

전시 함정 손실률 산정 방법론: 사례연구를 중심으로

옥경찬¹⁾ · 임동순^{*1)} · 최봉완¹⁾

¹⁾ 한남대학교 산업공학과

A Case Study on Implementation of Methodology for Wartime Warships Damage Rate Estimation

Kyoung-Chan Ok¹⁾ · Dong-Soon Yim^{*1)} · Bong-Wan Choi¹⁾

¹⁾ *Department of Industrial Engineering, Hannam University, Korea*

(Received 17 August 2016 / Revised 13 October 2016 / Accepted 6 January 2017)

ABSTRACT

Wartime warship damage rate indicates how much damage of friend warships shall have occurred during naval battles accomplished under specific war operational plans. The wartime damage rate analysis provides the baseline of wartime resources requirements. If wartime damage rate is overestimated, the national finance will get to negative effects because of exceeding the budget for inventory, operation, and maintenance of resources. Otherwise, if wartime damage rate is underestimated, the national defense will lose in the war because of lack of critical resources. In this respect, it is important to estimate the wartime damage rate accurately and reasonably. This paper proposes a systematic procedure to estimate the wartime warship damage rate. The procedure consists of five steps; force analysis, operation plan analysis, input variable definition, simulation modeling, and output analysis. Since the combat simulation model is regarded as the main tool to estimate damage rate, the procedure is focused on the development of model and experiments using the model. A case study with virtual data is performed to demonstrate the effectiveness of the developed procedure.

Key Words : Wartime Warship Damage Rate, Combat Simulation Model, Resources Requirement Analysis

1. 서론

전시 함정 손실률이란 전시 또는 이에 준하는 국가 비상사태 시 전쟁계획에 의거 주어진 작전목표를 달

성하기 위해 전투를 수행하는 과정에서, 적의 공격에 의해 아군 함정 및 탑재장비가 어느 정도 손실을 받는지를 추정하는 척도로 함정별/기간별 손실량을 산정하고, 이를 백분율로 나타내는 것이다. 전시 손실률은 국가 비상사태 발생 시 전쟁수행능력을 보장하기 위한 전시 자원소요의 중요한 근거가 된다. 따라서 전시 손실률이 과대하게 예측되면 불필요한 전시 자원을

* Corresponding author, E-mail: dsyim@hnu.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

과도하게 확보하게 된다. 이는 전시 물자 재고관리 및 장비 유지비에 많은 재원이 낭비되므로 국가재정에 큰 부담을 주게 된다. 반면, 전시 손실률이 과소하게 예측되면 전쟁수행 능력이 떨어져 전쟁에 패하게 되는 주된 원인이 된다¹⁾.

이러한 측면에서 전시 손실률 산정은 평시에 적절한 전쟁수행능력을 준비토록 하여, 국가비상사태 발생 시 군이 국가를 효과적으로 방위할 수 있도록 기반을 형성하게 하는 중요한 과제이다. 전시 손실률을 산정하기 위해서는 적 위협과 공격양상을 철저히 분석하여, 적·아 작전계획과 작전목표를 바탕으로 전쟁양상을 예측하고, 이에 부합하는 전시 손실률을 주기적으로 산정하여야 한다.

본 논문은 해군의 함정 손실률에 대한 체계적인 산정방법론을 제시하는 데 목적이 있다. 특히, 기존의 분석모델을 보완할 수 있는 확률적 특성을 가지는 시물레이션 모델을 개발하여 전시 손실률을 산정절차를 제시한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 전시 손실률의 기존연구 현황을 살펴보고, 3 장에서는 해군의 함정 손실률 산정방법론을 제시한다. 4 장에서는 제시된 손실률 산정방법론을 바탕으로 가상의 자료들을 활용하여 전시 함정 손실률 산정 사례연구를 수행한 결과를 보고하고, 5 장에서는 기존 분석모델과 개발한 모델 간 비교분석을 통해 신뢰도를 검증한다.

2. 관련 연구

2.1 기존 연구현황

해군의 전시 함정 손실률 연구는 1998년에 국방연구원(KIDA) 주관으로 최초 연구가 시작되었으며, 1999년에 『해·공군 전시 피해율 산정 - 함정 및 비행기지를 중심으로』 연구결과가 발간되었고, K-2004(함정)으로 표준화 되었다²⁾. 이후 2005년에도 국방연구원이 연구를 주관하여 『전시 함정/항공기 및 탑재장비 피해율(K-2008)』 연구결과를 발간하였다³⁾. 위 기존연구들은 적의 공격양상과 아군의 작전계획 시나리오를 바탕으로 미군이 운용 중인 전구급 분석모델(ITEM: Integrated Theater Engagement Model)을 이용하여 함정 및 탑재장비의 손실률을 산정하였다.

해군은 2011년에 해군작전 및 전시 소요자원을 과학적으로 산정하기 위해 해군분석모델(NORAM: Naval Operations and Resources Analysis Model)을 개발하였으

며, 이를 이용하여 해군 함정/항공기 및 탑재장비 손실률 산정을 시작하였다.

2.2 기존 분석모델의 능력과 제한점

해군은 전시 함정 손실률 연구에 ITEM 모델과 NORAM 모델을 사용하고 있다. ITEM 모델은 미군의 전구급 합동작전 분석모델이다. 모델 운용을 위해 플랫폼 생성 후, 무기체계 및 센서체계 탑재까지 세부적으로 이루어지며, 모의 시나리오가 정한 기동로에 따라 플랫폼들이 이동하면서 교전이 발생하게 된다. 모의결과는 결정형 전투평가 논리를 사용하고 있다. 이는 모의시나리오별로 결정된 한 개의 전투손실결과만 산출된다. 또한 모델운용이 복잡하고 장시간이 소요되는 모델이다. 특히, DB구축에서 모의시나리오 입력까지 장기간이 소요되어 많은 예산과 연구인력이 요구된다.

