

함정 전력지수를 고려한 항모전투단 최적조합 모형

장기원¹ · 이문걸^{1*} · 권기덕²

¹국방대학교 국방과학학과 / ²해군 잠수함사령부

Optimal Combination Model for Carrier Strike Group Considering the Naval Ship's Power Index

Keewon Jang¹ · Moongul Lee¹ · Giduck Kwon²

¹Department of National Defense Science, Korea National Defense University

²R.O.K. Navy Submarine Force Command

In accordance with the acquisition of a light fleet aircraft carrier (CVL) in the future, Korea Navy needs to consider the naval battle ships combination of carrier strike group (CSG) to escort CVL. Existing studies have been focused on the necessity, legitimacy, and qualitative contents related to the introduction of CVL, but quantitative studies on the combination of CSG for the operation of CVL are rarely studied. In addition, it is difficult to similarly accommodate the battle ships combination of advanced countries such as the United States and the United Kingdom, etc., which are operating the CSG, due to the different types of battle ships, the number of possessions, and their weapon system. We propose an optimization mathematical model based on goal programming about the combination of CSG for battle ships owned by the Republic of Korea navy or planned to be introduced in the future. The proposed study considers the optimal method to satisfy the power index, operation maintenance cost, and constraints that include CSG combination by applying the two goals of maximizing combat power and minimizing input cost.

Keywords: Naval ship, Light fleet aircraft carrier (CVL), Carrier strike group (CSG), Goal Programming

1. 서론

우리나라는 전 세계에서 유일하게 분단되어있는 국가로 가장 위협이 되는 북한에 집중하고 대비해 왔다. 또한 지리적으로 잠재적 위협이 될 수 있는 주변국들과도 밀접하게 연관되어 있다. 다만 지금까지는 주적인 북한의 위협에 중점적으로 대비하였기 때문에 주변국의 위협에 대한 대비는 많은 제약이 따랐던 것이 사실이다. 그러나 최근 환태평양을 중심으로 한 해양 안보위협이 급격히 변화하고 있으며 우리나라의 대비태세 또한 새로운 시각이 필요하다는 의견이 많이 나오고 있는 실정이다. 특히 Yoon(2022)은 현대 해상전에서 결정적인 승패는 항모 항공력에 의해 좌우됨을 강조하였으며, 독도 및 이어도 근해에서의 해상분쟁 발생을 가정하였을 때 신속하게 전술기 투입이 가

능하고 체공시간도 더 확보할 수 있는 항공모함 도입 필요성을 주장하고 있다. 전 세계에 있는 국가들의 군사력의 정도를 조사하는 비정부기구인 'Global Fire Power(2022)에서 발표한 2021년 자료에 따르면 공식적인 항공모함 보유국은 총 8개 국가이며, 이중 해군력 1순위는 11척을 운용하는 미국, 2순위는 2척을 운용하는 중국이다. 미국을 제외한 나머지 국가는 모두 1~2척의 항공모함을 보유하고 있으며, 영국과 이탈리아, 프랑스 등 모두 해군력이 우수한 국가들이 항공모함을 운용하고 있다. 또한 Tetsuya(2014)에서 일본은 최근 대형함정인 이즈모급 함정을 F-35B가 운용될 수 있도록 항공모함으로 개조하는 작업을 진행하는 등 해군력 강화를 통한 해상교통로 확보에 명운을 건 상태이다. 이렇게 주변국이 해군력 강화에 힘쓰는 등 급변하는 해양 안보환경 속에서 우리나라는 어떠한 노력을 해왔

* 연락처 : 이문걸 교수, 33021 충청남도 논산시 양촌면 황산빌로 1040 국방대학교 국방과학학과, Tel : 041-831-5373

E-mail : bombslee@naver.com

2022년 8월 22일 접수; 2022년 10월 12일 수정본 접수; 2022년 11월 10일 게재 확정.

는지 간단하게 살펴보자. 우리나라 해군이 운용하는 수상함은 전투체계와 무장을 비롯하여 점점 발달하고 다양화되고 있다. 특히 함정 건조부터 우리나라 독자적인 기술을 통해 발전해 나감으로써 주변 선진국의 해군력과도 어깨를 나란히 할 정도로 발전하고 있다. 그리고 이에 맞추어 우리 해군도 2030년경 3만 톤급 경항공모함을 확보하는 것으로 추진 중에 있다.

경항공모함은 자체 방어능력이 기타 전투함 대비 떨어지기 때문에 대부분 경항공모함을 보호할 수 있도록 항모전투단(또는 해상기동부대)의 형태로 작전임무를 수행하고 있다. 항모전투단의 주요 목적은 항공모함이 보유하고 있는 항공력을 원하는 곳에 이상없이 투사할 수 있도록 보호하는 것이 주 역할이다. 이로 인해 과거 경항공모함 보유를 최초 계획한 1990년대 김영삼 정부 시절에는 경항공모함을 호위할 구축함, 호위함 등이 턱없이 부족한 상태였으므로 전면 백지화되었지만 현재는 다르다. 이지스 구축함부터 신형 호위함까지 항모전투단으로써 경항공모함을 보호할 수 있는 많은 전투함이 실전 배치 중이다.

이에 따라 현재까지 우리 해군은 향후 현재의 기동전단을 기동함대급으로 승격하고 예하에 경항공모함과 현재 운용 중인 대형수송함 2척을 중심으로 3개의 전투단을 구성하는 것으로 계획 중이다. 그리고 호위함정은 이지스 구축함 및 구축함 총 18대를 활용하여 각 6척이 1개 전투단에 포함된다. 다만 계획이 현재 운용중인 기동전단의 구성인 이지스 구축함과 구축함을 그대로 유지하는 방안으로 진행되고 있는 것이기 때문에 이것이 전투력과 비용 측면에서 최적의 조합인지는 의문이 들 수 있다. 그러므로 위협으로부터 경항공모함을 보호하는 주 임무는 유지하되 운용유지비용 측면에서 이득을 볼 수 있는 구성에 대해 고려할 필요가 있다.

그리고 선진국의 항모전투단 구성을 살펴보면 현재 미국 항모전투단의 구성은 <Figure 1>과 같다. 항공모함을 중심으로 순양함 최소 1척, 구축함 또는 호위함 최소 3척과 핵잠수함, 군수지원함이 포함되어 있다. 하지만 이는 미국 해군의 임무와 조건에 맞는 구성이며 우리나라 해군이 보유하지 않은 함형도

포함되어 있다. 그러므로 이는 바로 적용할 수는 없으며 우리의 보유전력과 상황에 맞게 재검토해야 한다.

위 제시한 내용에 대한 연구를 위하여 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제2장은 항모전투단 구성, 함정 전력지수 개발 등 유사 연구를 고찰한다. 제3장에서는 본 연구 방향에 따른 데이터 수집과 전력지수 산출모형을 활용한 함형별 전력지수를 산출하고 문제를 정의하며 이를 적용한 모형화와 해법에 대해 기술한다. 제4장에서는 연구에 대한 결과 분석과 향후 연구 과제에 대해 고찰하고자 한다.

2. 기존연구 고찰

본 연구 목적은 함형별 전력지수를 활용하여 최적의 항모전투단 조합을 찾는 것으로 관련 연구는 크게 함정 전력지수와 항모전투단 조합에 대한 연구 분야로 나뉜다.

먼저 함정 전력지수에 관한 연구부터 살펴보면 You *et al.*(2021)은 한(韓)·일(日) 해상전력 비교분석을 위해 ‘한국형 해군력지수(K-Navy Power Index)’를 만들기 위한 예비연구를 진행하였다. 이때 국내·외의 각종 연구에서 제시한 다양한 해상전력 전투효과지수 산출이 가지고 있는 한계성을 고찰하고 이를 개선하기 위해 ‘전투효과지수 분석구조 개선(안)’을 제시하였다. 이는 전문가조사(AHP) 기법을 활용하여 전투함 뿐 아니라 지원함(유류수급함, 기뢰부설함 등)의 전투효과지수까지 산출할 수 있도록 개선된 것으로 해군 전력업무를 담당하는 전문가의 의사결정에 유용하게 활용될 것이라 예측하였다. 또한 Kim(2015)은 중(中)·일(日) 해군력 비교평가를 위해 화력·기동성·생존성 등의 요소가 포함된 전투함 전력지수 분석모형을 제시하였다. 현대 무기체계에서 대표적으로 중요한 평가요소를 화력, 기동성, 생존성으로 선정한 것이며, 전투함이 해군력의 구성요소 중 가장 중요하고 많은 부분을 차지하고 있다고 보았다. 본 연구에서는 Kim(2015)이 제시한 전투함 전력지수 분석모형을 해군 장교의 입장에서 실질적인 전력지수로 개선하여 적용해보았다.



