$Z = \alpha \left( 1 - \frac{Relationship}{\sum_{i < j} Relationship_{ij}} \right) + (1 - \alpha) \frac{Vulnerability}{\sum Vulnerability_i} \quad (1)$$

이때  $\alpha$ 는 서로 다른 평가 척도에 가중치를 고려할 수 있도록 가중치를 부여한 것이며, 평가 척도 간 균형을 맞추기 위하여 총점에 대한 비율로 정규화를 수행하였다. 그리고 평가 척도의 특성을 반영하여 전체적인 목적함수가 최소화 되는 것이 가장 좋은 평가 지수를 나타낼 수 있도록 목적함수를 구성하였다. 각 평가 척도에 대한 자세한 사항은 다음과 같다.

합정의 취약성은 식 (2)와 같은 방법으로 계산한다. 이때  $\beta_i$ 는 격실  $i$ 의 폭발 여부를 나타내는 값이며, 격실  $i$ 가 폭발 범위에 포함되는 경우는 1, 아닌 경우에는 0을 갖는다. 이 값은 앞서 언급한 것과 같이 피격 위치와 피격 무기의 폭발 범위에 따라 결정된다. 만약 해당 격실의 일부라도 폭발범위에 포함된다면 해당 격실은 피격된 것으로 간주하여 1을 반환하도록 하였다. 합정 격실의 피격 여부를 평가하는 방법에는 확률 분포를 사용하여 좀 더 엄밀하게 평가하는 방법<sup>[22]</sup> 등이 있지만, 본 연구에서는 빠른 평가를 위하여 간이 취약성 평가에서 사용하는 방법<sup>[23]</sup>을 이용하여 위와 같이 정의하였다. 자세한 내용은 식 (2, 3)와 같다.

$$Vulnerability = \sum Vulnerability_i \cdot \beta_i \quad (2)$$

$$\beta_i = \begin{cases} 1 & \text{if compartment } i \text{ is exploded} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

합정의 운용성능 및 거주성을 평가하기 위하여 격실 간 상대적 관계도를 바탕으로 정의한 평가 척도는 격실 간 관계도를 점수화한 행렬과 각 격실의 인접여부를 나타내는 행렬의 곱으로 정의하였다. 격실의 인접여부를 나타내는 행렬의 성분은 배치대안의 기하학적 형상을 분석하여 격실  $i$ 와 격실  $j$ 가 인접해 있는 경우에는 1, 아닌 경우에는 0을 갖도록 하였다. 자세한 내용은 식 (4, 5)와 같다.

$$Relationship = \sum \{ Relationship_{ij} \cdot \delta_{ij} \} \quad (4)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if compartment } i \& j \text{ are adjacent} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

### 3.4 DE 알고리즘을 이용한 격실배치 최적화

DE 알고리즘은 진화적 접근법(Evolutionary strategy)을 이용하여 해집단을 지속적으로 개선시켜 전역 최적해를 탐색하는 방법이다. 또한 연속 공간에 정의되어 있는 목적함수와 실수 벡터로 표현되는 해를 최적화 하는 것을 기본 형태로 하며, 초기화(Initialization), 변이(Mutation), 교차(Crossover), 선택(Selection) 단계를 반복하는 것을 기본 프로세스로 한다. 변이 단계에서는 해집단을 구성하는 임의의 벡터를 선정하여 두 벡터의 차이를 이용하여 변이 벡터(Mutant vector)를 생성하는 특징을 가지고 있다<sup>[24]</sup>.

앞서 언급한 것과 같이 DE 알고리즘은 기본적으로 연속공간에 정의되어 있는 실수 벡터로 표현되는 해를 최적화 하는 것을 기본 형태로 한다. 하지만 실수 벡터에 대응되는 정수 벡터를 정의하여 이산공간에 정의되어 있는 조합최적화 문제를 해결하는데 사용되기도 한다. 실수 벡터에 대응되는 정수 벡터를 정의하는 방법으로는 대표적으로 벡터 성분의 순위를 이용하는 방법이 있다<sup>[25]</sup>. 이 방법에서 변환된 정수 벡터의  $i$ 번째 성분의 값은 실수 벡터에서  $i$ 번째 순위의 성분의 위치를 나타낸다. 예를 들어 0부터 1사이의 값을 갖는 5차원 벡터  $\vec{t}$ 가 (0.04, 0.50, 0.98, 0.14, 0.57)의 값을 갖는다고 가정해보자. 이 실수 벡터를 위의 규칙을 바탕으로 정수 벡터로 변환하면 다음 식 (6)과 같은 결과가 도출된다.

