



Received: 2023/01/15  
Revised: 2023/01/28  
Accepted: 2023/02/27  
Published: 2023/03/31

**\*Corresponding Author:**

**Kitae Kim**

663, Gyeryongdae-ro, Sindoan-myeon, Gyeryong-si,  
Chungcheongnam-do, 32800, Republic of Korea

Tel: +82-42-553-7550

E-mail: navystar52@naver.com

# 시뮬레이션을 이용한 잠수함 지원 예인정 운용 효과 분석

## An Analysis on the Operational Effectiveness of Submarine Support Tugboats Using Simulation

정찬호<sup>1</sup>, 김기태<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>해군 군무원(6급)/해군전력분석시험평가단 체계분석처 소요분석과

항공/무인전력소요분석담당

<sup>2</sup>해군중령/해군전력분석시험평가단 전쟁연습실 사후검토과장

Chanho Jung<sup>1</sup>, Kitae Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Civillian official(6th grade), System Analysis Center, ROK Naval Force Analysis Test Evaluation Group, ROK Navy

<sup>2</sup>CDR, Battle Simulation Center, ROK Naval Force Analysis Test Evaluation Group, ROK Navy

**Abstract**

해군은 항구 내의 협소한 공간이나 기상악화와 같은 악조건에서 신속하고 안전하게 잠수함을 조정·통제하기 위하여 잠수함 지원 예인정을 활용하고 있다. 점차 잠수함이 대형화됨에 따라 운용 성능이 향상된 잠수함 지원 예인정의 확보가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 잠수함 지원 예인정의 운용 효과를 분석하고자 한다. 잠수함 지원 예인정의 운용개념과 지원 절차를 적용하고, 대상항구로 선정된 진해항에서의 잠수함 지원 예인정 배치 및 운용계획을 고려하며, 예인정의 지원을 받는 잠수함의 대기율과 대기시간을 측정한다. 모델링 및 시뮬레이션은 ARENA로 구성하였고, 잠수함 지원 예인정의 운용이 효과적임을 확인하였다.

The Navy is using submarine support tugboats to quickly and safely coordinate and control submarines under unfavorable conditions such as narrow space in ports and inclement weather. As submarines become larger, it is necessary to acquire submarine support tugboats with improved operational performance. In this study, the operational effectiveness of submarine support tugboats was analyzed by simulation. The operational concept and assistance procedures of submarine support tugboats were applied. In consideration of the deployment and operational plan of submarine support tugboats, the target port was selected as Jinhae. The waiting rate and the waiting time of supported submarines were measured. Modeling and simulation were performed using ARENA, and the operational effectiveness of submarine support tugboats could be confirmed.

**Keywords**

운용 효과(Operational Effectiveness),  
예인정(Tugboat),  
시뮬레이션(Simulation), ARENA

### 1. 서론

상륙작전을 포함한 해상작전을 주 임무로 하는 해군[1]은 해양에서의 안보를 위해 수상, 수중, 공중 등 다양한 영역에서 입체적인 전력을 운용하고 있다. 특히, 수중에서 활동하는 잠수함은 장점인 은밀성을 기반으로 대함전과 대잠전뿐만 아니라 감시정찰과 적 핵심표적에 대한 타격 임무를 수행하는 핵심 전력이다[4]. 이러한 잠수함은 기지인 항구 내에서 출항, 입항, 상가, 하가, 자기 처리 등 다양한 목적에 따른 이동이 필요하며, 항구 내의 협소한 공간이나 기상악화와 같은 악조건에서 신속하고 안전하게 잠수함을 조정·통제하기 위하여 잠수함 지원 예인정을 활용하고 있다. 하지만, 점차 잠수함이 대형화됨에 따라 성능이 향상된 잠수함 지원 예인정의 확보가 필요한 실정이다.