NORAM 모델은 ITEM 모델의 접근성과 운용성이 제한되는 점을 극복하기 위해 한국해군이 개발한 해군 분석모델이다. 기본 DB를 가지고 있으며, 시나리오별로 사용자 위주의 DB 입력창을 제공해서 관련된 DB 조정이 가능하다. DB구축 과정에서 무기체계 변수 및 게임인수 관리 등이 이루어진다. NORAM 모델도 결정형 전투평가 논리를 사용하고 있다. 모의결과는 인원, 장비, 유류, 탄약소모 등 다양한 분야별로 산출된다. NORAM 모델은 ITEM 모델에 비해 모델 접근성과 운용성은 나아졌으나, 전시 손실률 산정 연구에 많은 시간과 연구인력이 필요하다. 또한 결정형 모의결과 산출은 작전계획 발전과정에서 전시 함정 손실률에 대한 분산정도가 예측되지 않으므로 인해 전쟁 시나리오별 손실경향과 손실범위 예측에 한계가 있다. 이러한 ITEM 모델과 NORAM 모델의 제한점을 보완하는 위해 운용성이 좋으면서, 단시간 내 분석을 지원할 수 있는 확률형 모델 연구가 필요하다. 그리고 시물레이션 출력에 대해 과학적 방법론을 적용하는 분석절차 정립도 필요하다⁴⁾.

3. 전시 함정 손실률 산정 방법론

3.1 전시 함정 손실률 산정 방법론 개요

전시 함정 손실률 산정은 5단계로 이루어진다. 1단계 전력분석, 2단계 작전계획 분석, 3단계 시물레이션을 위한 모의 핵심변수 분석, 4단계 모델링 및 시물레

이선, 5단계 세부 함정 손실률 분석으로 구성된다. Fig. 1은 전시 함정 손실률 산정 절차를 나타내고 있다.

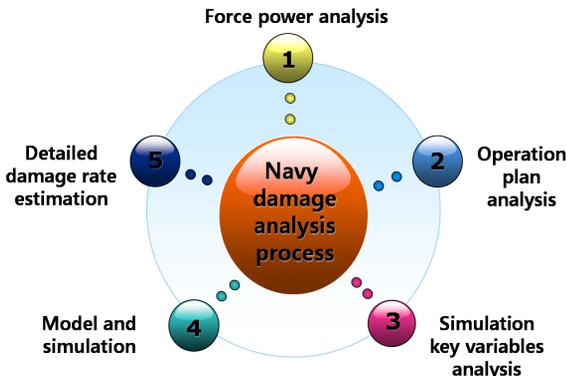


Fig. 1. Navy damage rate analysis process

3.2 전력분석(1단계)

전력분석은 해당 작전구역에서 투입될 수 있는 적 전력과 아 전력의 규모와 투입되는 함정별 전투력 분석을 의미한다. 여기서, 해상작전 교전구역에서 핵심적으로 판단되어야 하는 내용은 투입되는 함정의 종류(수상함, 잠수함 등)와 척수이다. 또한, 각 함정에 탑재되는 전투체계 능력, 무기체계 종류/명중률/파괴율, 센서체계의 탐지능력 등이 정량적으로 분석된다.

3.3 작전계획 분석(2단계)

작전계획 분석은 적의 공격방책을 분석하는 것으로부터 시작된다. 적의 공격방책 분석은 적이 보유 중인 무기체계와 해상장비를 운용하는 전술에 대한 분석으로 구성된다. 이를 통해 적의 공격과 방어에 대한 방책들을 구상할 수 있다. 이러한 적 방책 구상은 적의 입장에서 무기체계와 전술을 바탕으로 세우기 때문에 다양한 방책이 나올 수 있다. 이때 가장 가능성이 있는 적 방책과 가장 위험한 적 방책으로 구분해서 방책 발전이 이루어진다.

아 작전계획은 적 방책에 대해 아 전력을 어떻게 효과적으로 대응할 것인가를 시간의 흐름에 따라 구체화시킨 것이다. 즉, 적의 공격과 방어에 대해 아 전력운용과 대응절차의 나열이다. 이러한 적 공격방책과 아 작전계획 분석을 통해서 시뮬레이션을 모의할 수 있는 시나리오가 구체화된다. 2단계의 핵심은 적의 공격과 방어에 대한 방책과 아 작전계획에 대한 두 가지 모의 시나리오를 생성하는 것이다.

이때 모의 시나리오는 시간대별 투입 전력규모와 전투강도가 구체적으로 결정되어야 한다. 이것은 적 방책과 아 작전계획으로 다 설명되지 않는 부분이기 때문에, 적 보유전력에 대한 시간대별 투입 전력규모와 전투강도는 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석기법^[5]을 통해 결정한다.

3.4 모의 핵심변수 분석(3단계)

해상에서 운용되는 센서체계 및 무기체계의 발달로 인해 지상교전과 해상교전 간의 전쟁양상은 크게 달라지고 있다. 즉 지상교전은 지형을 이용한 기동과 대형을 중심으로 한 공격과 방어가 매우 중요하지만, 해상교전은 은폐하거가 방호물이 없는 개방되고 넓은 전장 환경이기 때문에, 우수한 센서체계로 먼저 식별하고 장거리 무기체계로 선제공격을 하는 것이 효과적인 공격인 동시에 성공적인 방어가 된다.

이러한 해상교전의 양상을 고려 시 해상작전에서 모의 핵심변수는 크게 3가지로 정리된다. 첫째는 레이더 및 소나 등 센서체계의 탐지율(Pd: Probability of detection), 둘째는 공격과 방에에 이용되는 무기체계의 명중률(Ph: Probability of hit), 셋째는 플랫폼별 파괴율(Pk: Probability of kill)이다. 여기서, 센서체계 탐지율, 무기체계 명중률 및 플랫폼 파괴율 분석은 실험적 분석자료를 바탕으로 구성되게 된다. 따라서 아군의 경우에는 체계개발 및 장비운용 과정에서 누적된 데이터를 활용하여 상기 모의 핵심변수를 산출할 수 있다. 반면, 적 무기체계의 모의 핵심변수에 대해서는 실험적 데이터를 확보할 수 없기 때문에 레이더/소나 탐지 방정식, 무기체계 명중률 방정식, 플랫폼 파괴율 방정식 등을 활용하여 모의분석을 하게 된다.

3.5 모델링 및 시뮬레이션(4단계)

본 논문에서는 모의 핵심변수를 활용하여 확률 기반의 ARENA 해상전 모델을 개발한다. 이때 각각의 함정별 해상교전 상황을 전투체계 측면에서의 프로세스와 센서 탐지율/무기체계 명중률 논리를 융합해서 ARENA 해상전 모델을 발전시킨다.

