

함정 통제체계의 통합 아키텍처 연구

오 성 원^{*,1)}

¹⁾ 국방과학연구소 제6기술연구본부

An Integrated Architecture for Control and Monitoring Systems on Naval Surface Combatants

Seongwon Oh^{*,1)}

¹⁾ The 6th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 3 August 2017 / Revised 14 December 2017 / Accepted 26 January 2018)

ABSTRACT

The operational concept of control systems on surface combatants has been changed from individual control for each system to integrated control for all systems due to computing technology development and crew reduction policy of navy. The purpose of this study is to identify current status of control technology, to analyze user requirement and to develop an architecture to support the conceptual change of ship control. An architecture, which integrates several control and monitoring systems on naval surface combatant, is proposed. The proposed architecture is focused on sharing network and computing resources related to user command, and reducing systems complexity. The architecture can be adopted to next surface combatants in Korean navy.

Key Words : Integrated Architecture(통합 아키텍처), Total Ship Computing(통합 함정 컴퓨팅)

1. 서론

해군 함정은 센서체계, 타격체계, 전투체계, 통신체계 등 다양하고 복잡한 개별 체계들을 하나의 플랫폼에 탑재한 복합 무기체계이다. 함정에 탑재된 다양한 체계들을 통제 측면에서 구분하면 전투체계, C4I(Command, Control, Communications, and Intelligence) 체계, 기관제어체계, 통신체계, 행정체계로 크게 분류

할 수 있으며, 함정의 임무에 따라 기뢰전지원체계, 특수작전지원체계 등 컴퓨팅 자원을 활용하는 다양한 통제체계가 별도로 탑재될 수 있다.

함정 승조원은 복잡한 전장 환경 속에서 다양한 임무를 신속히 수행하도록 요구받고 있으며, 이를 위해서 함정의 핵심 통제체계인 전투체계의 효율적인 활용에 집중하고 있다. 그러나 무기체계의 급격한 기술 발전에 따라 위협이 다양해지고 대응시간이 감소할 뿐만 아니라, 인구와 예산 감소에 따라 승조원수가 감소하는 등 임무 수행에 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 상황에서 임무 수행을 위해서는 다양한 정보를

* Corresponding author, E-mail: osw123@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

신속히 파악하고 의사결정을 해야 하며, 함의 제반 자산 및 하위체계를 즉각 활용할 수 있도록 준비해야 한다. 이를 위해 각국 해군은 자동화를 확대하고 임무 수행에 필요한 제반 통제체계들을 같은 장소에서 제어 및 감시할 수 있도록 함정 통제실을 배치하고, 통제체계들의 통합을 확대하고 있다. 그러나 한국 해군의 경우 개별 통제체계의 개발에 대해서는 국산화를 비롯해서 많은 연구가 이루어졌으나, 통제체계들의 효율적인 운용을 위한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 각국의 함정 통제체계의 개발동향을 분석하고, 기술발전 동향과 운용자로부터 수집한 운용 개념 분석 등을 기반으로 한국 해군함정을 효율적으로 운용하기 위해 다양한 탑재 통제체계의 통합 아키텍처를 도출하였다.

2. 함정 통제체계 기술분석

전통적으로 함정은 전투정보실, 기관조종실, 함교 등과 같은 개별 통제소에서 지정된 통제체계를 운용해왔다. 그러나 2000년대 이후부터는 통합 통제소의 개념이 등장하였으며, 기술적인 또는 관습적인 요소로 인해 통제체계를 통합하지 않더라도, 개별 통제소를 통합한 함정들이 출현하였다. 이후 네트워크 및 컴퓨팅 기술의 발전에 따라 함정에 탑재된 이종의 통제체계들을 하나의 네트워크나 컴퓨팅 환경에 통합하는 함정도 설계되었다.

2.1 외국 해군함정 통제체계

미 해군은 함정 통제체계에 대한 연구를 가장 활발히 수행하였으며, 여러 개념을 검토하고 구현하였다. 1990년대 미 해군은 미래 전장환경을 대비하여 TBMD(Theater Ballistic Missile Defense) 교전 가능토록 이지스체계의 계산능력을 향상시키고 함정의 전투체계를 네트워크로 통합하여 함대 차원의 전술을 발전시키고자 하였다. 또한 함형별로 전투체계 변경에 소요되는 비용 감소를 위해 개방형 아키텍처로 변경하여 하드웨어와 소프트웨어의 표준화 및 상용품 적용을 확대하여 전투체계를 주기적으로 개량함으로써 전투능력을 지속적으로 향상하려는 전략을 수립하였다. 이러한 노력과 더불어 함정의 설계에 있어서 선형에서부터 발사대 및 미사일까지 함정을 구성하는 모든 요소들이 함정의 운용 효과를 극대화하기 위한 방향으로 설

계되어야 하고, 함정의 모든 시스템은 네트워크 기반 환경에서 하나의 전투체계로 통합되어야 한다는 통합함정 참조모델을 Fig. 1과 같이 제시하였다^[1,2].

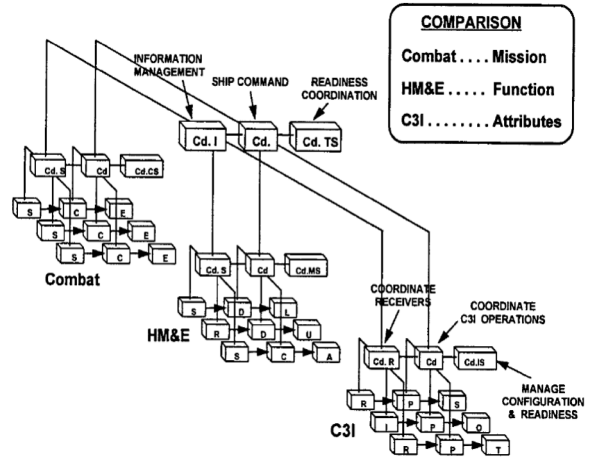


Fig. 1. Total ship functional model

이러한 통합함정 참조모델의 목적은 개방형 구조(Open architecture)의 이식성 및 상호운용성을 바탕으로 함정 전반에 대한 통제 아키텍처(Shipwide control architecture)를 재정립한 것이라고 말할 수 있다. 이와 더불어 함대 내의 함정, 센서, 무장 등 모든 자산을 네트워크로 구성하여 정보우위와 탄도탄 방어 및 협동교전능력 확보를 위해 함정 내 컴퓨팅 자산을 통합하여 단일화하는 통합함정 컴퓨팅 개념이 Fig. 2와 같이 제시되었다^[3].

