

차세대 함정 전투체계 아키텍처 구축방안에 관한 연구

황광룡¹⁾ · 옥경찬¹⁾ · 김영진¹⁾ · 최봉완¹⁾ · 오현승^{*,1)} · 최관선²⁾

¹⁾ 한남대학교 산업경영공학과

²⁾ 한화탈레스(주) 해양/시스템 연구소

A Study on Development direction of Next-generation Naval Combat System Architecture

Kwangyong Hwang¹⁾ · Kyoungchan Ok¹⁾ · Youngjin Kim¹⁾ · Bongwan Choi¹⁾ · Hyunseung Oh^{*,1)} · KwanSeon Choi²⁾

¹⁾ Department of Industrial Engineering, Hannam University, Korea

²⁾ Naval Systems R&D Center, Hanwha Thales Co., Ltd., Korea

(Received 31 July 2015 / Revised 7 December 2015 / Accepted 18 December 2015)

ABSTRACT

A naval combat system is the system of systems who supports naval indigenous operations by integrating and inter-operating many different kind of weapons, which has characteristics of large scale complex computing system.

ROK Navy has been built a blue ocean navy, so that large scale warships are under constructions. However, warship combat system architecture has not been well studied so far in Korea. The paper focuses on current combat system architecture and propose the next generation combat system architecture, which will give the development direction of ROK Navy. In order to complete combat system architecture studies, the system engineering process shall be applied to the study. Moreover, ARENA simulation tool is used for verification of combat system architecture. The system engineering process is as follows: next-generation naval combat system requirement analysis, functional architecture analysis and physical architecture analysis.

Key Words : System of Systems, Combat System Architecture, Modeling & Simulation, ARENA Simulation

1. 서론

함정 전투체계는 해상에서 대함전, 대공전, 대잠전,

대탄도탄전 등 복합전을 수행하기 위한 복합 무기체계이다. 이를 위해 고도의 정밀성과 신뢰성이 요구된다. 또한, 급속하게 변화하는 전장환경과 위협에 융통성 있게 대응하기 위해 센서체계, 무장체계 및 각종 네트워크 체계를 통합하는 완성도 높은 전투체계 아키텍처 개발은 매우 중요한 과업이다.

* Corresponding author, hsoh@hnu.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

오늘날 가장 대표적인 함정 전투체계는 1983년부터 운용되기 시작한 미해군의 ‘이지스(AEGIS) 전투체계’이며, 현재도 지속적으로 이지스 전투체계 성능개량은 진행되고 있다. 1990년대 이후에는 NATO 국가들을 중심으로 자국산 함정 전투체계를 개발하여 운용 중에 있는데, 영국의 SSCS(Surface Ship Command System), 프랑스의 TAVITAC(Traitement Automatique et Visualisation Tactique), 네덜란드·독일의 SEAWACO (Sensor Weapon And Command) 등이 대표적인 함정 전투체계이다. 함정 전투체계의 구성은 소프트웨어, 통신 체계, 네트워크 및 연동 장치, 다기능 콘솔을 포함하며, 광의의 의미에서는 정보수집 자산(레이더체계, 소나체계)과 무기체계까지 포함한다. 이와 같이 복합 무기체계로 구성된 함정 전투체계를 개발하기 위하여 시스템 엔지니어링 프로세스를 적용한다. 시스템 엔지니어링 프로세스는 3단계로 진행된다. 1단계는 요구성능 분석(Requirements analysis), 2단계는 기능아키텍처 분석(Functional architecture analysis), 3단계는 물리아키텍처 분석(Physical architecture analysis)으로 구분된다.

함정 전투체계 아키텍처와 관련된 선행연구는 주로 협동교전능력(CEC : Cooperative Engagement Capabilities) 과 탄도탄방어체계(TBMD : Theater Ballistic Missile Defense) 구축에 관한 연구가 수행되었다. 공방표(2006)는 전산지원 시스템 엔지니어링(CASE : Computer Aided Systems Engineering) 도구 중의 하나인 CORE 5.0을 사용하여 한국 해군의 CEC 탑재함정에서 연구개발 시 필요한 운용아키텍처를 제시하였다¹⁾. CEC 탑재함정에 대한 외부 위협수준 및 전장 환경에 필요한 운용요구사항을 식별하고 기능아키텍처와 물리아키텍처를 작성한 후 상호간의 관계설정을 통해 운용아키텍처를 도출하였다.

엄진욱(2012)은 현재 뿐만 아니라 미래전장에 주된 위협으로 등장한 북한의 탄도탄 다층방어체계 구축방향과 CEC의 중요성에 맞추어진 함정 전투체계 아키텍처를 제시하였다. 특히 IDEF(Integrated definition for function modeling) 프로그램을 활용한 탄도탄 방어를 위한 기능아키텍처를 제시하였다²⁾.

김점수(2013)는 급격하게 발전하는 민수기술과 국제상용 표준기술의 적극적으로 도입하여 상용체계(COTS : Commercial Off The Shelf) 적용한 아키텍처 개선 필요성에 대해 연구를 수행하고, 함정용 전투체계 아키텍처 개선을 위한 실시간 운영체계 적용방안을 제시하였다³⁾.

한편, 대잠전 분야에서 장재훈(2006)은 Multi static sonar의 효과도 분석 연구를 수행하였다⁴⁾. 베이시안 결정기법(Bayesian decision)을 기반으로 다중센서 융합 기법, Dual static sonar 최적배치를 통한 소나망의 최적화 방법 및 센서 재배치 방법을 제안하였으며, 제안된 모델을 토대로 Multi static sonar 효과도를 분석하였다.

이와 같이 함정 전투체계와 관련된 선행연구들을 검토한 결과, 함정 전투체계 아키텍처 분석이 상위 시스템 수준(Top level system)에 머무르고 있었고, 기능 아키텍처 및 물리아키텍처에 대한 연구도 심화된 분석 수준까지는 진전되지 못한 실정이었다. 따라서 함정 전투체계 아키텍처의 세부 요소들 간 상호관계뿐만 아니라, 전투체계 아키텍처 개발 프로세스, 핵심 발전분야 식별 및 개선된 아키텍처에 대한 시뮬레이션 검증 등의 심화연구가 필요하다.

본 논문에서는 이러한 시스템 엔지니어링 프로세스에 따라 단계별로 분석하고 ARENA 시뮬레이션 분석검증을 통해 차세대 함정 전투체계 아키텍처 구축방안을 제시하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 차세대 함정 전투체계 아키텍처 구축방안 연구로서 2.1절은 차세대 함정 전투체계 아키텍처 개발 프로세스를 소개하고, 2.2절은 차세대 함정 전투체계 요구성능을 분석하며, 2.3절은 차세대 함정 전투체계 기능아키텍처를 도출하고, 2.4절은 차세대 함정 전투체계 물리아키텍처를 도출한다. 3장은 차세대 함정 전투체계 아키텍처 시뮬레이션을 검증하는 단계로서 ARENA 프로그램을 활용하여 차세대 전투체계 아키텍처를 분석하고 마지막 4장에서는 결론 및 향후 연구로 구성하였다.

2. 차세대 함정 전투체계 아키텍처 구축방안

2.1 차세대 함정 전투체계 아키텍처 개발 프로세스

본 논문에서는 Fig. 1과 같이 시스템 엔지니어링 프로세스를 적용하여 차세대 함정 전투체계 아키텍처를 개발하고자 한다.

1단계는 요구성능 분석으로서 임무분석, 운용환경 분석, 요구능력 정의, 기능분석, 디자인 제한사항 분석 등으로 구성된다. 2단계는 기능아키텍처 분석으로서 하부시스템 분석, 내·외 인터페이스 정의, 하부 기능 아키텍처 분석 등으로 구성된다. 3단계는 물리아키텍처 분석으로써 기능아키텍처를 물리아키텍처로 구현

시키고, 물리아키텍처 내·외의 인터페이스를 분석한다. 시스템 엔지니어링 프로세스 전 단계에 걸쳐서 Modeling & Simulation과 효과도 분석 등의 시스템 분석이 지원된다.

