



Received: 2024/11/30  
Revised: 2024/12/04  
Accepted: 2024/12/20  
Published: 2024/12/31

**\*Corresponding Author:**

**Sera Kim**  
Dept. of Natural Science, Republic of Korea  
Naval Academy  
1 Jungwon-ro, Jinhae-gu, Changwon-si,  
Gyung-sangnam-do, 51704, Republic of Korea  
Tel: +82-55-907-5234  
E-mail: srkim85@gmail.com

**Abstract**

이 연구는 헝가리안 알고리즘을 활용하여 개발된 파이썬 프로그램을 소개하며, 이를 이용한 해군 업무 분장 및 함정 배정 방법을 제안한다. 이 프로그램은 주어진 조건을 단시간 내에 최적으로 만족하는 매칭을 제공한다. 또한, 이 논문은 해당 프로그램이 해군 작전에 어떻게 도움을 줄 수 있는지를 보여주는 다양한 실제 사례를 포함하고 있다.

This study presents a Python program developed using the Hungarian algorithm, proposing a method for naval job assignment and ship allocation. The program provides optimal matching that satisfies given conditions in a short time. Additionally, the paper includes various real-world examples demonstrating how the program can assist in naval operations.

**Keywords**

헝가리안 알고리즘(Hungarian Algorithm),  
해군 직업 배정(Naval Job Assignment),  
해군 함정 배정(Naval Ship Assignment),  
전투 효율성(Combat Effectiveness),  
파이썬(Python)

보안성검토 결과 일부 세부사항이 삭제되었습니다.  
논문에 관한 문의는 교신저자에게 연락 바랍니다.

# 해군 직군 및 함정 업무 지정을 위한 헝가리안 알고리즘을 적용한 프로그램 이용 연구

## On the Program Applying by the Hungarian Algorithm for Assignment of Naval Jobs and Ships

김세라<sup>1\*</sup>, 조룸빈<sup>2</sup>, 허웅<sup>3</sup>, 김준선<sup>4</sup>

<sup>1</sup>해군사관학교 기초과학과 부교수

<sup>2</sup>해군사관학교 조선공학과 생도

<sup>3</sup>해군사관학교 전기전자공학과 생도

<sup>4</sup>해군사관학교 국제관계학과 생도

Sera Kim<sup>1\*</sup>, Rumbeen Cho<sup>2</sup>, Woong Heo<sup>3</sup>, Joonseon Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Associate professor, Dept. of Natural Science, Republic of Korea  
Naval Academy

<sup>2</sup>Midshipman, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering,  
Republic of Korea Naval Academy

<sup>3</sup>Midshipman, Dept. of Electronics and Control Engineering, Republic of Korea  
Naval Academy

<sup>4</sup>Midshipman, Dept. of International Relations, Republic of Korea  
Naval Academy

### 1. 서론

해군 인원은 각자의 전문성, 기술, 경험, 그리고 직무 선호도가 다르며, 이러한 요소를 고려하지 않고 단순히 임의로 배치할 경우 업무 수행 효율성이 저하될 가능성이 높다. 적합한 직무에 적합한 인원을 배치할 때 개인의 역량이 최대한 발휘될 수 있을 것이라 기대할 수 있다. 또한 적합한 인력을 매칭하지 못하면 주어진 작전 성공과 안전에 영향을 미칠 수 있다. 특히 군에서 긴급 상황 시 상황 변화에 빠르게 대처하기 위해 임무와 상황에 따라 적절한 인력을 신속히 재배치하려면 체계적이고 공정한 매칭 시스템이 필요할 것이다. 이는 결론적으로 임무를 성공적으로 수행하고 인원을 안전하게 보호하게 될 것이다.