미 해군은 TSCE(Total Ship Computing Environment, 통합함정컴퓨팅환경)로 잘 알려진 통합형 통제체계를 줌알트급 구축함에 탑재하였다. 이것은 함정의 여러 통제체계를 하나로 통합하여 운용할 수 있게 체계화한 것으로써, 개방형구조 컴퓨팅 환경이기도 하다. Fig. 3은 센서, 무장, 기관, 전력 등 임무수행에 필요한 대부분의 장비가 전투체계를 바탕으로 한 통합기반구조인 TSCE에 연결된 구조를 개념적으로 나타내고 있으며, Fig. 4는 실질적인 네트워크 구성이다^[4]. 이는 미 해군이 기존에 물리적, 기능적으로 완전 분리해서 운용해오던 개별 통제소를 TSCE와 같은 통합 환경을 도입함으로써 함정의 개별 통제소를 통합하여 중앙 집중식으로 운용하려는 개념의 변화를 보여주고 있다. 이러한 통제 개념의 변화와 TSCE 도입 및 자동 소화장치 도입 등 자동화의 확대에 따라 줌알트급 함정은 기

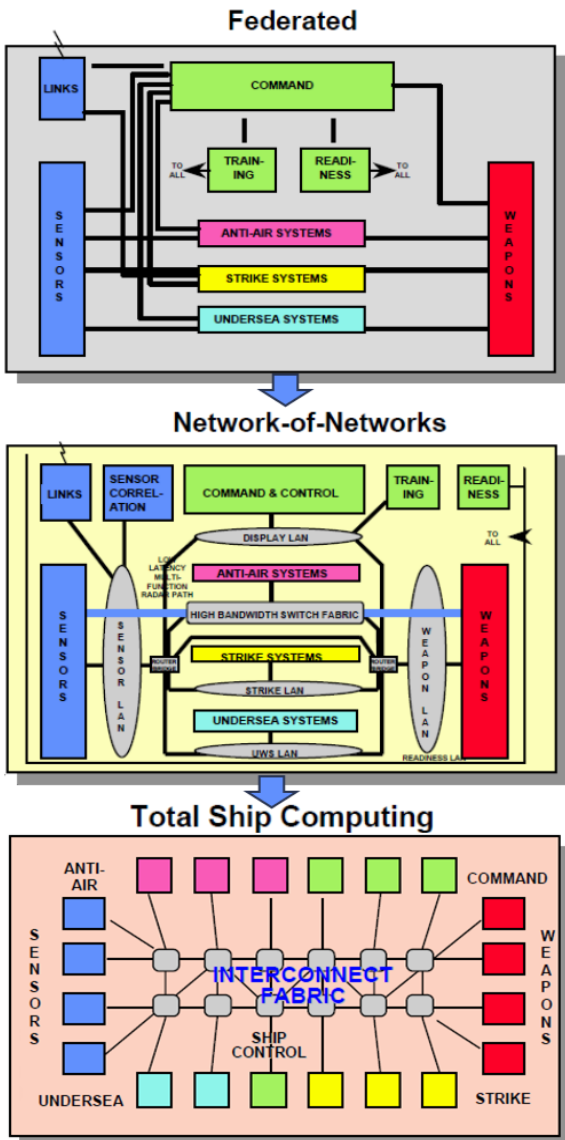


Fig. 2. Transition to total ship computing

존 이지스 구축함 대비 1/3의 승조원으로 임무를 수행하고 있다.

미 해군의 연안전투함(LCS, Littoral Combat Ship)도 TSCE를 적용하였으나, Zumwalt급 구축함과는 달리 하나의 통합 네트워크내에서 비전술그룹(Non-tactical enclave)과 전술그룹(Tactical enclave)으로 가상으로 분리하여 운용하고 있다. 비전술그룹은 훈련을 위한 것이며, 전술그룹은 C4I 체계, 전투체계, 항해 및 기관제어체계가 통합되어 있으며 필요시 임무 패키지 컴퓨팅

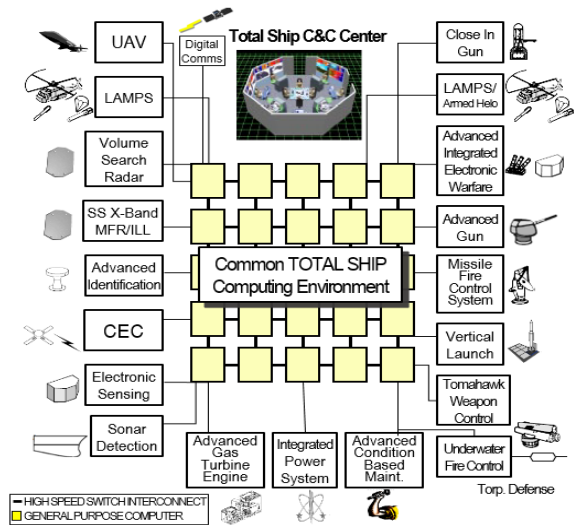


Fig. 3. Concept of total ship computing environment

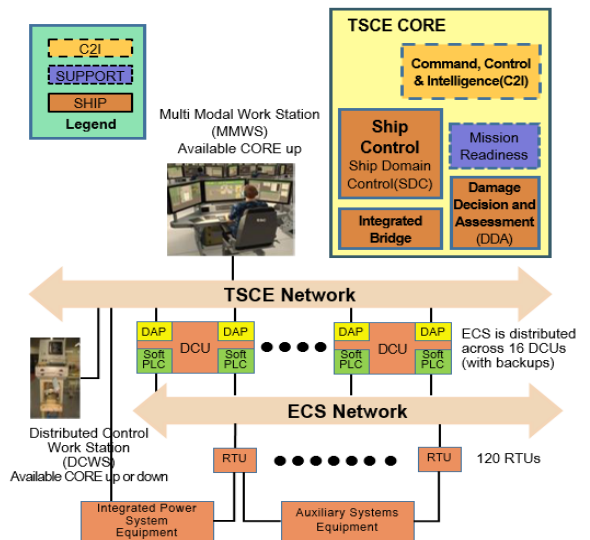


Fig. 4. Zumwalt class destroyer network configuration

체계(MPCE, Mission Package Computing Environment)가 연동되는 구조이다.

미 해군의 통합 통제체계에 대한 함정 적용은 실질적으로는 '03년 취역한 샌안토니오급 상륙수송함의 SWAN(Shipboard Wide Area Network, 함정광역네트워크)으로 볼 수 있다. Fig. 5와 같이 SWAN은 샌안토니오급 함정을 위한 하나의 통합 네트워크로써, 기능적으로 일반그룹(Unclassified enclave)과 비밀그룹(Secret enclave)으로 분리되어 있다. 일반그룹은 기관, 자기신

호, 항해 등 제반 함정 통제체계가 포함되어 있으며, 비밀그룹은 C4I 체계, 전투체계 등이 네트워크로 연결되어 있다. 즉, 임무수행에 필요한 모든 정보와 명령은 SWAN이라는 기반 네트워크를 통해 전달되는 구조이다^[5].