$$\vec{t}_{INT} = (2, 4, 1, 3, 0) \quad (6)$$

본 연구에서는 이와 같은 방법으로 DE 알고리즘에서 사용하는 실수 벡터를 정수 벡터화 하였으며, 정수 벡터로 표현되는 해는 격실의 배치 순서를 의미하도록 하였다. 따라서 사용자가 입력한 격실이 다섯 개인 경우, 5차원의 벡터를 정의하고 앞서 정의한 방법에 따라 이를 정수화 한다. 그리고 정수화된 벡터를 배치 순서로 하여 SFC를 이용한 배치 대안을 생성하였다.

이를 구현하기 위하여 본 연구에서는 다양한 격

실배치 대안을 생성하고 목적함수 대안을 평가하는 애플리케이션을 개발하였다. 개발한 애플리케이션은 DE 알고리즘을 이용하여 생존성과 격실 간의 상대적 관계를 고려한 최적 배치 대안을 도출하는 기능을 수행한다.

#### 4. 생존성 기반의 함정 격실배치 애플리케이션 개발 및 검증

##### 4.1 생존성 기반 함정 격실배치 애플리케이션 주요 기능

본 연구에서는 생존성 기반 함정 격실배치 알고리즘을 자동화하고 최적의 배치대안을 도출하는 애플리케이션을 구현하였다. 애플리케이션의 사용자 환경은 기본 메뉴와 배치결과 출력 화면, 목적함수 값 출력 화면으로 구성된다. 배치결과 출력 화면에서는 사용자가 지정한 공간의 평면도를 단위 격자로 나누어 이를 기준으로 배치된 격실과 사용자가 입력한 피격 위치를 가시화 한다. 기본 메뉴에서는 격자의 크기를 지정하고, 피격 위치를 지정하기 위한 옵션을 입력할 수 있으며, DE 알고리즘을 사용하기 위하여 필요한 계수를 입력할 수 있도록 하였다. 생존성 기반 함정 격실배치 애플리케이션의 사용자 환경은 Fig. 5와 같다.

본 연구에서 개발한 애플리케이션에서는 배치 대상의 격실정보와 격실 간 관계도를 파일을 통하여 입력 받는다. 격실정보를 정의하는 파일은 격실의 이름, 요구면적, 생존성 정량화 수치 정보를 포함하고 있으며, 격실 간 관계도는 격실 간 관계를 행렬로 표현하여 정의하였다. 격실정보를 입력

한 이후에는 격실을 배치하기 위한 격자와 격자의 크기에 알맞은 SFC를 생성한다. SFC는 사용자의 편의를 위하여 각 격실에 할당된 일련번호도 가시화 할 수 있도록 하였다.

격실이 배치될 공간을 정의한 이후에는 피격 위치를 지정한다. 이때 애플리케이션 사용자 환경에서 오른쪽이 선수 방향을 나타내며, 이를 기준으로 피격 위치를 지정해야 한다. 피격 위치는 가장 바깥쪽에 위치한 격자에만 지정할 수 있으며, 폭발범위를 사용자가 입력할 수 있도록 하였다. 마지막으로 DE 알고리즘을 이용하여 최적화를 수행하기 위하여 DE 알고리즘에서 필요한 계수를 입력할 수 있도록 하였는데, 이때 입력되는 계수는 집단의 크기와, 교배율, 가중치, 반복 횟수가 있다. 또한 앞서 언급한 것과 마찬가지로 목적함수에 대한 가중치를 입력할 수 있게 하였다. 최종적으로 배치를 수행하면 Fig. 5의 하단에 나타난 것과 같이 배치 결과와 목적함수의 변화를 사용자가 확인 하여 최종적으로 도출된 결과가 최적해로 수렴하였는지 여부를 확인할 수 있다.

