

## 차세대 해상전투실험체계 구현을 위한 V-C 연동실험 및 연동분석 방법론 연구

신현수<sup>1)</sup> · 김정훈<sup>2)</sup> · 최봉완<sup>1)</sup> · 임동순<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> 한남대학교 산업경영공학과

<sup>2)</sup> 국방과학연구소 제6기술연구본부 3부

### A Study on V-C Interoperability Test and Methodology of V-C Interoperation Analysis for Next Generation Maritime Warfighting Experimentation Systems

Hyunsoo Shin<sup>1)</sup> · Junghoon Kim<sup>2)</sup> · Bongwan Choi<sup>1)</sup> · Dongsoon Yim<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Industrial Management Engineering, Hannam University, Korea

<sup>2)</sup> 3rd. Directorate, Naval Systems R&D Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 17 July 2015 / Revised 27 November 2015 / Accepted 18 December 2015)

#### ABSTRACT

The warfighting experimentation is the most important for the weapon acquisition process because the warfighting experimentation shall support the operation effectiveness as well as acquisition logicity. Therefore, ROK Navy is starting to set up the next generation warfighting experimentation systems. According to literature studies, there have been many studies regarding the interoperability of Simulators(Virtual) and Exercising models(Constructive), but not for studies regarding interoperability between Simulators(Virtual) and Analysis models(Constructive) that is the core component of next generation maritime warfighting experimentation systems. This study is dealing with the V-C(Analysis model) interoperability test and methodology of interoperation analysis. The purpose of the study is to provide the new analysis methodology through V-C(Analysis model) interoperation, which can be applied for the concept of operations(CONOPS) of next generation maritime warfighting experimentation systems. In addition to that, the study validates the suggested analysis methodology by the case study of a naval operation.

Key Words : Maritime Warfighting Experimentation Systems(해상전투실험체계), Navy Analysis Model(해군분석모델), V-C(Analysis Model) Interoperation(V-C 연동), HLA/RTI

#### 1. 서론

최근 무기체계 획득환경은 작전 환경변화, 예산 축

\* Corresponding author, dsyim@hannam.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

소 등의 국방환경 변화, 급속한 국방과학기술발전과 더불어 고난이도의 무기체계 사양을 요구하는 등 급속하게 변화하고 있다. 이에 따라 대부분의 선진 국가들은 변화하는 무기체계 획득 환경에 대응하기 위하여 새로운 무기체계 획득 방법 뿐만 아니라 획득 지원 수단도 체계화 하려는 노력을 경주하고 있는 상황이다. 또한, 정보기술의 발달에 따라 무기체계의 수명주기가 빠르게 단축되고 있으며, 첨단화에 따른 고가화로 새로운 무기체계의 획득비용 증가 압력이 커지고 있다. 따라서 첨단과학화 군대를 지향하는 우리 군에서는 빠르게 변화하는 안보환경에 능동적으로 대응하면서 재정적 압박을 극복하기 위한 해결책으로 전투실협을 적극 활용하고 있다.

전투실협은 전투발전분야에 공학적인 실험방법을 적용하는 방법론으로 운용개념과 요구능력을 충족하는 신기술, 신체계, 신교리, 신조직 등의 대안들을 반복적으로 실험, 성숙시켜 성공이 보장되도록 하는 소요제기 과정이다<sup>[1]</sup>. 즉, 전투실협이란 미래 대비 전투발전요소(DOTMLPF : Doctrine, Organization, Training, Materiel, Leadership, Personnel, Facilities) 변화에 대한 가능성을 검토하고, 미래전 수행에 관련된 문제점 분석 및 해결방안을 제시하는 것으로 전투실협의 방법에는 연구분석, 세미나, 워크숍, 모의분석(M&S : Modeling & Simulation), 기술시범, 훈련 및 연습, 실기동 실험 등이 있다. 그러나 연구분석, 세미나, 워크숍 등은 이론 중심의 전투실협 방법으로 그 한계성을 인정하지 않을 수 없다. 기술시범, 훈련 및 연습, 실기동 실험은 정확한 실험결과를 도출할 수 있으나, 실제 기동 및 무기체계 운용을 위한 많은 시간과 예산이 요구되며, 환경오염 등의 부작용이 수반되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하고 과학적이며 합리적인 결과를 도출할 수 있는 최적의 방안이 바로 M&S 기반의 모의실험에 의한 전투실협으로 인식과 공감대가 확산되고 있다<sup>[2,3]</sup>.