영국 해군은 Type 23급 호위함의 성능 개량부터 네트워크와 컴퓨팅 자원을 통합하여 활용하는 Shared Infrastructure라는 통합컴퓨팅 구조를 적용하고 있다.^[6] Fig. 6에서 보는 것처럼 하드웨어와 소프트웨어의 통합의 수준이 점차 높아지고 있으며, 가상머신, 가상랜, 공유 서비스 등을 도입함으로써 체계 성능개선, 수리

부품 감소, 타 체계간 상호운용성 등의 이점을 확보하고자 하였다. 그러나 미국의 TSCE와 달리 전투체계 위주로 적용하였으며, 기관제어와 같은 타 체계를 통합한 것으로는 판단되지 않는다.

현재 가장 많은 함정을 획득하고 있는 중국 해군은 통합함정 컴퓨팅 기술개발을 위해 미 해군의 TSCE를 벤치마킹하여 독자적인 통합 통제체계를 구축하려 하고 있다. Fig. 7에서 보는 것처럼 중국 해군도 전투체계(Combat system)와 함정 제어체계(Ship platform management system)를 동일한 컴퓨팅 환경 기반에서 통합하여 제어하는 소프트웨어 구조를 제시하였다.

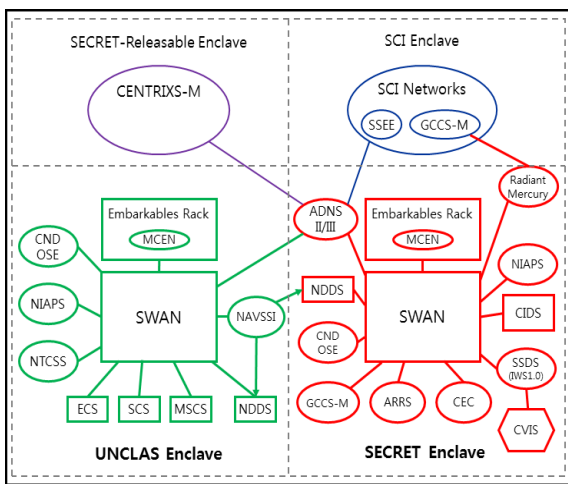


Fig. 5. SWAN(Shipboard Wide Area Network)

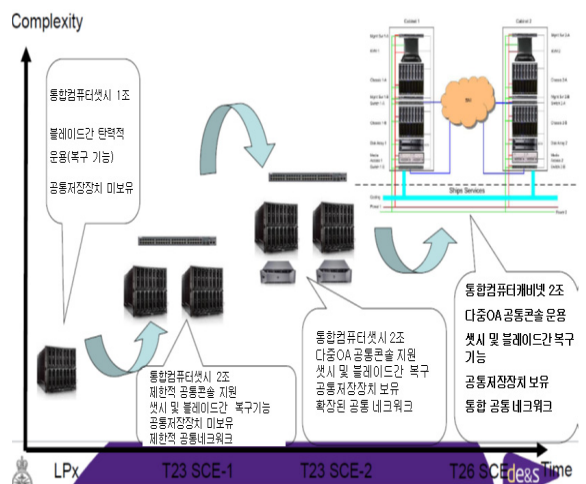


Fig. 6. Shared Infrastructure

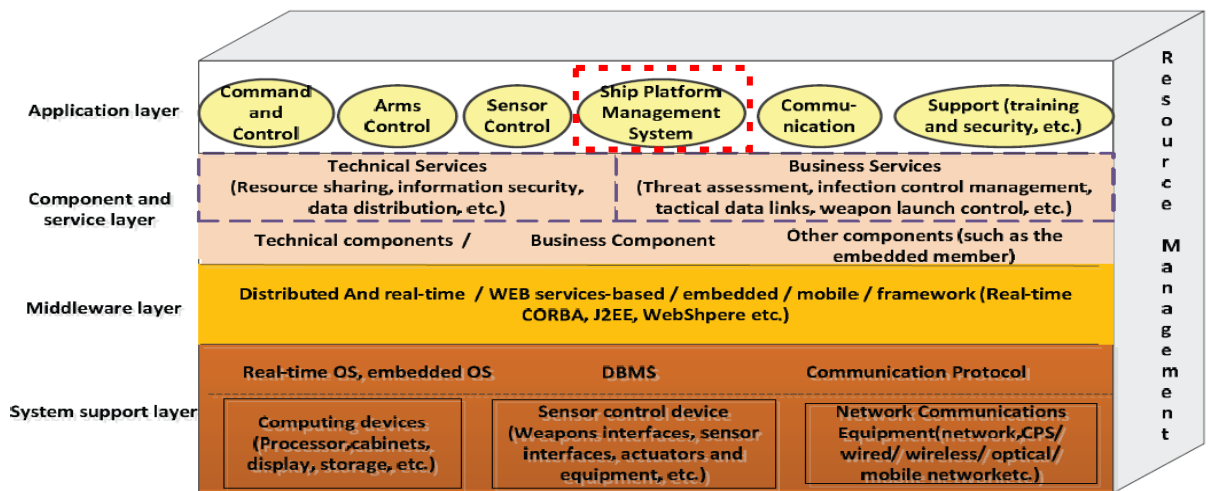


Fig. 7. Proposed software structure by chinese naval society

중국이 제안한 통합함정컴퓨팅 구조는 센서 계층 (Sensor layer), 처리 계층(Execution layer), 제어 계층 (Controller layer), 컴퓨팅 클라우드 계층(Computing cloud layer), 사용자 인터페이스 계층(User interface layer)과 네트워크 계층(Network layer)으로 Fig. 8과 같이 구분된다. 전처리된 데이터는 체계 전체 데이터 융합을 위해 단일 네트워크로 제어계층 및 컴퓨팅 클라우드 계층으로 전송되며, 처리계층은 통제계층으로부터 수신한 명령에 따라 하위 장비를 동작하는 구조이다⁷⁾.

