

# 원자력 추진 잠수함 최소 소요량 결정을 위한 임무 할당 최적화 모델

이동균<sup>1)</sup> · 박승주<sup>1)</sup> · 이진호<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> 해군사관학교 국방경영학과

## An Optimal Mission Assignment Model for Determining a Minimum Required Level of Nuclear-powered Submarines

Dong-Gyun Lee<sup>1)</sup> · Seung-Joo Park<sup>1)</sup> · Jinho Lee<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of National Defense Management, Korea Naval Academy, Korea

(Received 25 September 2017 / Revised 5 January 2018 / Accepted 23 February 2018)

### ABSTRACT

This study first analyzes the necessity and the validity of procuring nuclear-powered submarines, and presents an optimization model as an integer program to determine a minimum required level of them. For an optimization model, we characterize a submarine's mission, ability and availability, and apply these to the model by constraints. Then, we assign the submarines available currently and the nuclear-powered submarines, that will be newly introduced, to the predefined missions over the planning time periods in a way that the number of nuclear-powered submarines be minimized. Randomly generated missions are employed to solve a mission assignment problem, and the results show that our integer programming model provides an optimal solution as designed, and this can provide a guideline for other weapon system procurement processes.

Key Words : Mission Assignment(임무할당), Nuclear-powered Submarine(원자력추진잠수함), Warship Procurement(함정 획득), Integer Programming(정수계획법)

### 1. 서론

해군 함정은 일반무기체계와 달리 다수의 개별 무기체계와 여러 유형의 장비가 탑재되고 이들이 서로 연동되어 통합 성능을 발휘하는 복합무기체계이며, 이

러한 복합무기체계를 효과적으로 운용하기 위하여 많은 승조인원들이 각자의 역할에 맞는 임무를 수행하고 있다<sup>1)</sup>. 따라서 새로운 함정의 획득을 위해서는 장기간에 걸친 연구개발을 통해 실전에 배치되게 되며, 획득 또는 도입에 많은 시간이 소요되는 만큼 그 획득 과정은 복잡하며 고도의 전문가에 의한 사업관리가 필요하다. 뿐만 아니라 함정 획득 사업에는 다량의 인적, 물적 재화가 소요되는 동시에 함정의 임무 및

\* Corresponding author, E-mail: jinho7956@gmail.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

특성에 따른 조직 구조 등도 함께 고려되어야 하므로 해군의 핵심 사업 중 하나로 평가받고 있다.

일반무기체계와 함정의 획득 절차에 대하여 비교해 보면, 일반무기체계와 함정 탑재무기체계는 연구개발, 선행연구, 탐색개발, 체계개발, 양산 및 단위무기체계 획득의 순으로 동일한 절차를 따르고 있다<sup>5)</sup>. 그러나 함정은 탑재무기체계와 함정 선체의 건조가 함께 이루어져야 하므로, 함정 획득은 소요기획 단계, 선행연구 단계, 기본 설계단계, 상세설계 및 선도함 건조단계, 후속함 건조단계로 구분하여 건조되며, 최종적으로 탑재 무기체계와 함정간의 탑재 연동 및 통합을 통해 함정 획득이 이루어진다. 특히 소요기획 단계에서 건조 가능성 검토, 개념형성 연구 등을 수행하며, 선행연구 단계는 장기소요로 결정된 함정에 대한 국내 건조 가능성, 소요시기 및 소요량, 국방 과학 기술 수준, 비용 대 효과 등에 대한 조사 및 분석 등을 수행한다<sup>6)</sup>.

한국 해군에서는 현재 진행 중인 신형 함정 획득 사업의 일환으로 3000톤급 장보고-III 잠수함 총 9척 건조를 목표로 사업을 추진 중이며, 2020~2024년 Batch-I 3척, 2025~2027년 Batch-II 3척, 그리고 Batch-III로 나누어서 건조할 계획을 발표한 바 있다<sup>7)</sup>. 그러나 Batch-III 사업은 현재 기획단계에 있으며 구체적인 건조 계획은 확정되지 않은 상황으로서, 북한의 핵위협 등의 안보정세에 대비하여 과거에 추진하려 했던 원자력 추진 잠수함으로 개발해야 한다는 주장이 제기되고 있다<sup>8)</sup>.

본 연구는 원자력 추진 잠수함 도입과 관련하여, 함정 획득 절차 중 소요기획 단계에서 이루어지는 건조 가능성 검토, 개념 형성 연구, 운용 개념 및 필요성에 대해 제시하고, 선행연구 단계에서 검토되는 소요량 결정을 위한 방법의 일환으로써 최적화 모델을 통한 접근을 제안함으로써 원자력 추진 잠수함 획득 과정에 필요한 검토 내용에 대한 참고자료를 제시하고자 한다. 이를 통해 함정 획득 사업의 중요성과 필요성을 제고하며, 세부 단계 중 소요기획 단계와 선행연구 단계에서 검토되는 내용에 대해 보다 객관적이고 과학적인 접근 방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 원자력 추진 잠수함의 소요 제기 및 건조 가능성에 대하여 제시하며, 3장에서는 원자력 추진 잠수함의 운용 개념 및 필요성을 기술함으로써 소요기획 단계에서 이루어지는 연구에 대한 참고자료를 제시한다. 이를 바탕으

로 4장에서는 정수계획법의 최적화 모델을 통해 원자력 추진 잠수함의 최소 소요량을 결정하는 임무 할당 문제를 제안하고 5장에서 계산 실험을 통해 모델의 유용성을 보여줌으로써 선행연구 단계에서 고려되는 소요량 분석을 위해 최적화 기법을 적용할 수 있음을 보여주며, 결론 및 향후 연구방향에 대해 6장에서 제시하고자 한다.