우리 군은 과학적이고 합리적인 소요 창출과 검증을 위해서 전투실협을 핵심적인 과정의 하나로 인식하고, 전투발전요소 개선 및 전력소요 창출에 대한 객관적 검증 등을 위한 LVC(Live, Virtual, Constructive)를 기반으로 하는 차세대 해상전투실협체계 구축을 추진하고 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 우리 군의 위게임모델(Constructive) 간 C-C 연동은 일부 진행되고 있는 상황이며, 연습모델(C)과 실체계(Live) 연동은 일부 망을 통한 수신만 가능한 실정이고, 훈련을 위한 연습모델(C)과 시뮬레이터

(Virtual) 간 연동에 관한 연구는 일부 진행 되었다<sup>[5-7]</sup>. 하지만, 분석을 위한 분석모델(C)과 시뮬레이터(V) 간 연동에 대한 연구는 분석모델의 운용적 측면과 분석모델의 특성(장점) 등이 시뮬레이터와 연동으로 인해 상쇄된다는 선입관으로 인해 진척되지 못하고 있었다. 그러나, 분석모델의 운용적 측면과 분석모델의 특성(장점) 등이 어느 정도 제한되는 환경 하에서도 분석모델(C)과 시뮬레이터(V)를 연동해야 하는 가장 큰 이유는 인적요소 및 무기체계급 수준의 환경요소 등이 반영된 현실감 있는 가상환경 구축을 통해 신뢰성이 높은 분석결과를 도출할 수 있기 때문이다. 즉, 분석모델(C)과 시뮬레이터(V) 간 연동이 분석모델(C)의 핵심가치인 신뢰성 향상에 크게 기여할 수 있기 때문에 본 연구를 시작하게 되었다.

따라서 본 논문에서는 해상전투실협체계의 LVC 연동분야 중에서 작전적 분석을 지원하기 위한 분석모델(C)과 시뮬레이터(V) 간 연동실험과 연동분석 방법론을 중심으로 논하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 연습모델과 분석모델의 개념을 소개하고, 3장은 LVC 체계의 현실태 및 해상전투실협체계 개념에 대해 살펴본다. 4장은 분석모델(C)과 시뮬레이터(V)의 연동절차를 제시하고, 5장은 제시된 연동절차에 따라 분석모델(C)과 시뮬레이터(V)의 연동실험을 실시한다. 6장은 분석모델(C)과 시뮬레이터(V) 연동분석 방법론을 제시하고, 사례연구를 통하여 검증하며, 7장에서 결론을 맺는다. Fig. 1은 본 논문의 연구방향을 나타내고 있다.

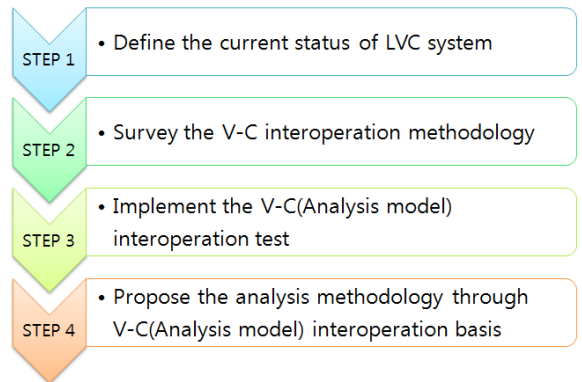


Fig. 1. Flow chart of the V-C interoperation study

## 2. 연습모델과 분석모델의 개념

연습모델과 분석모델이 모두 Constructive 모델에 속하기는 하지만 다음과 같은 상이한 특성을 가지고 있다.

첫째, 연습모델과 분석모델의 목적이 상이하다. 연습모델은 교육훈련이 필요한 지휘관 및 참모, 전투원에게 다양한 전장상황을 간접적으로 체험할 수 있는 기회를 제공하고 상대적으로 다양한 전장환경과 상황대응 절차에 중점을 두고 모의통제가 이루어진다. 따라서 시스템 운용절차 및 전쟁수행 절차가 훈련되도록 설계된 모델이다. 반면, 분석모델은 부대 및 전력소요 분석, 작전계획 타당성 검증, 전시자원소요 산정 등의 의사결정을 지원하기 위한 정량적 분석 수단으로 활용되는 모델이다. 따라서 분석모델은 신뢰성 있는 데이터베이스 구축을 핵심으로 한다.

