

A Methodology for Analyzing Effects of the Cooperative Engagement Capability System Applied to Naval Operations

Yong-Tae Jung · Bong Joo Jeong · Bong-Wan Choi · Dong-Soon Yim[†]

Department of Industrial and Management Engineering, Hannam University

협동교전능력(CEC) 체계구축을 위한 해상작전 적용효과 분석 방법론

정용태 · 정봉주 · 최봉완 · 임동순[†]

한남대학교 산업경영공학과

The Cooperative Engagement Capability (CEC) System produces a synergy between the sensors and shooters that are used on various platforms by integrating them. Even the US Navy has been recently adopting the CEC system that maximizes the effectiveness of the air defense operations by efficiently coordinating the dispersed air defense assets. The Navy of other countries are conducting research studies on the theory and application methods for the CEC system. The ROK Navy has limited air defense capabilities due to its independent weapons systems on battle ships. Therefore, the ROK Navy is currently going through a phase where research on proving the validity of building the CEC system because it will provide a way to overcome the limit of the platform based air defense capability. In this study, our goal is to propose methods that maximize the air defense capability of ROK Navy, identify the available assets for constructing the CEC system, and estimate effects of the CEC system when it is applied to the naval operations. In addition, we will provide a simple model that was developed to estimate these effects and a case study with virtual data to demonstrate the effects of the system when it is applied to the naval operations. The research result of this study will provide a way for building the basis of the Korean CEC system.

Keywords : Cooperative Engagement Capability(CEC), Integrated Air & Missile Defense, Effect of CEC System, Simulation Model and Analysis

1. 서론

군사과학기술의 발전은 전쟁수행개념의 변화를 이끌고 미래전은 다양한 작전요소들이 상호 연결되어 실시간 정보공유가 가능한 네트워크중심 작전환경에서 수행될 것이라고 예상하고 있다[13]. 현재는 플랫폼중심 작전으로, 함정과 같은 단일 플랫폼의 탑재 무기체계 성능에 의해 전투

력 발휘가 좌우된다. 또한, 최근 남북 정상회담과 북미 정상회담 개최 등의 긴장완화 분위기에 불구하고, 북한은 탄도미사일과 핵무기를 여전히 보유하고 있으며 중국은 순항미사일을 탑재한 최신예 공중·해상 무기체계들을 속속 전력화하고 있어 한반도의 대공위협 요소들은 가중되고 있는 현실이다[12, 14, 19, 21]. 이러한 대공위협에 대해 효과적인 플랫폼 탑재 무기를 선정하거나[2] 대공표적에 대해 최적의 무기를 할당하는 연구[5, 8]와 플랫폼 탑재무기를 활용한 정밀탐지 알고리즘을 개선[15]하는 등의 연구는 계속되고 있으나, 플랫폼 기반의 단위 무기체계로는 속도나 거리 측면에서 대응하는데 한계가 있는 실정이다.

Received 12 January 2019; Finally Revised 2 March 2019;
Accepted 15 March 2019

[†] Corresponding Author : dsyim@hnu.kr

한편, 미국은 1990년대 초부터 연안해역의 복잡한 환경에서 전투단의 핵심자산을 대공위협으로부터 방호하기 위해 협동교전능력(CEC, Cooperative Engagement Capability) 체계 개념을 채택하였다. CEC 체계는 구역방공체계인 이지스함의 전투체계와 비이지스함의 자함방어 대공전투체계를 통합하여 대공방어체계로 구축하는 개념이다. 최근에는 Sensor-to-Shooter 연결성 보장을 협조할 수 있도록 발전시킴으로써 항모타격단의 통합화력통제 중심체계로 CEC의 활용영역을 진화시켜 가고 있다[1, 16].

따라서 우리 군은 북한 및 주변국의 대공위협으로부터 핵심자산을 방호하기 위한 방안으로 수상함의 대공방어능력을 통합하는 CEC 체계 구축을 적극적으로 검토할 필요가 있다.

본 연구는 해상작전에 CEC 체계를 적용함으로써 얻는 효과에 대해 합리적인 데이터를 도출함으로써 CEC 체계 구축의 타당성을 제시하는데 목적이 있다. 본 연구는 크게 2단계로 나누어 연구를 진행하였다. 1단계는 CEC 관련연구와 사례를 통하여 한국군 자산을 이용한 CEC 체계 구축개념을 연구하고 CEC 체계 구축의 5가지 효과목표를 도출하여 이전 논문에서 제시하였고[6], 2단계는 1단계에서 도출한 효과목표를 기준으로 진행하였으며, 한국해군의 CEC 체계 구축효과를 제시할 합리적 데이터를 도출하는 과정으로서 해상작전에 대한 CEC 체계 적용효과를 모델링하고 이에 대한 시뮬레이션과 결과분석을 수행하였다.

2. 협동교전능력(CEC) 개념 및 구축사례

2.1 CEC 기본개념

미국은 1970년대부터 기동 전투단의 효과적인 대공방어능력을 구축하기 위해서 Raytheon사와 존스 홉킨스 응용물리실험실에서 공동으로 합동 감시 및 추적 네트워크 연구를 착수하였다. 1990년대에는 대양에서 연안으로 전장이 이동하고 제 3세계의 탄도탄 위협이 증가함에 따라 전투단 수준의 대공방어 핵심자산을 통합하고 무장을 효과적으로 운용하기 위해 CEC 개념을 채택하였다. CEC는 새로운 센서체계를 추가하지 않고 현용 체계를 이용하여 효과적인 대공방어능력을 창출할 수 있게 해준다. CEC 체계를 이용하여 센서자료를 공유하고, 재래식 무기와 신기술 무기체계를 혼합 운용함으로써 대공전 지휘통제 및 협조를 위한 역할을 수행하도록 하였다. 특히 대탄도탄방어를 위한 킬체인에서 CEC의 역할이 더욱 증대되고, 분산된 센서와 슈터들의 협조를 위한 중심적 역할을 하게 되었다[1].

CEC는 실시간 센서망 연결을 통하여 전투공간 확대, 상황인식 강화, 화력중심 확장, 요격거리 연장, 의사결정 및 반응시간 개선 등의 효과를 달성할 수 있게 한다. 이는 전투단 내 다수의 대공탐색 입력자료를 단일의 실시간 복합향적상황도로 종합함으로써 대공방어능력을 개선하고 정확한 추적자료를 제공할 수 있게 한다[16].

2.2 CEC 구성개념

CEC의 운용개념을 충족하기 위해서 요구되는 기능은 운용측면과 체계측면에서 <Table 1>과 같이 구분할 수 있다.