## 2. 원자력 추진 잠수함의 소요 제기 및 건조 가능성 검토

북한은 현재 잠수함발사탄도미사일(이하 SLBM: Submarine Launched Ballistic Missile)의 발사가 가능한 고래급 잠수함을 개발 및 운용 중에 있고, 이 잠수함은 약 2500t급 안팎으로 추정되며, ‘군사연구 편집실’, ‘38 North’ 등의 단체는 고래급 잠수함이 1~2개의 수직발사관을 보유하고 있다고 판단하고 있다<sup>13)</sup>. 또한 북한이 핵탄두 개발을 진행하고 있는 만큼, SLBM에 핵탄두를 탑재할 가능성도 배제할 수 없다. 이러한 북한의 SLBM 개발은 대한민국의 안보에 큰 영향을 미치고 있으며, 특히 수심이 깊고 수온약층의 깊이가 큰 동해의 특성상 잠수함 활동이 용이한 점 등을 고려할 때, 북한이 고래급 잠수함을 이용해 후방에서 SLBM을 이용한 공격을 시도할 위협에 대해 대비하지 않을 수 없는 상황이다.

국내 안보 상황뿐만 아니라 국제 정세 역시 급변하고 있다. 변화하는 국제 정세 속에서 가장 주목해야 하는 것은 중국의 변화이다. 중국은 2003년부터 2011년까지 10 % 내외의 경제성장을 거듭해왔으며, 2010년에는 일본을 제치고 국내생산량(GDP) 세계 2위의 경제력을 갖추게 되었다<sup>17)</sup>. 지난 10년간 중국은 급속히 성장한 경제력을 바탕으로 경제, 사회, 외교 전반에 걸쳐 성장을 거듭했고, 그 결과 미국과 함께 G2로 불리며 국제사회 속에서 경제적, 외교적, 군사적 지위를 인정받고 있다. 이러한 중국의 다방면적인 성장은 남중국해 분쟁과 동북아시아의 군비경쟁으로 이어졌다. 2001년부터 10년 동안 중국은 2.13배, 한국은 2.56배, 일본은 1.52배, 미국은 2.29배의 국방비를 증가시켰으며, 군비경쟁과 함께 2009년 도서를 둘러싼 필리핀, 말레이시아와의 남중국해 분쟁이 본격화되자 미국은 아시아-태평양 지역에서 자신들의 해군전력을 강화시켰다<sup>14)</sup>. 군비 경쟁과 남중국해 분쟁 외에도 중국

과 일본의 센카쿠 열도 분쟁 등을 통해 중국은 주변 국에 대한 힘의 과시를 통해 혼란을 가중시키고 있으며 이는 동북아시아의 정세에도 많은 영향을 끼치고 있다. 이러한 주변정세의 변화는 우리로 하여금 남중국해에 타 국가 간의 분쟁이 발생한 상황에서도 국가 통상을 보호하는 역할을 수행하기 위한 대책을 마련할 필요성을 제기하고 있으며, 이 역할을 효과적으로 수행하기 위한 전력 건설 등이 요구되고 있다.

북한 SLBM 위협에 효과적으로 대비하고, 남중국해에서의 분쟁 상황에서도 국가 통상 보호를 원활히 수행하기 위한 전력으로써 원자력 추진 잠수함 도입이 제기되고 있다<sup>[15]</sup>. 그러나, 원자력 추진 잠수함은 핵연료를 사용한다는 점에서 도입을 위한 세부적인 검토가 많이 필요하며, 기술적인 건조 가능 여부에 대한 연구도 진행되어야 할 필요가 있을 것이다. 사실 한국은 2003년 362사업이라 불리는 원자력 추진 잠수함 사업을 진행한 적이 있는데, 당시 한국 원자력연구소 산하 글로벌 원자력전략연구소장 김시환 박사는 언론과의 인터뷰에서 ‘원자력 추진 잠수함용 원자로 기본 설계가 이미 2004년에 완료되었으며, 2년 안에 원자로를 제작해 잠수함에 장착할 수 있다’고 주장하기도 했다<sup>[12]</sup>. 이러한 김시환 박사의 발언에 따르면, 362사업의 진행으로 인해 현재 잠수함용 원자로 기본 설계에 대한 지식이 상당 부분 축적되었다고 판단할 수 있다. 따라서 국내외 정세가 급변하고 있는 현재, 신형 잠수함의 함형 후보군에 원자력 추진 잠수함을 포함하는 것은 현실성과 필요성을 모두 갖춘 논의이다.

### 3. 원자력 추진 잠수함의 운용 개념 및 필요성

#### 3.1 SLBM 대응

북한의 SLBM의 요격 수단으로는 공군의 패트리엇 미사일(PAC-2), 사드(THAAD) 미사일 등이 있다. 패트리엇 미사일의 경우 고도 20 km 이하인 종말단계에서 격추가 가능하므로 요격 고도에 제한을 가지고 있다<sup>[2]</sup>. 사드의 경우 SLBM의 요격 고도는 패트리엇 미사일보다 확대되지만 사드 레이더가 폭 120도만을 탐지할 수 있기 때문에 동해 등 레이더 사각지대에서 SLBM이 발사될 경우 탐지하는데 제한이 따를 수 있다<sup>[10]</sup>. 이렇듯 발사 후 요격단계에서의 제한점 등을 고려할 때, 발사 전 단계에서의 적 행동 저지 능력(Kill Chain) 보유 필요성이 증대되고 있으며, Kill Chain의

핵심 전력으로서 원자력 추진 잠수함을 도입해야 한다는 주장 또한 제기되고 있다<sup>[11]</sup>. 이러한 주장을 뒷받침하기 위해 문근식<sup>[11]</sup>은 해양 환경에 따라 수중 음향 센서를 통한 잠수함 탐지가 제한되기 때문에, 적 잠수함이 잠항하기 전부터 적 군함을 감시하다가, 적 잠수함이 작전을 시작하면 적 잠수함을 추적하는 방식으로 저지하는 것이 가장 효과적이며, 따라서 고래급 잠수함의 모기지에 대한 감시 및 봉쇄, 그리고 징후 발생 시 지속적인 추적 등을 위한 원자력 추진 잠수함의 필요성을 역설하였다. 이는 현재 한국 해군에서 운용 중인 디젤엔진 잠수함의 제한적인 작전 지속 능력으로 인해 지속적인 감시 또는 추적이 어려운데 반해<sup>[16]</sup>, 원자력 추진 잠수함은 승조원의 건강 상태 등의 운용적인 측면을 제외한다면 이론적으로는 무제한에 가까운 작전 지속 능력을 확보할 수 있기 때문이다.