3.6 세부 함정 손실률 산정(5단계)

ARENA 해상전 분석모델에 작전단계별 전투강도를 고려하여 적 투입전력을 순차적으로 입력하여 해상전 교전결과를 산출한다. 이때 ARENA 해상전 모델은 함정들이 교전 중에 적 무기체계에 의한 아 함정들의 피

격횡수 범위가 산출된다. 이때 적 무기체계의 종류(유도탄, 함포, 어뢰)와 아 함정의 파괴율에 따라 함정 손실척수 범위를 수리적으로 계산한다. 이후 아 함정별 누적 손실척수와 최초 투입전력을 비교분석하여 작전 단계별 함정 손실률을 산정한다.

전시 함정 손실률 산정 시 전투력복원은 다음과 같은 이유로 고려하지 않는다. 지금의 해상교전은 배틀리듬이 지상교전에 비해 짧게 이루어진다. 무기체계 및 센서체계의 발달은 넓은 해상에서 신속한 표적식별과 교전이 이루어지기 때문에 배틀리듬이 지상교전에 비해 매우 짧게 나타난다. 또한 함정이 손상을 입을 경우, 함정구조의 복잡성과 특수성으로 인해 현실적으로 단기간 수리가 제한적이다. 따라서 배틀리듬을 작전단계별로 1주일씩 설정하고, 작전단계별 손상함정에 대한 전투력복원 변수는 미반영한다.

4. 전시 함정 손실률 산정 사례연구

4.1 전시 함정 손실률 산정 사례연구 개요

전시 함정 손실률은 크게 두 가지 방법으로 접근할 수 있다. 첫째는 함대급 수준의 함정 손실률 산정이다. 함대별로 함정 손실률을 분리하여 산정하는 이유는 함대별로 중심이 되는 작전이 전장환경과 작전중심(적·아 전력의 지정학적 거리)에 따라 차이가 있기 때문이다. 둘째는 함대별 함정 손실률이 종합되어 전구급 함정 손실률로 산정된다. 전구급 수준의 함정 손실률은 해군의 전체 함정을 대상으로 함정별/기간별 손실률을 산정한다.

본 논문에서는 전시 함정 손실률 산정 사례 적용을 위해 예시적인 데이터를 활용해서 함대급 수준의 함정 손실률을 산정한다. 1단계 전력분석은 2016년 기준 인터넷에 공개되어 있는 예시적인 데이터를 활용해서 적·아 무기체계와 전력규모를 분석한다. 2단계 작전계획 분석은 적의 가상 작전계획 시나리오를 작성하고 이에 대응하는 아 작전계획 시나리오를 작성한다. 3단계 시뮬레이션을 위한 핵심변수 분석은 센서체계 탐지율, 무기체계 명중률, 플랫폼 파괴율에 대한 확률방정식을 적용한다. 4단계 모델링 및 시뮬레이션은 ARENA를 이용하여 함대급 수준의 분석모델을 모델링하고 시뮬레이션 한다. 5단계 세부 함정 손실률 분석은 ARENA를 통해 산출된 함정별/기간별 함정 손실률을 세부적으로 산정한다.

4.2 전력분석(1단계)

공개된 인터넷 사이트(en.wikipedia.org/wiki/List_of_active_North_Korean_ships)에 따르면 적 해군함정은 크게 잠수함, 전투함으로 구분된다. 잠수함은 상어급 잠수함이 40여척, 로미오급 잠수함이 20여척, 기타 잠수함 20여척 등 80여척이다. 전투함은 소형함정이 주류를 이루고 있으며 유도탄정 30여척, 어뢰정이 220여척, 소형경비정 200여척, 중형경비함 10여척 등 460여척이다. 적 함정에 탑재된 무기체계를 살펴보면, 적 잠수함은 구형 디젤추진 소형잠수함이 주류를 이루고 있으며 대표적인 상어급 잠수함은 300톤급으로 소나와 어뢰 2발을 장착한다. 로미오급 잠수함은 1,500톤급으로 소나 및 어뢰 8발을 장착한다. 적 전투함 중 위협적인 세력인 유도탄정은 100~200톤급으로 레이더와 2~4발의 대함유도탄을 장착한다. 어뢰정은 레이더와 2~6발의 어뢰를 장착한다. 함대급 함정 손실률 산정을 위해서 적 전력 규모를 동·서해 각각 50 % 보유하고 있는 것으로 가정하고, 잠수함 40척, 전투함 230척으로 설정한다.

공개 사이트(en.wikipedia.org/wiki/List_of_active_Republic_of_Korea_Navy_ships)에 따르면 아 해군함정은 잠수함, 전투함, 항공기로 크게 구분된다. 잠수함의 경우에는 1,400톤급 장보고급 잠수함(KSS-I) 9척, 1,900톤급 손원일급 잠수함(KSS-II) 9척 등 18척을 보유하고 있다. 전투함은 구축함(DDH/DDG) 12척, 호위함(FF/FFG) 12척, 초계함(PCC) 18척, 고속정(PKM)/고속함(PKG) 96척 등 138척을 보유 중이다. 해군 항공기는 대잠/초계임무를 주 임무로 담당하는 고정익 항공기(P-3C) 18기 및 회전익 항공기(Lynx) 23기 등 41기를 보유하고 있다. 함대급 모의분석을 위해, 한반도 삼면이 바다인 것을 고려해서 아 해군의 투입 전력규모는 총 전력의 1/3 전력을 투입하는 것으로 가정한다. 잠수함 6척, 구축함 4척, 호위함 4척, 초계함 6척, 고속정/고속함 32척, 고정익 항공기 6기, 회전익 항공기 8기를 투입전력으로 한다.

아 해군함정에 탑재된 무기체계는 최첨단 전투체계와 유도무기를 장착하고 있다. 이지스 구축함의 경우에는 이지스 전투체계 및 다목적 레이더(SPY-1D), 5인치 함포, 근접방어무기체계(CIWS, RAM), 대공유도탄 80발, 대함유도탄 16발, 대지유도탄 48발, 어뢰 6발, 대잠헬기 2기 탑재 등의 전투력을 보유하고 있다. 호위함은 한국형 전투체계 탑재, 5인치 함포, 근접방어무기체계(CIWS, RAM), 대함유도탄 8발, 어뢰 6발, 대잠헬기 1기를 탑재한다. 초계함은 76 mm 함포 2문, 40

mm 함포 2문, 대함유도탄 4발, 어뢰 6발 등을 탑재한다. 고속함은 한국형 전투체계 탑재, 76 mm 함포 1문, 40 mm 함포 1문, 대함유도탄 4발 등을 탑재한다. 고속정은 40 mm 함포 1문, 20 mm 함포 2문 등을 탑재한다. 항공기는 대잠탐색 및 공격 임무를 수행한다. 상기 적·아 투입전력 규모 판단 및 무기체계 분석결과는 시뮬레이션 최초 입력데이터 및 교전모의논리 구성의 핵심 참고자료로서 활용된다. Table 1은 전력분석을 통해 얻은 함대급 손실률 산정을 위한 투입전력을 요약 정리한 것이다.