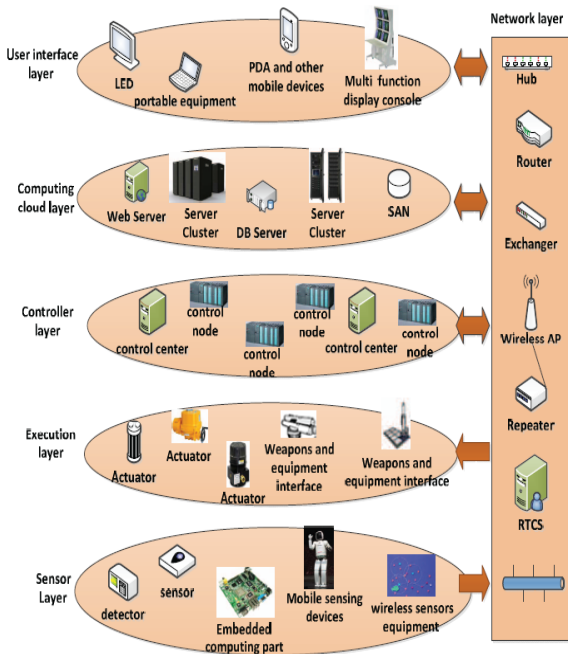


Fig. 8. Proposed total ship computing function structure by Chinese naval society

싱가폴 해군은 신형 연안임무함(LMV, Littoral Mission Vessel)에 함교, 전투정보실, 기관조종실 등 통제소의 기능을 모두 통합한 통합통제실을 도입하였다. 통합통제실의 세부 기능은 Fig. 9와 같으며 즉각적인 의사소통과 정보교환이 가능토록 오픈된 공간에 구성되어 있다. 이러한 통제실의 통합을 통해 23명의 승조원으로 14일간의 작전을 수행할 수 있다. 그러나 이는 이중의 통제소를 물리적으로 통합한 것이며, 미 해군과 같이 이중의 통제체계를 통합된 것은 아니다.

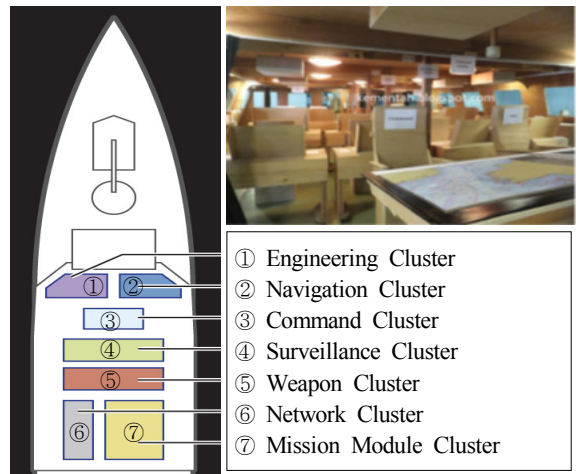


Fig. 9. Integrated command centre of littoral mission vessel

이상과 같이 각국 해군의 함정 통제개념과 통제체계의 구조를 분석한 결과, 효율적인 함정 운용을 위해 개별 통제소에서 개별 통제체계를 운용하는 개념에서 통합 통제소에서 함정을 통합 운용하는 개념으로 발전하고 있음을 확인하였다. 이를 기술적으로 뒷받침하기 위해 전투체계, 기관제어체계를 비롯한 함정의 제반 통제체계들은 물리적, 기능적으로 통합된 컴퓨팅 기반구조를 적용하고 있다.

2.2 한국 해군함정 통제체계

한국 해군의 함정 운용개념은 현재까지 함교, 전투정보실, 중앙조종실 등 개별 통제소에서 개별 통제체계를 별도로 통제하는 것이며, 각각의 통제체계는 별도의 네트워크와 컴퓨팅자원을 통해 물리적으로 분리되어 있다. 울산급 Batch-I 호위함은 Fig. 10과 같이 최초로 국방망과 통합기관제어체계가 서로 연동되어 있어 정비관련 정보를 국방망으로 전송할 수 있도록 되어있다.

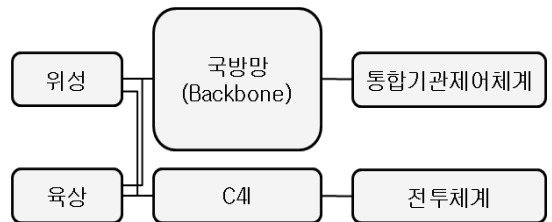


Fig. 10. Ulsan Batch-I network configuration

3. 통제체계 운용자 요구사항 분석

현재 해군 함정에서 운용 중인 통제체계는 전투체계, C4I체계, 통합기관제어체계, 통신체계, 행정체계로 분류할 수 있으며, 이에 대한 하위체계는 Table 1과 같이 분류할 수 있다.

Table 1. Shipboard control systems and their subsystems

구분	하위체계
전투체계	전투관리체계, 센서, 무장, 항해센서, 훈련계통 등
C4I체계	해군전술정보체계, 해군지휘통제체계 등
통신체계	통합통신체계, 데이터링크 등
통합기관제어체계	추진 제어 및 감시계통, 보기 제어 및 감시계통, 전력 제어 및 감시계통, 손상 통제계통, 통합함교체계, 통합상황평가계통, 훈련계통 등
행정체계	국방망, 인터넷
기타	기뢰전지원체계, 특수작전지원체계, 무인체계제어계통, 교육훈련체계 등

함정에 탑재된 통제체계의 컴퓨팅 시스템은 각 통제체계의 목적에 맞게 구현되어 독립된 서버에서 애플리케이션이 설치되어 운영되고 있으며 다른 표준을 따르고 있다. 이에 따라 각 체계 간 상호 운용성과 호환성이 낮아 각 통제체계에 맞는 정비부품과 소프트웨어를 모두 보유해야하는 부담과 더불어 승조원도 각각의 체계를 모두 숙지해야하는 부담이 있다. 이는 예산과 인원 측면에서 불리하게 작용하고 있다. 또한 각 체계가 독립적으로 구성됨에 따라 특정 시스템의 장애나 손상이 발생하는 경우, 다른 체계의 컴퓨팅 자원을 활용하지 못하는 등 생존성 측면에서도 불리하다.

3.1 통제소 운용개념

한국 해군함정의 통제체계들은 물리적으로 분리되어 있을 뿐만 아니라 공간적으로 분리된 개별 통제소에서 통제된다. 전투체계와 C4I체계는 전투정보실에서, 통신체계는 통신실에서, 통합기관제어체계는 기관조종실에서 각각 통제되고 있다. 반면 외국의 최신함

정의 경우 통제소가 통합됨에 따라 통제체계 또한 통합되고 있음을 알 수 있다. 이는 통제체계의 설계가 통제소의 운용개념과 밀접한 관계를 가지고 있음을 나타낸다. 따라서 통제체계 아키텍처를 검토함에 있어 통제소의 운용개념에 대한 검토를 우선 실시하였다.