#### 3.2 기동함대 호위

대한민국 해군은 2010년 기동전단을 창설하고 2030년 기동함대 건설을 목표로 하고 있으며, 이러한 기동전단과 기동함대는 전시 해양우세와 전승 보장을 위한 핵심세력으로 평가된다<sup>[9]</sup>. 기동전단과 기동함대 운용 시 원자력 추진 잠수함이 이를 지원함으로써, 함대의 수중 방호능력 신장, 협동교전능력 및 대수상전 능력 증대, 조기 경보 체제 능력 확대, 기동성 향상에 따른 융통성 향상 등의 효과를 달성할 수 있다<sup>[8]</sup>. 기동함대는 세계 전역에서 발생하는 위협에 신속하게 대응할 수 있어야 하므로 기동함대의 기동성 확보는 필수적이다. 이를 위해 기동함대는 보통 18~20 노트(약 35~40 km) 정도로 기동하지만 디젤엔진 잠수함의 경우 이와 같은 속도로 작전을 수행하기 위해서는 한 시간에 한번 축전지를 충전해야 하므로, 기존에 운용 중인 디젤엔진 잠수함으로는 기동함대 호위 임무를 수행하는데 제한이 따르는 반면 원자력 추진 잠수함은 20노트의 속도로 기동하는데 제한이 없을 뿐만 아니라, 최대 30~40 노트 속력으로 기동이 가능하므로 기동함대의 구성 전력으로는 디젤엔진 잠수함보다 원자력 추진 잠수함이 더 적합하며, 원자력 추진 잠수함의 도입을 통해 기동함대의 기동성과 작전 지속능력을 유지할 수 있다<sup>[14]</sup>.

#### 3.3 디젤엔진 잠수함 대비 생존성 비교를 통한 필요성 검토

원자력 추진 잠수함의 단점으로 디젤 엔진 잠수함

에 비해 생존성이 떨어진다는 주장이 있지만, 이러한 주장은 원자력 추진 잠수함에 디젤 엔진 잠수함에 비해 발생하는 소음이 더 크다는 것을 근거로 한다. 실제로 현재 해외에서 운용중인 원자력 추진 잠수함의 소음 수준은 120~130 dB 수준으로 디젤 엔진 잠수함의 소음 수준인 100~110 dB에 비해 10~30 dB 정도 더 높다<sup>6)</sup>. 잠수함의 주 탐지 수단이 수중 음향 체계이기 때문에 이러한 소음의 증가는 피탐지 위험의 증가로 이어질 수 있다.

그러나 피탐지 위험이 높다고 해서 원자력 추진 잠수함의 생존성이 디젤 엔진 잠수함에 비해 미흡하다고 단정하기 어렵다. 그 이유는 비록 디젤 엔진 잠수함에 비해 원자력 추진 잠수함이 발생시키는 소음은 다소 높지만, 디젤엔진 잠수함은 최대 속력이 약 15~20 노트인 데 비해 원자력 추진 잠수함은 최대 30~40 노트 수준으로<sup>1)</sup>, 세계 각국의 어뢰 속력이 30~50 노트 사이임을 고려해 볼 때<sup>14)</sup> 어뢰의 절반 정도 속도로 기동하는 디젤엔진 잠수함보다, 어뢰와 비슷한 속도로 기동하는 원자력 추진 잠수함이 회피 기동을 성공하기에 훨씬 용이하다고 할 수 있다. 뿐만 아니라, 디젤 엔진 잠수함이 평균 6기 정도의 발사관을 갖고 있는 반면, 원자력 추진 잠수함은 평균적으로 12기 정도의 어뢰 발사관을 운용할 수 있어<sup>1)</sup> 단순히 소음 수준으로만 생존성을 비교하기 보다는 전반적인 능력을 함께 고려하여야 할 필요가 있으며, 그런 측면에서 원자력 추진 잠수함이 디젤 엔진 잠수함에 비해 생존성이 떨어진다고 보기는 어려울 것이다.

#### 4. 소요량 결정을 위한 최적화 모델

2장 및 3장에서 살펴본 바와 같이, 주변 정세의 변화와 기존 전력의 제한점을 고려할 때 원자력 추진 잠수함의 획득이 필요함은 충분한 타당성을 가지고 있는 것으로 볼 수 있다. 본 장에서는 이를 바탕으로 소요량을 결정하기 위하여 최적화 모델을 제안한다.

##### 4.1 문제 정의

먼저 함정의 상태는 크게 임무, 대기, 휴식으로 구분하며, 정비 또는 수리의 개념은 실제 임무에 필요한 소요량이 결정된 후 운용개념을 고려한 최종 단계에서 반영이 가능하므로 고려하지 않도록 한다. 제시된 세 가지의 상태를 바탕으로 잠수함은 기 계획된 임무

를 수행하기 위해 계획기간 동안 주어진 임무에 대해 가용한 잠수함 전력을 효과적으로 할당함으로써 운용하는 것을 기본 원칙으로 하여, 부여된 임무를 보유한 잠수함 전력으로 운용하기 위한 임무 할당 문제를 수립하고자 한다. 이 때 계획된 임무를 완전히 수행하기 위해 추가로 도입되어야 하는 원자력 추진 잠수함의 소요량을 최소화하는 것을 목적으로 하며, 함형에 따른 임무의 수행 가능 여부, 임무 수행을 위한 함정의 상태 등이 제약조건으로 작용하도록 모델을 수립하였다. 따라서 임무를 정의하고 각각의 임무는 어떤 형태의 잠수함에 의해 수행이 가능한지 구분한 후 디젤 엔진 잠수함과 원자력 추진 잠수함을 동시에 운용하는 상황에서 필요한 원자력 추진 잠수함의 최소 소요량을 결정하는 문제를 제시한다.