Table 1. Simulation input forces

Simulation Input force	North Korea force	South Korea force
Surface warship	Small : 230	Large : 4 Middle : 10 Small : 32
Submarine	40	6
Aircraft	-	14
Total	270	66

4.3 작전계획 분석(2단계)

모의분석을 위해서 공개된 예시적 데이터를 활용하여 적 공격방책을 발전시킨다. 인터넷 공개 자료 중 『북한의 남한 급습 시나리오』(amoureye.blog.me/220462477925)를 참고하면, 전시 적 해군의 공격방책을 다음과 같이 예측할 수 있다. 1단계 해안포 및 지대함 미사일 등을 활용한 포격도발, 2단계 잠수함을 이용한 특수요원 침투, 3단계에서는 잠수함으로 후방 공격 및 교란, 4단계에서는 기습상륙작전, 5단계에서는 연안방어 순으로 작전을 전개한다.

적 공격방책을 바탕으로 아 작전계획은 다음과 같은 작전에 중점을 두고 작전계획을 수립할 수 있다. 1단계 대유도탄전, 2~3단계 대잠전, 4단계 대상륙작전, 5단계 대함전 순이다. 적·아 작전계획에서 단계별로 다른 전투강도가 예상된다. 전투강도가 높을 경우에는 높은 함정 손실률이 발생하게 되고, 전투강도가 낮을 경우에는 낮은 함정 손실률이 예상된다. 또한, 전투강도가 높다는 의미는 많은 적·아 전력이 투입된다는 의미이므로, 전투강도와 적·아 투입전력은 비례한다. 이처럼 작전단계별 전투강도를 예측하는 것은 전시

손실률 산정에서 매우 중요하므로, 정량적이고 과학적인 전투강도 예측이 필요하다. 이를 위해서 적 공격방책에 대해 AHP 분석을 적용한다. 설문은 해군작전에 10년 이상 경력이 있는 영관장교 30명을 대상으로 하였다. 평가요소는 각 작전단계에 대한 적의 공격능력, 방어능력, 생존능력으로 세분화하였다. 적의 공격능력은 공격무장의 능력과 지휘통제체계 능력으로 판단하고, 적의 방어능력은 조기경보능력과 방어준비상태로 판단한다. 생존능력은 개별 개체들의 취약성 정도와 후속군수지원 능력으로 판단한다^[6].

Table 2는 30개의 설문 결과를 바탕으로 각 작전단계별 전투강도를 분석한 결과이다.

Table 2. Battle severity by AHP

North Korea operation plan step	Battle severity
Step1 Surprise attack	5.1 %
Step2 Special farce ops	7.6 %
Step3 Submarine ops	24.7 %
Step4 Landing ops	45.4 %
Step5 Seashore ops	17.1 %

일관성 지수 CR(Consistency Ratio)는 0.1을 기준으로 하였고, CR이 0.1 이상자 3명은 통계처리 시 제외하였다. AHP 분석결과, 적은 작전계획 4단계에서 45.4%의 비중을 두고 있어 전투강도가 가장 높게 나타날 것으로 예상된다. 적 공격방책 기준으로 작전단계별 전투강도 양상은 4단계(45.4 %) > 3단계(24.7 %) > 5단계(17.1 %) > 2단계(7.6 %) > 1단계(5.1 %) 순으로 예상된다. 이에 따라 작전단계별 투입되는 적·아 전력규모도 전투강도에 비례하여 시뮬레이션에 입력한다.

4.4 모의 핵심변수 분석(3단계)

해상작전의 모의 핵심변수는 센서체계 탐지율, 무기체계 명중률, 플랫폼의 파괴율로 구성된다. 첫째, 센서체계 탐지율은 레이더와 소나 탐지율로 구분된다. 레이더의 탐지거리를 구하는 방정식^[7]은 식 (1)과 같다

$$R_{RDR} = \sqrt[4]{\frac{P_T G_T^2 \lambda^2 \sigma_t}{(4\pi)^3 P_R^{RDR}}} \quad (1)$$

여기서, P_T 는 송신출력, G_T 는 레이더 안테나 이득, P_R^{RDR} 는 레이더에 수신되는 전력, λ 는 레이더 반송파의 파장, σ_t 는 표적의 RCS, R_{RDR} 는 레이더 탐지거리이다. 만약, P_R^{RDR} 의 최소 수신감도가 결정되면, 표적별 R_{RDR} 레이더의 최대 탐지거리를 예측할 수 있다. 상기 레이더 탐지거리를 기준으로 가장 성능이 우수한 대형함정 레이더 탐지거리를 100 %로 설정한다면, 중형함정과 소형함정의 레이더 성능은 레이더 탐지거리를 기준으로 상대적 비율로 전환 할 수 있다. 예를 들어, 레이더 탐지거리 방정식에 의해 소형표적에 대한 레이더 탐지거리가 대형함정은 45 km이고, 중형함정은 37 km, 소형함정은 26 km로 산출되었다면, 레이더 성능의 상대적 비율은 대형함정이 100 %일 때, 중형함정은 82 %, 소형함정은 57 %로 설정된다. 이러한 방법으로 레이더 탐지율을 함정별로 설정한다.

소나 탐지율은 많은 연구에서 활용하는 Koopman 방정식^[8]을 이용하였다.

$$F_d(t) = 1 - e^{-\frac{wvts}{A}} \quad (2)$$

여기서, w는 소나탐지폭, v는 함정 속도, t는 대잠탐색 가용시간, s는 함정 척수, A는 대잠탐색 할당구역 크기를 나타낸다. Koopman 방정식을 활용해서 지정된 대잠탐색 구역에서 플랫폼별 소나 탐지율을 예측할 수 있다. 예를 들어, 해상작전구역을 반경 50 NM 구역으로 설정하고, 24시간 동안 작전 시 플랫폼별 소나 탐지율은 Table 3과 같이 산정된다.