예인정에 관한 선행연구로 Kang et al.[9]은 불확실한 컨테이너 선박의 도착 시각과 예인 절차에 따른 소요 시간을 고려하여 예인정의 일정을 최적화하였고, Xu et al.[10]은 최적화 기법(simulated annealing, ant colony algorithm)을 이용하여 출항, 부두 이동, 입항의 3가지 지원상황을 고려하여 항구에서 운용하는 모든 예인정의 총 운항 시간을 최소화하는 일정을 계획하였다. Chen et al.[11]은 예인정의 작업 실적과 시간·공간적 분포 등의 데이터를 기반으로 예인정의 배정, 운

항 시간, 활용도 등을 분석하였다.

시뮬레이션을 이용하여 운용 효과를 분석한 선행연구로 Jiao et al.[12]은 지식관리에 기반한 시뮬레이션을 이용하여 무기의 운용 효과를 분석하였고, Parson et al.[8]은 공군 B-1 폭격기의 공급 및 유지 관리 데이터에 기반한 시뮬레이션을 통해 임무 수행능력의 향상 효과를 측정하였다. 최관선 등[6]은 무인항공기의 고도, 속도, 감시 폭 등의 성능 요소를 고려한 시뮬레이션으로 운용 효과를 향상하였고, 최민우 등[7]은 시뮬레이션을 이용하여 군집 드론의 임무 성공률, 생존율, 임무 소요 시간을 척도로 하는 운용 효과를 분석하여 적정 군집의 수를 편성하는 연구를 수행하였으며, 정치영 등[5]은 시뮬레이션을 이용하여 육군 K-55 자주포용 탄약 운반 장갑차의 운용 효과를 분석하였다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 잠수함의 이동 목적에 따른 잠수함 지원 예인정의 운용 효과를 분석하고자 한다. 분석 절차는 Fig. 1과 같이 잠수함 지원 예인정의 운용개념과 지원 절차 등 자료를 수집하고, 이를 모형화한 후 시뮬레이션을 수행하며, 예인정의 지원을 받는 잠수함의 대기율과 대기시간을 측정하여 운용 효과를 분석한다.

## 2. 잠수함 지원 예인정

예인정은 다른 선박 또는 부양 물체를 밀거나 끌어서 조정하는 선박을 말하며, 협소한 해역에서 함정의 회전을 지원, 추진 또는 조정 능력을 상실한 함정을 예인, 파

도, 바람 및 조류로 인한 영향을 바로잡아주는 등의 임무를 수행한다[2].

해군은 군항 내에서 수상함과 잠수함을 지원하기 위해 다수의 예인정을 운용하고 있다. 특히, KSS-I, KSS-II 급 잠수함의 기지 내 출·입항에 따른 지원을 위하여 현재 잠수함 지원 예인정-I을 운용하고 있다. 하지만 방위력 개선사업을 통해 기존의 잠수함보다 규모가 큰 차기 잠수함 KSS-III가 전력화됨에 따라, 미래에는 더욱 정교하고 강력한 잠수함 지원 예인정-II의 확보가 요구된다. 잠수함 지원 예인정의 지원 방법으로는 당김(pulling), 밀기(pushing), 현측 예인, 물차기가 있으며[3], Table 1에 해당 내용을 나타냈다.

당김은 예인정이 잠수함과 일정 거리를 두고 예인하는 것으로, 예인정이 잠수함의 한 지점에 연결된 예인선의 끝을 예인하는 것이다. 밀기는 예인정의 함수 부분이 잠수함 측면에 접촉하여 잠수함의 중심선에 수직 방향으로 밀어 자세와 위치를 미세하게 조정하는 것이다. 현측 예인은 예인정이 잠수함의 현측에 평행하게 붙어 잠수함을 예인 및 회전시키는 것이며, 물차기는 예인정 추진기의 물살을 활용하여 출항·입항하는 잠수함을 밀어주는 것이다.

잠수함은 기지 내에서 이동이 필요한 경우 예인정의 지원을 요청하며, 잠수함 지원 예인정은 기지 내에서 출항, 입항, 상가, 하가, 자기 처리 등 잠수함의 이동 목적에 따라 절차를 달리하여 지원 임무를 수행한다. 잠수함 이동 목적별 잠수함용 예인정의 지원 절차는 Table 2와 같다.