Figure 1. The U.S. Navy Carrier Strike Group (Source:www.navy.mil)

Table 1. Basic Combination of the Korea Carrier Strike Group(draft), Park(2020)

임무	조직(안)
Surface to Surface/ Counter Air Operation	- Light Carrier 1 unit - Aegis Destroyer 2 units - Destroyer 2 units - Submarine, Logistic support ship 1 unit for each (optional)
Landing / Peace Enforcement Operations	- Light Carrier 1 unit - Landing Ship 3 ~ 4 units - Aegis Destroyer 2 units - Destroyer 2 units - Submarine, Logistic support ship 1 unit for each
Non Combatant Evacuees Operations	- Light Carrier 1 unit - Aegis Destroyer 2 units (optional)

다음으로 항모전투단 조합에 대한 연구 분야로 Park(2020)는 공세적 타격능력과 다중 방어능력, 입체 감시정찰능력을 강조한 한국형 항모전투단의 구성에 대해 연구하였다. 현재 항모전투단을 운용하고 있는 국가의 전통적인 구성과 임무별 적합한 복합전 지휘구조를 보유할 수 있도록 세부구성을 제시한 것이다. 또한 해군 교육사 전투체계학부 Ha(2019)은 미(美) 원정타격단의 운용개념을 바탕으로 미래 우리 항모전투단 편성을 제시하였다.

본 연구에서는 함정 전력지수 분야와 항모전투단 조합 분야를 동시에 고려하여 우리가 보유한 전력에 맞는 한국형 항모전투단 구성을 제시하고자 한다. 다만 함정 전력지수 산출 분야에서는 기존 연구에서는 진행하지 않은 향후 미래에 건조될 함정에 대한 전력지수 예측이 필요할 것이며, 이를 통해 지금까지 ‘정성적으로만 진행된 항모전투단 조합에 대한 연구를 정량적 형태로 진행’할 것이다. 이는 미래 우리 해군이 현 상황에 적합한 항모전투단 호위함형을 선정하는데 필요한 객관적 근거를 수집하는 데 도움이 될 것이다.

3. 문제 정의 및 전력지수 산출

3.1 문제 정의 및 가정사항

본 연구에서는 경항공모함을 중심으로 총 6척의 호위함정을 선정하는 것을 문제로 정의하였다. 이때 지원함(군수지원함 등) 및 잠수함, 항공기는 동일계층으로 전투함과 비교평가하는 것이 제한되므로 수상 전투함만을 고려하였으며, 각 위치에는 효과적인 경항공모함 방어를 위해 우선시되는 성분전 능력이 있으며, 해당 지점에 위치하게 될 함정은 이를 충족하는 전력지수를 가지고 있어야 한다.

6척으로 선정한 사유는 다음과 같다. 첫 번째로 우리 해군은 순양함을 보유하고 있지 않고 구축함을 주 전투함으로 운용하기 때문이다. 순양함과 구축함은 현대 미사일전에 있어서는

큰 차이를 보이지 않으나 주로 함정의 톤수에 따라 1만톤급 이상을 순양함, 이하를 구축함으로 구분하고 있다. 결국 순양함이 톤수가 큰 만큼 구축함 대비 미사일 등의 각종 무장과 탄을 많이 적재할 수 있다는 것이다. 1장에서 언급한 바와 같이 미국 해군은 항모전투단 구성에 순양함 최소 1척, 구축함 또는 호위함 최소 3척을 운용하고 있다. 그러므로 이와 비슷한 톤수 수준의 항모전투단을 구성하기 위해서는 ‘순양함 1척 = 구축함 및 호위함 각 1척’으로 환산할 때 가능하므로 항모전투단 호위함정의 숫자는 최소 5척 이상이 되어야 한다. 두 번째로는 중국과 일본의 항모전투단과 수준을 맞추기 위함이다. 현재 언론을 통해 공개된 중국의 항모전투단 구성은 <Figure 2>와 같이 구축함 5척, 호위함 2척으로 총 7척이 배치 중이며, 일본은 이즈모형 헬기탐제함을 미국의 지원을 받아 항공모함급으로 개조하고 있는 바 미국과 비슷한 수준인 구축함 및 호위함 총 5척의 항모전투단을 구성할 것으로 판단된다. 그러므로 이들과 비슷한 수준의 항모전투단 구성을 위해서는 5~7척의 호위함정이 필요하다. 마지막 세 번째 이유는 현재 우리 해군이



Source : Hong Kong miang-po(2021).

Figure 2. Combination of the China Carrier Strike Group

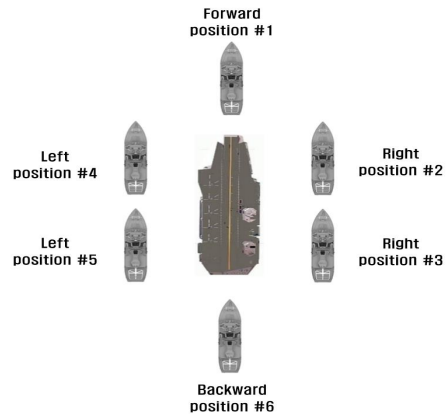


Figure 3. Combination of the Korea Carrier Strike Group Diagram(draft)

계획하고 있는 기동함대사 건설과 관련이 있다. 기동함대사는 총 3개의 기동전단 예하에 DDG, KDDX, DDH-II 등 전단별 6척의 함정을 배정하는 것으로 검토 중이며, 위와 같은 사유로 인해 총 6척의 호위함정을 배정하는 것으로 가정하였다.

6척의 호위함정 위치는 <Figure 3>와 같이 지정하였으며 사유는 다음과 같다. 첫 번째로 전단의 전후는 적의 대잠공격에 대응할 수 있는 함정이 필요하기 때문이다. 적은 항모전투단 기준 어뢰의 상대속력이 가장 빠를 수 있는 전방에서 공격할 가능성이 있으며 또한 측방에서 공격을 하더라도 항모전단이 어뢰의 소음을 인지 후 회피하기 위해 어뢰와 멀어지는 방향으로 고속기동을 할 것이므로 후방으로 어뢰가 다가올 가능성이 크다. 그러므로 전후 위치에는 대잠작전을 주로 수행할 수 있는 함정이 반드시 배치되어야 한다. 두 번째로는 좌우 측방 위치에는 적 대함미사일 공격에 대응할 수 있는 함정이 필요하기 때문이다. 적은 레이더 상 RCS(Radar Cross Section) 단면적이 큰 측방을 향해 유도탄 공격을 감행할 가능성이 크다. 이때 미사일에 효과적으로 대응하기 위해 측방에는 이지스급 구축함이 반드시 필요할 것이며, 다층 방어 개념으로 이지스 구축함과는 다른 종류의 함정이 같이 배치된다면 미사일 격추 확률을 높일 수 있을 것이다.

그러므로 경향공모함의 전후에 위치하는 #1, 6 함정은 전방 대잠탐색 및 기습 어뢰공격 대비 대잠능력이 다른 평가요소에 비해 중요할 것이며, 측면에 위치하는 #2~5 함정은 함 RCS가 비교적 큰 측면으로의 대함미사일 공격에 대비하기 위해 대공 탐색 및 방어능력이 다른 평가요소에 비해 중요할 것이다. 위와 같이 문제를 정의하고 기본 가정사항을 수립한 후 다음 절에서 제시할 절차에 맞추어 연구를 진행하였다.

3.2 연구절차

본 연구의 전체적인 흐름은 다음과 같다. 먼저 Kim(2015)의 전력지수 분석모형을 항모전투단에 포함될 중·대형급 전투함 비교에 맞는 개념으로 개선하였으며 주요 변경사항은 다음과 같다.