개인이 자신의 역량에 맞는 업무를 수행할 경우, 직무 만족도가 높아지고 이는 해군 전반의 사기 증진에 도움이 된다. 반면, 부적절

한 배치는 업무 스트레스를 증가시키고 사기 저하를 초래할 수 있다. 매칭 과정에서 공정성과 투명성을 확보하기 위해 객관적이고 체계적인 방법론(예: 헝가리안 매칭 알고리즘)을 활용하면 배치 결과에 대한 신뢰도를 높일 수 있다. 또한 업무 배치 등에는 다양한 변수(인력 역량, 함정의 특성, 임무 요구 사항 등)를 고려해야 하므로 단순한 수작업으로는 최적의 매칭을 달성하기 어렵다. 알고리즘 기반 매칭 시스템은 이러한 복잡성을 효과적으로 해결하여 최적의 매칭이 가능하게 할 수 있을 것이다. 이와 같은 이유들로 해군 내에서는 체계적이고 과학적인 매칭 프로그램이 필요하다.

미국 국방부의 위험 관리를 다루는 지침 문서 중 하나('Department of Defense Risk, Issue, and Opportunity Management Guide for Defense Acquisition Programs')[1]를 살펴보자. 이 문서는 기존 미 국방부의 DoD 위험 관리 가이드를 기반으로 하여, 단순히 일정 기간 반복적으로 발생하는 위험뿐만 아니라 단발성 문제와 기회 관리에도 중점을 두도록 개정된 내용을 반영하고 있다. 또한 일반적인 위험에 대한 관리가 부대 내 발생 가능한 문제 해결을 위한 방책으로도 조정 가능하다는 점을 전제로 하고 있다. 이를 위해 프로그램 관리자(PM, program manager)가 비판적 사고를 적용하고, 위험 관리 문화를 채택하고, 조직의 위험 감수 성향을 관리 능력과 조율하고, 제한된 자원을 최적의 효과를 위해 할당해야 할 것이다.

또한 이 가이드에서도 개인마다 위험도에 맞춘 직급 배치를 수행할 때, 개인마다 생각하는 특정 업무의 중요도나 목적성(예: 봉급, 소요되는 총 업무시간 등)의 차이로 인해 고려하는 위험의 우선순위가 다를 수 있음을 언급하고 있다. 즉, 유사하게 한국 해군에서도 각 개인이 업무를 선택하기 위하여 고려하는 가치는 다양하며, 또한 다양한 업무가 산재하는 관 계로 각 업무 배치를 위하여 최적의 선택을 보장하는 프로그램의 중요도는 점차 커질 것이다.

이를 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 헝가리안 알고리즘에 대해 설명한다. 3장은 헝가리안 매칭을 적용하여 제작된 프로그램과 이를 적용한 다양한 예시를 바탕으로 적용할 수 있는 방안을 설명한다. 또한 4장에서는 본 연구가 갖는 한계점 및 향후 연구에 대하여 기술한다.

## 2. 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)

헝가리안 알고리즘은 1955년 Harold Kuhn에 의해 정의되었으며[2,3], 이 정의는 후에 두 명의 헝가리 수학자 Dénes König와 Jenő Egerváry에 의해 명료하게 정의되었기 때문에 헝가리안 알고리즘이라는 이름이 붙었다.

두 집합 사이의 일대일 함수로 정의되는 매칭 알고리즘 중의 한 종류인 헝가리안 알고리즘은 한 집합의 원소들에 요구조건이 주어지고, 다른 집합의 원소는 그 조건들의 충분조건이 있을 때 각 매칭마다 정의되는 적합도 값의 총합이 최소가 되도록 만족시키는 원소들의 짝을 찾아주는 함수가 된다. 일반적으로 요구조건들이 주어지는 원소들은 사람으로 필요조건이 매겨져 있는 원소들은 직업/직무들로 구성되는 두 집합 사이의 최적의 매칭을 찾는 알고리즘 중의 하나로 제시된다.

이 논문에서는 해당 알고리즘 계산을 위해 Flood의 공식[4]에서 유래되어 나중에 Munkres가 더 명확하게 증명[5]한 계산법을 적용하도록 한다.