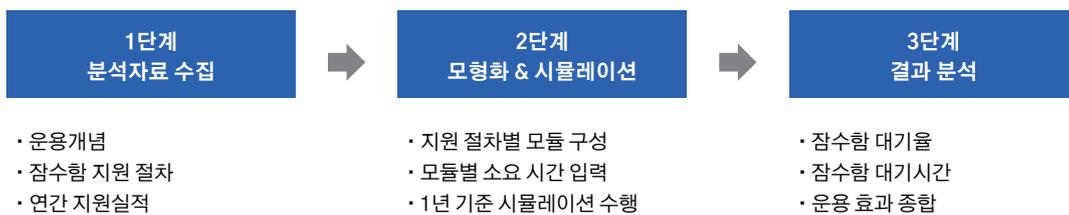


Fig. 1. 분석 절차

Table 1. 잠수함 지원 예인정의 지원 방법

당김(pulling)	밀기(pushing)	현측 예인	물차기

**Table 2.** 잠수함 지원 예인정의 지원 절차

구분	예인정 지원 절차
출항	준비 → 출항 → 계류 → 당김 → 동조기동 → 입항
입항	준비 → 출항 → 동조기동 → 물차기 → 입항
상가	준비 → 출항 → 계류 → 당김 → 동조기동 → 상가 대기 → 입항
하가	준비 → 출항 → 하가 대기 → 동조기동 → 물차기 → 입항
자기 처리	출·입항과 동일, 이동 시간 증가

### 3. 시뮬레이션 입력 조건 및 구성

잠수함 지원 예인정의 운용 효과를 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 입력 조건으로 분석 대상항구는 연간 잠수함 지원 예인정의 지원실적 데이터가 충분한 진해항을 선정하였고, 진해항의 잠수함 지원 예인정의 배치 및 운용계획과 Table 3의 잠수함 지원 예인정의 성능을 고려한 운용 척수를 적용하여 Table 4와 같이 2개의 대안을 설정하였다.

**Table 3.** 잠수함 지원 예인정 운용 척수

구분	예인정-I	예인정-II
KSS-I/KSS-II	1척	1척
KSS-III	2척	1척

**Table 4.** 분석 대안

구분	내용
대안-1 (현재)	잠수함 지원 예인정-I 1척*
대안-2 (미래)	잠수함 지원 예인정-II 2척

\*수상함 지원 예인정 1척(KSS-III 지원시 추가)

대안-1은 현재 진해항에서 운용 중인 잠수함 지원 예인정-I 1척, 대안-2는 미래에 확보하게 될 성능이 향상된 잠수함 지원 예인정-II 2척으로 가정하였으며, 대안-1에서 KSS-III의 지원은 제한되므로 KSS-III 지원시 수상함 지원 예인정 1척을 추가하여 지원하는 것으로 가정하였다. 지원실적 자료는 2년간(2019~2020년)의 잠수함 지원 예인정의 지원 요청 비율을 활용하였고, 지원 소요

시간은 잠수함의 5가지 이동 목적별 소요 시간을 기반으로 1일 12시간, 주 5일(연 249일)을 지원하는 것으로 하였다. 또한, 잠수함의 안전을 고려하여 잠수함 출·입항시 잠수함 지원 예인정의 동시 지원은 불가한 것으로 설정하였다.

잠수함의 이동 소요 발생에 따른 상황을 설정하고, 잠수함 지원 예인정의 지원을 요청하는 것에서부터 잠수함 지원 예인정이 지원을 종료하기까지의 전 과정을 상용 시뮬레이션 S/W인 ARENA로 구성하였으며, 대안별 시뮬레이션 구성도는 Fig. 2, Fig. 3와 같다.