먼저, 생존성 지수에 포함되어 있던 대공 능력 분야를 별도의 화력지수 평가요소로 확장하였다. 기존 모형에서는 대공 무장의 보유 여부와 대략적인 명중률만을 판단하였으나, 본 모형에서는 탑재 발수, 탄두중량까지 구체화하여 반영하였다. 이유는 종류가 다른 함형이 동일한 대공무장을 보유하고 있다면 보유 탄수에 상관없이 동일한 대공능력을 보유하고 있는 것이라 산정되었기 때문이다.

둘째, 기존의 기동성 관련 가중치에 자동화 지수를 추가하여 함정 규모 대비 승조원 수 비율을 적용한 최신 함정 운용성을 반영하였다.

셋째, 이지스 체계 및 생존성 가중상수를 최종 전력지수에 대한 가중치가 아닌 대공 능력에 대한 가중치로 개선하였다. 이유는 전체 화력지수보다는 대공 능력과 밀접한 관련이 있으

므로 함형별 대공 능력에 차이를 확실하게 표현하는 것이 옳다고 판단하였기 때문이다.

이와 동시에 후보 함형군을 선정하였다. 이때 현재 운용 중인 함정과 함께 향후 건조 예정인 함형까지 포함하였으며 함형별 전력지수 분석모형 활용에 필요한 각종 제원들을 데이터로 수집하였다. 이후 개선된 전력지수 분석모형에 적용하여 전력지수를 산출하고 도출된 값에 대해서는 평가요소 간 정확한 비교를 위해 정규화를 진행하였다. 그리고 정규화된 데이터를 항모전투단 조합 최적화 모형에 적용하여 결과를 분석하고 최종적으로 항모전투단 최적 조합을 제시하고자 한다.

3.3 전력지수 분석모형 개선

항모전투단 최적조합 구성을 위해 함형별 화력, 성능 등 전력을 세부적으로 분석하고 이를 바탕으로 지수화 하였다. 본 연구에서 제시한 전력지수 산정은 다음의 식 (1)과 같다.

$$T = \left(\sum_{i=1}^n f_i^{(SS)} k_i + \sum_{j=1}^n f_j^{(SG)} k_j + \alpha \cdot \beta \cdot \sum_{k=1}^n f_k^{(SA)} k_k + \sum_{l=1}^n f_l^{(SU)} k_l \right) \times MA \quad (1)$$

- i, j, k, l : 유형별 무장의 종류 / i = 대함 / j = 대지 / k = 대공 / l = 대잠
- $f_{i,j,k,l}^{(\cdot)}$: i, j, k, l 유형별 공격무장의 화력
= $\sqrt{\text{탄두중량} \times \text{사거리}}$
- $k_{i,j,k,l}$: i, j, k, l 유형별 무장의 수량
- α : 이지스 체계 가중상수(이지스 체계 보유 시 2, 미보유 시 1)
- β : 생존성 가중상수(스텔스 설계, 전자전 장비 및 Decoy 보유 2, Decoy 및 전자전 장비 보유 1.6)
- MA : 기동성 및 자동화 지수
= (최대순항속력 × 마력중량비 × 전폭대비 전장비 × 자동화 지수*)^{1/4}
- * 자동화 지수 = $\sqrt{\text{만재톤수} / \text{승조원수}}$

여기에서 T 는 전력지수를 의미하며, 대함 능력(SS), 대지 능력(SG), 대공 능력(SA), 그리고 대잠 능력(SU)의 합에서 기동성 및 자동화 지수의 곱으로 산정된다. 위 식에서 α 는 기타 함형 대공탐지거리 대비 이지스 체계의 대공탐지거리가 2배 이상이므로 '2'의 가중상수를 적용하였다. 전자전 장비와 decoy 보유에 따른 생존성 가중상수 β 는 이전 연구에서 제시한 중동전쟁과 라타키아 해전에서의 사례를 바탕으로 부여하였다. 다만 현대의 전투함은 전자전 장비와 decoy를 기본적으로 보유하고 있기 때문에 스텔스 설계 유무로 생존성 가중상수가 결정될 것이다. 스텔스 설계의 경우 국방과학연구소 Boo(1998) 박사의 발표에 따르면 일본의 이지스함이 스텔스 설계 적용

시 기존 설계의 46dB 대비 6dB 낮은 RCS(Radar Cross Section) 단면적을 나타내는 바 약 20%의 적 위협에 대한 피탐 확률을 방지할 수 있었다. 그러므로 전자전 장비 및 decoy 보유 하 스텔스 설계 시 2, 아닐 시 1.6의 가중상수를 부여하였다.

3.4 후보 함형군 선정 및 자료 수집

후보 함형군은 현재 해군에서 운용중인 중·대형급 전투함 중 전투체계 보유 함형과 향후 건조 예정인 중·대형급 함정으로 <Table 2>와 같이 총 7개 함형 35척을 최종적으로 선정하였다. 선정 사유는 항모전투단의 경우 원해에서의 임무수행이 가능해야 하므로 중·대형함급 이상의 함정이 반드시 활용되어야 하며, 최신 전투함이 대부분 전투체계를 보유하여 지휘 통제능력과 무장 활용이 탁월하기 때문이다.

<Table 2> 같이 후보 함형군을 선정한 후 함형별 전력지수 분석모형에 필요한 함형별 제원 자료를 수집하고 이를 전력지수 분석모형에 적용하여 평가요소인 대함능력·대지능력·

대공능력·대잠능력·기동성 및 자동화 지수로 산출하였다. 이때 건조예정 함형의 경우 명확하게 공개된 제원이 없으므로 기존 함형의 전력지수 수치화 후 이를 근거로 별도 예측하였다. 추가적으로 활용한 제원 자료의 경우 모두 인터넷을 통해 공개된 자료를 활용하였으나, 탄두중량, 사거리 등은 자칫 군사보안에 위배될 가능성이 있으므로 본 논문에서는 음영처리하고 최종 결과값 위주로 제시할 예정이다.

3.5 전력지수 산출 및 정규화

먼저 대함능력은 보유하고 있는 대함 유도탄과 함포의 탄두중량, 사거리, 수량을 통해 산출하였으며, 그 결과값은 <Table 3>과 같다.

대지능력은 해군에서 운용하고 있는 유도탄의 탄두중량, 사거리, 함형별 탑재 수량을 통해 산출하였다. 그 결과값은 <Table 4>와 같으며 군사 보안상 본 연구에서는 탄두중량 및 사거리는 '0'으로 표시하였다.

Table 2. Candidate Naval Ship Type Selection Status

Type	Q'ty	Main Capability		remark	Type	Q'ty	Main Capability		remark
		Aegis sys'	Long-range Counter air missile				Aegis sys'	Long-range Counter air missile	
DDG-II	3	O	O	TBD	KDDX	6	O	O	TBD
DDG-I	3	O	O	-	FFG-III	6	X	X	TBD
DDH-II	6	X	O	-	FFG-II	8	X	X	-
DDH-I	3	X	X	-	7 types warship 35 units				

Table 3. Surface to Surface Capabilities Status

Category		Name	Warhead	Range	Conversion	Total
DDG-I	Guidance missile	Haesung	000kg	000km	2,873.33	13,816.56
	Naval gun	MK-45	000kg	000km	10,943.23	
DDH-II	Guidance missile	Harpoon	000kg	000km	1,459.36	12,866.07
	Naval gun	MK-45	000kg	000km	11,406.71	
DDH-I	Guidance missile	Harpoon	000kg	000km	1,459.36	9,570.23
	Naval gun	54'(127mm)	000kg	000km	8,110.87	
FFG-II	Guidance missile	Haesung	000kg	000km	1,436.66	11,581.68
	Naval gun	MK-45	000kg	000km	10,145.02	

Table 4. Surface to Ground Capabilities Status

Category		Name	Warhead	Range	Conversion
DDG-I	Guidance missile	Haesung-2	000kg	000km	16,000
DDH-II	Guidance missile	Haesung-2	000kg	000km	8,000
DDH-I	Guidance missile	-	000kg	000km	0
FFG-II	Guidance missile	Haereyong	000kg	000km	1,600

대공능력은 보유하고 있는 장거리 대공 유도탄(SAM / Surface to Air Missile)과 단거리 자함 방어용 유도탄(SAAM / Surface to Anti Air Missile), 그리고 근접방어 무기체계(CIWS / Closed in Weapon System)의 탄두중량, 사거리, 함형별 탑재 수량을 통해 산출하였다. 그 결과값은 <Table 5>와 같다.