<Table 1> Main Functions of CEC

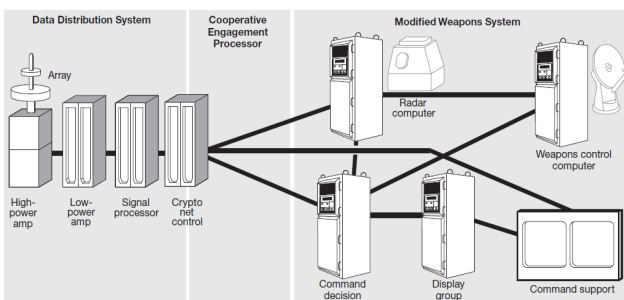
Main Functions	
Operational Aspect	<ul style="list-style-type: none"> • Composite Tracking • Precision Cueing • Coordinating Cooperative Engagement
System Aspect	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor Netting • Integrated Fire Control • Composite Identification

운용측면(Operational Aspect)의 요구기능은 주로 전투공간 확장을 위한 요구기능들이다. 복합향적추적(Composite Tracking)은 각 함정의 레이더 측정자료를 독립적으로 처리하여 단일표적 정보를 생성하는 것으로 사격통제 수준의 정확도를 가지는 복합향적정보를 형성하는 기능이고, 정밀 큐잉(Precision Cueing)은 임의의 추적에 대해 최대 센서탐지 범위를 얻기 위해 표적획득 큐잉 수단을 사용하는 것으로 한 플랫폼이 자체 레이더로 표적을 탐지하지 못하더라도 다른 플랫폼의 탐지 및 추적자료를 이용하여 표적획득 및 교전이 가능하게 한다. 협동교전협조(Coordinating Cooperative Engagement)는 CEC 네트워크 내의 모든 표적에 관한 실시간 정보를 통하여 교전을 협조하는 것으로 타부대의 레이더 자료를 이용하여 미사일을 발사하거나 요격하도록 유도할 수 있는 원격교전 능력이다[3].

체계측면(System Aspect)의 요구기능은 개발목표를 달성하기 위한 요구기능으로서, 센서망 연결(Sensor Netting)은 전투단 내의 센서망을 구성하여 CEC 부대들 간에 레이더 및 적어식별(IFF : Identification, Friend or Foe) 자료를 공유하고 실시간 분산형 사격통제 품질의 공통상황을 생성하여 추적정확도, 추적지속성, 추적식별성능을 대폭 향상하는 기능이고, 통합화력통제(Integrated Fire Control)는 사격부대가 자함 센서로 위협을 추적할 수 없을 경우 다른 부대가 사격통제 품질의 정보를 제공하여 전투공간을 확장하는 것으로 구역 지대공미사일(SAM : Surface-to-Air

Missile) 탑재함정이 로컬센서의 정보없이도 위협표적과 교전하여 파괴할 수 있게 해주는 기능이다. 복합표적식별(Composite Identification)은 위협표적에 대한 분류와 식별을 통해 아군 항공기나 비적대 항공기에 대한 오인공격을 피함으로써 부수적 피해를 줄이고 위협표적에 대한 조기 식별을 통해 요격확률을 높이고 방어체계의 전반적인 임무효과를 높이도록 해주는 기능이다[4].

CEC 체계는 실시간으로 대공레이더 측정자료를 교환하고 공통의 추적알고리즘을 사용하여 복합항적을 구성하므로 고속대용량의 데이터 통신과 센서자료의 고속 융합처리 능력이 필요하다. 이 요구를 충족하기 위해 <Figure 1>과 같이 하부체계는 복합 항적추적과 표적식별을 처리하는 협동교전처리기(CEP, Cooperative Engagement Processor), 배열 안테나를 적용하여 표적자료를 송수신하는 자료분배체계(DDS, Data Distribution System)로 구성되며, CEP를 탑재한 함정의 자함센서와 전투체계에 최적화된 연동을 처리하는 인터페이스로 구성된다[1].



<Figure 1> Configuration Diagram for DDS-CEP-Weapon System[1]

함정에 탑재된 레이더와 무기체계로부터 입력되는 원시정보는 CEP로 입력되고 자료형태가 변환되어 DDS로 전달된다. DDS는 자료를 암호화하여 안테나를 통해 다른 CEC 체계 플랫폼으로 전송한다. 동시에 다른 CEC 체계 플랫폼으로부터 안테나를 통해 수신되는 자료를 CEP에서 사용할 수 있도록 전달한다. CEP는 처리가 되지 않은 모든 원시정보를 복합항적으로 구성되는 공중상황에 융합하여 처리하고, 갱신된 복합항적은 각 플랫폼에 설치된 전투체계에 전시된다.

CEP는 자함에서 제공한 자료와 CEC망에 연결된 모든 부대에서 입력되는 자료를 모두 처리해야 하므로, 처리용량과 처리속도 측면에서 전투단 전체의 전투체계 능력과 버금간다. 각 처리기의 능력은 추적필터링, 협동교전지원, DDS 연동기능 중에서 적어도 하나를 처리한다. CEP에 직접 연동되는 장비는 자함센서, 지휘통제체계, 무장컴퓨터 등이다. DDS는 자료의 적시성, 용량, 신뢰도 면에서

거리가 떨어진 부대에서 수신한 자료와 자함센서에서 무장컴퓨터로 전송하는 자료가 유사하게 연동된다. 그러므로 DDS의 성능은 전통적인 전술데이터링크에 비해 거의 모든 면에서 능력이 우수하다. 원격레이더자료와 원격교전자료를 자함에서 생성된 자료처럼 활용하기 위해서는 CEC를 전투체계에 통합하는 것이 필요하므로 자함의 대공전 센서들은 CEP 및 전투체계에 연동된다. 원격부대에서 수신한 센서자료를 이용한 복합추적은 전투체계로 보내어 전투체계 전시기에 공중상황도로 전시되고 지휘통제 모듈로 입력되어 위협평가/무장할당 및 교전계획수립에 입력으로 활용된다.

2.3 CEC 구축 사례

미해군이 운용하고 있는 CEC 체계는 수상함 탑재용 AN/USG-2를 기본모델로 하여, 각 목적에 맞게 E-2C/D 조기경보통제기용 AN/USG-3와 해병대 차량형 복합추적망용 AN/USG-4 등 변형모델을 개발하고 있다[20]. 미해군은 1998년 최초 시범운용을 시작으로 2012년 말 기준 총 220개 CEC 체계를 생산하여 이중 75개는 이지스 전투체계에 통합하였고, 나머지 CEC 체계들은 기타 함정과 항공기에 탑재하였다. 최근에는 육군의 JLENS(Joint Land Attack Cruise Missile Defense Elevated Netted Sensor) 비행선 기반 레이더 네트워크와 해병대의 CTN(Composite Tracking Network) 육상배치 레이더 네트워크의 일부로 통합하여 진화시켜 나가고 있다[18].