### 2.1 Step 1: 비용 행렬(cost matrix) 표현

비용 행렬은 각 개의 원소를 가지는 두 집합 사이에서 적합도가 표현된  $n \times n$  크기의 행렬이다.  $1 \sim n$  행은 요구조건이 있는 원소들과 대응하고,  $1 \sim n$  열은 필요조건이 있는 원소들과 대응한다. 두 집합 사이의 원소들의 매칭 가짓수는  $n^2$ 개로, 모든 경우의 수에서 나오는 매칭마다 계산되는 조건에 따른 적합도 값을 대응하는 행과 열의 교차위치에 배치한 행렬로 정의된다. 해당 적합도 값들이 정수로 나오는 경우만 이 논문에서는 다루기로 한다.

### 2.2 Step 2: 각 행과 열의 공통 적합도 값 제거

각 행마다 있는  $n$ 개의 적합도 값 중 가장 작은 값을 빼서 각 행의 최솟값이 0이 되도록 만든다. 각 열에서도  $n$ 개의 적합도 값 중 가장 작은 값을 빼내어 각 열의 최솟값도 0이 되도록 만든다. 이 과정을 완료하면 각 원소들의 기준에서 공통으로 부여된 적합도 값(최솟값)을 제거함으로써 어떤 매칭이 최적의 매칭(0의 값을 가지는)인지 수치적으로 다른 매칭과의 차

이를 만들게 된다.

### 2.3 Step 3: line covering

최적의 매칭을 말하는 숫자 0을 포함하는 행과 열에 최소의 선을 그어 모든 0을 덮었을 때 만약 선의 개수가  $n$ 개 이상이면 각 행 또는 열마다 최적의 매칭이 겹치지 않게 무조건 존재하는 경우이다. 이 경우 각 원소들의 최적의 매칭들을 찾으면 헝가리안 매칭의 결과가 된다. 만약 0을 덮는 선의 최소 개수가  $n$ 개 미만이라면, 비용 행렬을 수정하여 더 많은 0이 생성되도록 Step 4를 반복하게 된다.

### 2.4 Step 4: 최적화

선으로 덮이지 않은 구역에 더 많은 매칭을 만들기 위해, 선으로 덮이지 않은 구역의 적합도 값들의 최솟값을 찾는다. 그 후 선으로 덮이지 않은 구역의 행들의 모든 원소에 앞서 찾은 최솟값을 제거한다. 그 경우 해당 행에서 원래 선으로 덮여있는 구간 안의 0이었던 값이 있다면, 이 과정을 통해 음수가 되는데 음수가 속한 열의 모든 원소에 음수를 0으로 돌리기 위한 값을 다시 더해준다.

이후 새롭게 등장한 0까지 덮는 line covering을 고려했을 때, 선의 최소 개수가  $n$  이상이면 매칭 찾기가 종료되고, 0을 덮는 선의 최소 개수가 여전히  $n$  미만인 경우 Step 4 과정을 반복하여 충분한 0이 생성되도록 하여 최소  $n$ 개 이상의 선을 생성하여 해당하는 두 집합 원소들 사이의 헝가리안 매칭을 얻는다. 즉, 각 행마다 0인 숫자가 2개 이상 등장하게 되며 0을 기준으로 해당하는 행과 열에 해당하는 원소들을 매칭시켜 얻은 원소쌍들이 헝가리안 매칭 결과가 된다.

이렇게 정의되는 헝가리안 알고리즘은 소요 비용을 줄이는 것이 중요한 자원 관리 문제뿐 아니라, 데이터 과학, 인공지능(AI), 물류, 경제학 등 여러 학문 분야에 널리 활용된다. 대표적으로 객체 추적 알고리즘(예: SORT, DeepSORT)에 적용되는 경우, 한 프레임에서 지정된 특정한 객체를 탐지한 후 다음 영상 프레임 간에 동일한 객체를 계속해서 추적하기 위해 헝가리안 알고리즘이 사용된다. 즉, 현재 객체의 위치(좌표)와 이전 프레임에서의 위치를 비교해 거리 차이값이 최소가 되는 프레임에 등장하는 여러 객체

간의 최적의 매칭을 계산하여 특정한 객체를 추적할 수 있도록 한다. 또한 이 논문의 주제와 밀접한 작업 할당 및 자원 배치용 프로그램에도 적용되며 잘 알려진 프로그램으로는 Google OR-Tools가 있다. 유사하게 환자와 병원 배정 시스템 및 광고와 사용자 간의 매칭을 최적화하는 데에 적용되고 있는 알고리즘이다.