##### 4.2 생존성 기반 함정 격실배치 애플리케이션 구현결과 검증

본 연구에서 개발한 프로그램의 구현 결과를 검증하기 위하여 가상의 시나리오를 바탕으로 함정 격실배치 예제를 생성하여 결과를 확인하였다. 검증에 사용된 함정 정보는 총 6개의 격실을 가지고 있으며, 요구면적, 생존성 정량화 수치, 격실 간 관계도는 Table 1, 2와 같이 배치 결과를 분석할 수 있도록 편차를 크게 주어 입력 값으로 정의하였다. 이와 같이 입력 정보를 정의한 뒤 본 연구에서 제안하고 있는 생존성 기반 함정 격실배치 방법으로 격실을 배치하면, 피격 위치에 해당하는 곳에

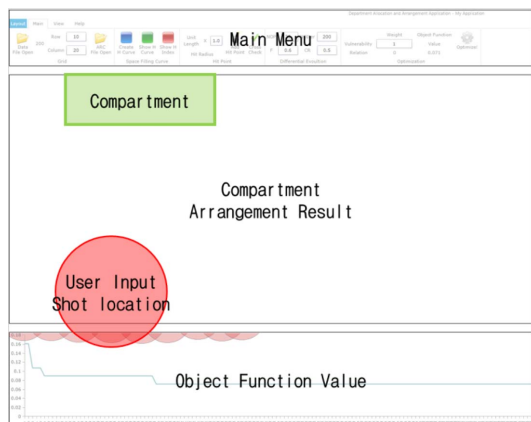


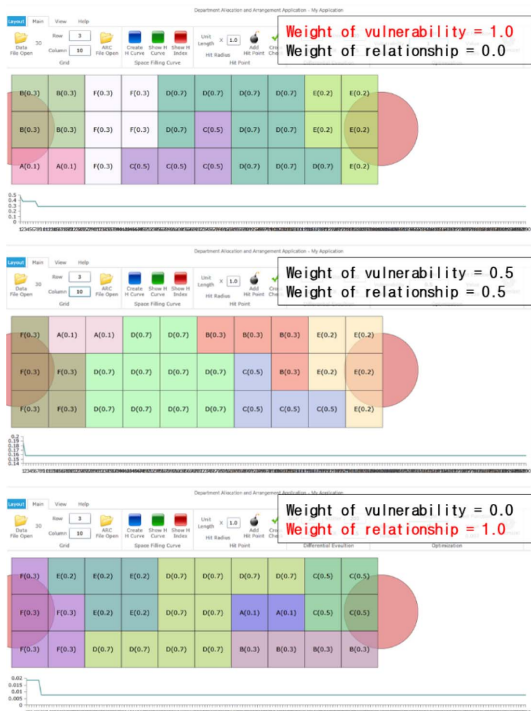
Fig. 5 User interface of naval ship compartment arrangement application

Table 1 Compartment information data for example result

Index	Compartment Name	Area	Vulnerability
0	A	2	0.1
1	B	4	0.3
2	C	4	0.5
3	D	10	0.7
4	E	5	0.2
5	F	5	0.3

**Table 2** Compartment relationship data for example result

Compartment Name	A	B	C	D	E	F
A	-	1	2	3	4	5
B	1	-	10	20	30	40
C	2	10	-	100	200	300
D	3	20	100	-	1000	2000
E	4	30	200	1000	-	10000
F	5	40	300	2000	10000	-



**Fig. 6** Optimal result of the compartment arrangement of a sample naval ship using application

는 취약성이 낮은 격실이 배치될 것으로 예상되며, 격실 간 관계가 높은 격실이 인접하여 배치될 것으로 예상된다. 이러한 결과를 검증하기 위하여 목적함수의 가중치를 변경시켜가며 도출되는 배치결과를 비교 분석하였다.

DE 알고리즘을 이용하여 최적화를 수행할 때 집단 크기, 교배율, 가중치, 반복 횟수는 각각 20, 0.5, 0.6, 300을 입력하였으며, 피격 위치는 선수와 선미 두 군데를 지정하였다. 최적화 수행결과는 목적함수의 가중치에 따라 다르게 도출되었으며, 목적함수 값의 변화 추이를 확인하였을 때, 각각의

결과는 충분히 수렴한 결과임을 확인할 수 있다.