3. 한국군 협동교전능력(CEC) 체계 적용모델

3.1 한국군 CEC 체계 구성방안

한국해군이 보유하고 있는 대공방어능력은 크게 구역 대공방어능력과 자함 대공방어능력을 갖춘 함정으로 구분할 수 있다. 세종대왕함급 구축함(DDG : Guided Missile Destroyer)은 이지스전투체계, SPY-1D 레이더, SM-2 장거리 SAM을 탑재하여 자함뿐만 아니라 인접함정을 방어할 수 있는 어느 정도의 능력을 보유하고, 충무공이순신함급 구축함(DDH-II)은 전투체계, AN/SPS-49(V) 2차원 장거리 대공감시레이더, SM-2를 탑재한 제한된 구역 대공방어 능력을 보유하고 있다. 단거리 SAM을 탑재한 광개토태왕함급 구축함(DDH-I)을 비롯한 호위함(FFG), 대형수송함(LPH), 상륙함(LST-II) 등 전투체계를 이용한 자함 대공방어 능력을 보유하고 있다[7].

한편, 현재 한국군의 전술데이터링크는 해상전술 표적정보를 자동으로 전파하는 해군전술자료처리체계(KNTDS :

Korea Naval Tactical Data System)와 항적정보를 교환하는 공군의 중앙방공통제소(MCRC : Master Control and Reporting Center)를 중심으로 운용되고 있다. 해군은 KNTDS를 중심으로 Link-11/14 및 ISDL(Inter Site Data Link)을 운용하고 있고, 연합작전시에는 미군전력과 Link-11B로 전술정보를 교환하고 있다. 또한 DDG에 Link-16을 탑재하여 연합작전시 운용하고 있다. 공군은 MCRC를 중심으로 Link-11B, 222망과 RTDS(Real Time Display System)을 운용하고 있고, 이외에도 F-15K, 레이더 사이트 및 방공포 통제소에는 Link-16을 이용하여 연합작전을 수행한다[7]. 육군은 작전의 효율을 향상시키기 위해 지상전술데이터링크(KVMF : Korea Variable Message Format)를 전력화하고 있다[10]. <Table 2>는 전술데이터링크의 적용분야별 종류를 정리한 것이다[9, 17].

<Table 2> Tactical Data Link Types

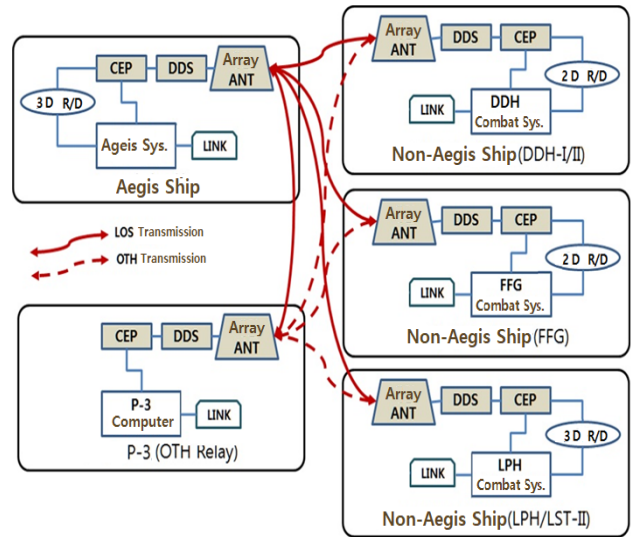
Purpose	Tactical Data Link Type
Situational Awareness/ Command Control	LINK-1, LINK-4, LINK-11/11B, LINK-14, LINK-16, LINK-22, LINK-K, ISDL
Intelligence Image Collection	SCDL, CDL, TCDL
Real-time Precision Strike	CEC, TTNT
Anti-Aircraft Guns	ATDL-1, MBDL, PADIL

해군이 운용하고 있는 KNTDS나 공군의 MCRC는 항공기나 저속의 순항미사일 등과 같은 공중위협에 대해서는 지휘통제 수준의 정보교환이 가능하지만, 표적정보를 실시간으로 분석 전파하는 사격통제 수준의 정보교환은 불가능하다.

따라서, 이지스 전투체계를 탑재한 함정 플랫폼의 개별능력으로 함대구역 방어와 탄도미사일 방어 수준의 능력을 발휘하기에는 제한되고, KNTDS 등의 전술데이터링크를 통해 타 출처의 미사일 추적정보를 공유한다 하더라도 사격통제 수준의 정보교환을 기대할 수 없다.

해군대공방어 차원에서 CEP 및 DDS를 고려한 플랫폼별 CEC 체계는 <Figure 2>와 같이 CEC 네트워크를 통해 연결될 수 있다. 여기서, 항공 플랫폼인 P-3은 초수평선 중계를 통해 교전거리를 확대하는 역할을 할 수 있다.

합동방공 차원에서 해군 CEC는 공군의 KAMD(Korea Air and Missile Defense) 방공망과 E-737 공중조기경보 통제기의 공중표적정보를 수신하여 합동방공 및 탄도탄 방어작전을 수행할 수 있다[20]. CEC망은 크게 센서망과 사격통제망으로 구성될 수 있는데, 통상 센서망은 DDS를 기반으로 쌍접속 전송모드로 레이더추적치 원시자료를 공유하여 CEP에서 자료융합을 수행하여 복합항적을



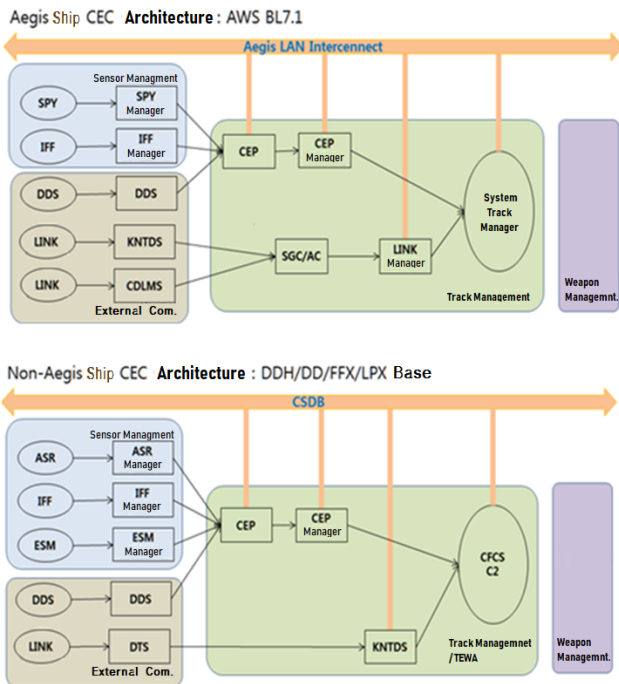
<Figure 2> CEC Implementation Concept

<Table 3> Network Configuration and Data Exchange Function

	Sensor Netting	Fire Control	Combat System
Aegis Ship	CEC Net.(DDS) AA Sensor Value	CEC Net.(DDS) Target Indication Data	Aegis Combat System(SM-2)
Non-Aegis Ship			Self Defense System(AAW)
Non-battle Ship			
P-3	CEC Net.(DDS) Sensor Data Relay		TACCO Mission Computer
KAMD Cell	LINK Net. AirTrack	-	C2BMC