##### 4.2 가정 사항

- 1) 각 임무의 수행 기간은 최소 1개월에서 최대 3개월까지 지속되며, 계획기간은 월 단위로 한다.
- 2) 잠수함은 단독 작전 수행을 원칙으로 한다. 즉, 특정한 임무에 1척의 잠수함만이 할당되도록 제약한다.
- 3) 함형은 현재 운용중인 디젤 엔진 잠수함과 도입 필요성이 제기되는 원자력 추진 잠수함으로 구분한다.
- 4) 원자력 추진 잠수함은 예산 제약 등을 고려하여 최대 6척까지 건조 가능하다.
- 5) 디젤엔진 잠수함은 214급 잠수함과 장보고-III급 잠수함을 고려하여 최대 9척까지 운용이 가능하다.
- 6) 직전 기간에 임무를 수행하고 종료한 잠수함은 임무가 끝난 다음 월에 반드시 휴식 상태로 전환한다. 이때, 대기 상태의 함정은 제외한다.
- 7) 임무에 따라 그 임무를 수행 가능한 함형이 구분된다. 따라서 일부의 임무에 대해서는 원자력 추진 잠수함만 수행이 가능하다.
- 8) 훈련임무에 대해서는 원자력 추진 잠수함의 합동 능력 향상을 위해 1/4 이상은 원자력 추진 잠수함이 수행하도록 한다.
- 9) 안보상황 급변 및 SLBM 탑재 잠수함 활동 징후에 대비하기 위해 원자력 추진 잠수함 중 한 척은 항상 대기 상태를 유지하도록 한다. 이 때, 대기 상태를 유지하는 것 역시 태세 설정 등의 승조원 행동 변화가 필요하므로, 대기 임무에 할당되는 함정은 최대 3개월까지만 대기 임무를 수행하도록 제한한다.

4.3 정수계획법 모델

<집합 및 기호>

$i \in I = \{1, 2, \dots, m\}$  : 디젤 엔진 잠수함

$k \in K = \{1, 2, \dots, l\}$  : 원자력 추진 잠수함

$j \in J = \{1, 2, \dots, n\}$  : 임무(mission)

- $J_a$  : 모든 잠수함이 수행 가능한 임무의 집합
- $J_b$  : 원자력 추진 잠수함만 수행 가능한 임무의 집합
- $J_c$  : 훈련 임무의 집합
- $J_d$  : 2개월 이상 지속되는 임무의 집합
- $J_e$  : 대기 임무의 집합

(Note :  $J_a \cup J_b = J, J_c \subseteq J, J_d \subseteq J, J_e \subseteq J$ )

$t \in T = \{1, 2, \dots, r\}$  : 기간(time period)

<자료>

$A_{jt}$  : 기간  $t$ 에 임무  $j$ 가 계획되어 있다면 1, 아니면 0

$D_{jt}$  : 기간  $t$ 에 임무  $j$ 가 종료되면 1, 아니면 0

(단, 대기 임무  $j$ 는 제외)

<결정변수>

$X_{ijt}$  : 디젤 엔진 잠수함  $i$ 가 임무  $j$ 를 기간  $t$ 에 수행하면 1, 아니면 0

$Y_{kjt}$  : 원자력 추진 잠수함  $k$ 가 임무  $j$ 를 기간  $t$ 에 수행하면 1, 아니면 0

$Z_k$  : 원자력 추진 잠수함  $k$ 가 건조되면 1, 아니면 0

$W_k$  : 원자력 추진 잠수함  $k$ 의 임무 부여 횟수 (비음의 정수)

$R_{it}$  : 디젤 엔진 잠수함  $i$ 가 기간  $t$ 에 휴식을 부여 받으면 1, 아니면 0

$P_{kt}$  : 원자력 추진 잠수함  $k$ 가 기간  $t$ 에 휴식을 부여 받으면 1, 아니면 0

<최적화 모델>

Minimize

$$\sum_{k \in K} M_k W_k - \sum_{k \in K} Z_k + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} R_{it} + \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} P_{kt} \quad (1)$$

subject to

$$W_k = \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{kjt}, \quad k \in K \quad (2)$$

$$W_k \geq Z_k, \quad k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ijt} + \sum_{k \in K} Y_{kjt} = A_{jt}, \quad j \in J_a, t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} Y_{kjt} = A_{jt}, \quad j \in J_b, t \in T \quad (5)$$

$$D_{jt} X_{ijt} \leq R_{i(t+1)}, \quad j \in J_a, t \in T \quad (6)$$

$$D_{jt} Y_{kjt} \leq P_{k(t+1)}, \quad j \in J, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J_a} X_{ijt} + R_{it} \leq 1, \quad i \in I, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} Y_{kjt} + P_{kt} \leq 1, \quad k \in K, t \in T \quad (9)$$

$$Y_{kjt} = Y_{kj,t+1} = \dots = Y_{kj,t+\alpha}, \quad k \in K, j \in J_d \cap J_a \cap J_b \quad (10)$$

$$X_{ijt} = X_{ij,t+1} = \dots = X_{ij,t+\alpha}, \quad i \in I, j \in J_d \cap J_a \quad (11)$$

$$\sum_{t=t'}^{t'+3} Y_{kjt} \leq 3, \quad t' = 1, \dots, r-3, k \in K, j \in J_e \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} Y_{kjt} \geq \frac{1}{4} \sum_{t \in T} A_{jt}, \quad j \in J_c \quad (13)$$

$$X, Y, Z, R, P \in \{0, 1\}, W \in Z^+ \quad (14)$$

목적함수 (1)에 앞서, 먼저 제약조건 (2)와 (3)을 고려해보면, 제약조건 (2)는 원자력 추진 잠수함  $k$ 가 전 기간 동안 실제 임무에 할당된 횟수( $\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{kjt}$ )와 같도록 임무 할당 횟수( $W_k$ )를 제한하는 것을 의미하며, 제약조건 (3)은 원자력 추진 잠수함  $k$ 가 임무를 최소 한번이라도 수행할 시 해당 잠수함은 반드시 건조되도록 한다. 이러한 제약 하에서 목적함수 (1)의 첫 번째 부분은 임무 할당 횟수를 최소화하므로 최적해는 정확히  $W_k^* = \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Y_{kjt}^*$ 가 되도록 한다. 이 때 목적