이렇듯 헝가리안 알고리즘은 효율적인 최적화 매칭 알고리즘으로, 다양한 프로그램과 시스템에 내재되어 있다. 본 연구에서는 이를 바탕으로 해군 내 업무 배정용 프로그램을 제작하였으며, 이를 이용한 예제들을 아래에 소개한다.

## 3. 헝가리안 매칭이 적용된 프로그램 정의 및 사용 예시

### 3.1. 사람-역할 최적 매칭을 찾기 위한 헝가리안 알고리즘을 적용한 프로그램 정의

해당 프로그램은 파이썬(Python)을 이용하여 코드를 생성하였으며, 이 프로그램의 목적은 해군 내 군인/생도와 같은 인물에 대하여, 업무 역할/업무 수행 함선 간의 배치를 위해 요구되는 조건에 대해 가장 높은 적합도를 가지는 매칭을 찾는 것이다. 이를 위해서는 각 인물이 가지고 있는 능력치와 업무에서 요구하는 능력치 등 각 조건들에 대하여 각 쌍마다 적합도를 계산하기 위한 수식을 정해야 한다.

이를 위해 본 논문에서는 각 인물의 특정 역량 수치와 각 역할의 요구 사항등을 벡터화하여 두 벡터의 내적(dot product)을 통해 사람-역할 간의 적합도를 계산하였다. 하지만 앞에서 정의된 헝가리안 알고리즘으로 나오는 매칭은 총 비용의 최소화를 목표로 하는 최적화 알고리즘이지만, 저자들이 원하는 결과는 총 적합도가 최대가 되는 매칭을 찾는 것이다. 따라서 여기서 고려하는 프로그램에서는 각 적합도 값을 모두 음수로 변환한 정수들로 성분을 채운 행렬을 비용 행렬로 정의하기 위하여  $cost\_matrix = -relation$  코드를 추가하였다. 이후 헝가리안 알고리즘을 적용하기 위하여 저자들은 `scipy.optimize` 라이브러리의 `linear_sum_assignment` 함수에 `row_ind, col_ind = linear_sum_assignment(cost_matrix)`와 같이 적용하여 작성하였다. 마지막으로 이 코드에 다양한 사

람-역할 관계에 대한 예시를 적용하여 어떤 방식으로 최적의 매칭을 확인하는지 알아보았다.

### 3.2 성능 평가 및 결과 확인

#### 3.2.1 예시 1 및 적용 결과

앞에서 언급된 대로 사람-업무 간 최적의 매칭을 위하여 Table 1 및 Fig. 1과 같은 예시를 구성하였다. 가상의 생도 4명이 승선하고자 하는 함선의 조건 4가지(배수량/기동성/전투력/건조년도)를 각각 가정

하였다.

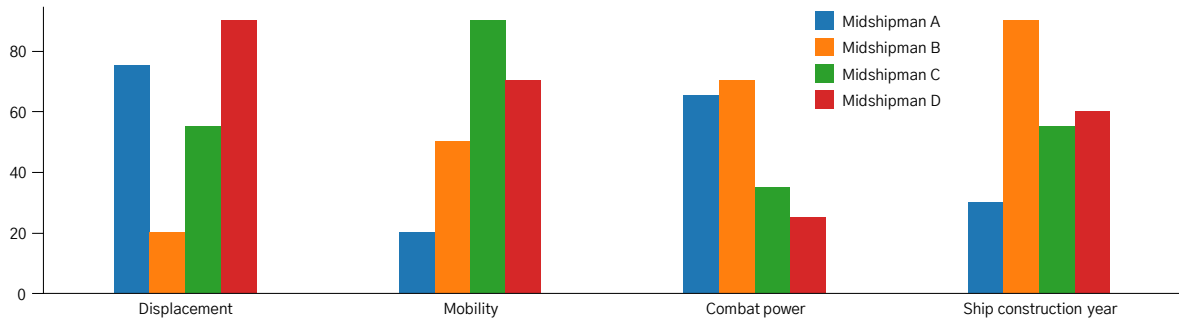
네 생도가 추후 근무할 함정 4척을 대상으로 실제 수치 값을 조사한 결과는 Table 2와 같으며, 이 조건부 점수를 바탕으로 한 프로그램 값의 결과는 아래와 같이 나오게 된다.