그리고 산출한 대공능력에 같이 합산해야 하는 이지스 전투체계 보유 가중상수와 생존성 가중상수는 아래 <Table 6>과 같다.

대잠능력은 보유하고 있는 대잠 유도탄의 탄두중량, 사거리, 수량을 통해 획득하였다. 추가로 예인형 음탐기 보유 여부 등 대잠 탐색능력에 대한 가중상수를 추가하려 하였으나 후보 함형군이 동일하게 보유하고 있기 때문에 가중상수에서 제외하였으며, 그 결과값은 <Table 7>과 같다.

마지막으로 기동성 및 자동화 지수는 각 함형의 최대 순항속력, 마력중량비, 전장비, 자동화 수치를 통해 산출하였다. 여기서 마력중량비는 만재톤수 대비 G/T의 마력, 전장비는 전폭 대비 전장의 길이, 자동화지수는 승조원 정원 대비 만재톤수의 제곱근으로 지정하여 산출하였으며, 그 결과는 아래 <Table 8>과 같다.

위와 같이 항모전투단 전력지수 분석모형에 활용될 각 성분 전 능력별 수치와 기동성 및 자동화 지수를 획득하였으며, 추가적으로 수리 모형에서 전력지수의 각 평가요소와 함께 활용될 함형별 운영유지비를 수집하였다. 함형별 운영유지비는 2018~2020년 운영유지비의 평균값을 적용하였으며, 수집 결과는 <Table 9>와 같다.

Table 5. Surface to Air Capabilities Status

Category		Name	Warhead	Range	Conversion	Total
DDG- I	SAM	SM-2	000kg	000km	9,361.71	11,825.00
	SAAM	RAM	000kg	000km	218.24	
	CIWS	G/K	000kg	000km	2,245.05	
DDH- II	SAM	SM-2	000kg	000km	3,744.68	6,207.97
	SAAM	RAM	000kg	000km	218.24	
	CIWS	G/K	000kg	000km	2,245.05	
DDH- I	SAM	-	-	-	0	4,925.64
	SAAM	Sea-sparrow	000kg	000km	435.54	
	CIWS	G/K 2 unit	000kg	000km	4,490.10	
FFG- II	SAM	-	-	-	0	1,745.14
	SAAM	Haegung	000kg	000km	357.77	
	CIWS	Phalanx	000kg	000km	1,387.37	

Table 6. Aegis Combat System and Survivability Weighting Constant

Category	Aegis sys' Weighted Value	Survivability Weighted Value			
		Stealth Designed	Electronic Warfare System	Decoy-measure	Weighted Value
DDG- I	2	O	O	O	2
DDH- II	1	O	O	O	2
DDH- I	1	X	O	O	1.6
FFG- II	1	O	O	O	2

Table 7. Surface to Sub Capabilities Status

Category		Name	Warhead	Range	Conversion	Total
DDG- I	Guidance MSL-1	HongSangeo	000kg	000km	540.22	679.65
	Guidance MSL-2	ChungSangeo	000kg	000km	139.43	
DDH- II	Guidance MSL-1	HongSangeo	000kg	000km	270.11	409.54
	Guidance MSL-2	ChungSangeo	000kg	000km	139.43	
DDH- I	Guidance MSL-1	-	-	-	0	139.43
	Guidance MSL-2	ChungSangeo	000kg	000km	139.43	
FFG- II	Guidance MSL-1	HongSangeo	000kg	000km	135.05	274.48
	Guidance MSL-2	ChungSangeo	000kg	000km	139.43	

Table 8. Mobility and Automation Index Status

Category	Max Cruise Speed	Ratio (HP/full-load displacement tonnage)	Ratio (Length/Width)	Automation index (FLDT / no. crews) ^{0.5}	Total Capability
DDG- I	20kts (5500nm)	5.49 (58200 / 10600)	7.75 (165.9 / 21.4)	6.19 (10600 / 277) ^{0.5}	8.52
DDH- II	17kts (5500nm)	10.58 (58200 / 5500)	8.62 (150 / 17.4)	4.91 (5500 / 228) ^{0.5}	9.34
DDH- I	18kts (4500nm)	14.92 (58200 / 3900)	9.53 (135.4 / 14.2)	4.34 (3900 / 207) ^{0.5}	10.25
FFG- II	15kts (4500nm)	14.93 (53620 / 3592)	7.01 (122 / 17.4)	5.20 (3592 / 133) ^{0.5}	9.50

Table 9. Annual Operating and Maintenance Cost by Naval Ship Type

Operational Cost		Maintenance Cost		Support Cost	
Salary / Meals / Clothes		Fuel / Trainin Ammo / Repair		Support crew / Equipment / Facilities	
Category	Oper' Cost	Maint' Cost	Support Cost	Total	Average per unit
DDG- I	353	910	11	1,274	425
DDH- II	527	467	27	1,020	170
DDH- I	246	329	13	588	196
FFG- II	54	17	1	72	72

지금까지 후보 함형군 중 현재 운용중인 함형의 각 평가요소별 전력지수와 운영유지비 등에 대해 산출해보았으며, 이를 바탕으로 향후 건조 예정 함형의 전력지수와 운영유지비에 대해 예측을 해보았다. 건조 예정 함형의 경우 건조는 진행되었으나 전력화가 되지 않았거나, 아직 설계단계의 수준이므로 자체적으로 근거를 산정하여 예측하였으며, 그 근거는 <Table 10>과 같다.

지금까지의 자료 수집 내용을 정리해보면 현재 운용중인 함형의 제원 자료를 활용하여 항모전투단 전력지수 분석모형을 통해 각 평가요소별 전력지수를 산출하였으며, 자체 예측 근거를 통해 미래 건조 예정 함형의 전력지수까지 예측을 진행

하였다. 최종 전력지수 산출 결과는 <Table 11>과 같다. 다만 평가요소별 사용하는 무장의 종류와 수가 다르고 가중상수가 부여된 평가요소도 있으며, 산출값의 단위 또한 다른 부분이 있기 때문에 향후 수리 모형을 통한 분석 시 원활한 비교와 가중치 부여의 안정성을 위해 평가요소별 정규화를 <Table 12>와 같이 추가로 진행하여 수리 모형 분석에 적용하였다.

위와 같이 각 함형별 전력지수 산출을 위해 사용한 자료들은 모두 인터넷 등에 공개된 자료이며, 몇몇 무장의 탄두중량, 사거리 등은 비밀성 자료이므로 군사보안에 위배되지 않게 임의의 값을 사용했음을 다시 한번 밝히는 바이다. 다음 장에서는 정규화한 자료를 바탕으로 최적화 수리 모형을 수립해 볼 것이다.

Table 10. Prediction Criteria for Naval Ship Type Power Index to be Built

Category	Criteria
DDG- II	<ul style="list-style-type: none"> • Anti-air/submarine Support Cost = DDG- I Capa' + 0.5×(DDG- I Capa - KDDX Capa) * Addition Ballistic missile intercept and Anti-Submarine operation capability against existing DDG-I • Maneuverability and Automation = DDG- I Capa' + 0.5×(DDG- I Capa - KDDX Capa) * The larger the ship, the lower the maneuverability • Misc. : Same as DDG-I
KDDX	<ul style="list-style-type: none"> • Each Capability, Maneuverability and Automation, O&S Cost = Average of DDG- I and DDH- II Capa' * Set the median value considering the selection of the HULL number • Misc : Survivability and Aegis sys index : Same as DDG- I
FFG- III	<ul style="list-style-type: none"> • Each Capability, Maneuverability and Automation, O&S Cost = Average of DDH- II and FFG- II Capa' * Set the median value considering the selection of the HULL number • Misc : Survivability and Aegis sys index : Same as FFG- II

Table 11. The Calculation of Power Index by Naval Ship Type

Category	Counter-Ship	Counter-Land	Counter-Air				Anti-Submarine	Maneuver' & Auto'	O&S Cost
			Fire Power	Aegis	Survivability	Total			
DDG-Ⅱ	13,816.56	16,000	14,633.51	2	2	58,534.04	814.71	7.88	488.75
DDG-Ⅰ	13,816.56	16,000	11,825.00	2	2	47,300	679.65	8.52	425
DDH-Ⅱ	12,866.07	8,000	6,207.97	1	2	12,415.94	409.54	9.34	170
DDH-Ⅰ	9,570.23	0	4,925.64	1	1.6	7,881.024	139.43	10.25	196
KDDX	13,341.31	12,000	9,016.48	2	2	36,065.92	544.59	9.80	297.5
FFG-Ⅲ	12,223.87	4,800	3,976.55	1	2	7,953.1	342.01	9.42	121
FFG-Ⅱ	11,581.68	1,600	1,745.14	1	2	3,490.28	274.48	9.50	72