함수 (1)의 첫 번째 부분에 임무 할당 횟수( $W_k$ )앞에  $Mk$ 라는 가중치를 부여함으로써 색인(index)이 낮은 원자력 추진 잠수함에 우선적으로 많은 임무를 부여 하도록 하며, 여기서  $M$ 은 Big-M을 의미한다. 목적함 수 (1)의 두 번째 부분은 원자력 추진 잠수함이 총 건조될 척수(소요량)를 의미하며, 제약조건 (3)과 함께 작용하여 최소량만 건조( $Z_k = 1$ )되도록 한다. 목적함 수 (1)의 세 번째 부분은 디젤 엔진 잠수함이 휴식에 할당되는 횟수의 총합이며, 네 번째 부분은 원자력 추진 잠수함이 휴식에 할당되는 횟수의 총합이다. 이렇게 휴식에 할당되는 횟수의 총합을 목적함수에 포함하여 최소화함으로써, 가정 사항 6에서 언급한 바와 같이 반드시 휴식이 필요한 상황이 아닌 경우에는 휴식에 할당되지 않도록 하며 보유한 전력으로 가급적 많은 임무를 수행하도록 한다.

제약조건 (4)는 모든 잠수함이 수행 가능한 임무( $J_a$ )에 대하여는 디젤 엔진 잠수함  $i$  또는 원자력 추진 잠수함  $k$ 중 반드시 1척이 할당되어야 함을 의미하며, 제약조건 (5)는 원자력 추진 잠수함만 수행 가능한 임무( $J_b$ )에 대해서는 원자력 추진 잠수함이 반드시 1척 할당되어야 함을 의미한다. 따라서 제약조건 (4)와 (5)는 가정 사항 2를 반영한 것이라 할 수 있다. 제약조건 (6)과 (7)은 임무가 종료되는 시점에 그 임무를 수행하고 있는 잠수함이 있다면( $D_{jt} X_{ijt} = 1$  또는  $D_{jt} Y_{kjt} = 1$ ),  $R_{i(t+1)} = 1$  또는  $P_{k(t+1)} = 1$ 의 값을 취하도록 함으로써 바로 다음 기간에 반드시 해당 잠수함은 휴식을 취하도록 한다. 제약조건 (8)과 (9)는 잠수함이 특정 기간에 임무 또는 휴식 중 한 곳에만 할당되어야 함을 나타내며, 동일 기간에 1척의 잠수함이 2개 이상의 임무에 할당되지 않도록 한다. 제약조건 (10)과 (11)은 2개월 이상 지속되는 임무( $J_d$ )에 대하여 1척의 잠수함이 연속적으로 수행해야 하게 함으로써 임무도중 교체 없이 지속적 수행이 가능하도록 제약한다. 여기서  $\alpha$ 는 해당 임무의 지속 개월수를 의미한다. 제약조건 (12)는 가정 사항 9를 반영한 것으로서, 원자력 추진 잠수함의 대기 임무가 최대 3개월을 초과하지 않도록 제한한다. 제약조건 (13)은 훈련 임무( $J_c$ )에 대하여, 원자력 추진 잠수함의 합동 및 연합 작전 능력 향상을 위해 최소 1/4 이상은 원자력 추진 잠수함이 수행하도록 하기 위한 조건이다. 마지막으로 제약조건 (14)는 각 결정변수들이 이진 정수 또는 비음 정수임을 나타낸다.

## 5. 실험 설계 및 결과 분석

본 장에서는 4장에서 제시한 최적화 모델의 유용성을 검증하기 위하여, 계산 실험을 수행하고 결과를 분석한다. 먼저 실험 설계를 위하여 기간에 따른 임무 행렬  $A = [A_{jt}]$ 를 생성해야 하며, 총 10가지의 임무 ( $|J| = 10$ )를 24개월( $|T| = 24$ )의 기간에 걸쳐 임의로 생성하였다. Table 1은 이렇게 임의로 생성된 임무 행렬  $A$ 를 나타낸다. Table 1에 나타나는 바와 같이, 총 10가지의 임무는 크게 정찰 및 감시(surveillance), 훈련(exercise), 기동함대 호위(escort task fleet), 경비(patrol), 연합훈련(joint exercise), 정보수집(information collection), 대기(standby)로 구분되며, 여기서 원자력 추진 잠수함만 수행 가능한 임무의 집합인  $J_b$ 는  $J_b = \{j1, j3, j10\}$ 으로 가정한다. 따라서  $J_a = J - J_b$ 가 되며  $J_b$ 에 포함되지 않는 모든 임무는  $J_a$ 에 속하게 된다. 훈련 임무의 집합( $J_c$ )은  $J_c = \{j2, j9\}$ 이며, 이 때 연합 훈련 임무는 2년에 한 차례 3개월간 지속되는 것으로 생성함으로써 디젤 엔진 잠수함 또는 원자력 추진 잠수함 둘 다 할당이 가능하도록 허용하고, 해당 임무를 부여받은 잠수함은 3개월 동안 지속적으로 수행하여야 하므로 제약조건 (13)을 물리적으로 만족할 수 없으므로 훈련 임무의 집합에서는 제외하도록 한다. 2개월 이상 지속되는 임무의 집합인  $J_d$ 는 생성된 임무 행렬에서 나타나는 바와 같이  $J_d = \{j1, j6\}$ 이며, 본 임무는 연속적인 기간 동안 1척의 잠수함에 의해 수행되도록 할당되어야 할 것이다. 마지막으로 대기 임무의 집합은  $J_e = \{j10\}$ 이며,  $j10$ 은 또한 원자력 추진 잠수함만 수행 가능한 임무( $J_b$ )에도 속하므로, 원자력 추진 잠수함에 의해서만 수행되어야 하고 대기 임무 또한 제약조건 (12)에 의해 최대 3개월까지만 연속적으로 수행 가능하도록 할당하여야 할 것이다. Table 2는 각 임무의 종료 시점을 나타내는 행렬( $D_{jt}$ )를 보여 주며, 이는 Table 1의 임무 행렬( $A_{jt}$ )에서 연속적인 임무의 경우 그 임무가 종료되는 시점만이  $D_{jt} = 1$ 이 되도록 하는 방식을 통해 구할 수 있다.