생성함으로써 단일의 통일된 대공전술상황을 전시한다. 사격통제망은 DDS 센서망을 이용하여 사격지시 자료를 전송하는 방안과 함정들이 기존에 보유하고 있는 전술데이터링크를 통하여 자함 전투체계에서 사격지시 자료를 전송하는 방법이 있을 수 있으나, 여기서는 DDS를 통해 사격지시 자료를 전송하는 방법을 적용하였으며, <Table 3>은 CEC 참여부대의 망구성과 자료교환 기능을 나타내었다.

CEC 연동은 해군자산 내의 CEC 망을 구성하는 경우와 해군 DDG와 공군 KAMD C2BMC(Command, Control, Battle Management and Communications)간 CEC망을 구성하는 경우로 구분하여 연동수준을 고려할 수 있다. CEC 체계가 탑재되는 함정은 적어도 자함 대공방어 능력(센서, 무장)을 보유한 함정으로, 대공레이더와 RAM(Rolling Airframe Missile)/SAAM(Surface-to-Air Anti-Missile)급 이상의 대공유도탄을 탑재한 함정을 대상으로 <Figure 3>과 같이 아키텍처를 개념적으로 제시하였다.



<Figure 3> CEC Architecture Concept

종합적으로 한국군 CEC 체계 구현을 위한 최상위 수준의 운용구조를 <Figure 4>에서 해군대공방어 CEC와 합동방공 CEC를 구분하여 나타내었다.



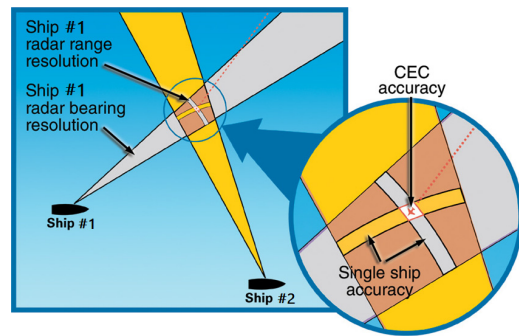
<Figure 4> ROK CEC Operation Structure

3.2 CEC 체계 적용효과 모델

한국해군에 최적화된 CEC는 상대하는 대공위협과 보유한 방공자산이 다르기 때문에 선진국의 CEC와는 운용 및 체계 관점의 요구특성이 차이가 있을 수 있다. 이전 1단계 연구에서 한국해군에 최적화된 CEC 체계구축을 위해 요구되는 5가지 효과목표 즉, 표적추적 정확도 향상, 적아 식별 신뢰도 향상, 표적추적 지속성 유지, 탐지-통제-교전 단계 결심 효율성 향상, 마지막으로 초수평선 표적 교전거리

<Table 4> CEC System Effectiveness Elements

Objective	Effectiveness Elements
Target Tracking Accuracy	Bearing Deviation
	Range Deviation
Identification Reliability	Shape characteristics
	Kinetic characteristics
	Electronic wave Characteristics
Target Tracking Sustainability	Track Continuity
	Track Purity
Detection-Control-Engagement Process Efficiency	Tracking Accuracy
	Identification Reliability
	Tracking Sustainability
OTH Target Engagement Possibility	Maximum Detection Distance
	Number of Ships



<Figure 5> Concept of Improving Target Tracking Accuracy[4]

확대를 제시하였다[6]. 다음으로 해상작전에 CEC 체계 적용효과를 분석하는 모델을 개발하기 위해, 제시한 각각의 효과목표에 대해 영향을 미치는 효과요소를 군사교리 문헌조사와 군사전문가 의견수렴을 통해 도출하였고, 이를 구조화하면 <Table 4>와 같이 나타낼 수 있다.

3.2.1 표적추적 정확도 효과(Target Tracking Accuracy)

레이더는 매 스캔시 표적에서 반사되는 전파신호를 이용하여 표적의 거리와 방위를 계산한다. 레이더 거리는 전파를 송출하여 반사파가 되돌아오는 시간을 기준으로 산출하고 방위는 레이더의 빔폭을 기준으로 산출하므로 내재적으로 오차가 발생할 수 밖에 없다. 따라서 표적추적 정확도는 표적의 레이더반사면적(RCS : Radar Cross Section)을 기준으로 플랫폼에 탑재한 레이더가 가지는 고유의 방위편차와 거리편차 특성에 따라 결정되어 진다.

통상 방위편차와 거리편차가 일치하지 않지만 같은 표적에 대해 서로 다른 위치에 있는 두함정이 레이더로 탐지할 경우 오차범위가 두함정의 중첩된 오차범위로 좁혀지므로 복합항적의 위치를 더 정확하게 추정할 수 있다. <Figure 5>은 두함정의 중첩된 오차범위로 좁혀지는 개념을 나타낸다.

표적추적 정확도 A_{TT} 는 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$A_{TT} = \frac{RCS}{\sigma_r^i \times \sigma_b^i} \quad (1)$$

여기서, RCS 는 표적의 레이더반사면적이고, σ_r^i 와 σ_b^i 는 각각 거리편차와 방위편차로 $\sigma_r^i \times \sigma_b^i$ 는 레이더로 탐지하는 표적위치의 불확실성 영역을 의미한다.

CEC 표적추적 정확도 A_{TT}^{CEC} 는 중첩된 오차범위를 고려하여 표적위치의 불확실성 영역을 최소화하는 식 (2)와 같이 표현될 수 있다[11].

$$A_{TT}^{CEC} = \frac{RCS}{\text{Min}(\sigma_r^i, \sigma_b^i) \times \text{Min}(\sigma_b^i, \sigma_r^i)}, i \neq j \quad (2)$$

단, $i, j=1, 2, 3 \dots N$ 표적추적 플랫폼의 수이다.