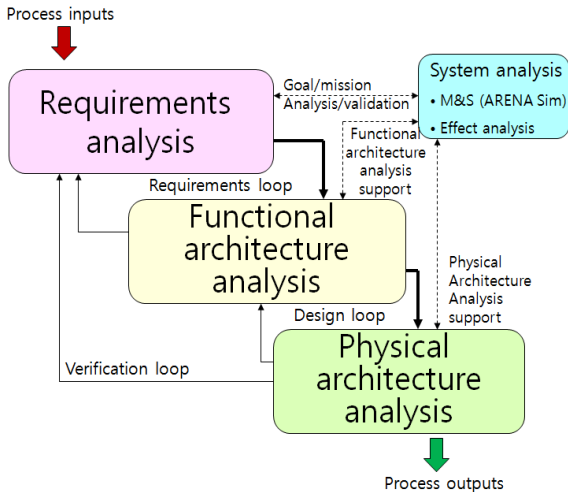


Fig. 1. System engineering process^[5]

본 논문에서 시스템 분석은 ARENA 프로그램을 활용하여 기능아키텍처와 물리아키텍처를 분석하였다. ARENA 프로그램은 실무 및 교육 측면에서 전 세계적으로 가장 활용도가 높은 상용 시뮬레이션 전용 언어로써 확률분포 추정, 난수발생, 실험결과 분석, 대기행렬 및 재고 시스템, 의사결정논리, 시스템 프로세스 모델링 등 수리적 모형과 시뮬레이션 모형으로 확장할 수 있는 강력한 도구이다. 특히 Open source 기반의 최신 상용모델로써 수리적 모형과 알고리즘 모델링이 용이하고 단순 시스템에서 복잡한 시스템으로 확장이 용이하여 본 연구의 아키텍처 검증 프로그램으로 활용하였다.

2.2 차세대 함정 전투체계 요구성능 분석

차세대 함정 전투체계 요구성능 분석 시 고려요소들을 정리하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

함정 전투체계 요구성능에 크게 영향을 미치는 대분류 요소에는 작전환경과 무기체계 발전방향으로 분류된다. 다음으로 차세대 함정 전투체계 요구성능의 세부 영향요소에는 작전목표, 전투체계 운용개념, 임박한 위협과 관련된 교전 프로세스, 선진국의 전투체계 운용현황과 전투체계 설계 제한사항들이 있다.

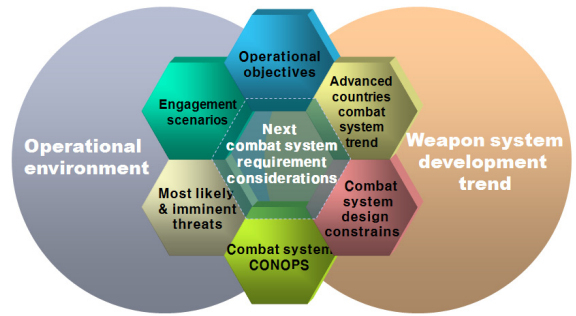


Fig. 2. Next generation naval combat system requirement considerations

본 연구에서 함정 전투체계 요구성능에 가장 크게 영향을 미치는 대분류 요소인 주변국 안보위협 변화에 따른 작전환경과 무기체계 발전방향에 대해 정리한다.

첫째, 동북아 지역은 미국이 군사적 우위를 유지하고 있는 가운데 중국과 일본, 러시아도 해·공군력을 중심으로 군사력을 증강시키고 있다. 주변국들은 첨단 무기를 이용한 장거리 정밀타격·스텔스 공격 등 첨단 정보기술전 형태로 전쟁 수행능력을 크게 향상시키고 있어 미래 전쟁 양상 변화에 따른 안보위협 심각성이 증대되고 있다. 특히 북한은 한국에 대한 군사적 우위를 확보하기 위해 핵, 탄도탄, 대량살상무기와 잠수함정 전력 등 비대칭 전력을 집중적으로 증강시키고 있다.

북한 해군은 전투함정 430여 척, 상륙함정 260여 척, 기뢰전함정(소해정) 20여 척, 지원함정 40여 척, 잠수함정 70여 척을 보유하고 있는데, 최근, 신형 어뢰 개발에 이어 탄도탄 탑재가 가능한 신형 잠수함 등 새로운 형태의 잠수함정을 지속 건조하는 것으로 보이는 등 잠수함정 공격 능력을 크게 향상시키고 있다^[6].

둘째, 무기체계의 발전방향은 다음과 같다. 탑재 무장의 입체·다차원화와 정보수집에서 교전, 방호에 이르는 각종 임무수행이 수평적으로 네트워크화 되고 있다. 장래에는 항공기 및 대함미사일뿐만 아니라 탄도탄에 대한 대응도 해군함정의 주요 임무로 요구될 것이다. 따라서 해상에서의 탄도탄 감시 및 요격이 작전적 요구로 지속 증가 될 것이다. 그리고 기술적으로도 큰 진보가 계속됨으로 인해, 발사 후 상승→외기권 비행→대기권으로의 하강에 이르는 전 단계에서 요격이 가능 할 것이다^[7]. 또한 차세대 함정 전투체계는 대탄도탄전·대공전·대함전·대잠전 무기 중심의 지휘통제체계(C2 : Command & Control)과 무장통제체계(WCS

: Weapon Control System)가 통합된 가운데 각종 지원 기능들을 하나의 네트워크로 결합하여 전투함정의 모든 기능과 자원들이 총괄적으로 운용되는 통합전투체계(Integrated combat system)로 발전되고 있다. 즉, 대탄도탄전·대공전·대함전·대잠전을 동시에 복합적으로 수행할 수 있는 함정 전투체제로 지속 발전하고 있다⁸⁾.

상기 작전환경과 무기체계 발전방향에 부합하기 위해서는 개방형 구조를 기반으로 하는 고속·대용량 자료처리 능력을 갖춘 전투체계가 요구된다. 여기서 개방형 구조 전투체계가 요구되는 이유는 기존의 폐쇄적인 무기체계 구조로 인한 단점을 극복하고 진화적인 전투체계를 유지하기 위해서이다. 기존의 폐쇄적인 전투체계 구조에서는 체계개발과 센서체계 및 무장체계를 연동하기 위해 과도한 비용과 시간이 요구되었다. 이것은 급속하게 진화하는 하드웨어와 소프트웨어를 따라갈 수 없는 구조였기 때문에 선진국 전투체계들은 COTS 기반의 개방형 구조 전투체제로 발전되고 있다.

미 해군이 2016년 전력화 목표로 개발하고 있는 Zumwalt급 DDG-1000 전투체계는 개방형 구조 전투체계를 적용하고 있고, 함정통합 컴퓨팅 환경(TSCE : Total Ship Computing Environment) 개념을 적용하여 함정 내에 탑재되는 모든 함정 통제체계 및 전투체계를 통합하여 함 운용을 자동화 및 최적화하고 있다⁹⁾.

그리고 네트워크 중심 기능 구현이 요구된다. 최대의 생존성이 보장되도록 동적 소프트웨어 구성과 전투체계 장비 간 실시간으로 자료전송이 되도록 고속 네트워크 CORE로 구성되고 있으며, CSI(Computer System Infrastructure)가 손상을 받더라도 고유 임무가 완수되도록 “항시-구동(Always-up)” 시스템으로 설계하고 있다. 뿐만 아니라 분산 컴퓨터 환경, 대용량 네트워크 기반구조, COTS 기반을 통해 네트워크 유지보수가 용이하고 정보전 공격을 방어하기 위한 네트워크 보안능력도 강화하고 있다¹⁰⁾. 상기 내용을 종합하면 차세대 함정 전투체계 요구성능은 Fig. 3과 같이 정리된다.

차세대 함정 전투체계 아키텍처 검증 및 효과도 측정을 위한 교전프로세스는 대탄도탄전·대공전·대함전·대잠전 등 4개 분야로 구성된다. 여기서 대탄도탄전·대공전·대함전은 수상 및 공중 표적을 레이더로 탐지하고 교전하기 때문에 동일한 절차를 따른다. 반면, 대잠전은 소나로 대잠표적을 탐지하고 교전이 이루어지므로 약간 상이한 절차를 따른다.