결정변수의 도입을 위하여, 가정 사항 4와 5에서 언급된 바를 적용함으로써  $i = 1, \dots, 9$ (디젤 엔진 잠수함의 운용가능 척수),  $k = 1, \dots, 6$ (원자력 추진 잠수함의 운용가능 척수)까지 고려한다. 이에 따라  $X_{ijt}$ 는  $|I| \times |J| \times |T| = 9 \times 10 \times 24 = 2160$ 개,  $Y_{kjt}$ 는  $|K| \times |J| \times$

Table 1. A mission matrix ( $A_{jt}$ ) for submarines over the planning periods

$j \backslash t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 (surveillance)	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
2 (exercise1)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
3 (escort task fleet)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
4 (patrol1)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
5 (patrol2)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 (joint exercise)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 (information collection)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8 (patrol3)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9 (exercise2)	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10 (standby)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Table 2. A mission matrix ( $D_{jt}$ ) representing the completion of missions

$j \backslash t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 (surveillance)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2 (exercise1)	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
3 (escort task fleet)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
4 (patrol1)	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
5 (patrol2)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 (joint exercise)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 (information collection)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8 (patrol3)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9 (exercise2)	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
10 (standby)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 3. Optimal mission assignments

$j \backslash t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 (surveillance)	k2	k2	k2						k2	k2	k2						k1	k1	k1					
2 (exercise1)	i9		i9		i3		k1		i2		i9		i1		k2		i8		i7		k2		i9	
3 (escort task fleet)						k3						k1						k2						k1
4 (patrol1)			i2						i1						i5			i6						i2
5 (patrol2)	i5												i2											
6 (joint exercise)										i8	i8	i8												
7 (information collection)								i6													i6			
8 (patrol3)		i6								i6					i2								i6	
9 (exercise2)					k2				i5						i4						i9			
10 (standby)	k1	k1	k1	k3	k1	k2	k2	k1	k1	k1	k3	k2	k1	k1	k1	k2	k3	k3	k2	k1	k1	k1	k1	k2

$|T| = 6 \times 10 \times 24 = 14400$ 개의 변수가 생성되며, 같은 방법으로  $Z_k$  및  $W_k$ 는 각각 6개,  $R_{it}$ 는 216개,  $P_{kt}$ 는 144개 등 총 3972개의 정수 제약 결정변수가 생성된다. 또한 제약조건의 수는 제약조건 (2)-(13)까지 고려하여 총 809개가 도출되었다. 이와 같은 결정변수 및 제약조건을 가지는 정수계획법의 최적화 모델에 대하여 Intel(R) Pentium(R) CPU N4200의 프로세서 및 4 GB 메모리의 컴퓨터 사양 하에서 GAMS<sup>[3]</sup> 소프트웨어를 이용하여 최적해를 도출하였으며, 그 결과 임무 행렬에 대한 잠수함 할당은 Table 3과 같다. 이 때 목적함수에 나타나는 Big-M의 값은 너무 작으면 색인에 따른 가중치  $Mk$ 가 영향을 미치지 않을 수도 있으며 너무 큰 경우 불필요한 메모리를 요구할 수 있다는 점을 고려하여  $M = 100$ 을 적용하였다.

최적해 도출 결과, 원자력 추진 잠수함은 총 3척을 운용하는 것이 Table 1에서 생성된 임무 행렬에 대해서는 가장 최적의 소요량인 것으로 나타났다( $Z_1 = Z_2 = Z_3 = 1$ ). 또한 이 3척의 임무 할당 회수는  $W_1 = 20$ ,  $W_2 = 16$ ,  $W_3 = 5$ 로 나타났는데, 이는 목적함수에 반영된 가중치  $Mk$ 에 의해 색인(index)이 가장 낮은 원자력 추진 잠수함부터 우선적으로 임무를 배치한 결과

이다. 임무의 특성 및 조건에 따라 임무를 구분한대로 할당되었는지의 여부를 확인해 본 결과, 원자력 추진 잠수함만 수행 가능한 임무 집합인  $J_b = \{j1, j3, j10\}$ 는 Table 3에서 보는 바와 같이 원자력 추진 잠수함만 할당이 되었음을 확인할 수 있다. 훈련 임무의 집합  $J_c = \{j2, j9\}$ 에 대해서는 디젤 엔진 잠수함과 원자력 추진 잠수함에 골고루 임무가 할당되었으며, 전체 훈련의 1/4에 대해서는 원자력 추진 잠수함이 수행하도록 할당되었다. 2개월 이상 지속되는 임무  $J_d = \{j1, j6\}$ 의 경우, 총 4차례의 연속적인 임무에 동일한 잠수함 1척이 수행하도록 할당되었고, 대기 임무  $J_e = \{j10\}$ 은 최대 3개월까지만 동일한 잠수함이 할당되도록 제약한 조건을 만족함을 알 수 있다. 추가적으로 직전 기간 임무를 수행한 모든 잠수함이 해당 임무 수행 직후 휴식이 정상적으로 할당되었는지의 여부에 대해서는 Table 4와 5에서 나타난 휴식기 배정 결과에서 확인이 가능하며, Table 3의 임무 할당 결과와 연계해 봤을 때, 모두 임무 수행 직후 휴식을 배정받게 됨을 알 수 있다. 마지막으로, 원자력 잠수함 3척이 각각  $W_1 = 20$ ,  $W_2 = 16$ ,  $W_3 = 5$ 의 임무를 수행하는 것으로 도출되었으며, 이는 최소 소요량 도출을 위해 적용한 것