Table 12. The Normalization Result Each Ship Type by Evaluation Factor

Category	Fire Power				Maneuverability and Automation	O&S Cost
	Counter-Ship	Counter-Land	Counter-Air	Anti-Submarine		
DDG-Ⅱ	0.4165	0.5860	0.6871	0.6070	0.3212	0.6335
DDG-Ⅰ	0.4165	0.5860	0.5553	0.5063	0.3472	0.5509
DDH-Ⅱ	0.3878	0.2930	0.1458	0.3051	0.3807	0.2204
DDH-Ⅰ	0.2885	0	0.0925	0.1039	0.4177	0.2541
KDDX	0.4022	0.4395	0.4234	0.4057	0.3994	0.3856
FFG-Ⅲ	0.3685	0.1758	0.0933	0.2548	0.3839	0.1568
FFG-Ⅱ	0.3491	0.0586	0.0410	0.2045	0.3871	0.0933

4. 수리 모형

제3장에서 살펴본 바와 같이 각 함형별 전력지수를 산출하였으며, 이를 정규화하는 작업까지 진행하였다. 본 4장에서는 이렇게 산출한 값을 바탕으로 정수계획법과 목표계획법을 활용한 최적화 수리 모형을 작성하게 된다. 본 모형에서 목표계획법을 사용한 이유는 제시된 수리 모형의 목적함수가 다기준 성능 지표를 사용하고 있고 각 척도별 상이한 결과값을 산출하므로 우리는 각 결과값에 대해 정규화하고 가중치를 부여하는 방법을 적용하였다. 일반적으로 목표계획 문제는 특정 목표로 하는 값에 대한 편차를 최소화시키는 방법이다. 따라서 정확히 만족할 수 없을 때 서로 상충되는 목표를 주어진 조건 내에서 가장 근사한 값을 갖도록 하는 것이다.

4.1 수리 모형 가정사항

앞서 3장의 서두에 제시하였던 기본적인 가정사항인 경향 공모함 주변 6척의 함정을 선정하는 것을 기본 전제로 기타 가정사항은 아래와 같다

- 각 위치에는 반드시 1척만 선정된다.
- 경향공모함의 right(#2 ~ 3 위치), left(#4 ~ 5 위치)에는 적어도 1척 이상의 이지스 전투체계 보유함형이 포함되어 대공 탐색과 방어 능력을 강화한다.
- 선정된 함형의 대함·대지·대공·대잠 능력과 기동성 및

자동화 지수 정규화값의 평균이 전체 함형의 대함·대지·대공·대잠 능력과 기동성 및 자동화 지수 정규화값의 평균보다 높아야 한다.

- 선정된 함형의 운영유지비 정규화값의 평균이 전체 함형의 운영유지비 정규화값의 평균값 보다 낮아야 한다.
- 대공 능력 강화를 위해 right(#2 ~ 3 위치), left(#4 ~ 5 위치)에서 동일 현측에서는 반드시 다른 함형이 선정되도록 한다. 이는 무장의 다양화를 통해 다층 대공방어 개념이 적용되도록 유도하고, 동일 대공 센서의 주파수 사용으로 인해 발생할 수 있는 주파수 간섭 현상을 차단할 수 있다(예 : #4와 #5에 위치하는 함형이 달라야 한다).
- 대잠 능력 강화를 위해 forward(#1 위치), backward(#6 위치)에 선정되는 함정의 능력은 전체 함형 대잠 능력의 상위 25%(3사분위수) 보다는 높아야 한다.

위 가정사항을 바탕으로 다음의 수리 모형을 구성한다.

- ① 정수계획법 활용 최대 대함·대지·대공·대잠 및 기동성 및 자동화 능력, 최소 운영유지비 목표값 산출
- ② 목표계획법 활용 각 평가요소별 목표치에 가장 가까운 최적 조합 산출

각 평가요소별 목표값을 목적식으로 한 수리 모형의 최적해를 구한 후 이를 적용하여 목표계획법 수리 모형을 구성하고 최적 조합을 산출한다.

4.2 집합구성 및 입력데이터

수리 모형에서 집합구성과 입력데이터는 다음의 <Table 13>과 <Table 14>에서 나타내는 바와 같다. 집합구성은 경항 공모함을 호위하는 6개 함정의 위치, 7개 함형 총 35척의 함정과 이지스 전투체계 보유 함형에 대한 인덱스로 구성하였다. 그리고 매개변수는 각 함정의 대함·대지·대공·대잠·기동성 및 자동화 능력과 운영유지비에 대한 정규화 지수, 각 위치별 평가요소의 가중치, 평가요소의 평균과 중위수, 정수계획법을 통해 획득할 목표치를 입력하였다. 여기서 각 위치별 평가요소의 가중치는 서열합 가중치를 적용하여 forward(#1 위치)와 backward(#6 위치)에는 대잠 능력, right(#2~3 위치)와 left(#4~5 위치)에는 대공 능력을 1순위, 기타 평가요소는 공동 2순위로 지정하여 가중치를 산정하였으며 이에 따라 1순위 평가요소는 0.28, 기타 2순위 평가요소는 0.144의 가중치를 적용하였다.

Table 13. Index and Set

$I = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$: Positions around Carrier, $i \in I$
$J = \{ddgs1, ddgs2, ddgs3, ddgf1, ddgf2, ddgf3, ddhs1, ddhs2, ddhs3, ddhs4, ddhs5, ddhs6, ddhf1, ddhf2, ddhf3, kddx1, kddx2, kddx3, kddx4, kddx5, kddx6, ffgt1, ffgt2, ffgt3, ffgt4, ffgt5, ffgt6, ffgs1, ffgs2, ffgs3, ffgs4, ffgs5, ffgs6, ffgs7, ffgs8\}$: 7 types, 35 Warships, $j \in J$
$J_1 = \{ddgs1, ddgs2, ddgs3, ddgf1, ddgf2, ddgf3, kddx1, kddx2, kddx3, kddx4, kddx5, kddx6\}$: Aegis System's Ship, $J_1 \subset J$

Table 14. Input Data, Parameters

SS_j : j 's normalization index of anti-ship capability	SG_j : j 's normalization index of counter-land capability
SA_j : j 's normalization index of anti-air capability	SU_j : j 's normalization index of anti-submarine capability
MA_j : j 's normalization index Manue' and Auto' capa'	$Cost_j$: j 's normalization index of O&S cost
ws_i : Anti-submarine weighted value at i position	wg_i : Weighted value of counter-land capability at i position
wa_i : Anti-air weighted value at i position	wu_i : Weighted value of anti-submarine capability at i position
wma_i : $i \in I$ Man' and Auto' weighted value at i position	$wcost_i$: Weighted value of O&S cost at i position
avg_SS : Average of anti-ship capability	avg_SG : Average of counter-land capability
avg_SA : Average of anti-air capability	avg_SU : Average of anti-submarine capability
avg_MA : Average of Man' and Auto' indices	avg_Cost : average of O&S cost for warship
avg_ws : Weighted average of anti-ship capability	avg_wg : Weighted average of counter-land capability
avg_wa : Weighted average of anti-air capability	avg_wu : Weighted average of anti-submarine capability
avg_wma : Weighted average of Man' and Auto' indices	avg_wcost : Weighted average of O&S cost
QB_SU : Anti-submarine capability at 3-quartile	$Goal_SS$: Goal value of anti-ship capability
$Goal_SG$: Goal value of counter-land capability	$Goal_SA$: Goal value of anti-air capability
$Goal_SU$: Goal value of anti-submarine capability	$Goal_MA$: Goal value of Manue' and Auto' capability
$Goal_Cost$: Upper value of O&S cost of CSG	
$Force_value_{ij}$: Fire power index j ship at i position = $\{(ws_i \cdot SS_j) + (wg_i \cdot SG_j) + (wa_i \cdot SA_j) + (wu_i \cdot SU_j)\} \cdot (wMA_i \cdot MA_j)$	

Table 15. Decision Variable

-
- ① $X_{ij} \in \{0, 1\} = 1$: if j ship located at i position, 1 or 0, binary variable
- ② d_SS^{+-} , d_SG^{+-} , d_SA^{+-} , d_SU^{+-} , d_MA^{+-} , d_Cost^{+-} : Non-negative real number of deviation to anti-ship counter-land · anti-air · anti-submarine 및 Maneuverability and Automation index, upper value CSG's O&S cost
-

4.3 결정변수

결정변수는 <Table 15>와 같다. ①은 해당 위치에 함정이 할당되면 1 또는 할당되지 않으면 0으로 나타내는 이진변수이다. ②의 경우 각 평가요소별 목표값에 대한 편차를 나타내는 비음실수로써 최종 목표계획법을 통해 최적 조합 산출에서 결정변수로 같이 활용할 것이다.