시뮬레이션 시나리오는 다음과 같은 과정으로 전개된다. 잠수함의 이동 소요가 발생하게 되면 가장 먼저 잠수함 지원 예인정의 지원을 요청한다. 지원을 요청한 잠수함이 KSS-III인지를 고려하여 잠수함 지원 예인정의 지원 가능 여부를 결정하고, 지원 가능 시 잠수함 지원 예인정은 잠수함 이동 지원을 위한 준비를 완료한 후 잠수함이 지원을 요청한 목적지로 이동한다. 목적지에 도착 후 잠수함의 안전을 고려하여 출·입항 중인 잠수함이 있는지 확인한 후 잠수함을 지원하며, 잠수함 지원 예인정이 복귀하면 시뮬레이션은 종료된다.

### 4. 운용 효과 분석

잠수함 지원 예인정의 운용 효과를 분석하기 위하여 시뮬레이션을 반복 수행하였으며, 지원을 받는 잠수함의 대기율과 대기시간을 효과 척도로 선정하여 측정 후 효과지수를 도출하여 잠수함 지원 예인정의 운용 효과를 분석하였다.

#### 4.1 효과 척도

잠수함 지원 예인정의 운용 목적은 잠수함을 지원하기 위한 것이므로 본 연구의 효과 척도는 지원을 받는 잠수함의 대기율과 대기시간으로 하였다. 지원을 받는 잠수함 대기율은 이동을 위해 잠수함 지원 예인정의 지원을 기다리는 잠수함의 척수 비율이며, 식 (1)과 같이 산출한다. 지원을 받는 잠수함이 대기시간은 이동을 위해 잠수함 예인 지원정을 기다리는 잠수함의 척당 평균 대기 시간이며, 식 (2)와 같이 산출한다.