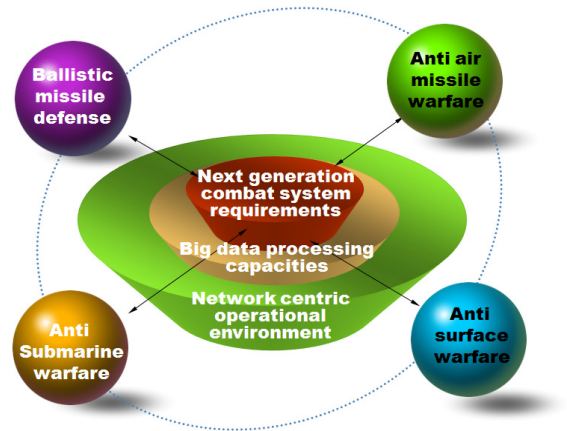


Fig. 3. Next generation combat system requirements

대탄도탄전·대공전·대함전의 교전 프로세스는 4단계로 구성된다. 1단계는 탐색계획 구축하는 단계로서 대공·대함 탐색구역을 설정하고 레이더 탐색 자원을 할당한다. 2단계는 표적 탐지단계로서 표적을 접촉하면 IFF(Identification Friend or Foe)로 표적을 식별하고 표적 전자파를 분석한다. 3단계는 표적을 관리하는 단계로서 표적자료를 비교분석하여 표적정보를 추적 관리하고 표적위험을 평가하며 위험우선순위를 산출한다. 4단계는 표적과 교전하는 단계로서 가용한 무기체계에 표적을 할당하고 표적을 추적한다. 사격통제 시스템을 활성화하여 무장을 할당하고 무장발사 후 교전을 평가한다. Fig. 4는 대탄도탄전·대공전·대함전 교전 프로세스를 나타내고 있다.

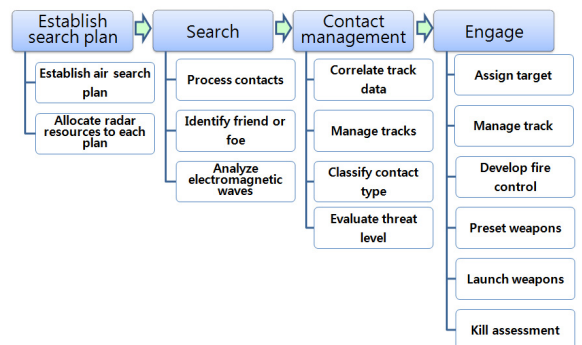


Fig. 4. Radar engagement process

대잠전 교전 프로세스도 4단계로 구성된다. 1단계는 소나 탐색계획을 구축하는 단계로서 대잠 음속환경과 음파손실에 대한 해양환경을 분석하고 소나 탐지거리

를 예측한다. 이를 바탕으로 대잠탐색 모드를 결정해서 운용하게 된다. 2단계는 표적 탐지 단계로서 표적을 접촉하기 위한 대잠기동과 표적음파를 수집한다. 수집된 표적 음파 데이터는 음원의 방향, 크기, 특성 등에 따라 분류되고 표적 데이터의 신뢰도 향상을 위해 잡음 제거 과정을 거친다. 3단계는 표적관리 단계로서 수집된 표적 음파 데이터를 보유하고 있는 음파 데이터베이스와 비교분석하면서 표적을 지속적으로 추적 관리한다. 이후 누적된 표적 데이터를 바탕으로 기

존 표적 데이터베이스와 비교분석을 통해 표적 유형을 분류하고 적성여부를 판단하며, 표적위협에 따른 위협 우선순위를 평가한다. 4단계는 표적과 교전 단계로서 표적을 추적센서에 할당하고 지속적으로 추적한다. 사격통제 시스템을 활성화하고 무장에 표적을 할당하며, 표적과 최적의 교전거리에서 교전을 실시하고 교전평가를 한다. 대잠전 교전 프로세스는 Fig. 5와 같이 정리된다.

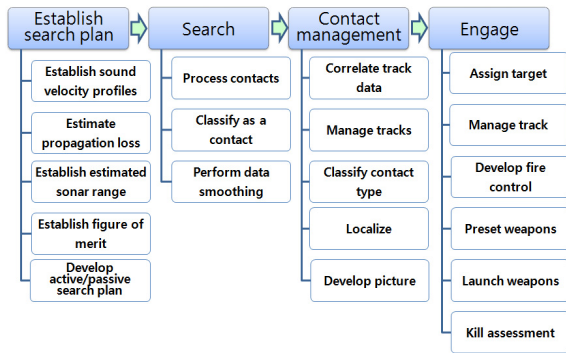


Fig. 5. Sonar engagement process

2.3 차세대 함정 전투체계 기능아키텍처 도출

본 절에서는 한국 해군이 보유하고 있는 구축함 전투체계를 기존 함정 전투체계로 설정하여 차세대 함정 전투체계 기능아키텍처를 구현한다. 먼저 기능아키텍처의 정의를 살펴보면, 하부 시스템들의 기능과 상호작용을 아키텍처로 도식화한 것으로 각각의 하부 시스템들이 어떻게 연동되어 주어진 임무를 수행하는지를 나타낸다. 또한, 전체 시스템 개발과정에서는 기능적 측면과 임무달성 측면에서 검증 시 활용된다.

우선 대탄도탄전·대공전·대함전·대잠전 분야에 대한 기존 함정 전투체계의 기능아키텍처를 도식화하면 Fig. 6과 같이 나타난다.

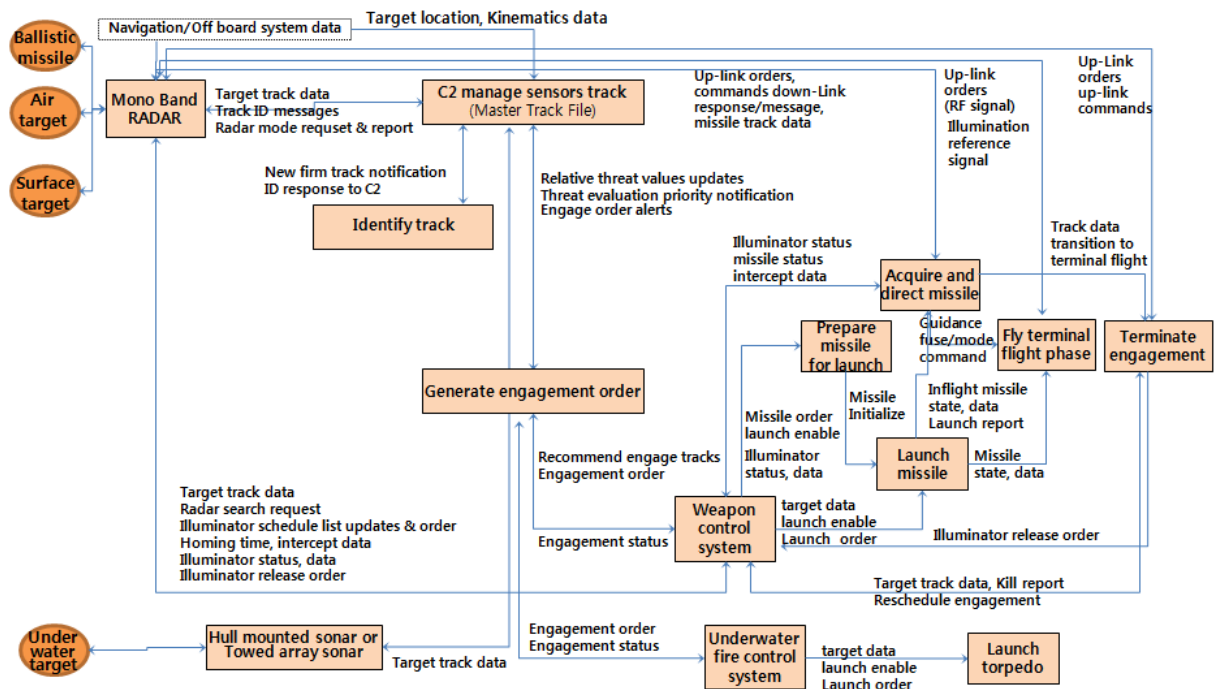


Fig. 6. Functional architecture of current combat system^[11]

이때 대탄도탄전·대공전·대함전 전투체계에서의 기능아키텍처를 살펴보면 다음과 같다. 탄도탄·대공·대함 표적이 아군 함정에 접근한다면, 레이더에서 표적을 접촉하고 추적을 시작한다. 이어서 표적의 추적정보가 업데이트 되고 표적의 적성여부 판단 및 위협평가가 표적식별/지정단계에서 이루어진다. 종합된 표적 정보는 교전명령을 생성하게 되며, 교전명령에 따라 교전계획이 이루어진다. WCS에서는 유도탄 발사준비 및 표적을 해당무장에 할당한다. 대공유도탄이 발사되면 다기능레이더를 통해 중간 비행유도를 하고 비행종말단계에서 조사기를 통해 표적에 최종 정밀유도하게 된다.