4.4 정수계획법 활용 평가요소별 목표값 산출

(1) 목적함수

본 연구 모형의 목적함수는 다음과 같다.

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (ws_i \cdot SS_j \cdot X_{ij}) \quad (2)$$

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wg_i \cdot SG_j \cdot X_{ij}) \quad (3)$$

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wa_i \cdot SA_j \cdot X_{ij}) \quad (4)$$

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wu_i \cdot SU_j \cdot X_{ij}) \quad (5)$$

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wma_i \cdot MA_j \cdot X_{ij}) \quad (6)$$

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wcost_i \cdot Cost_j \cdot X_{ij}) \quad (7)$$

식 (2) ~ (7)은 총 평가요소별 목표값을 산출하기 위해 적용한다. 이때 대합, 대지, 대공, 대잠, 기동성 및 자동화 지수의 목표값은 최대값을 산출하며 식 (7)은 운영유지비 목표값이므로 최소값을 산출한다.

(2) 제약식

본 연구 모형의 제약식은 다음과 같다.

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij} \geq 6 \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$\sum_{j \in S_1} (X_{2j} + X_{3j}) \geq 1 \quad (11)$$

$$\sum_{j \in S_1} (X_{4j} + X_{5j}) \geq 1 \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (ws_i \cdot SS_j \cdot X_{ij}) \geq 6 \times avg_ws \times avg_SS \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wg_i \cdot SG_j \cdot X_{ij}) \geq 6 \times avg_wg \times avg_SG \quad (14)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wa_i \cdot SA_j \cdot X_{ij}) \geq 6 \times avg_wa \times avg_SA \quad (15)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wu_i \cdot SU_j \cdot X_{ij}) \geq 6 \times avg_wu \times avg_SU \quad (16)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wma_i \cdot MA_j \cdot X_{ij}) \geq 6 \times avg_wma \times avg_MA \quad (17)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wcost_i \cdot Cost_j \cdot X_{ij}) \leq 6 \times avg_wcost \times avg_Cost \quad (18)$$

$$\sum_{j \in J} (SU_j \cdot X_{1j}) \geq QB_SU \quad (19)$$

$$\sum_{j \in J} (SU_j \cdot X_{6j}) \geq QB_SU \quad (20)$$

$$\sum_{j \in J} (SA_j \cdot X_{2j}) - \sum_{j \in J} (SA_j \cdot X_{3j}) \geq 0 \quad (21)$$

$$\sum_{j \in J} (SA_j \cdot X_{4j}) - \sum_{j \in J} (SA_j \cdot X_{5j}) \geq 0 \quad (22)$$

식 (8)은 앞선 가장사항에 따라 총 6척의 함정이 선정되도록 하는 식이다. 다만 원활한 정수계획법 풀이를 위해 등호가 아닌 부등호를 적용하여 좌변항이 우변항보다 크거나 같도록 한다.

식 (9)와 식 (10)은 각 위치에는 1척의 함정만 할당되고 각 함정도 1개의 위치 이하에만 할당되도록 제약하는 식으로 좌변항이 우변항보다 작거나 같도록 한다.

식 (11)과 (12)은 right(#2 ~ 3 위치)와 left(#4 ~ 5 위치)에 이지

스 체계 보유 함형 중 적어도 1척 이상은 반드시 할당되어야 함을 제약하는 식이다.

식 (13) ~ (18)은 할당된 함정들의 각 평가요소 정규화값 평균이 전체 함정들의 정규화값 평균보다 높아야 한다는 제약식이며, 운영유지비 분야는 평균보다 작아야 하는 제약식이다. 다만 위치별 평가요소의 가중치가 다르기 때문에 평가요소 가중치의 산술평균 매개변수를 활용하였다.

식 (19)와 (20)은 대잠 능력이 중요한 forward(#1 위치), backward(#6 위치)에 할당되는 함정의 대잠 능력은 반드시 전체 함정 대잠 능력의 3사분위수 보다 높아야 한다는 제약식이다.

식 (21)과 (22)는 right(#2 ~ 3 위치), left(#4 ~ 5 위치)에서 동일 현측에서는 반드시 다른 함형이 선정되도록 하여 다층 대공방어를 제공하고 탐지센서 간섭을 방지하기 위한 제약식이다. 이는 각 위치의 대공 능력이 다르다면 둘의 차이가 0이 되지 않을 것이기 때문에 아래와 같이 수식을 적용하였다.

4.5 목표계획법 활용 최종 근접해 산출

(1) 목적함수

식 (23)은 목표계획법에서 활용되는 목적함수이다.

$$\min (d_SS^+ + d_SG^+ + d_SA^+ + d_SU^+ + d_MA^+ + d_Cost^-) \quad (23)$$

앞선 정수계획법을 통해 획득한 목표값이 제약식에 활용된 상태에서 각 편차변수의 합을 최소화하여 평가요소별 목표에 가장 근접한 해를 도출한다. 이는 제약식 설명 시 좀 더 자세하게 살펴볼 예정이다.

(2) 제약식

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (ws_i \cdot SS_j \cdot X_{ij}) + d_SS^+ - d_SS^- = 0.8 * Goal_SS \quad (24)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wg_i \cdot SG_j \cdot X_{ij}) + d_SG^+ - d_SG^- = 0.8 * Goal_SG \quad (25)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wa_i \cdot SA_j \cdot X_{ij}) + d_SA^+ - d_SA^- = 0.8 * Goal_SA \quad (26)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wu_i \cdot SU_j \cdot X_{ij}) + d_SU^+ - d_SU^- = 0.8 * Goal_SU \quad (27)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wMA_i \cdot MA_j \cdot X_{ij}) + d_MA^+ - d_MA^- = 0.8 * Goal_MA \quad (28)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (wCost_i \cdot Cost_j \cdot X_{ij}) + d_Cost^+ - d_Cost^- = 0.8 * Goal_Cost \quad (29)$$

목표계획법에서 제약식은 기존 정수계획법의 제약식 중 식 (13)~(18)을 식 (24)~(29)로 전환한 것 외에 나머지는 동일하게 포함된다. 식 (24)~(29)는 제시한 정수계획법의 해를 우변항에 두고 편차변수를 활용하여 각 요소별 목표값의 80%에 최대한 근접하는 범위 내에서 함정을 각 위치에 할당하기 위해 설정한 제약식이다. 80%를 설정한 이유는 모든 평가요소의 목표값을 동시에 모두 만족할 수 있는 함정 할당이 ‘불가능해’이기 때문에 목표계획법을 사용하는 만큼 평가요소별 최대 목표값의 80% 수준으로 목표값을 설정해주는 것이다. 설정한 80% 수준의 경우 향후 결과분석 시 평가요소별 변화를 주며 그 결과를 비교해 볼 예정이다.

그리고 식 (24)~(29)를 목적식인 식 (23)과 같이 살펴보면 각 제약식에서 할당된 함정들의 각 평가요소 정규화값 총합이 최대 목표값의 80%에 근접해야 하며, 이때 각 평가요소가 근접하는데 있어 최소가 되어야 좋은 편차변수를 선정하여 해당 편차변수를 최소화하는 것이 식 (23)의 의미가 되는 것이다. 그렇기에 최종적으로 대함, 대지, 대공, 대잠, 기동성 및 자동화 지수에 대한 편차변수는 ‘+’ 편차변수를, 운영유지비에 대한 편차변수는 ‘-’ 편차변수를 선정하였다.