- Cadet A is matched to the ship A with a suitability score of 14,694.0.
- Cadet B is matched to the ship B with a suitability score of 18,588.0.
- Cadet C is matched to the ship C with

**Table 1.** The weighting of consideration factors for Cadets A, B, C, and D in selecting duty ships

Preferred conditions	Displacement	Mobility	Combat power	Ship construction year
Midshipman A	75	20	65	30
Midshipman B	20	50	70	90
Midshipman C	55	90	35	55
Midshipman D	90	70	25	60

\*This material is fictional.



**Fig. 1.** A bar graph representing the preferences of cadets based on their conditions

**Table 2.** Final score table by ships for the Hungarian Algorithm

Conditions	Displacement	Mobility	Combat power	Ship construction year
Ship A	100	57.5	55.6	81
Ship B	21.3	75.0	87.6	92
Ship C	3.10	100.0	53.5	83
Ship D	69.0	60.0	48.6	92

\*Data sources: GlobalSecurity.org[6]

\*\*Classified information: Due to military confidentiality, performance data of weapons (range, speed, warhead weight, etc.) is based on publicly available information.

\*\*\*Relative comparison: The scoring is based on publicly available weapon systems for relative evaluation, and actual performance may differ due to classified data.

a suitability score of 15,608.0.

- Cadet D is matched to the ship D with a suitability score of 17,145.0.

### 3.2.2 예시 2 및 적용 결과

예시 2에서는 예시 1과 유사하게 가상인물 4명의 함선의 대공능력/대잠능력/대함능력/무장체계 최신화에 대한 선호도가 Table 3와 같을 때, 현존하는 각 함선들의 능력치를 분석(Table 4 참조)하여 해당 형 가리안 알고리즘 프로그램을 이용하여 다음과 같이 최적의 배치 결과를 도출할 수 있다.

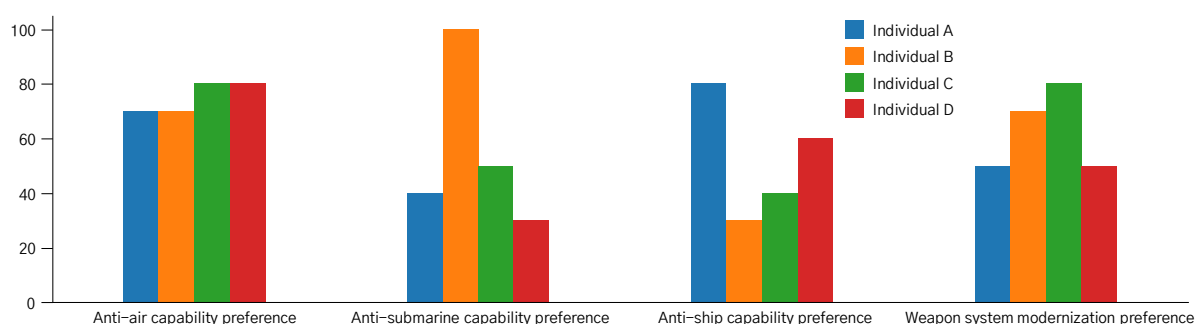
이 자료를 바탕으로 출력되는 프로그램 결과는 다음과 같다.

- Person A is matched to the ship A with a suitability score of 212.
- Person B is matched to the ship C with a suitability score of 179.
- Person C is matched to the ship D with a suitability score of 112.
- Person D is matched to the ship B with a suitability score of 129.

**Table 3.** The weighting of consideration factors for Individuals A, B, C, and D in selecting duty ships

Preferred conditions	Anti-air capability preference	Anti-submarine capability preference	Anti-ship capability preference	Weapon system modernization preference
Individual A	7	4	8	5
Individual B	7	10	3	7
Individual C	8	5	4	8
Individual D	8	3	6	5

\*This material is fictional.