대잠전 전투체계는 선체고정소나 또는 선배열소나를 통해 대잠표적을 접촉하면 C2에 대잠표적 정보가 제공된다. C2는 대잠표적 위협순위에 따라 교전명령을 대잠사통체계(Underwater fire control system)에 전달하고 대잠사통체계는 대잠표적에 대해 어뢰발사를 통해 교전이 이루어지게 된다.

그렇다면 시스템 엔지니어링 프로세스 2단계에서 기존 함정 전투체계 기능아키텍처를 개선시킬 방안은 시스템 엔지니어링 프로세스 1단계에서 분석한 요구성능 결과를 바탕으로 차세대 함정 전투체계 기능아키텍처가 제시되어야 한다. 시스템 엔지니어링 프로세스 1단

계에서 작전환경과 무기체계 발전방향을 분석한 결과를 통해 차세대 함정 전투체계는 대함전과 대공전 수행뿐만 아니라 대탄도탄전과 대잠전 수행능력도 크게 향상되어야 한다. 또한 대탄도탄전·대공전·대함전·대잠전에 대한 동시 교전능력 향상을 위해 고도의 네트워크 중심 기반체계를 갖추어야 하고, 기술변화에 따라 신속하게 대응할 수 있는 대용량 자료 처리가 가능한 개방형 구조가 필요하다.

상기 요구성능 분석결과를 반영해서 차세대 대탄도탄전·대공전·대함전 전투체계 기능아키텍처를 재구성하면 Fig. 7과 같이 나타난다.

Fig. 7에서는 탄도탄·대공·대함 표적 등에 대해서 동시에 대응할 수 있는 강력한 센서체계가 필요하고, C2, WCS의 대용량 자료처리능력 향상과 강력한 네트워크 기반체계 기술이 반영되어야 한다.

다음으로 대잠전 전투체계 분야를 살펴보면 기존 소나체계는 선체고정소나 또는 선배열소나 체계 수준이었다. 따라서 대잠표적에 대한 대잠탐지능력에 한계가 있었다. 하지만 차세대 대잠전 전투체계의 기능아키텍처에서는 강력한 대잠탐지능력이 구축되고 대잠표적에 대한 탐지부터 추적, 교전결과 평가 및 재교전까지 적극적인 대잠전 통제가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 대잠표적에 대한 대잠 네트워크 기능이 구축되어야

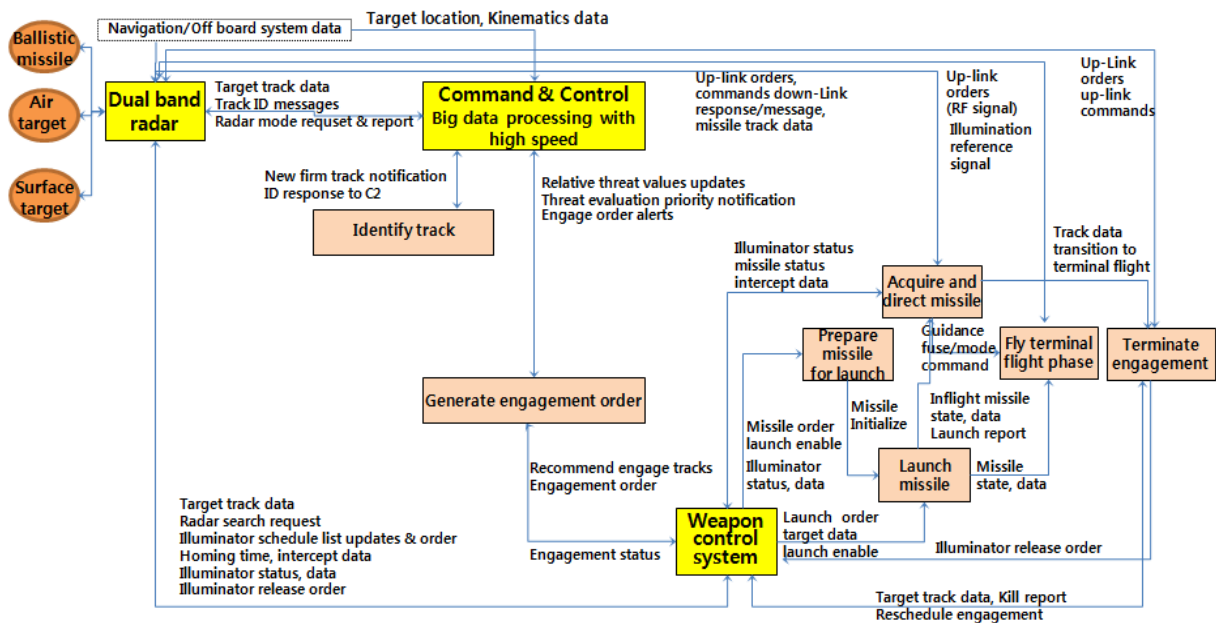


Fig. 7. Functional architecture of next generation combat system regarding increasing radar and C2/WCS capacities

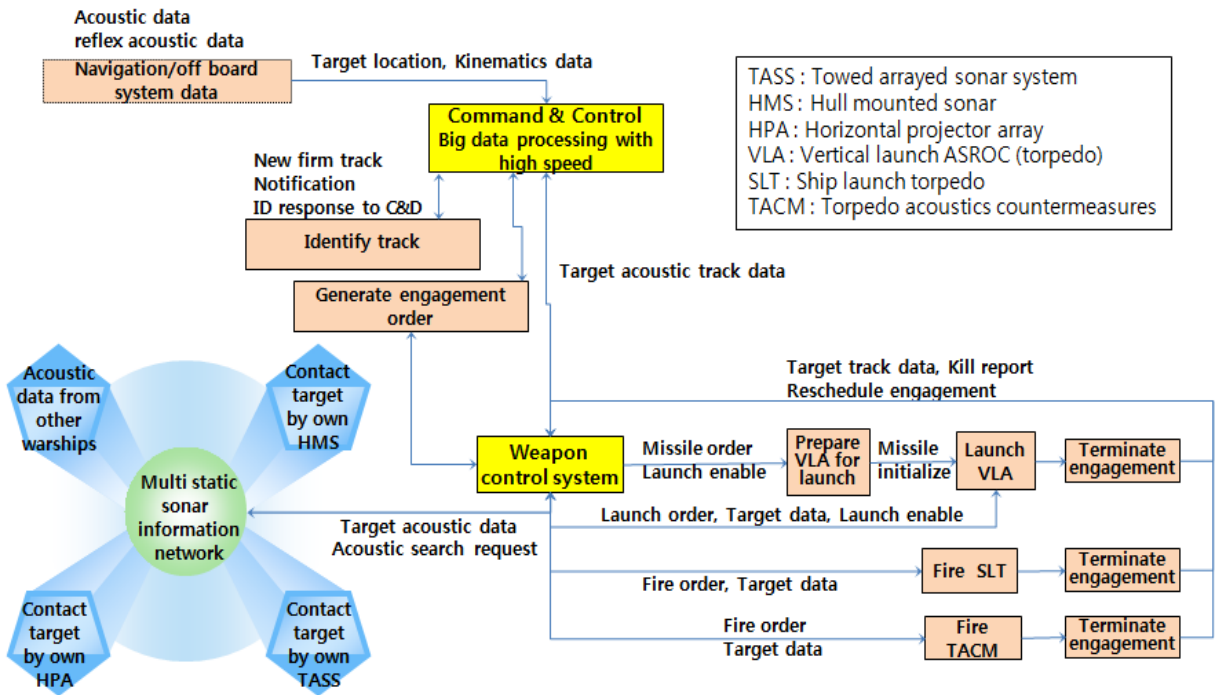


Fig. 8. Functional architecture of next generation combat system regarding increasing sonar and C2/WCS capacities

한다. 또한 대잠전에서도 C2, WCS의 대용량 자료처리 능력 향상과 강력한 네트워크 기반 체계 기술이 반영되어야 한다.