5. 실험결과 분석

5.1 모형 실행 결과

실험은 GAMS(General Algebraic Modeling System) 38.3.0 최적화 툴과 Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz(8 CPUs), 8192MB RAM의 Windows 10 환경의 컴퓨터에서 실험하였다. 식 (2)~(7)을 목적함수로 두는 총 6번의 정수계획법 풀이 결과 <Table 16>과 같이 각 평가요소의 최대 목표값이 산출되었다.

Table 16. Target Value Results for Each Evaluation Factor

Category	Goal value	Result	Category	Goal value	Result
formula (1)	Goal_SS	0.336	formula (4)	Goal_SU	0.382
formula (2)	Goal_SG	0.278	formula (5)	Goal_MA	0.339
formula (3)	Goal_SA	0.357	formula (6)	Goal_Cost	0.225

Table 17. Result of Carrier Strike Group Combination

Position		Type of warship	Main Capability	
			Aegis sys'	Long-range Counter air missile
Forward	#1	DDH-II	X	O
	#2	KDDX	O	O
Right	#3	FFG-II	X	X
	#4	KDDX	O	O
Left	#5	FFG-II	X	X
	#6	DDH-II	X	O

이렇게 산출한 결과를 식 (24)~(29)의 우변항 값으로 적용하여 목표계획법 풀이를 진행하였다.

5.2 모형 분석 결과

GAMS 프로그램 활용 목표계획법이 적용된 수리 모형 풀이 결과 최종적으로 KDDX 2척, DDH-II 2척, FFG-II 2척이 할당되었으며 각 위치별 할당 결과는 아래 <Table 17>과 같다.

대잠 능력이 중요한 forward(#1 위치)와 backward(#6 위치)에는 대잠 능력 중위수값을 가지고 있는 DDH-II 함형이 할당되었으며, 대공 능력이 중요한 right(#2~3 위치)와 left(#4~5 위치)에는 이지스 전투체계를 보유한 KDDX가 각 1척씩, 그리고 다층 대공방어를 구성과 이지스 전투체계를 보조하기 위한 FFG-II가 각 1척씩 할당되었다.

5.3 상황별 최적 조합 산출

항모전투단은 상황에 따라 여러 가지 다양한 임무를 받을 수 있으며 이때마다 이를 운영하는 해상지휘관은 각 평가요소를 동등하게 고려하기 보다는 상대적으로 우선시하는 평가요소를 선정하여 임무 수행을 준비할 것이다. 가령 대공 방어가 중요한 임무라면 기존에 목표제약식에서 설정한 80%가 아닌 100%만큼의 최대 목표값에 근접한 항모전투단 함형 조합을 사전에 준비해야 할 것이다. 그러므로 항모전투단 운용에 있어 대공과 대잠 분야의 목표값을 조절하여 최적 조합을 재산출할 수 있다.

예를 들어 기존에 산출한 최적 조합과 대공·대잠 능력의 최대 목표값을 100%로 실험한 결과는 <Table 18>과 같다. 대공 능력이 중요한 경우 #3 위치의 FFG-II가 FFG-III로, #6 위

Table 18. Calculation Result of Anti-air/sub Capability Enhancement Model

Position		Combination results		
		Normal Operation	Anti-Air focused	Anti-Submarine focused
Forward	#1	DDH-Ⅱ	DDH-Ⅱ	KDDX
Right	#2	KDDX	KDDX	KDDX
	#3	FFG-Ⅱ	FFG-Ⅲ	FFG-Ⅱ
Left	#4	KDDX	KDDX	KDDX
	#5	FFG-Ⅱ	FFG-Ⅱ	FFG-Ⅱ
Backward	#6	DDH-Ⅱ	KDDX	DDH-Ⅱ

Table 19. Changed naval ship type's anti-air/sub capabilities

Types of warship	Anti-air capability	Anti-submarine capability
KDDX	0.4234	0.4057
DDH-Ⅱ	0.1458	0.3051
FFG-Ⅱ	0.0410	0.2045
FFG-Ⅲ	0.0933	0.2548

치의 DDH-Ⅱ가 KDDX로 변경되었다. 변경된 함형의 대공 능력을 비교해보면 <Table 19>와 같이 더 높은 대공 능력을 가진 함형으로 변경된 것을 알 수 있다. 또한 대잠 능력이 중요한 경우에는 #1 위치의 DDH-Ⅱ가 KDDX로 변경되었으며 이 또한 더 높은 대잠 능력을 가진 함형으로 변경되었다.

위 결과를 통해 본 연구에서 수립한 수리 모형을 활용하여 기본적인 최적 조합과 임무와 상황별 중요도에 따른 최적 조합으로의 재산출이 가능함을 확인할 수 있다.

5.4 척수별 비용 대비 전력지수 분석

앞서 미국 해군과 우리의 차이점, 중국 및 일본 항모전투단 수준, 우리 해군의 전력 정책 등을 고려하여 6척의 호위함정을 가정하여 연구를 진행하였다. 6척을 활용하는 것이 적절한지 확인하기 위해 척수별 운영유지비용 대비 전투력을 비교·분석하였다. 척수는 4척에서 8척까지 고려하였으며 5척의 경우 대공 특화, 대잠 특화로 나누어 최적조합을 산출하였다.

Table 20. The Possible candidate combination by Carrier Strike Group

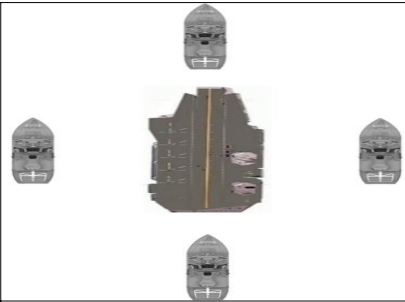
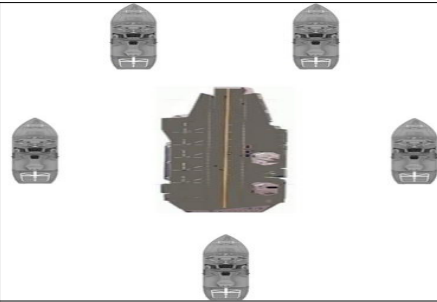
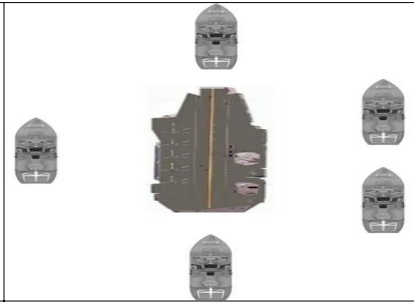
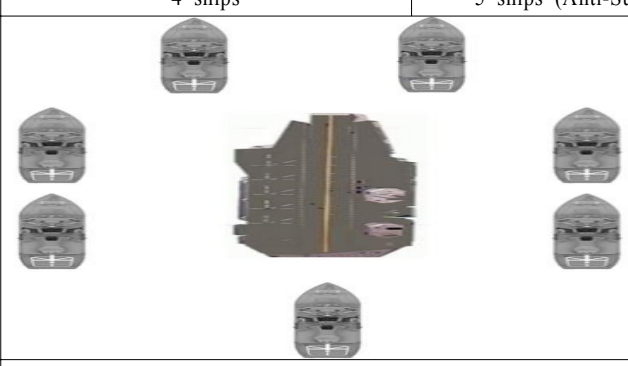
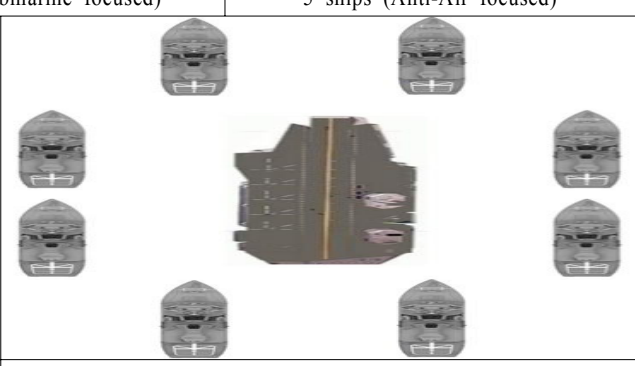
		
4 ships	5 ships (Anti-Submarine focused)	5 ships (Anti-Air focused)
		