최신 국외함정 운용개념 및 사전 의견조사를 바탕으로 Table 2와 같이 5가지의 함정 통제대안(운용개념)을 도출하였고, 함정 근무 장교 및 부사관을 대상으로 통제체계의 기술수준 등은 배제하고 통제소의 통합에 대한 의견을 수렴하였다. 1안은 현재 한국해군 함정의 운용개념이며, 2안은 미 해군 연안전투함의 운용개념이며, 3안은 중형함급 구축함의 운용개념이다. 4안은 싱가포르 해군에서 도입한 운용개념이며, 5안은 사전 의견수렴을 통해 함정 승조원이 추가적으로 도출한 개념이다. 사전 의견수렴은 기존의 1-4안 이외에 운용자의 입장에서 적절하다고 생각하는 함정 운용대안을 획득함을 목적으로 하였다. 대상은 독도함, 문무대왕함 및 강감찬함 3척의 장교 12명이며, 먼저 본 논문의 2장 함정 통제체계 기술분석 현황을 설명하였고, 운용자로부터 추가적인 운용대안(5안)을 추천받았다.

Table 2. Description of control alternatives for concept of naval ship control centers

구분	운용 대안(통제 방식)
1안	• 함교, 전투정보실, 기관조종실에서 개별 통제체계 통제
2안	• 함교, 전투정보실, 기관조종실에서 부분 통합통제 및 개별 통제 * 함교, 전투정보실 : 함교 뒤에 전투정보실 연결 배치
3안	• 함교, 함정임무센터, 예비 함정임무센터에서 통합 통제 * 함정임무센터(SMC, Ship Mission Center) : 전투정보실과 기관조종실 기능 통합
4안	• 통합함교(함교+전투정보실+기관조종실)에서 통합 통제
5안	• 함교, 전투정보실, 기관조종실, 함정임무센터에서 개별 통제 또는 통합 통제 * 함정임무센터는 전투정보실 또는 기관조종실 손상 시 기능 대체
6안	• 기타

해군본부 소요기획부서, 장비기술부서 및 울산급 Batch-I 이상의 함정 장교 및 부사관 103명을 대상으로 전투함정 통제소 운용개념에 대한 의견을 설문서

의 형태로 수렴하였으며, 대표적인 2개 문항에 대한 결과를 Fig. 11~12에서 제시하였다.

먼저 통제소 통합의 필요성에 대해서는 Fig. 11과 같이 통합이 필요하다는 의견이 응답자의 89 %로 지배적이었다.

Table 2에서 제시한 함정 통제 대안 중 차기 함정에 적합하다고 생각하는 대안을 조사한 결과, 기능적으로 유사한 함교와 전투정보실을 통합 배치한 대안(2안)이 운용자 측면에서 가장 적절한 것으로 나타났으며, 통제소를 통합한 대안(2~5안)이 통합하지 않는 대안(1안)에 비해 4배 많은 의견을 보였다. 이는 전통적으로 과거의 관습이나 문화를 벗어나길 꺼려하는 군의 특성을 고려할 때, 상당히 의미 있는 결과라고 볼 수 있다.

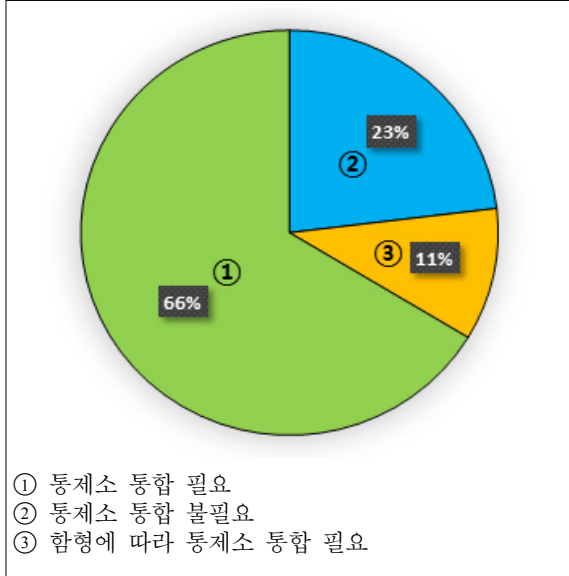


Fig. 11. Preference for integrating ship control centers

3.2 통제체계 아키텍처

최근 건조 함정 또는 계획 중인 함정은 복잡한 전장환경 하에서 정보우위 달성, 효율적인 함정 통제 및 승조원 부하감소를 위해 통제실을 통합 운영하고 있으며, 이는 함정에 탑재된 제반 통제체계들을 통합 구성하는 기술적인 변화로 귀결되고 있다.

2010년 취역한 네덜란드의 Holland급 함정은 통제실은 부분 통합하였으나 통제체계는 통합하지 못하고 관련 콘솔을 통제실에 통합 배치하였다. 반면 미국의 연안전투함과 Zumwalt급 구축함은 통제체계를 통합하여 언제 어디서나 함정을 통제할 수 있는 기반을 구축하였다. 이는 작전 시 상황판단 및 대응의 신속성을 보장하며 일부 통제체계가 피격되더라도 다른 통제체계의 자원을 활용하여 임무를 수행할 수 있어 함정 생존성을 강화할 수 있다. 이에 따라 영국, 중국 등에서도 통제체계 통합 아키텍처에 대해 많은 연구가 이루어지고 있어 한국해군 함정의 통제체계의 통합운영 개념에 대해서도 검토가 필요하다.

이에 앞서 함정에 탑재되는 통제체계의 특성을 살펴보면 Table 3과 같으며, 보안성, 즉시성 및 데이터양의 측면에서 각각 다른 특성을 보인다. 예를 들어 데이터양의 측면에서 살펴보면, 전투체계는 표적 정보 및 센서 정보 등 가장 많은 데이터가 실시간으로 처리된다. 이에 비해 통합기관제어체계는 데이터의 상당수가 약 4~5천개의 장비 센서 정보로 되어 있어 전투 체계에 비해 상대적으로 소규모이며 비주기적으로 처리되어 실시간성이 낮다. 오히려 장비 이상 유무 감지를 위한 CCTV 화면 정보량이 센서 정보량보다 많다.

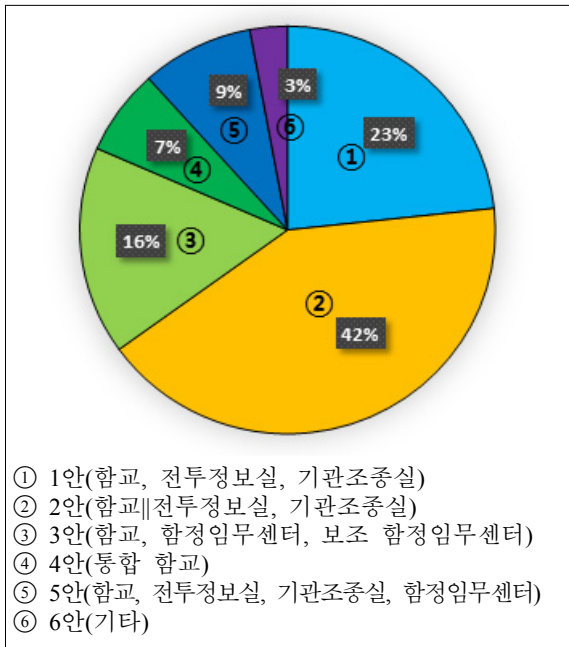


Fig. 12. Favorite type of alternatives for ship control concept

Table 3. Characteristics of control and monitoring systems in naval ships

구분	보안성	즉시성	데이터양
전투체계	비밀	실시간	대
C4I체계	비밀	비실시간	대
통신체계	일반/비밀	실시간/비실시간	중
통합기관제어 체계	일반	실시간	중
행정체계	일반	비실시간	소