둘째, 연습모델과 분석모델은 운용체계가 상이하다. 연습모델은 다수의 게이머가 연습에 참가하는 반면, 분석모델은 1명 또는 소수의 분석가가 위게임을 모의한다. 따라서 연습모델은 모델운용자의 숙련도가 위게임 모의에 상당한 영향을 준다. 즉, 모델운용자의 수준이 초보에서 전문가 수준까지 다양하다. 하지만, 분석모델은 소수의 전문가가 모델에 입력된 교전모의논리와 입력된 전술에 따라 모델을 운용하기 때문에 유사한 시나리오를 가지고 교전을 할 경우, 오차 범위 내에서 유사한 모의결과가 산출된다.

셋째, 연습모델과 분석모델은 모의속도가 상이하다. 연습모델은 전구급 수준의 작전계획을 위게임 모의하는데 1주에서 2주 정도의 훈련기간을 두고 실제 시간 또는 근실시간 모의속도를 반영하여 모의를 진행한다. 하지만, 분석모델은 2주간의 전구급 작전계획을 모의할 경우에도, 수 십분 이내에서 모의 진행이 이루어진다. 따라서 연습모델과 분석모델은 모의수행 간 모의속도가 매우 상이하다.

이처럼, 연습모델과 분석모델은 활용목적, 운용체계, 모의속도 차이 등으로 인해 확실히 구분된다. 여기서, 연습모델은 활용목적, 운용체계 및 실시간 또는 근실시간 모의속도 등을 고려했을 때, 실체계(L)와 시뮬레이터(V) 간 연동환경이 유사하여 연습모델(C)-시뮬레이터(V)-실체계(L) 간 연동이 용이하다. 하지만, 분석모델은 단독 운용체계 및 빠른 모의속도 등으로 인해서 분석모델(C)-시뮬레이터(V)-실체계(L) 간 연동분야 발전이 쉽게 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

## 3. LVC 체계의 현실태 및 해상전투실험체계 개념

육군의 경우에는 Live 시뮬레이션을 중심으로 하여 합성전장환경 구축을 추진 중에 있다. Live 시뮬레이션은 여단급 이하에서 실기동으로 하고, Virtual 시뮬레이션은 전차/항공 시뮬레이터를 이용하며, Constructive 시뮬레이션은 창조21, OneSAF, DNS 등을 활용하여 연동을 추진하고 있으나, 분석용 위게임 모델에 해당되는 OneSAF, DNS, JOAM-K 등과 Live 또는 Virtual 시뮬레이션 간 연동은 아직 구체화 되지 못하고 있다.

공군의 경우에는 Virtual 시뮬레이션을 중심으로 하여 합성전장환경 구축을 추진 중에 있다. 비행훈련과 연계한 LVC 훈련체계 구축 및 전투실험 전대를 편성하여 전장기능별 전투실험 수행계획을 추진 중이다. 주로 Virtual 시뮬레이션은 조종사 훈련용으로 활용되고, Constructive 시뮬레이션은 지휘관/참모의 지휘절차 훈련용 또는 작전분석용으로 운용되며, V-C 연동을 통한 공군합성전장훈련체계 구축을 추진 예정이다.

해군의 경우 운용 중인 M&S모델은 대부분 전구급~교전급 해상도로써, 전투실험을 위한 공학급 자료처리 및 모의가 불가하고, 다양한 전장환경과 인적요소를 반영하는 것에 제한적이다. 또한, 전구/임무/교전/공학 등 다수준 간 모델 연동 부재로 해군/함동작전에 대한 도메인별 혹은 상호운용성을 고려한 모의/분석이 불가하다. 따라서 해군에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 차세대 해상전투실험체계 구축을 통해 Constructive 시뮬레이션을 기반으로 한 합성전장환경을 구현하고자 한다. 차세대 해상전투실험체계 운영은 실험준비(실험방향설정, 실험개념정의, 실험계획) → 전투실험수행(LVC 디자인, 실험집행) → 결과분석·도출 및 Feedback의 절차로 운영되며, 운용개념도는 Fig. 2와 같다<sup>4)</sup>.