Fig. 6의 상단에 있는 것과 같이 함정의 취약성을 평가하는 척도에만 가중치를 부여한 경우에는 취약성 값이 작은 격실인 격실 A, B, E가 피격 위치에 배치된 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 6의 하단에 표현된 결과와 같이 격실 간 관계를 평가하는 항에만 가중치를 부여한 경우에는 피격 위치와는 관계없이 격실 간의 관계가 가장 높은 E-F, D-F 등의 격실이 인접하여 배치된 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 Fig. 6의 가운데에 있는 결과와 같이 두 평가 항목을 동시에 고려한 결과는 각 평가 기준 관점에서 최적의 배치안은 아니지만 두 평가 항목을 적절히 조합하여 도출된 결과임을 확인할 수 있다. 이처럼 목적함수의 가중치에 따라 배치결과가 다르게 도출되는 것을 확인할 수 있으며, 따라서 평가 척도의 가중치는 설계자의 의도를 충분히 고려한 후 입력해야 한다는 것을 확인할 수 있다.

### 4.3 생존성 기반 함정 격실배치 애플리케이션 적용 사례

본 절에서는 Shin<sup>[3]</sup>의 연구에서 소형 고속정의 배치결과를 바탕으로 정리한 격실 간 관계도와 취약성 정량화 수치를 바탕으로 정의한 입력정보를 함정 격실배치 애플리케이션에 입력하여 도출된 결과를 분석하였다. Shin<sup>[3]</sup>의 연구에서는 현재 해군에서 운영하고 있는 소형 고속정의 공간배치 결과를 분석하여 갑판별 격실 및 각 격실에 탑재되어 있는 장비를 정의하였다. 본 연구에서는 그 중에서 주갑판에 해당하는 격실 정보를 바탕으로 입력정보를 정의하였다. 기존의 연구에서 정의한 소형 고속정의 주갑판에 배치된 격실 및 각 격실에 탑재된 장비, 이를 바탕으로 도출된 취약성 정량화 수치는 Table 3과 같다. 이때 취약성 정량화 수치는 각각의 장비가 특정 임무에 미치는 영향을 분석한 결과인 FMEA와 FTA 수행결과를 바탕으로 도출된 결과이다.

다음으로 주갑판에 할당된 격실 간의 관계를 고려하여 ARC를 도출하였다. 이때 부여된 격실 간의 관계도 값은 정비 용이성, 거주성, 기동성, 해군의 공간배치 관습 등을 고려한 결과이다. 본 연구에서는 격실 간 관계를 점수화(A = 1.0, E = 0.8, I = 0.6, O = 0.4, U = 0.2, X = -1.0)하여 입력정보로 사용하였다. 주갑판에 할당된 격실 간의 관계



**Table 3** Compartment information data for small patrol boat (Main deck)

Index	Compartment Name	Area (Unit grid)	Vulnerability	Equipment
0	Commanding officer room	15	-	None
1	Execute officer room	10	-	None
2	Officer water closet	10	-	None
3	Officer room 1	10	-	None
4	Officer room 2	10	-	None
5	Wardroom	20	0.5	Machine gun, Rifle
6	Head master chief petty officer	10	-	None
7	Wardroom pantry	5	-	None
8	Communication equipment room	15	1.0	Crypto equipment, Communication system, Antiship/Antiaircraft comm. equipment 1
9	Equipment room 3	10	0.5	Antiship/Antiaircraft commu. equipment 2
10	Store room 1	10	-	None
11	Battery room	5	-	None
12	Store room 2	5	-	None
13	Stern gun ready service room	15	1.0	Stern gun ammunition

**Table 4** Compartment relationship data for small patrol boat (Main deck)

Index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	-	1.0	0.2	0.8	0.8	0.8	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
1	1.0	-	0.8	0.8	0.8	1.0	0.4	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2	0.2	0.8	-	0.8	0.8	0.6	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
3	0.8	0.8	0.8	-	0.8	1.0	0.2	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4	0.8	0.8	0.8	0.8	-	1.0	0.2	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5	0.8	1.0	0.6	1.0	1.0	-	0.4	1.0	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
6	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
7	0.2	0.8	0.4	0.6	0.6	1.0	0.2	-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-1
8	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.8	0.2	0.2	-	1.0	0.2	0.6	0.2	-1
9	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	-	0.2	0.8	0.2	-1
10	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-	0.2	0.4	0.2
11	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.8	0.2	-	0.2	-1
12	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	-	0.2
13	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-1	-1	-1	0.2	-1	0.2	-

에 대한 자세한 사항은 Table 4와 같다. Table 4에 표기된 일련번호는 Table 3에서 사용한 것과 동일한 값을 사용하였다. 격실 간 관계는 Fig. 7과 같이 표현할 수 있으며, 이때 격실 간 관계도가 높은 격실을 적색 굵은 선으로 나타내었다.