$$\text{대기율} = \frac{\text{지원을 대기하는 잠수함 총 척수}}{\text{지원받는 잠수함 총 척수}} \quad (1)$$

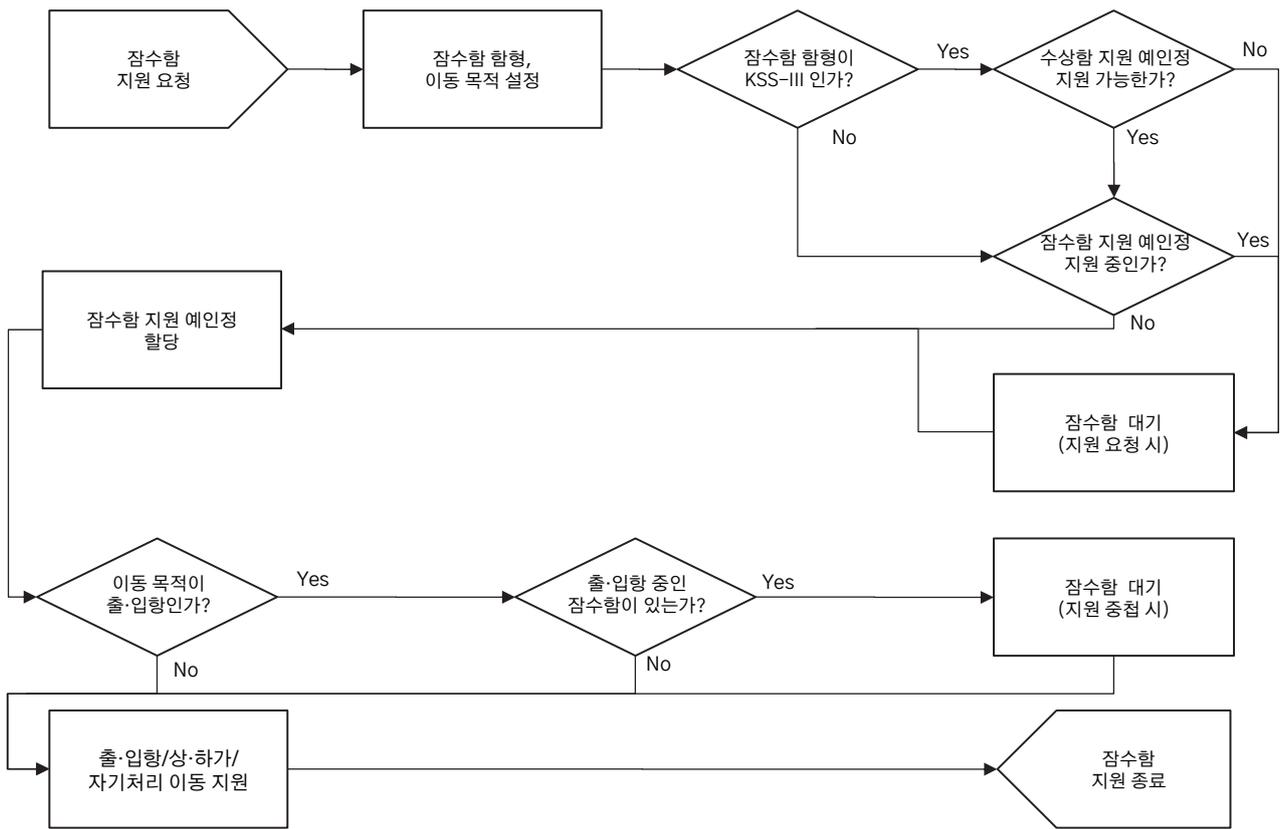


Fig. 2. 대안-1 시뮬레이션 구성도

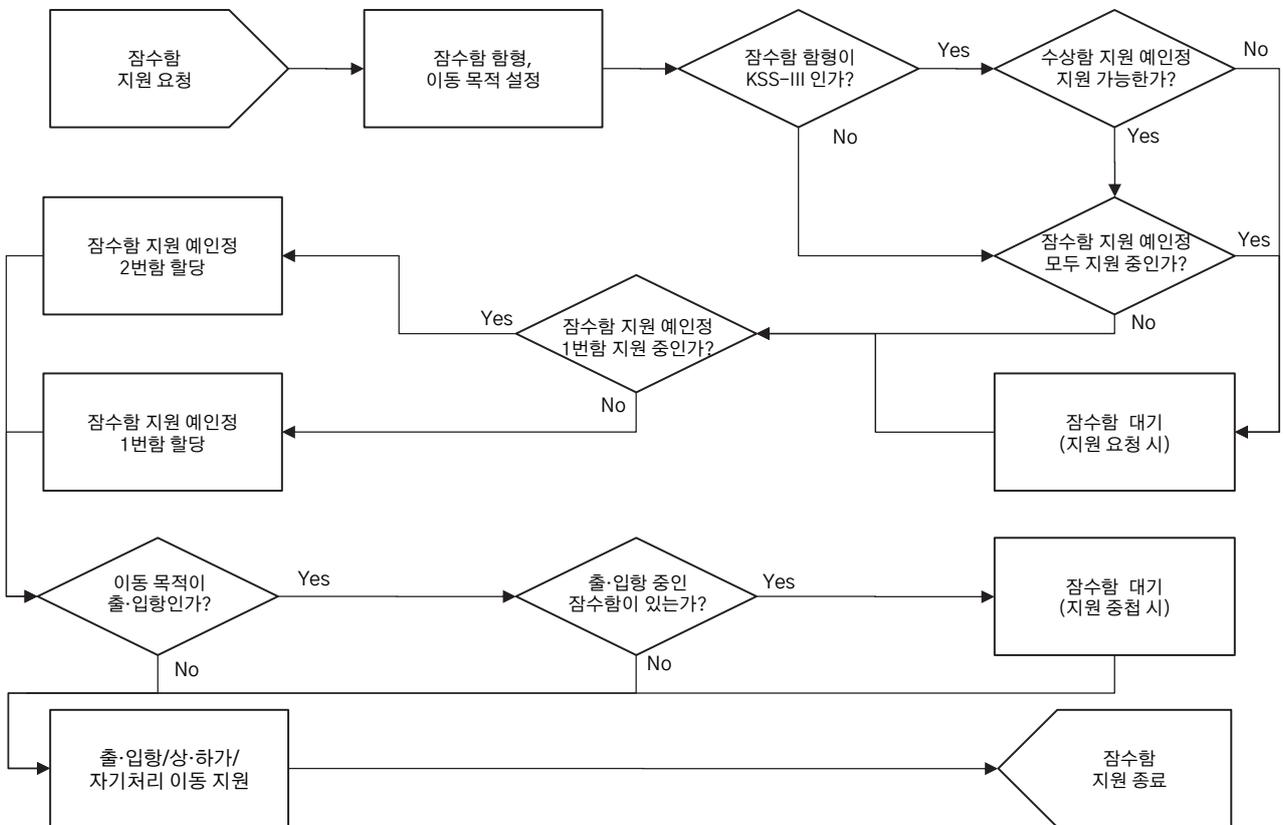


Fig. 3. 대안-2 시뮬레이션 구성도

$$\text{대기시간} = \frac{\text{지원을 대기하는 잠수함의 총 대기시간}}{\text{지원받는 잠수함의 총 척수}} \quad (2)$$

### 4.2 대기율

잠수함 지원 예인정의 지원을 받는 잠수함 총 척수는 연간 1,494척이고, 지원을 받는 잠수함 대기율은 잠수함 지원 예인정의 지원 과정을 시뮬레이션하여 산출하였으며, 대안별 결과는 Table 5와 같다.

**Table 5.** 지원을 받는 잠수함 대기율

구분	대안-1 (A)	대안-2 (B)	차이 (B - A)
총 대기 척수 (연간)	479척	425척	-54척
대기율	32.1 %	28.4 %	-3.7 %p

잠수함 지원 예인정의 지원을 대기하는 잠수함 총 척수를 산출한 결과 대안-1에서 연간 479척, 대안-2에서 연간 425척의 잠수함 대기가 발생하였으며, 대기율은 대안-1이 32.1 %, 대안-2가 28.4 %로 산출되었다. 성능이 향상된 잠수함 지원 예인정-II를 운용하면 지원을 대기하는 잠수함의 총 척수가 연간 54척 감소하고, 대기율은 3.7 %p 감소함을 확인하였다.