네트워크 및 컴퓨팅 기술발전에 따라 기술적으로 여러 통제체계를 통합하는 것에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 그러나 실제 통제체계를 운용하는 승조원의 능력을 넘어서는 체계 구성은 오히려 체계 복잡성과 승조원 부담만 증가시킬 수 있다. 따라서 먼저 함정 탑재 통제체계의 통합 필요성에 대한 운용자 의견을 수렴하고, 다음으로 함정 탑재 통제체계의 특성 및 최신 국외함정의 통제체계 아키텍처를 바탕으로 여러 대안을 검토 후 운용자의 선호도를 조사하는 순으로 진행하였다.

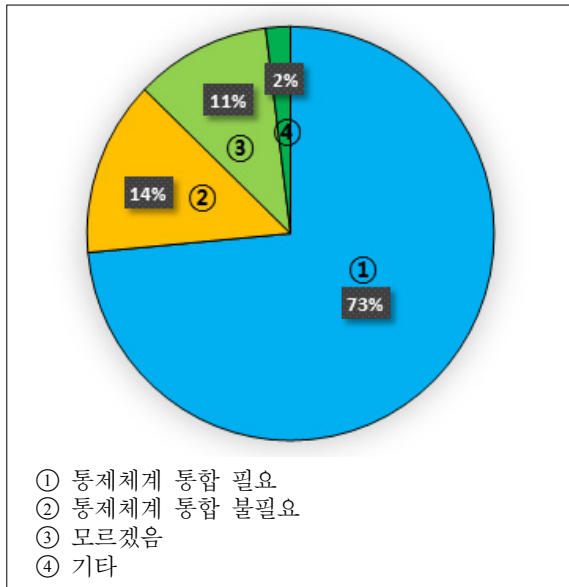


Fig. 13. Preference for integrating control and monitoring system in naval ships

먼저 통제체계 통합에 대한 의견을 수렴한 결과는 Fig. 13과 같이 통제체계 통합이 필요하다는 의견이 주를 이루었으며, 기타 의견으로 전투함의 경우 필요하다는 의견이 있었다.

다음으로 통제체계의 통합 방법에 대해 통제체계의 특성과 최신함정 통합 아키텍처를 바탕으로 Table 4와 같이 5가지 대안을 도출한 후, 운용자의 의견을 수렴하였다.

Table 4. Alternatives for integrated architecture of control and monitoring system in naval ships

구분	통합운용대안
1안	• 통제체계를 분리하되, 체계 내에서 가상화를 적용하여 최소 수준의 공통컴퓨팅환경 구성
2안	• 보안망-비보안망으로 물리적으로 분리하고, 각각 공통컴퓨팅환경 구성 - 보안망 : 전투체계, C4I체계, 통신체계 - 비보안망 : 통합기관제어체계, 행정체계
3안	• 실시간망-비실시간망으로 물리적으로 분리하고, 각각 공통컴퓨팅환경 구성 - 실시간망 : 전투체계, 기관제어체계, 통신체계 - 비실시간망 : C4I체계, 행정체계
4안	• 물리적으로 통합하되, 보안망-비보안망으로 가상랜을 이용하여 데이터 분리
5안	• 물리적으로 통합하고, 모든 체계 데이터 통합 운영
6안	• 기타

1안은 통제체계를 물리적으로 분리하되, 동일한 체계 내에서는 가상화 기법을 사용하여 컴퓨팅 자원을 공통으로 활용하도록 구성하는 방안이다. 가상화 기법은 하나의 물리적인 컴퓨터 하드웨어에 다수의 가상 컴퓨터(Virtual Machine) 생성하여 운용자들에게 각각 제공하는 방식으로, 운용자에게 통제체계가 설치된 개별 컴퓨터 하드웨어(콘솔)를 제공하는 기존 방식과는 차이가 있다.

2-3안은 전체 통제체계를 성격이 유사한 그룹으로 2개의 통합 컴퓨팅환경으로 구성하는 방법이며, 4-5안은 전체 통제체계를 1개의 컴퓨팅환경으로 통합하는 방법이다. 통합의 수준이 높을수록 일부 컴퓨팅 자원

고장 시, 다른 컴퓨팅 자원을 활용하여 지속적으로 통제할 수 있어 함정 생존성을 향상시키고 정비 부품 감소 등 다양한 장점이 있으나, 체계 복잡성이 증가할 수 있다.

통제체계의 통합방법에 대해 의견 수렴한 결과는 Fig. 14와 같으며, 여러 통제체계를 물리적으로 통합하는 2~5안이 통합하지 않는 1안보다 2배 높게 나타났다. 이는 운용자들도 통제체계간의 정보교환이나 운용성 증대 및 생존성 향상 등의 장점이 있는 통합안을 선호하고 있음을 나타낸다. 다만 운용자는 통제체계의 완전 통합이 부분 통합보다 기술적으로 상당히 난해한 것으로 인식하고 있어, 부분 통합을 다소 선호하고 있다. 기타 의견으로는 함정 종류에 따라 완전 통합이 필요하다거나, 모르겠다는 의견이 있었다.

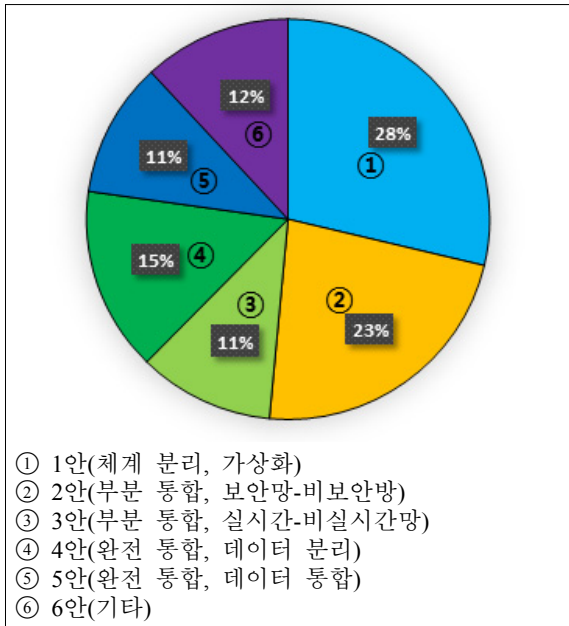


Fig. 14. Favorite type of alternatives for integrated command and monitoring system