Table 4. Results of diesel engine submarines' rests ( $R_{it}^*$ )

$i \backslash t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

Table 5. Results of nuclear-powered submarines' rests ( $P_{kt}^*$ )

$k \backslash t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



으로서 함정간의 형평성을 고려한 임무의 재배치가 필요하다. 이를 위해 4.3절에 제시된 정수계획법 모델을 변형하여 다음과 같이 원자력 잠수함에 할당된 임무만을 추가적으로 재할당하면 함정간의 형평성 문제를 해결할 수 있다.

Minimize

$$W_{\max} - W_{\min} + \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} P_{kt} \quad (15)$$

subject to

$$W_{\max} \geq W_k, \quad k \in K \quad (16)$$

$$W_{\min} \leq W_k, \quad k \in K \quad (17)$$

(2), (5), (7), (9), (10), (12)

여기서  $W_{\max}$ 와  $W_{\min}$ 은 각각 최대 및 최소 임무 할당 회수를 의미하며 이 두 값의 차를 최소화하는 모델

Table 6. Reassignment of nuclear-powered submarines' missions for fairness of assigned amounts

$j \backslash t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1 (surveillance)	k2	k2	k2						k1	k1	k1						k3	k3	k3					
2 (exercise1)							k1								k1						k3			
3 (escort task fleet)						k2						k3						k1						k1
9 (exercise2)					k3																			
10 (standby)	k3	k3	k3	k1	k1	k1	k3	k2	k2	k2	k3	k2	k2	k3	k2	k2	k1	k2	k2	k1	k1	k1	k3	k3

Table 7. An extended mission matrix ( $A_{jt}$ ) for submarines over the planning periods

$j \backslash t$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0
2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
3	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
4	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
7	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0
8	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
9	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
10	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1
11	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
12	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1
13	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
14	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
15	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
16	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1
17	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1
18	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
19	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

을 통해 최초  $W_1 = 20$ ,  $W_2 = 16$ ,  $W_3 = 5$ 으로 할당되었던 3척에 대한 임무가  $W_1 = 14$ ,  $W_2 = 13$ ,  $W_3 = 14$ 로 골고루 분포되도록 재조정할 수 있으며 그 결과는 Table 6에 나타나는 바와 같다.

지금까지의 결과를 바탕으로 임무의 수를 확장하여 총 20가지의 임무( $|J| = 20$ )를 동일한 기간인 24개월( $|T| = 24$ ) 동안 고려한 수치예제를 추가적으로 살펴 보았으며 Table 7과 같다. 여기서 원자력 추진 잠수함만 수행 가능한 임무의 집합인  $J_b$ 는  $J_b = \{j1, j3, j20\}$ , 훈련 임무의 집합( $J_c$ )은  $J_c = \{j2, j6, j9\}$ , 2개월 이상 지속되는 임무는 임무 1 및 임무 6인 것으로 가정한다. 또한 기간 별 임무는 임무 2는 1개월 간격, 임무 3은 2개월 간격, 임무 4는 3개월 간격, 임무 5는 4개월 간격으로 설정하였고,  $J_b$ 에 속한 임무는 일정한 규칙을 가지고 생성하였고 나머지는 난수 발생을 통해 랜덤으로 임무를 생성하였다. 임무의 수가 늘어남에 따라 필요한 잠수함 척수 또한 증가할 것을 고려하여 잠수함의 척수를 변화시켜 가며 추가적인 계산 실험을 수행한다. 이 때 디젤 엔진 잠수함은 12척부터 20척까지 1척 단위로 증가하면서 진행하며, 원자력 추진 잠수함은 총 10척의 후보를 두고 실제 건조되는 척수와 해당 수치예제를 푸는데 소요되는 계산시간을 관찰하였다. Table 8에서 나타나는 바와 같이 디젤 엔진 잠수함이 12척인 경우 원자력 추진 잠수함은 10척 모두 건조되어야만 모든 임무를 이상 없이 수행할 수

있음을 보여준다. 또한 디젤 엔진 잠수함 척수가 증가함에 따라 요구되는 원자력 추진 잠수함의 척수는 감소함을 알 수 있다. 계산시간 측면에서는 일정한 규칙을 찾아보기 어려우며 평균적으로 약 7.68초가 소요되었다. 그러나 이는 정수계획법 모델의 특성상 수치예제의 경우에 따라 다양하게 나타날 수 있으며, 임무의 수와 잠수함 척수가 증가함에 따라 더욱 많은 계산시간이 요구될 것으로 예상된다.

### 6. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 함정획득 절차 상 소요기획 단계 및 선행연구 단계에서 수행되는 건조 가능성 검토, 개념형성 연구, 운용 개념 및 필요성, 소요량 결정 등에 대하여 원자력 추진 잠수함이라는 신형 함정 도입에 대한 참고자료가 될 수 있는 연구 결과를 제시하였다. 주변 정세의 변화 속에 위협으로 인식되고 있는 북한의 SLBM에 대한 방어 및 대응, 기동함대 호위 임무 등 대양해군으로서의 역할 수행을 위한 원자력 추진 잠수함의 필요성과 운용 개념에 대해 기술하였으며, 이에 대한 소요량을 결정하기 위해 주어진 임무에 대해 가용한 전력을 할당하는데 있어 최소한으로 요구되는 원자력 추진 잠수함의 척수를 도출하는 최적화 모델을 제시하였다. 제시된 모델은 본 연구에서 가상으로 생성한 임무 및 제약조건들을 모두 만족하는 해를 도출할 수 있음을 보여주었고, 이는 실제 임무 행렬이 주어질 때 충분히 적용이 가능함을 시사한다. 본 연구에서 고려한 원자력 추진 잠수함과 같은 신형 함정 도입을 검토하는 과정에서 ‘몇 척을 도입할 것인가?’에 관한 문제는 예산과 직결되므로 사업의 가장 핵심 요소 중 하나라고 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구의 가장 주된 기여는 임무를 분석하여 정의하고 필요한 소요량을 결정하는데 있어 지금까지 고려되지 않았던 최적화 모델을 통한 접근이 가능함을 보여주었다는 것이다.