3.2.2 적아식별 신뢰도 효과(Identification Reliability)

탐지 및 추적 중인 공중표적에 대해 수동 또는 자동식별체계를 이용하여 표적추적의 속성을 평가하거나 전술상황이나 표적의 운동역학적 특성치(침로, 속도, 고도) 자료를 기초로 표적을 분류하고 IFF 장비를 운용하여 적아를 식별하게 된다.

표적식별의 목표는 여러 출처에서 일정시간 수집된 자료들을 종합하여 표적의 적성여부(아군, 중립, 적군), 표적클래스(폭격기, 전투기, 민항기, 함정 등), 표적유형(F-18, Mig-29, P-3C 등)에 대한 지식을 정련하는 것이다. 표적식별은 표적을 구분할 수 있는 특성치를 이용하는데, 크게 표적의 모양, 운동행태, 전자기와 방출 등 3가지 특성그룹이 있다. 표적특성을 활용하려면 다수의 센서가 필요한데, 운동특성(속력, 가속도)과 모양특성(거리 프로파일, 레이더 반사면적, 표적고유의 도플러신호 등)은 레이더(R/D, Radar)를 통해 제공된다. 적외선센서(IR, Infrared Sensors)는 표적의 모양(표적의 공간적 형상, 표적면적 등)을 제공할 수 있고, 전자지원책(ESM : Electronic Support Measures) 센서는 표적의 전자파방사를 활용하여 송신주파수, 펄스반복구간, 펄스폭 등 에미터 유형을 알 수 있다. 마지막으로 IFF 장비는 항공기의 적아식별을 확실하게 해주는 목적으로 사용된다.

함정의 센서성능과 운용환경에 따라 센서정보를 얻지 못하거나 정확성이 떨어질 수 있으므로 두함정의 센서정보를 공유함으로써 더 많은 정보를 토대로 적아식별의 정확도를 높여 신뢰도를 향상할 수 있다. 최종 적아식별을 확인하는 IFF 장비는 제외하기로 한다.

각 센서에서 수집된 정보식별 정확도인 레이더 식별정확도 A_{RD} , 적외선센서 정보식별 정확도 A_{IR} , 및 ESM 정보식별 정확도 A_{ESM} 는 레이더, 적외선센서 및 ESM 식별확

률로부터 표적정보 I_T 를 곱하여 식 (3)과 표현할 수 있다. 이때, 표적정보 I_T 는 표적의 모양·운동·전자적 정보를 포함하고 있다.

$$A_{RD} = P_{RD} \times I_T \quad (3)$$

$$A_{IR} = P_{IR} \times I_T$$

$$A_{ESM} = P_{ESM} \times I_T$$

여기서, P_{RD} 는 레이더 식별확률, P_{IR} 는 적외선센서 식별확률, P_{ESM} 는 ESM 식별확률이다.

단일 플랫폼에서 적아식별 신뢰도 R_{ID} 를 제시해 보면 식 (4)와 같다.

$$R_{ID} = 1 - (1 - A_{RD}) \times (1 - A_{IR}) \times (1 - A_{ESM}) \quad (4)$$

CEC 적아식별 신뢰도 R_{ID}^{CEC} 는 CEC를 탑재한 플랫폼들의 모든 센서정보의 적아식별 정확도를 고려하므로 식 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$R_{ID}^{CEC} = 1 - \prod_i (1 - A_i), i \neq j \quad (5)$$

3.2.3 표적추적 지속성 효과(Target Tracking Sustainability)

표적을 지속적으로 추적하기 위해서는 센서들이 표적탐지를 유지하고 센서네트워크를 통한 표적자료 전송이 단절되지 않아야 복합추적의 지속성이 유지될 수 있을 것이다.

항적지속성에 대한 성능척도는 가장 긴 항적세그먼트의 길이와 항적번호의 수가 될 수 있다. 항적의 연속성과 청정성은 항적과 표적 모두에 대해 계산될 수 있다. 항적연속성은 동일한 표적에 다수의 항적이 할당되거나 한 표적에 항적이 할당되지 않는 경우 연속성에 문제가 발생한 것이다. 또 한 표적에 대해 추적이 시작되면 항적번호가 부여되는데, 연속되는 프레임에서도 같은 항적이 계속 유지되지 않고 항적번호가 뒤바뀌거나 단절된다면 추적의 연속성이 깨진 것이다. 항적청정성은 각 항적과 실제표적과의 쌍에 대해 항적이 갖는 일관성을 의미한다.

항적연속성과 항적청정성은 센서의 성능, 운용환경 등 다양하게 변화될 수 있기 때문에 일정하지 않다고 가정하여 임의의 값을 적용하고, 표적추적 지속성을 유지하는데 가장 필요한 요소인 표적추적정확도를 고려할 수 있다. CEC의 센서네트워크를 이용하면 두함정의 항적연속성과 항적청정성 중 가장 큰 값을 적용할 수 있다.

표적추적 지속성 S_{TT} 을 제시해 보면 식 (6)과 같다.

$$S_{TT} = \beta_c^i \times \beta_p^i \times A_{TT} \quad (6)$$

여기서, β_c^i 와 β_p^i 는 0부터 1사이의 값으로 각각 항적연속성과 항적청정성을 의미하고, A_{TT} 는 표적추적 정확도이다.

CEC 표적추적 지속성 S_{TT}^{CEC} 은 CEC를 탑재한 플랫폼들의 우수한 항적연속성과 항적청정성을 고려하므로 식 (7)과 같이 표현될 수 있다.

$$S_{TT}^{CEC} = \text{Max}(\beta_c^i, \beta_p^i) \times \text{Max}(\beta_p^i, \beta_c^i) \times A_{TT}^{CEC}, i \neq j \quad (7)$$

단, $i, j = 1, 2, 3 \dots N$ 표적추적 플랫폼의 수이다.

3.2.4 탐지-통제-교전 효율성 효과(Detection-Control-Engagement Process Efficiency)

수상전투함의 대공전 패러다임은 전통적으로 탐지-통제-교전 프로세스를 따른다. CEC의 역할은 탐지 프로세스의 표적에 대한 항적설정 및 항적유지 기능이 중심이 될 것이다. 탐지단계에서는 센서네트워킹으로 원격센서에서 수집된 레이더추적치를 이용하여 복합추적기능을 수행한다. 통제단계와 교전단계에서는 위협평가/무장할당 및 교전협조를 위한 정보공유가 이루어진다. 탐지-통제-교전 효율성은 표적추적 정확도, 적아식별 정확도 및 표적추적 지속성이 종속변수로서 작용된다. 전문가 판단 기법을 적용하여 <Table 5>와 같이 표적추적 정확도, 적아식별 신뢰도 및 표적추적 지속성의 가중치를 적용할 수 있다.