다음으로 통제체계를 통합 개발할 경우, 5가지 요소(생존성, 신뢰성, 보안성, 컴퓨팅 성능, 개발비용/기간)에 대해 운용자가 생각하는 상대적인 중요도를 선택하도록 설문을 추가적으로 수행하였다. 결과분석 시 AHP 기법을 활용할 수 있도록 5점 척도 설문방식(A가 B보다 매우 중요, 중요, 동등, B가 A보다 중요, 매우 중요)을 사용하였다. 여기서 생존성은 일부 컴퓨팅

자원이 손상시 잔여 자원으로 통제업무를 수행하는 능력을 말하며, 신뢰성은 고장이나 여러 사유를 극복하고 지속적인 동작을 보장하는 능력을 말한다. Table 5는 설문결과를 AHP 기법으로 분석한 수학적 결과로써, 운용자는 제시된 5가지 요소 중 생존성을 가장 중요하게 생각하고 있으며 컴퓨팅 성능에 대해서는 상대적으로 덜 중요한 것으로 고려하고 있음을 보여준다.

Table 5. Relative importance for consideration of integrated control system

구분	상대적 중요도
생존성	0.24
신뢰성	0.22
보안성	0.22
컴퓨팅성능	0.19
개발비용/기간	0.13

3.3 소결론

통제소 운용개념에 대해서는 운용자는 3.1항에서 효율성, 운용성 증대 등의 이유로 해군 함정의 여러 통제소들을 통합하여 운용하는 것이 타당한 것으로 판단하였다.

다음으로 3.2항에서 통제체계 아키텍처에 대해서 운용자는 통제소 통합운용개념을 뒷받침하기 위해서 통제체계의 부분적인 통합(2~3안)을 다소 선호하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 다음과 같은 이유로 부분적인 통합보다는 완전 통합(4~5안)이 더 타당한 것으로 판단된다.

첫째, 부분 통합은 완전 통합에 비해 운용성이 제한된다. 부분 통합은 통합된 체계별로만 통제가 가능하기 때문에 모든 체계를 통제할 수 있는 완전 통합보다는 원천적으로 운용성이 낮을 수밖에 없다.

둘째, 현 기술수준으로도 함정의 모든 통제체계를 통합하는 것은 충분히 가능하다. 이는 미 해군의 연안 전투함 등에 완전 통합 통제체계가 구현되어 효율성을 보이고 있는 것에서 확인할 수 있다.

마지막으로 부분 통합과 완전 통합은 기술적인 난이도에서 수준 차이가 거의 없다. 함정 통제체계 중 가장 복잡하고 많은 데이터를 처리하는 것은 전투체

계이며, 이 전투체계에 상대적으로 덜 복잡하고 소수의 데이터를 처리하는 통제체계를 1~2개를 통합하는 것과 3~4개를 통합하는 것은 데이터 처리 측면에서는 크게 차이가 나지 않는다.

따라서, 부분 통합보다는 완전 통합 관점에서 통제체계를 구성하는 것이 바람직하며, 이에 따라 체계 간 데이터 분리, 보안 등을 위해서는 가까운 미래에는 완전 통합(4안)이 최적의 구성안으로 판단된다. 다음 장에는 4안을 바탕으로 하여 통합 아키텍처를 제시하며, 향후 컴퓨팅 기술의 발전에 따라 궁극적으로는 완전 통합(5안)의 수준으로 발전할 수 있을 것이다.

4. 한국 해군함정 통제체계 통합 아키텍처

함정에는 전투체계, 통합기관제어체계를 비롯한 다양한 통제체계를 독립적으로 운영하고 있다. 그러나 외국 해군은 상황발생 시 대응시간 감소, 승조원 감소 및 운용비용 감소, 기술발전 등에 대처하기 위해, Fig 15와 같이 함정 통제개념을 통제체계별 독립적인 운용구조에서 통합형 임무 수행 구조로 바꾸고 있다. 심지어 민간에서는 육상 통제센터에서 선박을 원격으로 통제하는 체계가 개발되어 시험되고 있다.

이러한 함정 통합 통제개념의 구현과 관련하여 통제체계의 현 기술수준을 살펴보면, 탑재된 통제체계들은 이미 개방형 구조, 고성능 컴퓨터 사용, 표준 상용 소프트웨어와 하드웨어를 사용함으로써 서로 통합하는데 필요한 기술적 기반은 이미 구축되어 있다고 볼 수 있다. 또한 함정 승조원도 함정 통제체계들을 통합 통제하는 개념을 받아들일 수 있음을 직접 확인하였다.

3장에서 해군함정 통제체계에 대한 운용자 요구사항과 이에 대한 기술적 검토를 수행한 결과, 통제체계 통합에 대해서는 크게 두 가지가 요구된다. 첫째는 운용성 향상을 위한 통제체계의 완전 통합이며, 두 번째는 생존성이 강화이다.

이를 기반으로 가까운 미래에 적용하기에 적합한 한국 해군 통제체계의 통합 아키텍처를 Fig. 16과 같이 도출하였다. 제시된 아키텍처는 통제체계를 완전 통합하기 위해 백본 네트워크를 기반으로 모든 통제체계를 통합하였다. 이에 따라 운용자는 백본 네트워크에 연결된 모든 통제체계에 접근할 수 있으며, 일부 통제콘솔이 손상을 입더라도 백본 네트워크에 연결된 다른 콘솔을 통해 모든 통제체계를 제어할 수 있다. 이는 기존의 독립된 통제체계와 통제콘솔로 구성된 아키텍처에 비해 생존성이 향상된 것이며, 또한 생존성 강화를 위해 로컬 네트워크에 별도의 통제콘솔을