Fig. 8은 차세대 대잠전 전투체계 기능아키텍처를 나타내고 있다.

결론적으로 기존 기능아키텍처에서 차세대 기능아키텍처로 발전하기 위해서는 레이더 및 소나체계 등 센서체계의 탐지능력이 극대화되어야 하고, C2, WCS에서도 고속·대용량 자료처리 및 네트워크 능력이 최대화 되어야 한다.

2.4 차세대 함정 전투체계 물리아키텍처 도출

물리아키텍처는 기능아키텍처의 논리 흐름에 따라 각 해당되는 기능별 장비와 연결시키는 과정이다. 이때 각 기능별 요구되는 성능에 만족하는 장비와 연결을 하고, 장비 간 인터페이스 및 시스템 통합 간 제한사항 등을 고려하게 된다.

전투체계의 교전 프로세스는 표적탐지, 표적지정, 표적식별, 위협평가, 교전계획 및 무장할당, 사격통제, 무장발사, 무장유도, 교전평가의 과정을 거친다. 여기서 각각의 단계에서 요구성능에 만족하는 장비와 기능의

연결이 필요하다. 표적 탐지단계에서는 다수의 표적에 동시적 대응하기 위해 대탄도탄전과 대공전 수행 간 레이더 탐색자원의 전환시간이 획기적으로 단축되어야 한다. 예를 들어 동시에 다수의 표적과 교전을 할 경우에 근거리 저고도 표적은 짧은 대응시간으로 인해 효과적 탐지 및 추적을 위한 탐색자원의 전환이 실시간 적으로 진행되어야 하고, 중·고고도 표적은 원거리 접촉이 가능하기 때문에 수 초 이내 탐색자원 전환이 가능해야 할 것이다.

Fig. 9는 이지스 SPY-1 레이더의 Mono band 운용개념을 나타내고 있으며 여기서 주목할 점은 Mono band를 사용하기 때문에 탄도탄전과 대공전 위협 순위에 따라 레이더 탐색자원 비율을 조정해야 하는 제한사항을 가지고 있다.

예를 들어 100이라는 레이더 탐색자원을 레이더가 가지고 있다고 가정하고, 평소에는 대공 또는 대함 탐색에 레이더 탐색자원 100을 할당하여 운용 할 수 있다. 하지만 탄도탄 위협이 증가되면 70은 탄도탄 탐색에 레이더 자원을 할당 할 경우 나머지 30으로 대공 또는 대함 탐색을 해야 하기 때문에 평소보다 대공 및 대함 탐색능력이 떨어지게 된다는 논리이다.

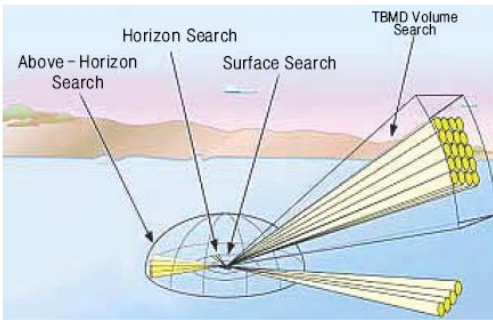


Fig. 9. Mono band radar operating modes^[12]

이러한 제한사항을 인식한 미 해군은 레이더 탐색자원의 비율을 조정해야 하는 제한사항을 극복하기 위하여 SPY 레이더에 Dual band 개념을 도입하였다. 즉, Dual band 개념은 어떠한 상황이나 무경고하 위협에서도 신속적이며 유연한 대응하기 위해 개발된 레이더 자원 운용개념이다. 미 해군은 DDG-1000에서 Dual band가 적용된 다기능 레이더를 탑재한다. 여기서 S밴드(2~4 GHz)와 X밴드(8~12 GHz) 두 가지 주파수 대역을 운용하고 있는데 S밴드 레이더는 장거리 광역탐색과 탄도탄 탐지에 효과적이고 X밴드 레이더는 저고도 대공표적에 효과적이다. 따라서 다양한 표적에 대해 동시다발 대응이 가능하다. 이러한 장점은 적 SLBM (Submarine Launched Ballistic Missile) 대응에 매우 효과적이다. Fig. 10은 Dual band radar 운용개념을 나타내고 있다.

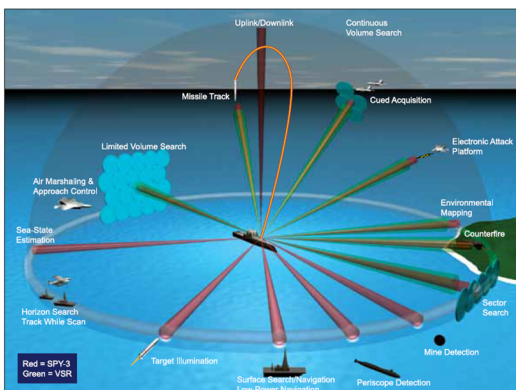


Fig. 10. Dual band radar operating modes^[13]

Dual band radar 성능 향상과 함께 병행되어야 하는 필수조건은 신속하고 정확하게 요격문제를 해결할 수 있는 대용량 고속처리 컴퓨터 능력이다. 이를 위해 미

해군은 마하 7 이상으로 비행하는 탄도탄과 마하 1로 접근하는 저공 미사일을 동시에 대응할 수 있는 MMSP(Aegis Multi Mission Signal Processor)를 개발하여 이지스 Baseline 9에서부터 구현하고 있다^[14].

여기서 MMSP를 구현하기 위해서는 이지스 함정을 중심으로 저고도 전 방향(4개 구역 90도씩)과 중·고고도 전 방향(4개 구역) 등 총 8개 구역에 대해 탐색관리를 할 수 있는 능력이 필요하다. 그리고 계속적으로 진화하는 컴퓨터 처리능력에 신속하게 반영시키기 위해 이지스 전투체계를 개방형 시스템으로 지속 발전시키고 있다.

차세대 함정 전투체계의 대잠전 분야에서는 통합소나체계(Integrated sonar system)에 중점을 두고 있다. 통합소나체계는 대잠표적의 탐지, 식별, 공격과 방어를 위해 대잠 CEC 개념이 적용된다. 함정 자체적으로는 선배열소나, 선체고정소나, 수평탐색소나, 음향어뢰대향체계 등이 통합되어 운용된다. 또한 개방형 모듈 시스템으로 상황에 맞게 모듈을 교체하여 운용이 가능하다. 특히 Fig. 11과 같이 Multi static sonar 기능을 핵심 기능으로 보유한다.

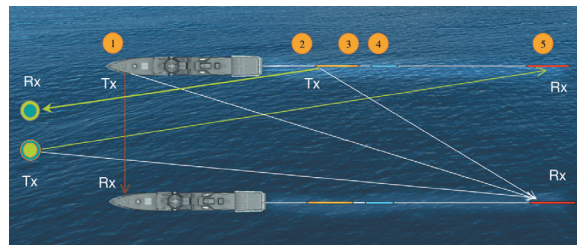


Fig. 11. Multi static sonar operating modes^[15]

Multi static sonar 기능은 타 함정에서 송신한 음파가 표적에 부딪혀서 반향되면 여러 함소에서 동시 수신하고 분석을 할 수 있는 장점을 가지게 된다. 대잠표적의 정보수집과 분석은 자함에서 송신된 음파의 반향과 타 함소에서 송신된 음파의 반향을 같이 수신하여 대잠표적 정보를 분석한다. 또한 자함에 탑재되는 선체고정소나, 선배열에인소나, 수평탐색소나 등 여러 소나체계들도 대잠 음파정보를 실시간 동시 수신하고 공유한다. 이러한 Multi static sonar 환경 하에서 통합소나체계 운용은 대잠표적에 대한 접촉시간과 표적추적 정확도를 크게 향상시킨다. 즉, 이러한 기술적 변화는 기존 소나체계에서의 가장 큰 문제점이었던 함정 간의 소나 음파간섭을 크게 제거할 수 있고 대잠음파정보가