<Table 5> Weight of Impact on the Process

	Tracking Accuracy	Identification Reliability	Tracking Sustainability
Weight	$w_{A_{TT}}$	$w_{R_{ID}}$	$w_{S_{TT}}$

탐지-통제-교전 프로세스의 효율성 E_P 는 식 (8)과 같이 표현될 수 있다.

$$E_P = A_{TT} \times w_{A_{TT}} + R_{ID} \times w_{R_{ID}} + S_{TT} \times w_{S_{TT}} \quad (8)$$

마찬가지로, CEC 탐지-통제-교전 프로세스의 효율성 E_P^{CEC} 는 CEC 표적추적 정확도, CEC 적아식별 신뢰도, CEC 표적추적 지속성을 고려하므로 식 (9)와 같이 표현된다.

$$E_P^{CEC} = A_{TT}^{CEC} \times w_{A_{TT}} + R_{ID}^{CEC} \times w_{R_{ID}} + S_{TT}^{CEC} \times w_{S_{TT}} \quad (9)$$

3.2.5 교전거리 확대 효과(OTH Target Engagement Possibility)

초수평선 표적에 대한 교전거리는 미사일 발사거리와는 별개로 탐지 및 추적 레이더의 최대탐지거리로 인해 제한된다. 이와 같은 제한을 극복하는 방법은 원격센서들을 네트워크로 연결하고 센서자료를 융합하여 사격통제 수준의 정밀복합추적을 수행하는 것이다. 원격부대에서 제공한 위

협정보를 이용하여 사격부대가 요격미사일을 발사할 수 있으므로 확대된 탐지거리까지 교전범위가 증가하게 된다.

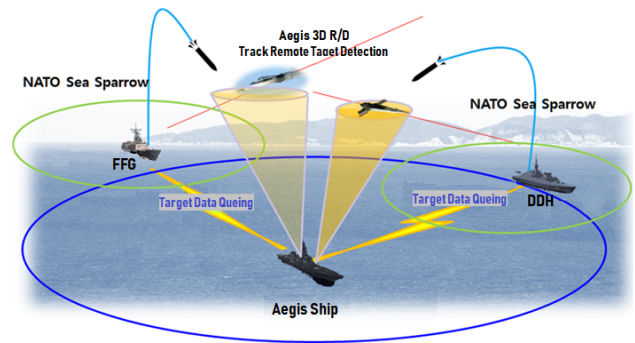
레이더 최대탐지거리를 고려하여, 교전거리 E_{ER}^{CEC} 을 함정 플랫폼이 동일한 경우(a)와 다를 경우(b)를 구분하여 제시해 보면 식 (10)과 같다.

$$E_{ER}^{CEC} = (k-1) \times 2R_{\max} \quad (10a)$$

$$\text{또는 } E_{ER}^{CEC} = \sum_i^{k-1} 2R_{\max} \quad (10b)$$

여기서, k 는 함정 척수, R_{\max} 는 최대탐지거리이다.

즉, 연안해역에 전개하고 있는 함정의 수와 레이더의 최대탐지거리에 비례하여 증가한다고 할 수 있다. <Figure 6>은 이지스함과 비이지스함이 연안작전 수행시에 예상되는 교전거리 확장 개념도이다.



<Figure 6> Expansion Concept of Engagement Range for Korea Naval Ships

4. 해상작전에 협동교전능력(CEC) 체계 적용 효과 분석 사례연구

4.1 효과분석 절차

해상작전에 CEC 체계 적용효과 분석 절차는 <Figure 7>과 같이 2단계로 이루어진다. 1단계는 CEC 개념연구와 효과목표를 도출하고, 2단계는 1단계에서 도출한 효과목표를 기준으로 모델링하고 시뮬레이션을 실시한다. 이를 통해 해상작전에서 CEC 체계 적용효과를 분석하는 순으로 진행하였다.



<Figure 7> Effects Analysis Process

해상작전에서 CEC 체계 적용효과 분석을 용이하게 하기 위한 모델을 MS Visual Studio 2015 프로그램으로 C# 언어를 사용하여 개발하였다.

4.2 모의 시나리오

CEC 체계 적용효과 모델을 활용한 시뮬레이션을 위하여 <Table 6>과 같이 주요 4가지 효과에 대한 모의 시나리오를 제시하였으며, 교전거리 확대 효과는 최대탐지 거리에 비례하여 단순 증가하므로 제외하였다.

<Table 6> CEC System Operation Scenarios

Scenario	Contents
#1	Target Tracking Accuracy Effect
#2	Identification Reliability Effect
#3	Target Tracking Sustainability Effect
#4	Detection-Control-Engagement Process Efficiency Effect

- ① 표적추적 정확도 시나리오 : 함정은 레이더 정보를 이용하여 정확한 위치를 파악하려고 한다.
- ② 적아식별 신뢰도 시나리오 : 함정은 가용한 센서정보를 이용하여 표적의 적아를 판단하려고 한다.
- ③ 표적추적 지속성 시나리오 : 함정은 작전환경의 영향을 받아 표적에 대해 임의의 항적연속성과 항적청정성 값을 가지고 지속적으로 표적을 추적하려고 한다.
- ④ 탐지-통제-교전 효율성 시나리오 : 함정은 표적을 탐지 및 추적하고 적아식별을 판단하여 무장을 이용한 교전에 이르기까지 효율적으로 진행하려고 한다.

4.3 가정 및 고려사항

일반적인 해상작전에서 기초하여 아래와 같은 가정사항을 고려하였다. 수상함 2척이 해상에서 대함유도탄에 대응하여 대공전을 수행하고, 각 함정의 표적 탐지 및 추적에 가용한 센서는 레이더, 적외선탐지기 및 ESM으로 하였다. CEC 체계를 탑재하지 않은 경우, 각 함정은 자체 센서만을 이용하여 대공전을 수행하며 함정 센서 간의 정보공유는 없는 것으로 하였다. 또한 2척의 함정은 하나의 표적(대함유도탄)을 동시에 추적하고 있는 상황을 가정하였다.

표적의 정보는 <Table 7>, 함정 레이더의 성능제한은 <Table 8>과 같이 실험값을 설정하였다.

<Table 7> Target Information

	RCS	Shape	Motion	EW
Value	5m ²	0.6	0.8	0.2

<Table 8> Radar Specifications

	Bearing deviation	Range deviation
Ship #1	5nmi	10°
Ship #2	12nmi	4°

표적에 대한 센서별 적아식별 확률은 <Table 9>와 같이 가정하였고, 각 함정의 표적에 대한 항적연속성과 항적청정성은 상황에 따라 수시로 변하므로 1 이하의 임의수로 하였다.