### 4.3 대기시간

지원을 받는 잠수함 대기시간은 잠수함 지원 예인정의 지원 과정을 시뮬레이션하여 산출하였으며, 대안별 결과는 Table 6와 같다.

**Table 6.** 지원을 받는 잠수함 대기시간

구분	대안-1 (A)	대안-2 (B)	차이 (B - A)
총 대기시간 (연간)	207시간 34분	148시간 17분	-59시간 17분
평균 대기시간 (척당)	502초 (8분 22초)	357초 (5분 57초)	-145초 (2분 25초)

잠수함 지원 예인정의 지원을 대기하는 잠수함 총 대기시간을 산출한 결과 대안-1에서 연간 207시간 34분, 대안-2에서 연간 148시간 17분의 대기가 발생하였으

며, 평균 대기시간은 대안-1이 척당 502초(8분 22초), 대안-2가 척당 357초(5분 57초)로 산출되었다. 성능이 향상된 잠수함 지원 예인정-II를 운용하면 지원을 대기하는 잠수함의 총 대기시간이 연간 159시간 17분 감소하고, 평균 대기시간은 척당 145초(2분 25초) 감소함을 확인하였다.

### 4.4 운용 효과 종합

잠수함 지원 예인정의 운용 효과를 분석하기 위해 지원을 받는 잠수함의 대기율과 대기시간을 산출한 후 지수화하였으며, 이를 종합한 잠수함 지원 예인정의 운용 효과는 Table 7과 같다.