Table 3. Sonar detection probability in the assigned ASW(Anti Submarine Warfare) area

	Aircraft	Large ship	Middle ship
w (Width)	0.1	0.2	0.1
v (Speed)	100 kts	20 kts	20 kts
t (Time)	24 hrs	24 hrs	24 hrs
s (# Ships)	1 aircraft	1 ship	1 ship
Operation radius	50 nm	50 nm	50 nm
A (Area)	7850 nm ²	7850 nm ²	7850 nm ²
Pd (Probability of detection)	3 %	1.2 %	0.6 %

무기체계 명중률은 유도탄/함포 명중률과 어뢰 명중률로 구분된다. 유도탄/함포는 명중률(Probability of hit) 방정식을 식 (3)과 같이 적용한다.

(www.alternatewars.com/BBOW/ABC_Weapons/Nuke_Exchange_Calcs.htm)

$$P_h = 1 - 0.5^{\left(\frac{LR}{CEP}\right)^2} \quad (3)$$

여기서, LR은 치명반경, CEP는 원형공산오차이다. 유도탄은 유도체계를 장착하고 있기 때문에 CEP가 작은 반면 LR은 상대적으로 클 수 있기 때문에 명중률은 높게 나타난다. 반면, 함포는 유도체계가 없이 관성비행을 하기 때문에 CEP는 넓고 LR은 상대적으로 작아서 명중률은 낮다. 상기 변수 특성을 고려해서, 유도탄은 CEP : LR 비율을 1 : 1 비율로 적용하고 적어 동일하게 유도탄 명중률을 75 %로 설정한다. 함포는 CEP : LR 비율을 50:1 비율로 적용해서 함포 명중률을 2.7 %로 설정한다.

어뢰는 어뢰 명중률 방정식^[9]을 식 (4)와 같이 적용한다.

$$P_h = 1 - e^{-\frac{r^2}{2R^2}} \quad (4)$$

여기서, r은 어뢰휴효사거리, R은 어뢰-표적간 거리이다. 시뮬레이션을 위해 r : R 비율은 1 : 1로 적용하고 어뢰 명중률을 39 %로 설정한다.

함정의 파괴율 방정식은 식 (5)과 같이 적용한다. (en.wikipedia.org/wiki/Probability_of_kill)

$$P_k = 1 - \theta^{\left(\frac{P_d P_h R_{sys} R_w}{T_{strength}}\right)^2} \quad (5)$$

여기서, P_d 는 센서 탐지율, P_h 는 무기체계의 명중률, R_{sys} 는 전투체계 신뢰도, R_w 는 무기체계 신뢰도, $T_{strength}$ 는 표적의 강도, θ 는 무기의 종류에 따른 상수로 유도탄은 0.5, 어뢰는 0.1로 한다. 예를 들어, 적 유도탄에 의해 아 함정이 피격을 당한 상황에서 식 (5)를 적용해 보면 다음과 같다. 적 레이더 탐지율 1, 적 유도탄 명중률 0.75, 적 전투체계 신뢰도 0.7, 적 유도탄 신뢰도 0.7, 아 고속정 강도 0.2로 설정 시 아 고속정의 취약성은 0.90로 산정된다. 반면, 아 구축함은 강도를 0.8로 설정 시 아 구축함의 취약성은 0.14로 산정

된다. 이처럼, 파괴율 방정식을 활용해서 적 공격으로 아 플랫폼이 피격을 당할 경우, 아 플랫폼별 크기와 강도를 고려해서 피해관정을 내릴 수 있도록 설정한다. 유도탄 또는 어뢰에 함정이 피격 시, 식 (5)을 적용하면 플랫폼별 파괴율 현황은 Table 4와 같이 산정된다.

Table 4. Probability of kill in different size ships

Probability of kill (Pk)	Missile ($\theta : 0.5$)	Torpedo ($\theta : 0.1$)
Large ship (Ts : 0.8)	14 %	38 %
Middle ship (Ts : 0.5)	31 %	71 %
Small ship (Ts : 0.2)	90 %	100 %
Submarine (Ts : 0.2)	90 %	100 %

Table 5. Input data summary

Key variables		Input data summary
Sensor capacities	Radar capacity probabilities	- Large ship 1.00 - Middle ship 0.82 - Small ship 0.57
	Sonar capacity probabilities	- Aircraft : 0.03 - Large ship : 0.012 - Middle ship : 0.006
Weapon capacities	Probability of hit for missile	: 0.75 * Assume CEP : LR = 1 : 1
	Probability of hit for gun	: 0.75 * Assume CEP : LR = 50 : 1
	Probability of hit for torpedo	: 0.39 * Assume r : R = 1 : 1
Probability of Kill	Probability of kill for missile	- Large ship 0.14 - Middle ship 0.31 - Small ship 0.90 - Submarine : 0.90
	Probability of kill for torpedo	- Large ship 0.38 - Middle ship 0.71 - Small ship 1.00 - Submarine : 1.00

상기 모의 핵심변수 분석을 통해 결정된 변수를 종합하면 Table 5와 같이 정리된다. 여기서 시뮬레이션 입력 데이터는 기본적으로 누적된 실험데이터를 근거로 하여 합리적 추정을 한다. 하지만 본 논문은 군사보안상 문제로 인해 제시된 확률방정식 내 각각의 변수는 상호간 상대적 비중을 고려해서 임의 값을 적용하였다.

4.5 모델링 및 시뮬레이션(4단계)

모델링 및 시뮬레이션 단계는 ARENA를 활용하여 전시 함대급 해상교전 모델을 프로그래밍하고 시뮬레이션 한다. ARENA에서 해상교전을 묘사하기 위해서 두 가지 핵심 모의논리가 필요하다. 첫 번째는 Fig. 2와 같이 전투체계 측면의 교전논리이다.

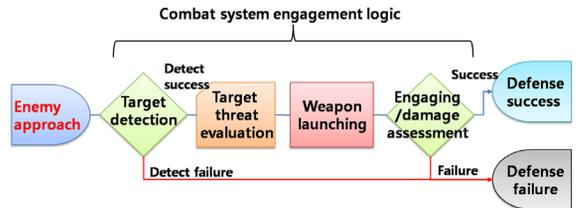


Fig. 2. Engagement logic of combat system

플랫폼별로 접근하는 적 표적에 대해서 센서접촉 및 적아식별을 한다. 접촉된 표적에 대해 위협평가를 하고, 위협 우선순위가 높은 표적에 대해서 무장할당^[10] 및 사격통제를 한다. 그리고 적이 최적 교전거리까지 접근 시 무장발사를 하고 교전결과에 대해 평가한다. 교전성공을 하면 방어성공이고, 교전실패로 평가되면서 재교전할 시간적 여유가 없을 경우는 방어실패로 귀결된다.