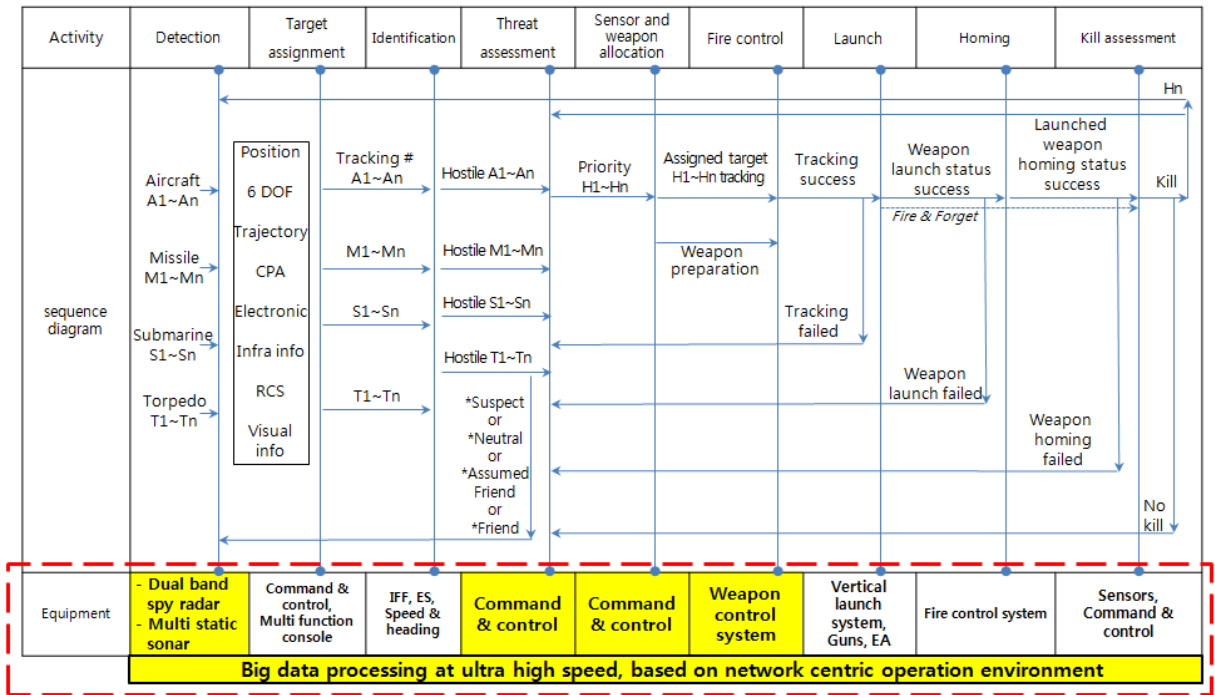


Fig. 12. Physical architecture of next generation combat system

수중에서 공유됨으로써 주변소음을 신뢰성 있게 식별할 수 있어서 대잠 네트워크 형성의 기반이 된다.

상기내용을 종합하여 차세대 함정 전투체계 물리아키텍처를 도출하면 Fig. 12와 같이 나타난다.

결론적으로 탐지단계에서 Dual band radar 개념이 반영된 레이더체계를 활용하여 저고도와 중·고고도 이상의 표적들을 동시 탐지할 수 있어야 하고 Multi static sonar 체계를 활용하여 대잠 네트워크 형성과 대잠표적에 대한 탐지·추적 과정에서의 신뢰도 향상이 필요하다. 또한 센서체계의 발전과 함께 대탄도탄전·대공전·대함전·대잠전을 동시에 수행할 수 있는 개방형 구조를 기반으로 하는 고속·대용량 자료처리 능력과 강력한 네트워크 기반체계가 물리아키텍처에서 구현되어야 한다.

3. 차세대 함정 전투체계 아키텍처 시뮬레이션 검증

차세대 함정 전투체계의 중요 발전방향은 크게 3가지로 정리된다. ① Mono band radar에서 Dual band radar로 발전하고 있다. ② 개방형 구조가 적용된 고속

·대용량 데이터 처리능력 및 네트워크 기반구조로 발전하고 있다. ③ Mono static sonar에서 Multi static sonar 기반으로 한 통합소나체계로 발전하고 있다. 상기 3가지 발전요소를 반영하여 차세대 함정 전투체계의 아키텍처를 Fig. 13과 같이 ARENA로 모델링한다. 시뮬레이션 분석을 위한 입력데이터 분석은 다음과 같다. 첫째, Mono band radar는 레이더 탐색자원을 대탄도탄전·대공전·대함전에 할당하여 사용한다. 따라서 위협상황에 따라 레이더 탐색자원의 할당비율을 조정한다. 본 논문에서는 Mono band radar 시뮬레이션 검증 시 자체 설정한 시뮬레이션 표적별 발생률을 근거로 레이더 탐색자원[탄도탄 : 대공표적 : 대함표적] 할당 비율을 [1 : 6 : 2]로 설정한다. Dual band radar의 경우는 S band와 X band 두 가지를 사용하므로 대탄도탄전에 S band를 100 % 적용하고 X band는 [대공전 : 대함전]에 대해 [7 : 3] 비율을 적용한다.

둘째, 모듈구조의 COTS 개념이 적용된 개방형 함정 전투체계는 강력한 컴퓨터 처리능력을 기반으로 고속·대용량 네트워크 구조를 가질 것이다. 미래의 컴퓨터 처리능력은 “Moore's law”를 근거로 예측하면, 컴퓨터 처리능력은 2년마다 2배씩 증가한다¹⁶⁾.