<Table 9> Sensor Characteristic Value

	R/D	IR	ESM	IFF
Ship #1	0.8	0.7	0.8	1.0
Ship #2	0.7	0.6	0.8	1.0

해군교리와 해상전술에 전문적인 경험과 식견이 있는 전투병과 해군 영관장교를 대상으로 탐지-통제-교전 효율성에 대한 설문으로 AHP 분석을 실시하여 표적추적정확도, 적아식별 신뢰도 및 표적추적 지속성에 대한 가중치를 <Table 10>와 같이 도출하였다.

<Table 10> Weight of Impact on the Process

	Tracking Accuracy	Identification Reliability	Tracking Sustainability
Weight	0.3	0.5	0.2

기본 시뮬레이션 결과에서 파라미터 값의 변화에 따른 영향성 분석을 추가적으로 고려하였다. 첫 번째 추가 실험은 함정의 레이더 성능제한이 시뮬레이션 결과에 미치는 영향을 분석하기 위해 방위 및 거리편차를 동형함정인 경우를 설정하여 수행하였고, 두 번째는 표적의 주요 특성값인 RCS가 시뮬레이션 결과에 미치는 영향을 분석하기 위해 RCS 값을 단계적으로 변화하여 추가적인 시뮬레이션을 수행하였다.

4.4 시뮬레이션 결과 및 분석

표적의 RCS가 5일 경우, 식 (1)에 따라 1번함 레이더의 방위편차 5, 거리편차 10일 때 표적추적 정확도는 0.1이고, 2번함 레이더의 방위편차 12, 거리편차 4일 때 표적추적 정확도는 약 0.1이다. 이 경우 식 (2)에 따라 CEC 표적추적 정확도는 CEC 네트워크를 통한 표적정보 공유로 중첩된 오차범위를 최소화함으로써 <Table 11>의 결과와 같이 0.25만큼 향상됨을 알 수 있다. CEC 체계 구축 전후를 비교하면 1번함 기준으로 표적추적 정확도 2.5배의 향상 효과가 있다.

<Table 11> Target Tracking Accuracy Table

	ship #1	ship #2	CEC
Bearing Deviation	5	12	-
Range Deviation	10	4	-
Tracking Accuracy	0.100	0.104	0.250

식 (4)에 의거 각 함정의 센서정보가 제공하는 식별특성에 따라 1번함의 적아식별 신뢰도가 약 0.95이고 2번함의 적아식별 신뢰도가 약 0.94이다. 이 경우 식 (5)에 따라 CEC 적아식별 신뢰도는 CEC 네트워크를 통한 센서정보 공유에 의한 높은 식별특성 정보로 인하여 <Table 12>의 결과와 같이 0.99로 증가함을 알 수 있다. CEC 체계 구축 전후를 비교하면 1번함 기준으로 적아식별 신뢰도 4% 향상 효과가 있다.

<Table 12> Identification Reliability Table

	ship #1	ship #2	CEC
Radar(Motion)	0.640	0.560	-
IR(Shape)	0.420	0.360	-
ESM(pulse)	0.160	0.160	-
Identification Reliability	0.958	0.944	0.998

각 함정의 항정연속성과 항적청정성에 추적정확도를 고려하여 식 (6)에 의한 1번함의 표적추적 지속성과 2번함의 표적추적 지속성에 비해 식 (7)에 의한 CEC 표적추적 지속성은 <Table 13>과 같이 향상됨을 알 수 있다. CEC 체계 구축 전후를 비교하면 1번함 기준으로 표적추적 지속성 2.5배의 향상 효과가 있다.

<Table 13> Target Tacking Sustainability Table

	ship #1	ship #2	CEC
Track Continuity	0.890	0.181	-
Track Purity	0.843	0.855	-
Tracking Accuracy	0.100	0.104	0.250
Tracking Sustainability	0.075	0.016	0.190

두 함정 각각에서 탐지-통제-교전 프로세스에서 추적정확도, 식별신뢰도, 추적지속성의 가중치를 고려한 식 (8)에 의한 각 함정의 프로세스 효율성과 식 (9)에 의한 CEC 프로세스 효율성을 비교하면 <Table 14>와 같이 향상됨을 알 수 있다. CEC 체계 구축 전후를 비교하면 1번함 기준으로 프로세스 효율성 약 16% 향상 효과가 있다.

시뮬레이션 결과를 종합해 보면, 플랫폼 자체 센서로만 해상작전을 수행할 때 보다 CEC 체계를 적용하여 수행하는 해상작전이 표적추적 정확도, 적아식별 신뢰도,

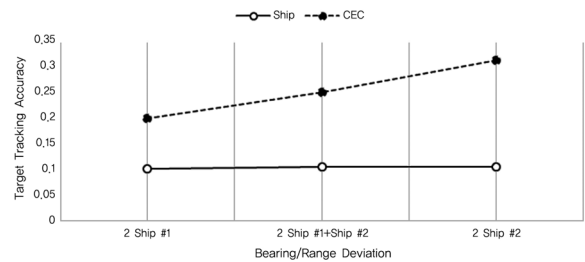
<Table 14> Process Efficiency Table

	ship #1	ship #2	CEC
Tracking Accuracy	0.100	0.104	0.250
Identification Accuracy	0.958	0.944	0.998
Tracking Sustainability	0.075	0.016	0.190
Process Efficiency	0.524	0.506	0.612

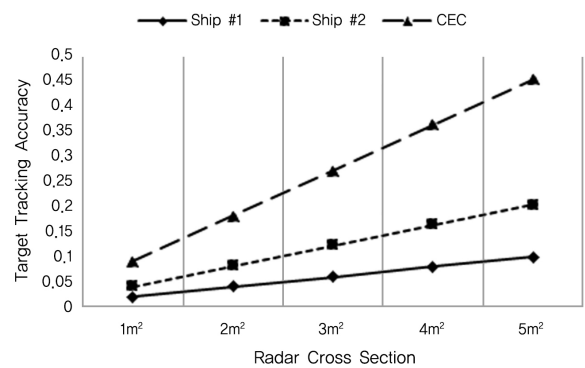
표적추적 지속성, 탐지-통제-교전 수행 효율성 모두 향상됨을 볼 수 있었다. 이는 자체 센서 보다 더 정확하고 신뢰 높은 타 플랫폼의 센서의 표적정보가 있는 경우, 이를 자체 센서 정보와 함께 처리하여 얻어지는 효과이다. 즉, CEC 체계를 적용하면 보다 효과적인 해상작전을 수행할 수 있을 것이라고 분석된다.