Fig. 15. Conceptual change of ship control

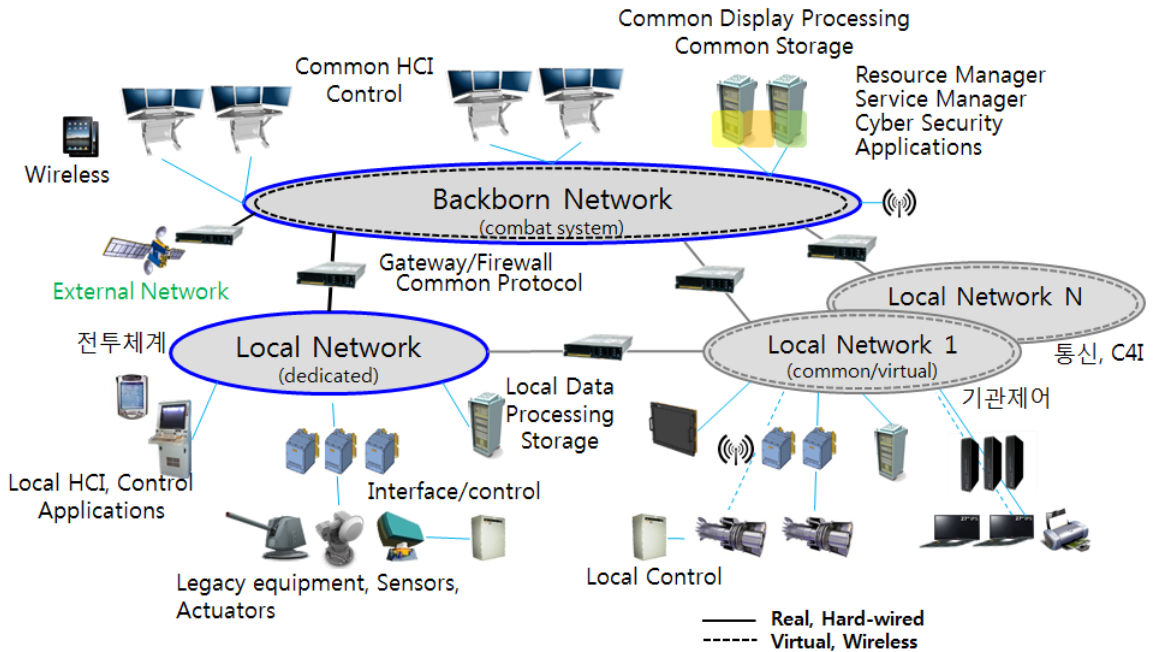


Fig. 16. Integrated architecture for control and monitoring systems in Korean warship

구성함으로써, 백본 네트워크가 손상을 받은 경우에도 개별 통제체계를 로컬에서 통제할 수 있도록 구성하였다.

제시한 아키텍처에서 백본 네트워크는 운용자가 명령을 내리거나 체계를 감시하기 위한 중요 정보가 전송되는 디스플레이 네트워크이며, 로컬 네트워크는 실제 디바이스를 동작하거나 원시 데이터가 소통되는 데이터 네트워크이다. 이와 같이 디스플레이 네트워크와 각 체계별 데이터 네트워크를 별도로 분리함으로써 네트워크 부하 및 처리장치 부하를 분담하고, 이종의 통제체계 간의 원시 데이터가 혼재되는 것을 방지하여 데이터의 독립성이 보장되는 장점도 있다.

네트워크 구성 측면에서 백본 네트워크는 별도로 구성할 수 있으나, 전체 체계가 복잡해지므로 전투체계 디스플레이 네트워크를 필요시 확장하여 사용하는 것으로 구성하였다. 따라서 백본 네트워크의 부하 감소를 위해 각 체계의 로컬 처리장치에서는 체계내의 원시 데이터를 처리하고 운용자가 통제해야 할 중요 신호와 데이터만을 백본 네트워크로 전송도록 체계를 구성하는 것이 필요하다. 결과적으로 제안한 아키텍처를 평가하자면 미 해군의 TSCE와 유사한 수준이나 유럽의 체계보다는 통합의 수준이 높다고 할 수 있다.

5. 결론

현재 해군함정의 통제체계는 물리적, 기능적으로 완전히 분리되어 있으며, 별도의 위치에서 다른 전문성을 가진 승조원이 개별적으로 통제를 하고 있다. 물론 필요한 정보는 체계 간 연동을 통해서 공유하고 있으나 그 종류와 데이터양이 제한되어, 신속한 상황판단과 대처가 생사를 결정짓는 미래 전장 환경에서는 비효율적인 방식이라고 할 수 있다. 이를 개선하기 위해 미국, 중국을 포함한 많은 해군에서는 함정을 통합 통제하기 위한 개념을 구상하였으며 이를 실제 구현하고 있다.

한국 해군 또한 이러한 변화를 인지하고 있으며, 운용비용 감소 및 인력 감소 등의 요인으로 함정의 승조원이 단계적으로 감소되고 있어, 통합 통제체계의 필요성을 절실히 느끼고 있음을 확인하였다. 또한 고성능컴퓨터, 가상화 기술, 네트워크 기술발전, 개방형 소프트웨어 확대 등으로 기술적인 측면에서 함정의 통제체계들을 통합하는 것은 충분히 구현 가능함을 확인하였다.

본 연구에서는 함정 통합통제체계에 대한 연구동향과 아키텍처를 분석하였으며, 함정 통합통제에 대한

승조원의 인식변화를 확인하였다. 이를 바탕으로 현시점에서 적용 가능한 한국 해군함정의 통합 통제체계 아키텍처를 제시하였다. 제시된 아키텍처는 승조원이 한 곳에서 필요한 통제체계를 운용 가능토록 통합의 수준은 높였으며, 체계 복잡성과 데이터 분리 등을 고려하여 전투체계 디스플레이 네트워크를 백본으로 하고 로컬 네트워크를 분리함으로써 데이터 네트워크와 통제 네트워크를 분리한 것이 특징이다. 이러한 연구 결과는 향후 계획 중인 함정의 효율적인 통제개념 수립과 체계 구성에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 본 연구는 국내 함정 통제체계의 통합에 대한 최초의 연구이며 네트워크나 처리장치를 포함하는 컴퓨팅자원의 통합을 위주로 하였으므로, 실제 함정 적용시 체계 통합의 시너지를 발휘하기 위해서는 소프트웨어의 효율적인 개발 및 인간공학적 설계를 높이는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] B. G. Duren and J. R. Pollard, "Total Ship System Engineering Vision and Foundations," Naval Surface Warfare Center, NSWCDD/TR-95/152, p. 25, 1995.
- [2] B. G. Duren and J. R. Pollard, "Combat Systems Vision 2030, Combat System Architecture: Design Principles and Methodology," 1991.
- [3] M. W. Masters, "Total Ship Computing Risk Analysis," Quorum Pi Conference, 1998.
- [4] M. Henry, M. Iacovelli and J. Thatcher, "DDG 1000 Engineering Control System(ECS)," http://esrdc.mit.edu/library/ESRDC_library/Henry-DDG_1000.pdf, 2010.
- [5] A. D. Philpott, "Meeting the Challenge of Installing CANES during New Ship Construction on LPD 28," M.S. Thesis, Naval Postgraduate School, pp. 11-12, 2015.
- [6] S. Hyde, "Systems Engineering in Defence Procurement: A SEIG & Maritime Combat Systems Perspective," INCOSE Presentation, 2012.
- [7] H. Yelen and C. Hui, "Study on the Architecture of Intelligent Warship's TSCE based on Multi-view," 13th International Sym. on Distributed Computing and Applications to Business, pp. 220-223, 2014.