본 연구에서 활용한 잠수함의 주요 임무는 가상으로 구성된 데이터이며 실제 데이터를 기반으로 할 경우에도 가능하므로, 실제 사업을 진행함에 있어서는 실제 데이터를 기반으로 하는 경우에도 그 적용가능성이 높다고 할 수 있다. 그러나 정수계획법 모델 자체가 안고 있는 계산 복잡도에 대한 추가적인 고려가 필요하며, 정수계획법 모델의 최적해를 효과적으로 구

Table 8. Optimal level of nuclear-powered submarines with computational time

# of diesel engine submarines	# of nuclear-powered submarines needed	Computational time (sec.)
12	10	15.09
13	9	2.27
14	8	8.98
15	7	15.74
16	6	6.63
17	5	4.69
18	5	9.23
19	4	3.31
20	4	3.21
Average	6.44	7.68

하기 위해 널리 적용되는 Branch-and-Bound, Branch-and-Cut, Branch-and-Price 등과 같은 전통적인 정수계획법 최적화 방법 뿐만 아니라, 본 문제의 특성을 고려한 발견적 기법(Heuristic) 또는 유전자 알고리즘, 시물레이티드 어닐링, 타부서치 등과 같은 메타 휴리스틱(Meta-Heuristic) 기법의 도입 등 보다 빠른 시간 내에 최적해 또는 최적에 근사한 우수한 해를 구하기 위한 노력이 필요하다고 할 것이다. 다음으로 본 연구에서는 정비 또는 수리 등으로 인한 부채를 반영하지 않았기에 이를 함께 고려한 연구 또한 향후 연구 시 고려되어야 할 부분 중 하나이다.

연간 일정을 작성하고 해당 일정표에 보유한 전력과 향후 보유가 필요한 전력을 할당함으로써 특정 전력의 최소 필요량을 구하는 모델링 방식은 일정 또는 임무를 기반으로 운용되는 군사 분야의 다른 전력 및 무기 체계에도 충분히 활용이 가능할 것이다. 그러므로 원자력 추진 잠수함뿐만 아니라, 신형 호위함, 항공기, 이지스구축함 등을 도입할 때도 본 연구에서 제시한 방식을 이용해 해당 전력의 효율적인 도입 수량을 도출할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 기존 전력과 도입 예정 전력의 효과적인 혼합운용 방안에 대한 참고자료도 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

이 논문은 2017년도 해군사관학교 해양연구소 학술연구과제 연구비의 지원으로 수행된 연구임.

## References

[1] Y.-G. Cho, J.-Y. Kim and B.-W. Nam, "Modern Weapons System Theory," Sunhaksa, 2014.  
 [2] J.-K. Choi, "The Study on the ROK Army Countermeasures against North Korean Asymmetric Military Threats", Master's Thesis, Sangji University, 2017.  
 [3] GAMS Development Corporation, "The General Algebraic Modeling Systems(GAMS)," Available from: <<http://www.gams.com/>>, 2017.  
 [4] Y.-H. Hyun, "An Analysis on the Structure and Progress of Arms Buildup and Arms Races in Northeast Asia After the Post-cold War Period,"

Ph.D. Dissertation, Kyonggi University, 2014.  
 [5] S.-S. Jeon, "A Study on the Process of Weapon System Management and Development Method: Focusing on the Process of Battleship Acquirement," Master's Thesis, Korea University, 2010.  
 [6] H.-K. Jeong, "How Do We Prepare for Procuring Nuclear-powered Submarines to Deal with the Increasing Threat of North Korea's SLBM?," Defense & Technology, Vol. 452, pp. 84-95, 2016.  
 [7] K.-Y. Kim, "3000ton-class Submarine 'Jangbogo-III', the First Shovel to Build the 3rd Ship," Edaily, December 14, 2016.  
 [8] S.-H. Kim, "Reinforcement Task Force's Power Projection Capability and Nuclear Powered Submarines," Master's Thesis, Hannam University, 2016.  
 [9] J.-M. Lee, "Measures for Marine Air Round Task Force Missions," Master's Thesis, Kyonggi University, 2013.  
 [10] W. Lee, "Polaris, open a blind spot of THAAD," Hankyoreh21, August 29, 2016.  
 [11] K.-S. Moon, "Why do we need nuclear-powered submarines?," Planet Media, 2016.  
 [12] D.-R. Oh, "Testimony of Kim Si-Hwan, Who Designed a Korean Nuclear Powered Submarine Reactor," Monthly Chosun, October 19, 2016.  
 [13] H.-R. Park, "An Analysis on the Strategic Implication of the North Korean SLBM Development and South Korea's Necessary Measures," Journal of Strategic Studies, Vol. 23, No. 2, pp. 85-114, 2016.  
 [14] S.-B. Park and G.-S. Han, "Analysis of the Status of Armament with Submarines," Defense & Technology, Vol. 377, pp. 52-63, 2010.  
 [15] S.-K. Seo, "A Study on Factors and Implications for Acquiring Nuclear-propelled System of the Middle Powers," Ph.D. Dissertation, Hannam University, 2015.  
 [16] I.-K. Shin, "US, Overestimating the Value of Diesel-engine Submarine to Prevent Korea from Acquiring Nuclear-powered Submarines?," Shindonga, November 2016.  
 [17] The Bank of Korea Economic Statistic System, Available from <<http://ecos.bok.or.kr/flex/EasySearch.jsp>>, 2016.