파라미터 값의 변화에 따른 영향을 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저, <Figure 7>은 참가 함정들의 방위 및 거리편차에 따른 표적추적 정확도의 변화를 나타낸다. 함정 레이더의 성능제원을 기존 실험값과 2척의 동형함정 성능제원으로 설정하였을 경우를 비교하면, 방위 또는 거리의 편차가 적은 레이더가 포함되면 CEC 체계 적용에 더 나은 효과가 있음을 알 수 있다.

두 번째로 <Figure 8>은 표적 RCS를 1m²부터 5m²까지 변화함에 따른 표적추적 정확도의 변화를 나타낸다. 표적 RCS의 증가에 따라, CEC 체계를 적용한 표적추적 정확도의 증가율이 개별 함정의 표적추적 정확도 증가율 보다 높음을 알 수 있다.



<Figure 7> Deviation-TTA Variation Diagram



<Figure 8> RCS-TTA Variation Diagram

현재 한국해군은 CEC 체계에 대한 기본 시스템과 운영에 대한 출발점에 있으므로, CEC 체계 구축을 위한 실험방법을 설정하고 확장 가능한 시뮬레이션 도구를 정립하여, 향후 다양한 전투실험에 활용할 수 있도록 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 검증하였다.

5. 결 론

본 연구는 현재 플랫폼 위주의 한국군 대공방어한계를 극복하기 위해 필수적이라 판단되는 CEC 체계 구축의 타당성을 제공하는 데 목적이 있다. 이를 위하여 한국군 무기체계에 기초한 CEC 체계 적용방안을 제시하고, CEC 체계 구축을 위한 표적추적 정확도, 적아식별 신뢰도, 표적추적 지속성, 탐지-통제-교전 효율성 및 교전 거리 확대 등 5가지 효과목표를 도출하였다. 또한 CEC 체계 구축의 합리적 데이터 도출을 위한 과정을 모델로 제안하고 해상작전에 CEC 체계 적용효과 분석을 위한 시뮬레이션으로 사례연구를 수행하였다. 사례연구를 통하여 CEC 체계 구축 전·후를 비교함으로써 해상작전에서 CEC 체계를 적용한 효과를 판단할 수 있는 결과를 도출하였다.

따라서 한국군 CEC 체계 구축의 타당성에 대한 하나의 논리로서 본 연구에서 제시한 모델과 사례연구를 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 지금의 한국해군은 CEC 체계 구축을 위한 초기 개념연구 단계이므로 향후 체계 구성 및 형상을 만드는 과정에서 수집된 데이터를 기반으로 본 연구에서 제시한 방법 및 도구를 적용하여 실험 및 최적화가 가능하도록 발전시켜야 할 것이다.

References

- [1] APL Team, The Cooperative Engagement Capability, *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 1995, Vol. 16, No. 4, pp. 377-396.
- [2] Choi, S.L. and Park, D.G., A Study on Securing Ship Survivability focused on a Cost and Effectiveness Analysis for Air Defense Performance, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 2014, Vol. 15, No. 5, pp. 2579-2586.
- [3] Duhon, C.J., Tactical Decision Aid for CEC Engage on Remote, *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 2002, Vol. 23, No. 2-3, pp. 202-208.
- [4] Grant, C.J., CEC : Sensor Netting with Integrated Fire Control, *Johns Hopkins APL Technical Digest*, 2002, Vol. 23, No. 2-3, pp. 149-161.
- [5] Jang, J.G., Kim, K.T., Choi, B.W., and Suh, J.J., A Linear Approximation Model for an Asset-based Weapon Target Assignment Problem, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2015, Vol. 38, No. 5, pp. 108-116.
- [6] Jung, Y.T., Kim, G.W., Oh, H.S., and Choi, B.W., A Study on the Cooperative Engagement Capability for Korea Navy, *Journal of Military Science and Technology Studies*, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 11-19.
- [7] Kim, J.H., A Study on Communication Frame for Cooperative Engagement Capability of Korean Naval Ships, [master's thesis], [Seoul, Korea] : Korea University, 2015.
- [8] Kim, J.H., Kim, K.T., Choi, B.W., and Suh, J.J., An Application of Quantum-inspired Genetic Algorithm for Weapon Target Assignment Problem, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2017, Vol. 40, No. 4, pp. 260-267.
- [9] Kim, J.S., Kim, S.J., and Lim, M.Y., Overview of Tactical Data Link Technology, *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 2007, Vol. 25, No. 9, pp. 18-28.
- [10] Kim, M.W., Ground tactical data link; Successful development with domestic technology, *Defense & Technology*, 2012, Vol. 404, pp. 40-40.
- [11] Kim, Y.G., Yim, G.S., and Jun, B.W., A Study on the Effectiveness of Networked Weapon System for Combat Contribution Analysis, *Korea Institute for Defense Analysis*, 2000, pp. 105-106.
- [12] Kim, Y.H., Its Current Status and South Korea's Policy Choice, *The Korean Journal of International Studies*, 2010, Vol. 50, No. 5, pp. 151-164.
- [13] Kwon, Y.S., Network-centric future battlefield, *Proceedings of IEEK, Korea*, 2008, pp. 93-114.
- [14] Lee, D.H., China's ballistic missile development trend, *Defense & Technology*, 2012, Vol. 403, pp. 54-67.
- [15] Lim, J.S., An Accurate Direction Finding Technology Using a Phase Comparison and Time Difference of Arrival, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 2011, Vol. 12, No. 11, pp. 5208-5213.
- [16] O'Neil, W.D., The Cooperative Engagement Capability (CEC) : Transforming naval anti-air warfare, *Case Studies in National Security Transformation*, 2007, pp. 1-26.
- [17] Park, Y.S., Tactical Data Link Development Trend, *Defense & Technology*, 2010, Vol. 377, pp. 74-89.
- [18] Reason, J., Cooperative Engagement Capability(CEC), US Navy, Program Executive Office Washington United

States, 2015.

asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2018082416280898901.

- [19] Seok, G.B. and Jeon, J.Y., North Korea's Ballistic Missile Development Trend, *Defense & Technology*, 2011, Vol. 386, pp. 60-75.
- [20] U.S. Navy Fact Sheet, <http://www.navy.mil/navydata/fact.asp>.
- [21] Yang, N.G.'s Defense Club(Asia Economics), <http://view>.

ORCID

- Yong-Tae Jung | <http://orcid.org/0000-0002-8558-8805>
- Bong Joo Jeong | <http://orcid.org/0000-0002-2891-5718>
- Bong-Wan Choi | <http://orcid.org/0000-0002-9609-1714>
- Dong-Soon Yim | <http://orcid.org/0000-0003-4968-9091>