두 번째 핵심모의 논리는 탐지율/명중률 측면의 교전논리로서 Fig. 3과 같다.

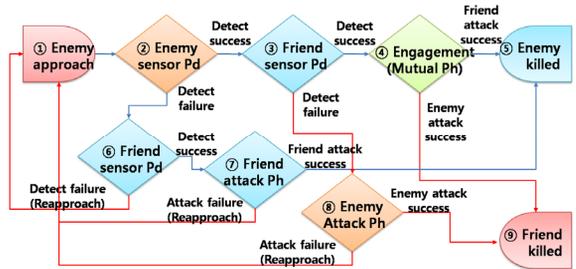


Fig. 3. Engagement logic by Pd and Ph

적 함정이 접근 시 적·아 중 센서를 이용하여 먼저 접촉하는 쪽이 공격의 주도권을 가지게 된다. 만일, 상호 접촉 시에는 무기체계의 공격성공률에 따라 공격과 실패의 승패가 결정된다. 적·아 모두 접촉 실패하든지, 공격 실패하는 경우에는 적 함정은 재접근을 하기 위해, 접촉·공격원점으로 돌아가게 된다. 상기 두 가지 모의논리를 가지고 ARENA를 활용하여 모델링한 결과는 Fig. 4와 같다.

ARENA 해상전 모델에서 교전시간과 투입전력은 작전단계별로 분할해서 입력하고 시뮬레이션 한다. 예를 들어, 작전단계가 7일이면 7일간 모의시간을 부여하고 해당 작전단계의 적·아 투입전력을 입력한다. 교전시간 동안 해상전 모델에서 엔터티는 플랫폼으로 구현되며, 탐색과 교전은 Table 5에서 살펴 본 핵심변수의 확률값에 따라 구현된다. 적군 함정이 접근 할 때 플랫폼 유형에 따른 개별 센서의 탐지확률에 의해 표적에 대한 접촉여부가 결정된다. 다음으로 무장발사 및 위협순위 평가는 「First Come, First Service」 개념과 동일하게 먼저 탐지한 플랫폼이 표적을 선 공격하도록 모의논리가 구현되고, 표적을 접촉한 개소는 보유하고 있는 무기체계의 명중률에 따라 표적 명중여부가 결

정된다. 플랫폼별 기동속력 묘사는 확률방정식 내에 포함된 플랫폼 속도변수의 조정으로 구현된다.

한반도에서 적 해군이 운용하는 무기체계를 기준으로 판단하면, 유도탄전, 함포전, 대잠전 등이 핵심적인 해상교전 양상이 된다. 따라서 ARENA 해상전 모델은 유도탄전, 함포전, 대잠전 중심의 복합전 모델로 개발되었다. 기본적으로 해상교전은 복합전으로 진행되지만, 4.3절 작전계획에 따라 1단계 작전은 유도탄전 위주로, 2~3단계 작전은 대잠전 위주로, 4~5단계 작전은 유도탄전/함포전 양상으로 시뮬레이션이 구현된다. ARENA 해상전 모델에서 각각의 작전단계 구현은 AHP 분석을 근거로 시간대별 투입 전력규모와 전투강도에 따라 시뮬레이션 된다. 다음으로 ARENA 해상전 모델은 각각의 시뮬레이션 모듈들이 확률을 기반으로 하고 있다. 즉 소형표적에 대한 대형함의 레이더 탐지거리를 1.00으로 설정하고 중형함과 소형함은 대형함의 탐지거리를 기준으로 상대적 비율을 레이더 탐지 확률 값으로 적용한다.

ARENA 해상전 모델에서 함정의 배진과 위치, 함정 이동은 다음과 같이 구현된다. 교전구역에서 아군 전력은 해상배진이 된 상태이고, 함정 간 일정거리를 유

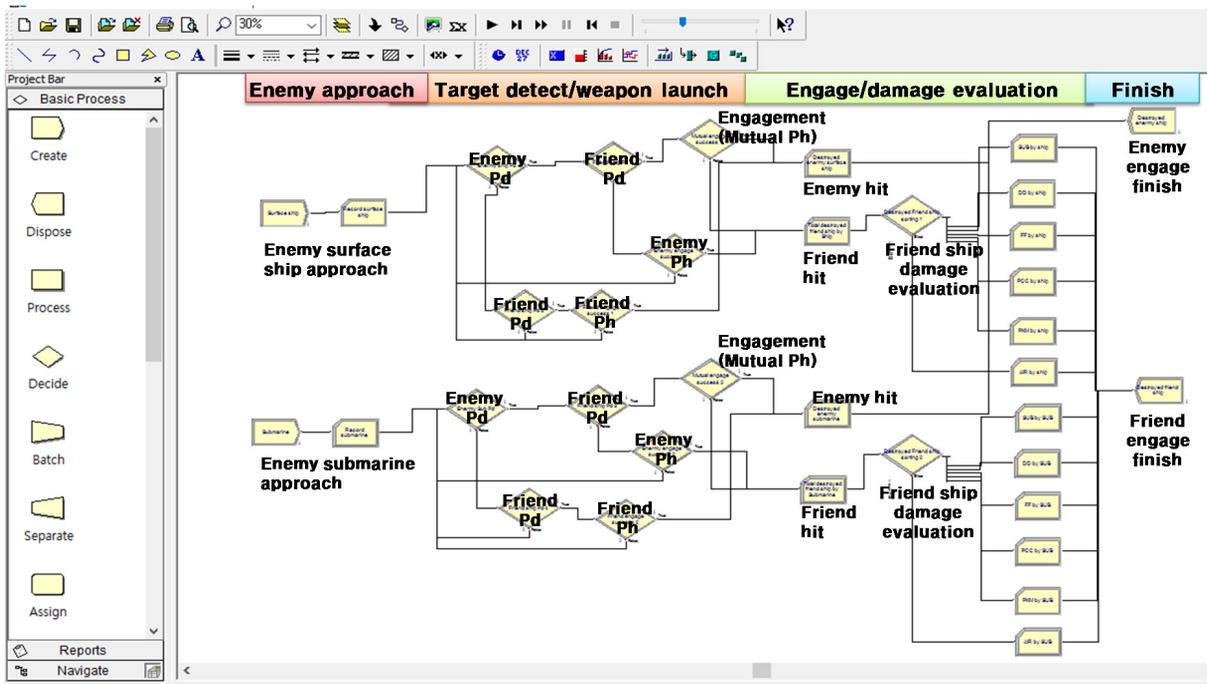


Fig. 4. ARENA user interface of navy warship battle model

지하고 있다. 적군은 아군에 접근해서 해상교전이 발생된다. 또한, 유도무기체계에 의해 플랫폼별 교전시 단발씩 발사되고 교전 평가 후 재교전 하며, 함정 손상에 따른 무장능력 저하는 구현되지 않는다.