앞서 정의한 입력 정보를 바탕으로 소형 고속정의 주갑판에 할당된 격실의 최적배치를 수행하였다. 이때 피격 위치는 선미부로 지정하였으며, 격실 간 관계도 평가 점수와 취약성 정량화 점수 간 가중치에 따른 결과 변화를 확인하기 위하여 가중

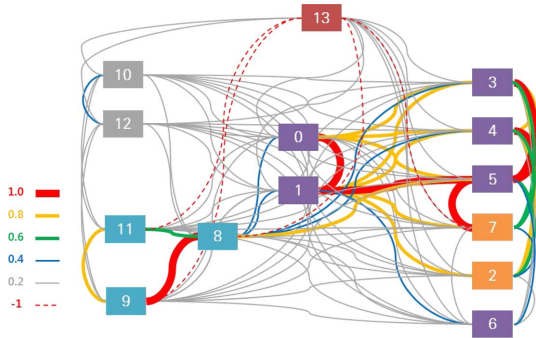


Fig. 7 Relationship diagram based on compartment relationship data of main deck in small patrol boat

치를 변경시켜 가며 세가지 배치대안을 도출하였다. 애플리케이션을 이용하여 도출된 결과를 정리하면 Fig. 8과 같다.

Fig. 8과 같이 도출된 결과를 취약성 정량화 점수 관점에서 살펴보면, 피격 위치를 선미부로 하였기 때문에 입력 정보에서 취약성 정량화 점수가 유효한 사관실(#5), 통신실(#8), 장비실(#9), 상비탄약고(#13)가 선미부에 배치되지 않은 것을 확인할 수 있다.

다음으로 격실 간 상대적 관계도를 평가하는 관점에서 배치결과를 분석하기 위하여 Table 5와 같이 격실 간 인접 여부 행렬을 구성하였다. 격실 간 인접 여부 행렬과 Table 4에서 정의한 격실 간 관

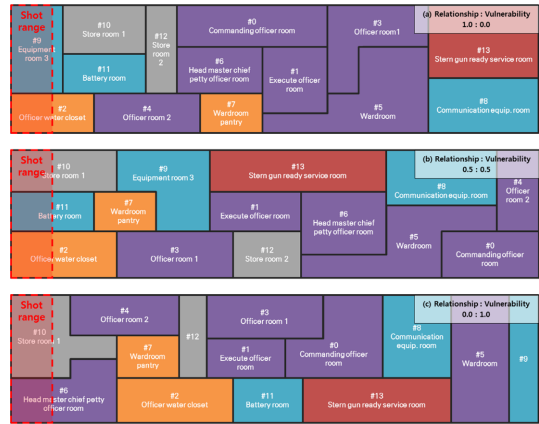


Fig. 8 Optimal result of the compartment arrangement of the main deck in small patrol boat

계도 정량화 수치를 이용하면 배치결과의 유효한 관계도 점수를 도출할 수 있다. 유효 관계도 점수는 이전에 정의한 식 (2)와 같이 관계도 행렬과 인접 여부 행렬을 곱하여 계산할 수 있다. 이러한 방법으로 계산하면, Fig. 8(a)의 경우에는 0.4336이 도출되고, (b), (c)의 경우에는 유효 관계도 값이 각각 0.3007, 0.2727이 계산된다. 이는 각각의 경우의 관계도에 부여된 가중치에 따라 최적의 배치안이 도출된 결과이며, 특히 Fig. 8(a)에서는 전반적으로 관계도가 높은 격실이 인접하여 배치되었음을 확인할 수 있다.