실험준비 단계에서는 전투실험 설계 및 실험환경 구축을 수행하며, 작전계획, 교리·전략, 작전·전술, 교육·훈련, 조직, 전력 등에 대한 전투실험 계획(실험방법, 실험통제, 실험일정, M&S 모의, 실기동 모의 등)을 작성한다. 다음으로 전투실험에 필요한 실험소요(실험조직, LVC 체계별 자원, 네트워크 구성 등)를 파악하고, 시나리오를 작성하며, 전투실험에 필요한 실험모델 형상을 구축하고 참가객체(적 위협/아 전력/미래전력 객체), 환경객체(해양/기상/지형/수중/항만환경) 및 실험통제변수(실험과정 이력분석, 모델/DB활용도 분석)를 편집한다.

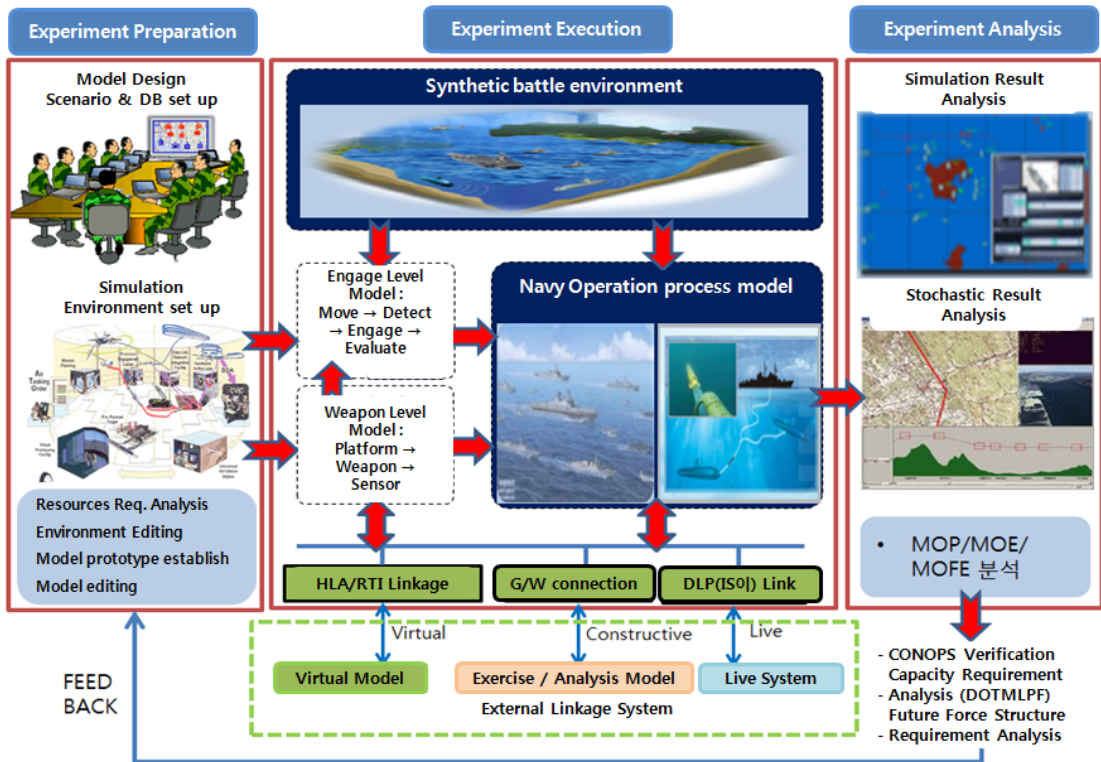


Fig. 2. CONOPS of next generation maritime warfighting experimentation systems

전투실험수행 단계에서는 해군 성분·임무 작전별 프로세스 모델을 통한 교전급~전구급 전투모의를 실시하며, 합성전장환경 구현을 위해 해양·기상·지형·수중·항만 환경 정보를 시나리오에 반영하거나 관련 데이터를 모의엔진에 탑재하여, 속성모델과 행동모델에서 무기체계별 모의수준에 따라 해상 전투과정을 모의한다.

결과분석·도출 단계에서는 전투모의실험 및 LVC 체계 연동을 통해 산출된 결과를 분석하여 데이터(실험과라미터·결과)를 수집하고 분석하며, 모의자료 DB(트랙정보/교전결과/모의변수자료)를 관리하며, 실험결과 분석(통계 및 민감도, MOP/MOE/MOFE 분석) 및 검증한다<sup>14)</sup>.

#### 4. 분석모델(C)과 시뮬레이터(V)의 연동절차

차세대 해상전투실험체계 구축을 위한 분석모델(C)과 시뮬레이터(V) 간 연동절차는 Fig. 3과 같다.