4.6 세부 함정 손실률 산정(5단계)

세부 함정 손실률 산정은 다음과 같은 절차를 거친다. 우선, Table 2의 작전단계별 전투강도를 고려하여 적 투입전력을 판단하면 Table 6과 같이 산출된다.

Table 6. Initial force input for operation step

North Korea operation plan step	Battle severity	Enemy surface ship (Total 230)	Enemy submarine (Total 40)
Step1 Surprise attack	5.1 %	12	2
Step2 Special Force Ops	7.6 %	17	3
Step3 Submarine Ops	24.7 %	57	10
Step4 N.k Landing Ops	45.4 %	104	18
Step5 Seashore Ops	17.1 %	39	7

작전단계별 투입전력을 ARENA 해상전 모델에 입력하면, 적 무기체계에 의한 아 소형함의 피격횟수 범위가 Fig. 5와 같이 산출된다.

Fig. 5는 작전단계별로 아 소형함이 적 무기체계별로 어느 정도 피격을 받을 것인지를 ARENA 해상전 모델을 50회 시뮬레이션 한 결과이다. 여기서 소형함이 작전단계별로 어느 정도 피격을 받는지를 평균과 표준편차로 나타내고 있다.

작전단계별 적 무기체계에 의한 아 함정들의 피격횟수 범위에 Table 4 아 함정의 파괴율(Probability of kill)을 적용하면, 아 함정의 세부 손실척수 범위가 산정된다. Fig. 6은 아 함정의 피격횟수 범위와 손실척수 범위를 작전단계별로 비교한 것이다.

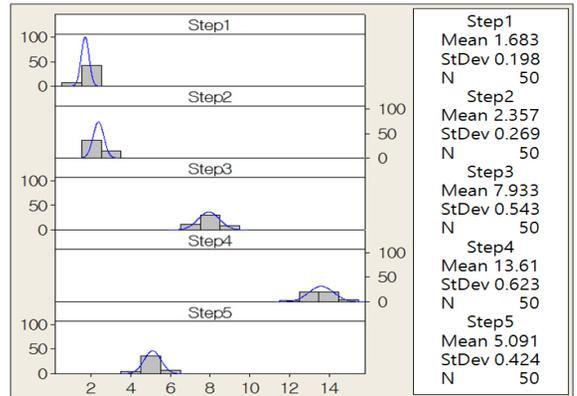


Fig. 5. Number of hit success to small ships

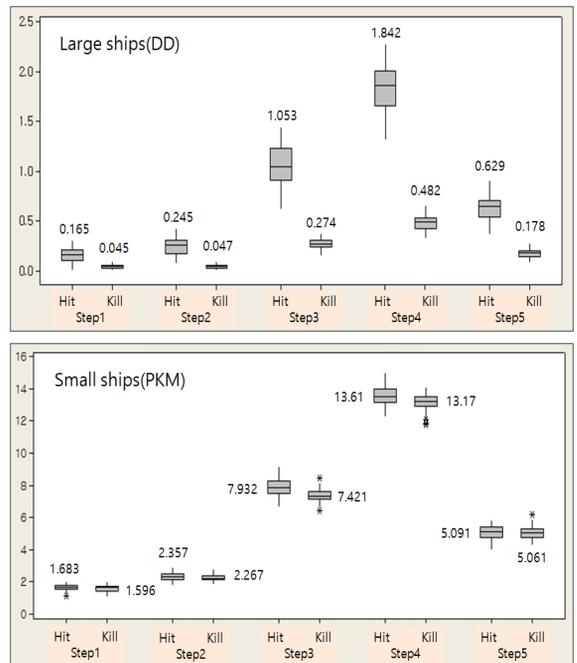


Fig. 6. Comparison hit and kill

대형함의 경우는 함정의 자체 방어력과 강도가 높기 때문에 적 공격에 의한 피격횟수가 실질적인 대형함의 손실척수에 직결되지는 않는다. 따라서 대형함의 피격횟수 범위 구간에 비해 손실척수 범위는 작게 나타나고 있다. 반면, 소형함의 경우에는 대형함에 비해 상대적으로 함정의 자체 방어력과 강도가 낮기 때문에 적 공격에 의한 피격횟수와 비례해서 손실척수가 나타나고 있다. 따라서 작전단계별 피격횟수 범위와 손실척수 범위가 매우 유사하게 나타난다.

상기 프로세스를 전체 함정에 적용해서, 아 함정별 손실척수를 계산하고, 최초 투입된 아 함정척수와 비교하면, Table 7과 같이 전체 작전에서 함정별 손실률을 산정할 수 있다.

Table 7. Damaged warships & rate by ARENA

ARENA result	Initial input force	Mean of damaged ships	Stdv of damaged ships	Total damage rate	Stdv of damage rate
DD	4	1.028	0.101	0.257	0.025
FF	4	2.333	0.203	0.583	0.051
PCC	6	4.009	0.239	0.668	0.040
PKM	32	29.522	0.903	0.923	0.028

ARENA 해상전 모델에 예시적 데이터를 입력하고 시뮬레이션 한 결과, 전시 함정 손실률은 대형함(DD)은 평균 25.7 %에 표준편차 2.4 %, 중형함(FF)은 평균 58.3 %에 표준편차 5.1 %, 중형함(PCC) 평균 66.8 %에 표준편차 4.0 %, 소형함(PKM) 평균 92.3 %에 표준편차 2.8 %가 예상된다. 상기 손실률 결과는 개진 초 투입전력을 기준으로 산정한 결과이다.

5. 검 증

가상 데이터를 활용해서 ARENA 해상전 모델과 ITEM 모델 간 전시 함정 손실률 산정에 대해 검증 한다. 4장의 입력데이터 및 작전계획을 ITEM 모델에 적용 시 해상교전은 Fig. 7과 같이 모의된다.



Fig. 7. Naval engagement example of ITEM

이에 따라 전체 작전기간 동안 ITEM 모델에 누적된 함정별 손실 척수는 Table 8과 같이 산정된다.