Table 5 Compartment adjacency matrix of case (a) in Fig. 8 (1 = Adjacent relationship, 0 = Not adjacent relationship)

Index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	-	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
1	1	-	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	-	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
3	1	1	0	-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	1	0	-	0	1	1	0	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	0	-	0	1	1	0	0	0	0	1
6	1	1	0	0	1	0	-	1	0	0	0	0	1	0
7	0	1	0	0	1	1	1	-	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	-	0	0	0	0	1
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-	1	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	1	1	0
11	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	-	1	0
12	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	-	0
13	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	-

본 연구에서 개발한 함정 격실배치 최적화 애플리케이션은 이와 같이 생존성과 격실 간 관계도 관점에서 다양한 배치 대안을 빠르게 생성하고 이를 평가하는 데 사용할 수 있다. 다만 SFC를 바탕으로 만들어진 격실의 형상은 실제 함정의 격실 형상과 차이가 있을 수 있다. 따라서 애플리케이션을 통해서 도출된 최적배치 결과를 초기 배치기준으로 활용하고 설계자가 이를 수정하여 최종 배치결과를 생성한다면, 효과적인 격실배치를 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 생존성을 기반으로 한 함정의 격실배치 애플리케이션을 개발하였다. 이때 함정의 격실배치 알고리즘은 기존의 선행 연구에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 하였으며, 함정의 격실배치 문제를 일반적인 공간배치 문제에 사용되는 SFC 개념을 적용하여 1차원 할당 문제로 단순화하였다. 그리고 진화적 최적화 알고리즘 중 하나인 DE 알고리즘을 적용하여 최적의 격실배치 대안을 선정할 수 있도록 하였다.

함정 격실배치 애플리케이션은 격실 정보와 격실 간 관계도를 입력하고, 이를 바탕으로 2차원 공간에 정의된 함정 격실배치 문제의 최적 배치대안을 도출한다. 이 애플리케이션에서는 함정의 다양한 피격 시나리오를 설정할 수 있으며, 문제의 특성에 따라 DE 알고리즘에 필요한 변수를 수정할 수 있도록 하였다. 다양한 격실배치 대안을 평가하는 목적함수로는 함정의 취약성 정량화 수치와 격실 간 상대적 관계도를 바탕으로 한 거주성 및 운용성 정량화 수치를 사용하였으며, 각각의 평가 척도에 가중치를 부여하여 설계자의 의도가 반영될 수 있도록 하였다.

본 연구에서 개발한 함정 격실배치 애플리케이션을 통하여 체계화된 함정 일반배치 프로세스를 적용하고, 새로운 형상의 함정을 초기 설계하는 과정에서 함정의 생존성과 운용성능을 모두 고려한 최적의 공간배치 결과를 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소 국방특화연구실사업

“차세대 함정 첨단 함형 특화연구실” 과제(과제번호: 0457-20120032)와 산업통상자원부 산업핵심기술개발사업 “중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리 시스템 개발” 과제(과제번호:10050495)의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사 드립니다.

## References

1. Nick, E.K., 2008, *Fuzzy Optimal Allocation and Arrangement of Space in Naval Surface Ship Design*, Ph.D. Thesis, University of Michigan.
2. Casarosa, L., 2011, *The Integration of Human Factors, Operability and Personnel Movement Simulation into the Preliminary Design of Ships Utilising the Design Building Block Approach*, Ph.D. Thesis, University College London.
3. Shin, J., 2013, *A Study on the Spatial Arrangement of Naval Ships Considering Survivability*, Master's Thesis, Seoul National University.
4. Kwon, O.H., 2005, *Development of Auto-arrangement Algorithm Which Considers a Process Schedule of Assembly Blocks*, Master's Thesis, Seoul National University.
5. Roh, M.I. and Im, B.S., 2011, Minimization of the Rearrangement of a Block Stockyard Based on the Genetic Algorithm, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 16(3), pp.207-215.
6. Lee, H. and Ruy, W.S., 2013, Development of Auto-arrangement Algorithm Which Considers a Process Schedule of Assembly Blocks, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 27(5), pp.28-35.
7. Lee, C.S., Heo, E.Y. and Kim, D.S., 2012, An Efficient Nesting Algorithm Recognizing the Placing Area, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 13(10), pp.1917-1920.
8. Lee, D.K., Jeong, Y.K. and Shin, J.G., 2013, Development of a Factory Layout Design System using Leisure-Boat Building Process, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(1), pp.14-24.
9. Carlson, C.M. and Fireman, H., 1987, General Arrangement Design Computer Systems and Methodology, *Naval Engineers Journal*, 99(3), pp.261-273.
10. Han, S.N., 2001, *A Study on the Optimum Compartment Layout Design for the Naval Ship*, Master's Thesis, Seoul National University.
11. Lee, K.Y., Roh, M.I. and Jeong, H.S., 2005, An Improved Generic Algorithm for Multi-floor