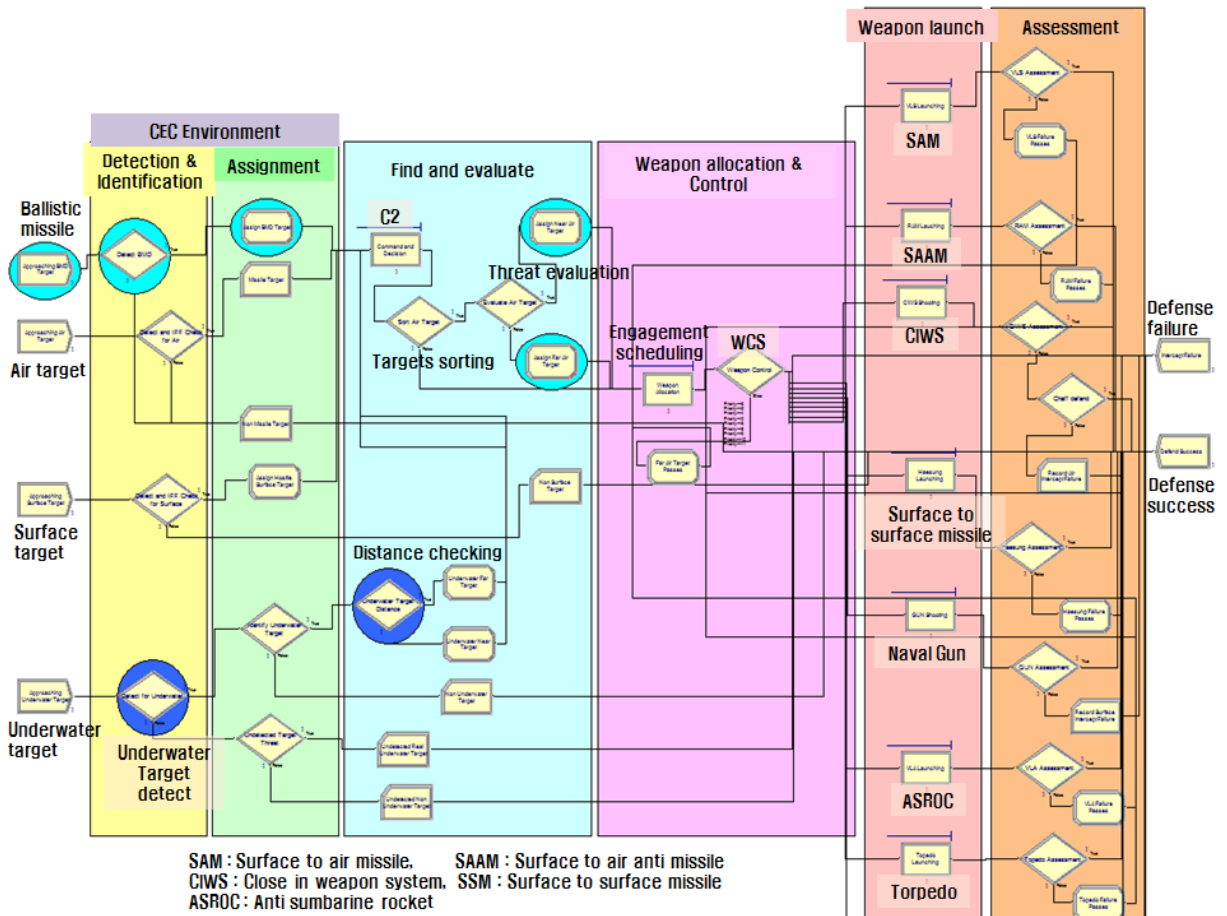


Fig. 13. ARENA Simulation modeling for combat system

함정은 기본설계에서 건조 시 까지 기간이 통상 5~7년 정도 소요된다. 함정 기본설계 시점에서 전투체계 데이터 처리능력을 10 GHz로 설정한다면^[17] Moore's law를 적용 시 6년 뒤에는 80 GHz이고 8년 뒤에는 160 GHz가 예상된다. 따라서 7년 뒤에는 신형함정의 C2 데이터 처리능력이 100 GHz 수준이 예상된다. 이를 바탕으로 C2 데이터 처리능력을 7년 뒤 10배 향상되는 것으로 설정하여 시뮬레이션 한다.

셋째, 소나체계는 Mono static sonar에서 Multi static sonar로 발전하고 있다. Mono static sonar와 Multi static sonar의 대잠탐지율 차이는 미 해군대학원(NPS : Naval postgraduate school)에서 공개한 모의논리 공식을 기반으로 분석한다. 미 해군대학원 논문^[18]에 공개된 공식을 활용하면 Mono static sonar 대잠탐지율은 식 (1)과 같이 나타난다.

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

where, w : sweep width for mono static sonar
 v : platform speed
 t : search time
 s : number of warship
 $A = \pi(\text{Search Area Radius})^2$

식 (1)을 활용하여 Mono static sonar의 대잠탐지율은 아래와 같다. 예를 들어 함정속도를 20 kts, 탐색구역반경을 12 nm, 대잠탐색을 1시간, 대잠탐색폭을 0.5 nm로 설정할 경우 대잠탐지율은 Table 1과 같이 함정척수를 증가함에 따라 산술적 증가를 보이고 있다.

Table 1. Multi-ship random search results when warships equipped with mono static sonar

# of Ship	Speed (kt/h)	Detect Range (nm)	Search time (hr)	Sweep Width (nm)	Prob. Detect
1	20	12	1	0.5	0.022
2	20	12	1	0.5	0.043
3	20	12	1	0.5	0.064
4	20	12	1	0.5	0.085
5	20	12	1	0.5	0.105
6	20	12	1	0.5	0.124
7	20	12	1	0.5	0.143
8	20	12	1	0.5	0.162
9	20	12	1	0.5	0.180
10	20	12	1	0.5	0.198

Table 2. Multi-ship random search results when warships equipped with multi static sonar

# of Ship	Speed (kt/h)	Detect Range (nm)	Search time (hr)	Sweep Width (nm)	Prob. Detect
1	20	12	1	0.5	0.022
2	20	12	1	0.7	0.062
3	20	12	1	0.9	0.108
4	20	12	1	1.0	0.168
5	20	12	1	1.2	0.241
6	20	12	1	1.5	0.327
7	20	12	1	1.8	0.426
8	20	12	1	2.1	0.533
9	20	12	1	2.6	0.642
10	20	12	1	3.1	0.746

식 (1)를 응용하여 Multi static sonar의 대잠탐지율을 산출한다. Multi static sonar는 타 함정과 공동으로 대잠음파정보를 공유하고 분산 네트워크 시스템을 구성하여 수개의 Node들이 접속이 불량하더라도 지속적으로 정보전송이 가능토록 설계한다. 따라서 함정척수가 증가함에 따라 대잠탐색폭이 일정하게 향상될 것으로 분석된다. 이를 근거로 대잠탐색폭(w')을 식 (2)와 같이 도출한다.

$$w' = w(1 + \alpha)^S \tag{2}$$

where, w' : sweep width for multi static sonar

w : sweep width for a sonar

s : number of warship

α : Constant for multi static sonar efficiency^[19]

$$= \frac{\text{sonar pulse length}}{\text{sonar detection range of the day}}$$

식 (2)에 따라 Multi static sonar를 탑재한 함정의 척수가 증가함에 따라 Multi static sonar 효과상수(α)를 0.2로 설정한다면, Multi static sonar 대잠탐지율은 Table 2와 같이 증가한다.

상기의 입력조건에 추가하여 시뮬레이션 구현을 위해 대잠전시 기동편성은 함정 5척을 기본으로 설정하여 시뮬레이션 한다. 표적발생률과 무장별 명중률은 다음과 같이 설정한다. 표적별 발생률은 지수분포를 따르며 탄도탄 표적은 6분 간격으로 발생, 대공표적은 1분 간격 발생, 대함표적과 대잠표적은 각각 3분 간격으로 발생시킨다. Hard-Kill 무장별(수직발사미사일, 근접방어무기체계, 대함미사일, 어뢰 등) 명중률은 정규분포를 따르며 평균 50 %, 표준편차 10 %를 적용하고 Soft-Kill 무장별(채프, 음향어뢰대함책) 명중률은 평균 25 %, 표준편차 5 %를 적용한다. 상기 입력 데이터를 기준으로 복합전 시뮬레이션 결과 각각의 표적별 대응시간(표적탐지~교전)은 Fig. 14과 같이 산출된다.

기존 함정전투체계에서는 탄도탄표적 대응에 7.75분, 원거리 대공표적에 4.86분, 근거리 대공표적에 3.96분, 수상표적에 1.47분, 대잠표적에 0.48분의 대응시간이 산출된다. 표적별 대응시간은 탄도탄표적 > 원거리 대공표적 > 근거리 대공표적 > 대함표적 > 대잠표적 순으로 짧아지고 있다.

이것은 표적이 근거리일수록 함정에 더욱 위협적이기 때문에 표적 위협순위가 높게 평가되고, 신속한 교전계획이 이루어지므로 대응시간은 짧아진다. 즉, 한정

된 레이더 탐색자원 하에서 탄도탄 및 원거리 대공표적은 근거리 대공표적에 비해 상대적 위협순위가 낮게 평가되며, 원거리 및 탄도탄 표적에 대한 레이더 탐색자원 할당도 제한되기 때문에 교전계획이 지연되어 근거리 대공표적에 비해 1~4분 정도 더 소요되는 것으로 나타나고 있다.

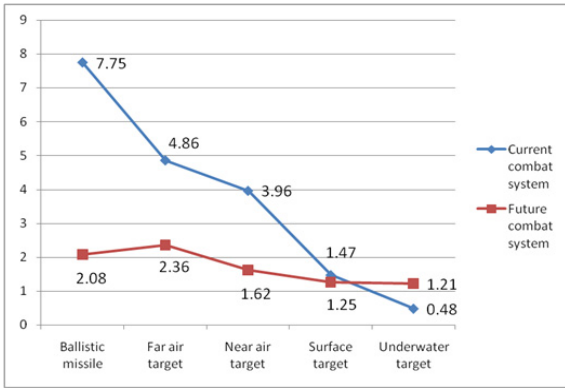


Fig. 14. Combat system response time for each targets(minutes)

특히 탄도탄의 경우를 살펴보면, 북한군이 정주일대에서 탄도탄을 발사할 경우에 서울까지 탄도탄이 도달하는데(사거리 약 300 km 경우) 10~12분 정도 소요된다. 이때 시뮬레이션 결과를 근거로 판단 시 기존 함정 전투체계가 대공전과 대함전 등 복합전을 수행하는 상황에서 탄도탄을 대응할 때 평균 7.75분 정도가 소요 될 것으로 예측된다.

반면, 대잠표적은 소나탐지가 레이더에 비해 근거리에서 이루어지므로 교전도 신속하게 진행되어 대응시간이 가장 짧게 나타나고 있다. 기존 함정 전투체계에 나타나는 제한사항은 기존 소나체계가 대잠표적에 대한 탐지율이 낮아서 다수의 대잠 표적을 탐지 못할 뿐만 아니라 교전도 발생하지 않고 그냥 지나가는 현상을 시뮬레이션 상에서 확인하였다.