Table 8. Damaged warships & rate by ITEM

ITEM result	Initial input force	Damaged ships	Total damage rate
DD	4	1	0.250
FF	4	2	0.500
PCC	6	4	0.666
PKM	32	28	0.875

ARENA 해상전 모델에서 산정된 함정 손실척수가 ITEM 모델의 함정 손실척수와 차이유무를 양측검증 (유의수준 = 0.05) 하에서의 정규분포를 활용하여 검증한다. 귀무가설은 ARENA 해상전 모델의 함정 손실척수 결과는 ITEM 모델의 함정 손실척수 결과와 같다고 설정한다. 정규분포 검정결과는 Table 9와 같다.

Table 9. Hypothesis testing

Hypothesis testing	Z value	P value	Testing result ($\alpha = 0.05$)
DD	0.28	0.779	Null hypothesis is not rejected (ARENA and ITEM models may produce the similar results)
FF	1.64	0.101	
PCC	0.04	0.969	
PKM	1.69	0.092	

정규분포를 활용하여 ARENA 해상전 모델과 ITEM 모델 간 손실척수를 비교분석한 결과, 통계치 P값이 9.2 % ~ 96.9 %로 산출된다. 이는 양측검증 유의수준 2.5 %보다 크기 때문에 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 ARENA 해상전 모델과 ITEM 모델은 유사한 함정 손실률 결과를 산정할 수 있음이 검증된다.

6. 결 론

본 논문은 전시 함정 손실률 산정을 위한 체계적인 절차를 제시하였다. 전시 함정 손실률 산정은 5단계로 이루어진다. 1단계 전력분석은 적 전력과 아 전력의

규모와 투입되는 개별 합정의 전투력을 분석한다. 무기체계의 종류/명중률/파괴율과 센서체계의 탐지능력 등의 데이터가 정량적으로 수집 및 분석된다. 2단계 작전계획 분석은 적의 방책 및 아 작전계획 분석을 통해 적·아 모의 시나리오를 작성한다. 3단계 모의 핵심변수 분석은 센서체계 탐지율, 무기체계 명중률, 합정별 파괴율 관련 확률방정식을 활용하여 분석한다. 실제적으로는 해당 무기체계의 실험데이터를 활용하지만, 수집 불가능한 무기체계의 경우에는 관련된 확률방정식을 적용하여 핵심변수를 산출한다. 4단계 모델링 및 시뮬레이션은 확률 기반의 ARENA 해상전 모델을 개발한다. 5단계 세부 합정 손실률 산정은 작전 단계별 전투강도를 고려하여, 적·아 투입전력이 입력되고, 합정별/기간별 손실률을 산정한다.

향후 전시 합정 손실률 연구의 발전에 기여하기 위해, 함대급 수준의 가상 모의 시나리오를 바탕으로, 제시한 전시 합정 손실률 산정 절차에 따라 사례연구를 진행하였다. 특히 2단계 작전계획 분석에서는 정성적 수준의 작전계획 시나리오를 시뮬레이션 모의가 가능한 정량적 수준의 시나리오로 전환하기 위해 AHP 분석기법을 적용하여 작전단계별 전투강도와 투입전력 규모를 정량적으로 분석하였다. 3단계 모의 핵심변수 분석에서는 탐지율/명중률/파괴율 등에 대한 확률방정식을 활용하여 입력데이터 및 모의논리를 발전시켰고, 4단계 모델링 및 시뮬레이션에서는 ARENA 해상전 모델을 개발함으로써 다양한 상용 시뮬레이션 도구를 활용한 해상전 분석모델 개발 가능성을 제시하였다.

종합적으로, 본 논문은 해군의 전시 합정 손실률 연구 방법론 정립과 함대급 수준의 전시 합정 손실률 산정 사례연구, 상용 시뮬레이션 도구를 활용한 다양한 해상전 분석모델 개발의 가능성을 제시하였다. 더욱이 기존의 해군분석모델이 결정형 모델이기 때문에 이를 보완하는 확률형 모델을 개발하고, 전쟁양상에 대한 손실범위와 손실경향을 제시하였다. 그리고 개발된 ARENA 해상전 모델과 기존 모델과의 비교분석을 통해 ARENA 해상전 모델의 전시 합정 손실률 산정 결과에 대한 신뢰성을 제고하였다.

후 기

이 논문은 2016년도 한남대학교 교비학술연구 조성비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Jung Hae Seo, "Proposal of Optimal Wartime Ammunition Requirement Estimation," Weekly Military Journal of KIDA 1526, pp. 1-8, 2013.
- [2] Jung Hae Seo, "Proposal of Estimation Methodology of Wartime Resources Requirement," National Defense Policy Study, p. 50, 2001.
- [3] Hye Lyeong Kim, "A Study on an Operational Availability Computation Model for Weapon Systems," Journal of Military Operations Research Society of Korea, p. 29, 2009.
- [4] Soo Dong Choi, Sang Ho Kim, "A Study on Estimation Methodology of Ground Equipment Requirement," Military Policy Study, pp. 38-40, 2003.
- [5] Saaty, Thomas L., "How to Make a Decision; The Analytic Hierarchy Process," Interfaces, Vol. 24, No. 6, pp. 19-43, 1994.
- [6] Jae-Moon Lee, Chi-Young Jung, Jae-Yeong Lee, "The Combat Effectiveness Analysis of Attack Helicopter Using Simulation and AHP," Journal of the Korea Society for Simulation, pp. 63-70, 2010.
- [7] Tae Yong Park, Jae Sung Lim, "Method on Radar Deployment for Ballistic Missile Detection Probability Improvement," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, pp. 670-674, 2016.
- [8] Kwangyong Hwang, Kyoungchan Ok, Youngjin Kim, Bongwan Choi, Hyunseung Oh, Kwansoon Choi, "A Study on Development Direction of Next Generation Naval Combat System Architecture," Journal of the KIMST, p. 114, 2016.
- [9] Hyunsoo Shin, Junghoon Kim, Bongwan Choi, Dongsoo Yim, "A Study on V-C Interoperability Test and Methodology of V-C Interoperation Analysis for Next Generation Maritime Warfighting Experimentation Systems," Journal of the KIMST, p. 91, 2016.
- [10] Dong-Soon Yim and Bong-Whan Choi, "Performance Comparison of Heuristics for Weapon-Target Assignment Problem with Transitivity Rules in Weapon's Kill Probability," Journal of the Military Operations Research Society of Korea, Vol. 36. No. 3, pp. 29-41, 2010.