- Facility Layout Problems having Inner Structure Walls and Passages, *Computers & Operation Research*, 32(4), pp.879-899.
12. Han, S.N., Lee, K.Y. and Roh, M.I., 2001, A Study on the Optimal Facility Layout Design Using an Improved Genetic Algorithm, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 6(3), pp.174-183.
  13. Murther, R., 1973, *Systematic Layout Planning 2nd Edition*, Cohners.
  14. Song, Y.J., Lee, K.K., Lee, D.K., Hwang, I.H., Woo, J.H. and Shin, J.G., 2008, Development of a Design Framework for Simulation Based Shipyard Layout, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 45(2), pp.202-212.
  15. Song, Y.J., Lee, D.K., Woo, J.H. and Shin, J.G., 2008, A Shipyard Layout Design System by Simulation, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 45(4), pp.441-454.
  16. Park, J.G., 2006, *A Study of Establishing the Ship Susceptibility Design for Ship Survivability*, Master's Thesis, Chungnam National University.
  17. Lim, G.H., 2006, *A Study of Vulnerability Analysis for Naval Vessel*, Master's Thesis, Chungnam National University.
  18. Kim, K.S., Lee, J.H. and Hwang, S.Y., 2011, Simplified Vulnerability Assessment Procedure for the Warship Based on the Vulnerable Area Approach, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 48(5), pp.404-413.
  19. Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A. and Tanchoco, J.M.A., 2010, *Facilities Planning 4<sup>th</sup> edition*, Wiley.
  20. Bozer, Y.A., Meller, R.D. and Erlebacher, S.J., 1994, An Improvement-type Layout Algorithm for Single and Multiple-floor Facilities, *Management Science*, 40(7), pp.918-932.
  21. Sagan, H., 1994, *Space Filling Curves*, Springer-Verlag, NY.
  22. Kim, K.S. and Lee, J.H., 2014, A Study of Vulnerability Assessment based on Damage Function, *2014 Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies*, Busan, Republic of Korea, pp.1242-1246.
  23. Shin, Y.H., Kwon, J.I. and Chung, J.H., 2013, Development of a Simplified Vulnerability Analysis Program for Naval Vessel, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(6), pp.383-389.
  24. Storn, R. and 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.
  25. Onwubolu, G.C. and Davendra, D., 2009, *Differential Evolution: A Handbook for Global Permutation-Based Combinatorial Optimization*, Springer.

**김 영 민**

1997년 서울대학교 조선해양공학과  
학사  
1999년 서울대학교 조선해양공학과  
석사  
2011년~현재 서울대학교 조선해양  
공학과 박사과정  
관심분야: 레이아웃 및 공간배치,  
선체곡면 가공, 시뮬레이션

**정 용 국**

2011년 서울대학교 조선해양공학과  
학사  
2011년~현재 서울대학교 조선해양  
공학과 석박사통합과정  
관심분야: 레이아웃 및 공간배치,  
시뮬레이션, 최적화 알고리즘,  
스케줄링, 해양레저 엔지니어링

**주 수 현**

2014년 서울대학교 조선해양공학과  
학사  
2014년~현재 서울대학교 조선해양  
공학과 석박사통합과정  
관심분야: 레이아웃 및 공간배치, 생  
산 관리, 스케줄링

**신 중 계**

1977년 서울대학교 조선해양공학과  
학사  
1979년 서울대학교 조선해양공학과  
석사  
1988년 Massachusetts Institute of  
Technology Ocean Engineering  
Ph.D  
1997년~현재 서울대학교 조선해양  
공학과 교수  
관심분야: Digital Manufacturing,  
Discrete Event Simulation, 생산  
관리, 스케줄링, 합성 설계

**신 정 학**

2007년 해군사관학교 기계조선공  
학과 학사  
2013년 서울대학교 조선해양공학과  
석사  
2013년~현재 해군본부  
관심분야: Systems Engineering, 합  
성 설계, 생존성, 취약성