**Fig. 2.** A bar graph representing the preferences of individuals based on their conditions

**Table 4.** Score table by ships for the Hungarian matching

Capacity	Anti-air capability	Anti-submarine capability	Anti-ship capability	Weapon system modernization
Ship A	9	8	9	9
Ship B	6	5	6	6
Ship C	5	7	6	8
Ship D	3	4	3	7

\*Classified information: Due to military confidentiality, performance data of weapons (range, speed, warhead weight, etc.) is based on publicly available information.

\*\*Relative comparison: The scoring is based on publicly available weapon systems for relative evaluation, and actual performance may differ due to classified data.

3.2.3 예시 3(특수조건이 붙은 경우) 및 적용 결과

세 번째 예시에서는 각 업무에 특수 조건이 붙은 경우에도 해당 프로그램이 선택을 하는지 확인하고자 각 특수 조건이 있는 상황으로 가정하였다(Table 5 참조). 특히 이 특수 조건에 가중치를 부여하여 능력치보다 특수 조건에 더욱 부합하는 매칭 정도를 제공하는지 여부를 해당 예제에서 확인하였다. 업무별 요구 능력치(Table 6 참조)의 경우 참고문헌 [1]에서 제공되는 정보를 바탕으로 확인하였다.

각 직책에 필요한 조건을 반영하여 매칭 점수를 산출할 가중치를 부여한다. 예를 들어 “특수 전투 지원” 직책은 체력과 스트레스 저항력이 중요한 요소이므

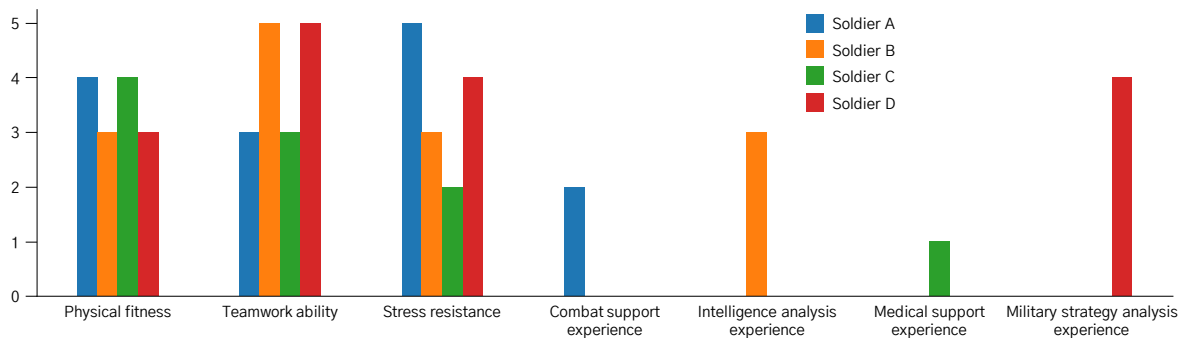
로 이에 대한 가중치를 높여 적용한다. 각 인물과 직책의 매칭 점수를 기반으로, 헝가리안 매칭 알고리즘을 사용해 최적의 배정을 찾는다. 위와 같은 과정을 통해 최종적으로 해당 프로그램은 특수 능력을 기반으로 하여 각 사람과 역할의 매칭을 아래와 같이 출력하는 것을 확인하였다.

- Soldier A is matched to Special Combat Support with a suitability score of 45.
- Soldier B is matched to Information Analysis with a suitability score of 43.
- Soldier C is matched to Medical Support with a suitability score of 25.

**Table 5.** Capabilities and work experience of Soldiers A, B, C, and D

Capabilities and work experience	Physical fitness	Teamwork ability	Stress resistance	Combat support experience	Intelligence analysis experience	Medical support experience	Military strategy analysis experience
Soldier A	4	3	5	2	0	0	0
Soldier B	3	5	3	0	3	0	0
Soldier C	4	3	2	0	0	1	0
Soldier D	3	5	4	0	0	0	4

\*This material is fictional.