**Table 7.** 잠수함 지원 예인정 운용 효과지수

구분	대안-I	대안-II
대기율	1	1.130
대기시간	1	1.406
종합	1	1.268

잠수함 지원 예인정의 운용 효과는 현재 운용 중인 잠수함 지원 예인정-I을 운용하는 것보다 성능이 향상된 잠수함 지원 예인정-II를 운용하는 것이 대기율 1.130배, 대기시간 1.406배 향상되며, 종합적으로 1.268배 효과적임을 확인하였다.

## 5. 결론

잠수함 지원 예인정은 항구 내 협소한 공간, 기상악화 등의 악조건하에서 신속 및 안전하게 잠수함을 조정·통제하기 위하여 활용하고 있으며, 잠수함의 대형화로 인해 성능이 향상된 잠수함 지원 예인정의 확보가 요구되고 있다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 이용하여 잠수함 지원 예인정의 운용 효과를 분석하였으며, 잠수함의 이동 소요 발생에 따른 상황을 설정한 후 잠수함 지원 예인정의 지원 절차 전 과정을 ARENA로 구성하였다.

시뮬레이션 결과 성능이 향상된 잠수함 지원 예인정-II를 운용하면 지원을 받는 잠수함의 대기율은 3.7 %p 감소하고, 평균 대기시간은 척당 145초(2분 25초) 감소하며, 운용 효과는 1.268배 향상됨을 확인하였다.

이처럼 다양한 고려 요소가 반영된 체계의 운용 효과

의 분석에는 본 연구와 같이 동적인 프로세스 전반을 모형화한 후 시뮬레이션을 통해 결과를 도출하는 방법이 더욱 효율적일 것이다.

## 참고문헌

- [1] 대한민국 법제처, 국군조직법 법률 제10821호, 제3조, 제2항, 2011.
- [2] 대한민국 해군, 차기 잠수함용 예인정(YTL) 건조가능성 검토, 2017.
- [3] 대한민국 해군, 차기 잠수함 지원을 위한 예인정(YTL)의 최적체계 연구, 2015.
- [4] 대한민국 해군(www.navy.mil.kr), 해군 콘텐츠 - 군사 자료실 - 잠수함, 2022.
- [5] 정치영, 이재문, 이재영, 박영규, 시뮬레이션을 이용한 K-55 자주포용 탄약운반장갑차 운용효과 분석, 한국시뮬레이션학회지, 2011, 제20권, 제3호, pp. 11-18.
- [6] 최관선·정하교·박태유·전제환, UAV 체계운용효과도를 고려한 임무분석 연구, 한국국방경영분석학회지, 2011, 제37권, 제1호, pp. 119-128.
- [7] 최민우·문호석·한상우·조남석, 군집드론의 운용효과와 임무편성에 관한 ABM 시뮬레이션 연구, 한국국방경영분석학회지, 2021, 제47권, 제2호, pp. 75-90.
- [8] C. R. Parson, J. O. Miller, and J. D. Weir, Simulation and Analysis of Mission Capability Degrades Due to Supply for the B-1 Bomber, The Journal of Defense Modeling and Simulation, 2012, Vol. 9, No. 3, pp. 279-290.
- [9] L. Kang, Q. Meng, and K. C. Tan, Tugboat scheduling under ship arrival and tugging process time uncertainty, Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review, 2020, Vol. 144, pp. 102-125.
- [10] Q. Xu, J. Mao, and Z. Jin, Simulated Annealing-Based Ant Colony Algorithm for Tugboat Scheduling Optimization, Mathematical Problems in Engineering, 2012, Vol. 2012, pp. 1-22.
- [11] S. Chen, F. Wang, X. Wei, Z. Tan, and H. Wang, Analysis of Tugboat Activities using AIS Data for the Tianjin Port, Transportation Research Record, 2020, Vol. 2674, No. 5, pp. 498-509.
- [12] S. Jiao, W. Li, P. Ma, and M. Yang, The Simulation Evaluation System for Weapon Operational Effectiveness Based on Knowledge Management, International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 2013, Vol. 4, No. 4, pp. 20-27.