7 ships	8 ships	

Table 21. Analysis Result by Number of Naval Ships

Category	Optimal Combination	Fire power index	O&S cost index	ratio power vs. cost
4 ships	KDDX 2척, DDH-II 2척	7.1652	1.212	5.911881188
5 ships (Anti-Submarine focused)	KDDX 2척, DDH-II 3척,	8.6776	1.4324	6.058084334
5 ships (Anti-air focused)	KDDX 2척, DDH-II 2척, FFG-II 1척	8.2055	1.3053	6.286294338
6 ships	KDDX 2척, DDH-II 2척, FFG-II 2척	9.2458	1.3986	6.610753611
7 ships	KDDX 2척, DDH-II 3척, FFG-II 2척	10.7582	1.619	6.644966028
8 ships	KDDX 2척, DDH-II 4척, FFG-II 2척	12.2706	1.8394	6.670979667

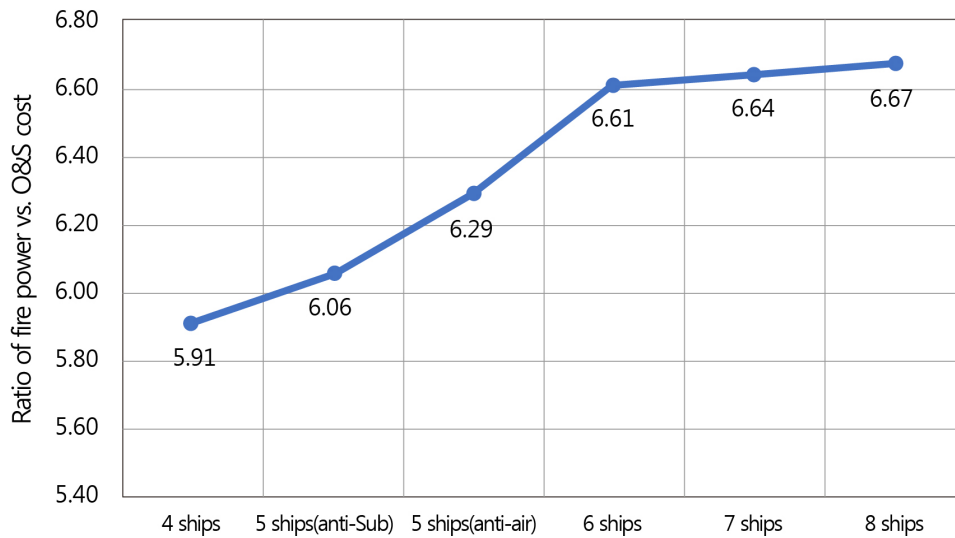


Figure 4. Graph of Cost-to-power Index

<Table 20>의 구성도에 따라 최적조합을 산출한 결과는 <Table 21> 및 <Figure 4>와 같다. 전력지수 분석모형에 선정된 함형의 <Table 12> 데이터를 합산하여 해당 항모전투단의 총 전력지수를 산출하였으며 함형의 운영유지비 합을 통해 운영유지비용 대비 전력지수를 산출하였다.

산출결과 척수가 늘어남에 따라 비용 대비 전력지수는 증가하는 것으로 확인되었다. 충분한 운영유지비가 확보된다면 척수를 증가시킴으로써 항모전투단의 총 전력지수를 높일 수 있다. 다만 비용 대비 전력지수는 <Figure 4>와 같이 6척 이후부터는 약간의 증가세만 있을 뿐 효율 상승이 미미함을 볼 수 있다. 결국 항모전투단 조합 구성에 있어 운영유지비용 대비 전력지수 상승의 효율은 6척일 경우가 가장 적절할 것으로 판단된다.

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 급변하는 해양안보 환경과 임무의 목적에 따라 해상지휘관이 그에 맞게 항모전투단을 유연하게 구성할 수 있는 실질적인 모형을 제시하였다는데 그 의의가 있다. 이를 위해

후보 함형에 대한 전력지수 수치화를 진행한 후 대함, 대지, 대공, 대잠, 기동성 및 자동화 능력 및 운영유지비를 평가요소로 하였으며, 산출한 값을 바탕으로 임무와 상황에 맞는 항모전투단 구성 최적 조합을 산출하는 수리 모형을 수립한 것이다. 이는 단순히 현재 운용중인 기동전단 구성에만 맞추어 전투단을 구성하는 것이 아닌 정량적인 데이터를 바탕으로 구성했다는 것에 의미가 있다.

다만 연구를 진행하며 한계점도 분명히 존재하였다. 연구 주제가 군사와 관련된 내용이기에 밀바탕이 되는 데이터 수집에 있어 많은 제한사항이 있었다. 연구 전반에 군사보안 목적상 대부분의 데이터는 인터넷 등에 공개된 자료만 활용하였으며, 미사일의 탄두 중량, 사거리와 같은 내용은 비밀성 자료가 될 수 있으므로 임의의 값을 활용하였다. 또한 향후 건조 예정 함형의 경우 실제 데이터가 아닌 기존 함형 데이터를 통해 예측한 값이므로 실제와는 많이 다를 수 있다. 결국 함형별 산출한 전력지수가 실제와는 다소 차이가 있을 수 있다. 그러므로 본 제시된 모형을 토대로 해군 차원에서 보다 정확한 데이터 수집과 연구가 진행되길 기대한다.

본 연구 결과를 바탕으로 향후 추가적인 연구를 수행한다면 해군 전력의 핵심이 될 항모전투단의 최적 조합 구성에 과학

적인 근거 모형으로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Boo, S. -Y. (1998), RCS Reduction and Threat Evasion Effect, *Maritime Weapon System Development Seminar*, 2, 117.
- Cho, S.-H., Lee, M.-G., and Jang, Y.-B. (2016), Combinatorial Optimization Model of Air Strike Packages based on Target Groups, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 42(6), 386-394.
- Dunnigan, J. (2003), How to make war, 172-173, 240-243, U.S.A: *Harper Collins Publishers Inc.*
- Ha, T.-B. (2019), Future task force operation and naval aviation power generation, 131-134, *The Korea Naval Education & Training Command*.
- Kil, B.-O. (2021), National Security Strategy of Light Aircraft Carrier and Its Impact on the National Economy, *Review of Korean Military Studies*, 20, 3-20.
- Kim, J.-H. (2015), Comparative Analysis and Implications of Naval Power in Japan and China, *Military Forum*, 84, 264-291.
- Lee, M.-G. and Song, C.-H. (2014), An Optimization Methodology for Military Airspace Allocation, *Journal of the Aviation Management Society of Korea*, 12(2), 47-65.
- Park, H.-J. (2020), A study on the combination of the Korea carrier strike group and the organization of light aircraft carriers, The Korea Naval University graduation thesis.
- Park, Y.-H. (2021), The Japanese Navy has achieved its carrier ambitions, Korea: The Joongang Newspaper.
- Ryu, H.-M. and Lee, M.-G. (2015), A Study of Allocation of Military Airspace and Range Using Goal Programming, *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, 40(2), 63-77.
- Tetsuya Kakitani. (2014), Dictator of the sea-aircraft carrier, 083-092, Korea: Books hill Publishers Inc.
- Global Firepower - 2022 World Military Strength Rankings.
- Yoon, G.-Y. (2022), The Justification of Possessing a Naval Light Aircraft Carrier, *KIMS Periscope*, 267, 1-11.
- You, B.-J., Bae, H.-Y., and Oh, S.-K. (2021), Comparative Analysis and Implications of Naval Power in Korea and Japan, *Japanese Cultural Studies*, 77, 171-199.
- www.navy.mil.kr - Official website of the Korea navy.
- www.navy.mil - Official website of the United States navy, the US navy aircraft carriers.

저자소개

장기원 : 해군사관학교 국방경영과학과에서 2011년 학사 학위를 취득하고 국방대학교 국방과학학과에서 석사과정에 재학중이다. 연구분야는 최적화, 시뮬레이션이다.

이문걸 : 공군사관학교에서 1995년 학사, 국방대학교 및 미 해대원에서 2004년 석사학위를 취득하고, 2009년 서울대학교에서 산업공학 박사학위를 취득하였다. 현재 국방대학교 국방과학학과 교수로 재직하고 있으며 연구분야는 시스템 최적화, 군사 OR/SA, 국방 AI, Modeling and simulation 등이다.

권기덕 : 해군사관학교 국방경영과학과에서 2010년 학사 학위를 취득하고 국방대학교 국방과학학과에서 2022년 석사 학위를 취득하였다. 현재 해군 잠수함사령부에 재직 중이며 연구분야는 최적화, 시뮬레이션이다.