**Fig. 3.** A bar graph representing the preferences of soldiers based on their conditions and special conditions

**Table 6.** Capabilities and Work Experience of Soldiers A, B, C, and D

Capabilities and work experience	Physical fitness	Teamwork ability	Stress resistance	Combat support experience	Intelligence analysis experience	Medical support experience	Military strategy analysis experience
Special combat duties	4	3	4	0	0	0	0
Intelligence analysis duties	0	5	3	0	3	0	0
Medical support duties	4	0	3	0	0	3	0
Military strategy analysis duties	3	5	4	0	0	0	3



- Soldier D is matched to Strategy and Planning Analysis with a suitability score of 62.

다양한 예제들에서 확인할 수 있듯이 해당 코드는 각 인원의 조건에 따라 최적의 업무 할당, 인적 자원 배치 등 다양한 분야에서 적용 가능하다. 즉, 해당 프로그램이 빠른 시간 내의 최적의 자원 관리 문제 해결에 적합함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

헝가리안 알고리즘을 적용한 프로그램을 해군의 인적 자원 관리에 적용하면, 제한된 인력과 자원을 효과적으로 배치하고 최적의 결과를 얻는 데 많은 이점이 있음을 확인할 수 있었다. 특히 해군의 업무는 다양한 역할(예: 함정 운용, 군수 지원, 정보 분석 등)과 직무(예: 작전 계획, 전투 지원, 정비 등)를 포함하고 있다. 그리고 그 업무들은 개인의 역량(체력, 기술, 경험 등)뿐만 아니라 업무 특성에 따라 특수한 역량들을 요구하는 경우가 많다. 이때 해당 프로그램을 이용하여 최적화된 할당을 통해 적합한 인력을 가장 필요한 곳에 배치할 수 있다. 또한 해군의 특성상 업무를 수행하는 선박의 인원 제한으로 인하여 한 명의 군인이 여러 역할을 수행하거나, 특정 역할을 수행할 수 있는 인원 수가 제한적일 수 있다. 게다가 해상 및 육상의 다양한 장소에서 인력을 배치해야 하는데, 헝가리안 알고리즘 프로그램은 이러한 복잡한 환경에서도 최적의 할당을 보장할 수 있으므로 효과적인 인적관리가 가능하다. 추가적으로 헝가리안 알고리즘

프로그램은 데이터에 기반하여 가장 적합한 매칭을 계산하므로 개인적 편견 없이 공정한 배분이 가능할 것이며, 객관적인 수치에 따라 배치를 수행하므로 인원들이 수용 가능한 매칭 결과를 얻게 될 것이다.

즉, 헝가리안 알고리즘을 해군 업무 분장에 적용하면 빠른 효율적인 배치, 변화되는 상황에 따른 유연한 업무 변경, 그리고 모두가 만족하는 공정한 업무 분장을 기대할 수 있다. 이는 복잡한 해군의 업무 환경에서 인력과 자원을 최대한 효과적으로 활용할 수 있게 하며, 결과적으로 해군의 전체적인 작전 수행 능력을 높이는 데 기여할 것이라 기대한다.

#### 참고문헌

- [1] Office of the Deputy Assistant Secretary of Defense for Systems Engineering, "Department of Defense Risk, Issue, and Opportunity Management Guide for Defense Acquisition Programs," <https://www.dau.edu/sites/default/files/Migrated/CopDocuments/RIO%20Guide%20January2017.pdf>
- [2] Harold W. Kuhn, "The Hungarian Method for the assignment problem," *Naval Research Logistics Quarterly*, 2: 83-97, 1955. Kuhn's original publication.
- [3] Harold W. Kuhn, "Variants of the Hungarian Method for Assignment Problems," *Naval Research Logistics Quarterly*, 3: 253-258, 1956.
- [4] Flood, Merrill M. (1956). "The Traveling-Salesman Problem," *Operations Research*. 4(1): 61-75. doi: 10.1287/opre.4.1.61. ISSN 0030-364X.
- [5] Munkres, "Algorithms for the Assignment and Transportation Problems," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 5(1): 32-38, 1957 March.
- [6] GlobalSecurity.org, South Korea Navy Equipment, <https://www.globalsecurity.org/military/world/rok/ship.htm>