차세대 함정전투체계에서는 탄도탄표적 대응에 2.08분, 원거리 대공표적에 2.36분, 근거리 대공표적에 1.62분, 수상표적에 1.25분, 대잠표적에 1.21분 대응시간이 산출된다. 탄도탄 및 대공표적 대응시간은 Dual band radar 운용과 전투체계 데이터 처리능력이 향상됨에 따라 탄도탄 및 대공표적 대응시간이 1.62분 ~ 2.36분 구간에서 수렴하는 효과를 나타낸다. 반면, 대잠표적 대응시간은 기존 0.48분에서 1.21분으로 증가한다. 이것

은 Multi static sonar 탑재 함정 5척 운용 시 대잠탐색율(10.5 % → 24.1 %)이 향상되어 다수의 적 잠수함을 기존 소나체계 보다 원거리에서 탐지 및 교전 할 수 있어 대잠 대응시간이 다소 증가되는 것으로 나타나고 있다.

Fig. 15는 기존 함정전투체계에서 차세대 함정전투체계로 발전할 경우 표적별 방어성공률을 나타내고 있다.

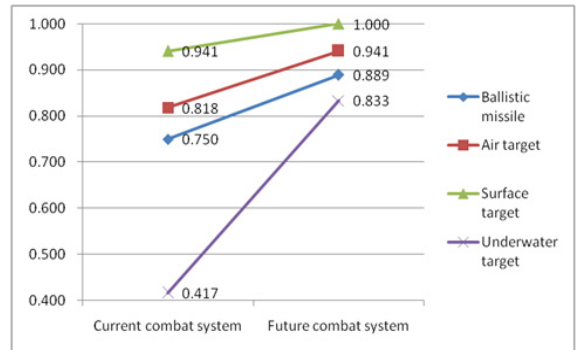


Fig. 15. Combat system defense rate for each target

탄도탄 방어성공률은 75 %에서 89 %로, 대공표적은 81 %에서 94 %로, 대함표적은 94 %에서 100 %로, 대잠표적은 41 %에서 83 %로 각각 향상된다. Dual band radar 운용 시 탄도탄 및 대공표적에 대한 방어성공률이 12 % ~ 14 % 정도 상승한다. 또한 대잠전에서는 Multi static sonar 기반의 통합소나체계 탑재 함정 5척 운용 시 기존 대잠전투체계 탑재 함정보다 42 % 향상되는 효과를 나타나고 있다. 여기서 주목해야 할 특징은 기존 대잠전투체계에서 대잠표적에 대한 대잠탐색율이 낮았기 때문에 방어성공률도 41 % 수준을 보였다. 하지만 Multi static sonar 기반 통합소나체계 탑재 함정이 기동편성(5척 구성 가정)을 하고 대잠전을 수행할 경우 대잠방어성공률이 83 % 수준까지 향상될 것으로 예상된다.

4. 결론 및 향후 연구

발전하는 최신 IT 기술 및 상용기술의 채용은 무기체계 및 위협의 증대 속도에 능동적으로 대처할 수 있는 중요한 수단이다. 이러한 급변하는 환경에서 전투함정들이 해상작전의 핵심 임무인 전방전개, 전쟁역제,

해양통제 그리고 전력투사 등의 기능을 수행하기 위해서는 변화하는 작전환경에 적합한 함정 전투체계를 구축하는 것이 무엇보다 중요하다. 본 논문에서 미래 전장 환경에 적합한 차세대 함정 전투체계 아키텍처를 제시하였다. 제시된 아키텍처에서 CEC 기반의 Dual band radar 운용, 고속·대용량 자료처리능력과 확장된 네트워크 기반체계, 그리고 대잠전 분야의 Multi static sonar를 적용하는 것이 필수적임을 확인하였다.

이를 증명하기 위한 ARENA 시뮬레이션 결과, 기존 함정 전투체계 아키텍처에서 차세대 함정 전투체계 아키텍처로 전환시킬 경우, 차세대 전투체계의 핵심기능인 대탄도탄전을 포함한 대공전·대함전·대잠전 능력이 크게 향상됨(대탄도탄전 75 % → 88.9 %, 대공전 81.8 % → 94.1 %, 대함전 94.1 % → 100 %, 대잠전 41.7 % → 83.3 %)을 확인 할 수 있었다. 특히 최근에 한반도 핵심 위협요소로 부각되고 있는 탄도탄을 포함하여 대공·대함·대잠 표적들의 동시·복합전 상황 하에서도 각각의 표적들에 대해 2분 내외로 대응이 가능함을 검증하였다.

향후 연구에서는 한반도에 복잡한 대잠환경 고려 시 대잠환경 데이터 등에 신뢰성을 확보하고 소나 성능지수 이론(FOM : Figure Of Merit 등)을 적용하여 Multi static sonar의 효과도에 대한 추가 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한, 차세대 전투체계에 영향을 주는 부체계별 구성 소프트웨어에 대해 효과분석을 기반으로 하는 체계통합방안 연구도 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Bangpyo Kong, "Development of the Operational Architecture of Korean Navy Fighting Ships with CEC System," Journal of System Engineering, pp. 5-10, 2006.
- [2] Jinwook Eom, "Derivation of Functional Architecture of Cooperative Engagement for a Theater Ballistic Missile Defense," Journal of Information Technology and Architecture, pp. 391-399, 2012.
- [3] Chumsu Kim, "A Study on Real-Time Operating Systems for Architectural Improvement of Naval Combat System," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, pp. 260-267, 2013.
- [4] Jaehoon Jang, "The Effectiveness Analysis of Multi Static Sonar Network Via Detection Performance," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, pp. 24-31, 2006.
- [5] Benjamin S. Blanchard, "Systems Engineering and Analysis Fifth Edition," (New York : Pearson Education, 2009), p. 43.
- [6] ROK Ministry of National Defense, 2014 Defense White Paper, 2014.
- [7] Ronald O'Rourke, "Sea-Based Ballistic Missile Defense : Background and Issues for Congress," CRS Report to Congress, RL33745, pp. 41-42, 2009.
- [8] Jungho Rho, Sungeun Lee, "Development Trend of Warship Combat System based on Open Architecture," Defense Science Technology Plus Paper, p. 4, 2009.
- [9] Jumsoo Kim, "USN New Generation Warship Combat System Architecture and Course of Development," Defense Science Technology Plus Paper, p. 4, 2014.
- [10] Yongsoo, Kwon, "Development of the Operational Architecture of Korean Navy Fighting Ships with CEC System," Journal of the System Engineering, pp. 5-10, 2006.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Aegis_Combat_System Based on Aegis Combat System Open Information, the Functional Architecture of Current Combat System was Restructured.
- [12] Dimitris V. Dranidis, "Shipboard Phased Array Radars Requirements, Technology and Operational Systems," The Magazine of the Computer Harpoon Community, 2003.
- [13] Alan L. Tolley and John E. Ball, "Dual Band Radar Development : From Engineering Design to Production," NAVESSEA Warfare Centers Volume 7, pp. 53-83, 2014.
- [14] <http://news.usni.org/2014/05/07/next-act-aegis>
- [15] Ultra Electronics, "Ultra Electronics Integrated Sonar Suite," UK Sonar Systems Pamphlet, pp. 2-7, 2009.
- [16] Takahashi Dean, "Forty Years of Moore's Law," Seattle Times(San Jose, CA), 2015.
- [17] www.cpubenchmark.net/common_cupus.html The Latest Computer CPU is the Intel Core i7 which is 3.4GHz Capacity in 2015. Based on Cut-Edge Technology Now, Aegis Maximum C2 Capacity is

Estimated up to 10Ghz in 2015.

- [18] NPS LCS Team, "Littoral Combat Ship Open Ocean Anti-Submarine Warfare," NPS Systems Engineering Capstone Report, pp. 31-39, 2014.

- [19] M. P. Fewell and S. Ozols, "Simple Detection Performance Analysis of Multi Static Sonar for Anti-Submarine Warfare," Australian Government Department of Defense, p. 9, 2010.