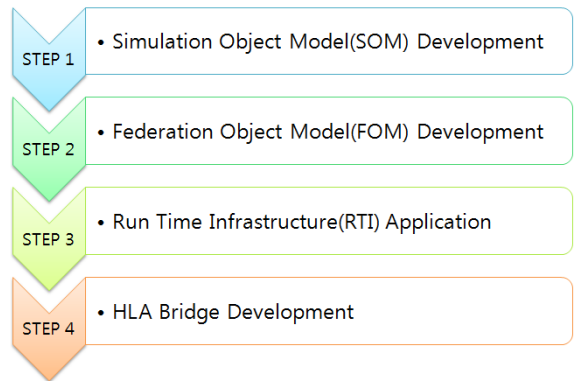


Fig. 3. V-C interoperation procedure

1단계는 연동객체 및 상호작용을 식별하여 SOM(Simulation Object Model)을 등록한다. 2단계는 연동을 위한 FOM(Federation Object Model) 구현이다. 3단계는 모델 간 연동의 기반이 되는 RTI(Run Time Infrastructure)를 적용한다. 4단계는 V-C 모델 간 연동을 위한 HLA Bridge를 개발한다.

해상전투실험체계의 V-C 연동에 대한 기술적 가능성을 검증하기 위해 본 논문에서는 해군분석모델(C)과 대잠헬기시물레이터(V)를 연동실험 대상으로 상정하였으며 연동 절차는 다음과 같다.

연동을 위한 1단계로 연동객체 및 상호작용을 식별하여 시물레이션 객체모델(SOM)을 등록한다. Federate SOM은 Federate가 임의의 Federation에 제공할 수 있는 고유한 능력을 명세화한 것으로 HLA Federation에 참가하는 각 Federate들의 적합성을 결정하는 수단으로 활용된다. SOM은 분석모델과 시물레이터의 기 개발된 모델의 지침서 및 DATABASE 메뉴얼, 설계문서 등을 참조하여 모든 객체 및 상호작용을 식별하여 SOM을 개발한다.

2단계는 연동을 위한 FOM 구현이다. V-C 연동체계 구축을 위해서는 데이터 FOM이 정의되어야 한다. 일반적으로 연동체계 구축 시 각 체계의 SOM을 정의하고, 정의된 SOM을 바탕으로 공통의 Data Format인 FOM이 구현된다. FOM은 Federation 내에 어떤 데이터가 교환될 것인지를 세부적으로 정의한다. 본 논문에서는 FOM에서 상호호환성이 향상된 RPR FOM을 구현한다. RPR FOM은 DIS(Distributed Interactive Simulation)의 상호작용과 속성을 HLA 체계화시키도록 설계되었다. RPR FOM은 Federation 내부의 시물레이션

들이 HLA Rules, OMT(Object Model Template), RTI 명세서를 포함한 모든 참조 요소를 따르도록 구현한다.

3단계는 모델 간 연동의 기반이 되는 RTI를 적용한다. RTI는 연동정보관리(Information Management), 연동객체관리(Object Management), 연동상호작용관리(Interaction Management), 연동인스턴스관리(Instance Management)의 4개 관리 기능으로 구성된다. 연동관리자는 연동 데이터정보를 제공, Federation 관리, 시간관리, 선언관리 서비스를 지원한다. 연동객체관리자는 객체를 등록, 속성값 갱신/반영, 객체관리 서비스를 제공한다. 연동상호작용관리자는 상호작용 정보를 전송하거나 수신하고, 상호작용 이벤트에 대한 반응을 한다. 연동인스턴스관리자는 생성된 연동객체를 관리한다.

4단계는 V-C 모델 간 연동을 위한 HLA Bridge를 개발한다. 본 논문에서는 기존의 아키텍처를 수정하지 않고 연동할 수 있도록 각각의 연동모의체계를 연동 Bridge를 사용하여 연동하는 구조로 설계한다. 이러한 연동 모의구조는 독자적인 모의체계구조가 가능하고 각각의 체계의 FOM 및 데이터 구조 변경 시 최소한의 FOM 보완만으로도 적용이 가능하다는 장점이 있다. 여기서 연동 Bridge는 Transformation Manager(메시지 전달 및 번역기)와 Surrogate(대변자)들을 포괄하는 Federate로써 서로 다른 Federation 간의 RTI 호출에

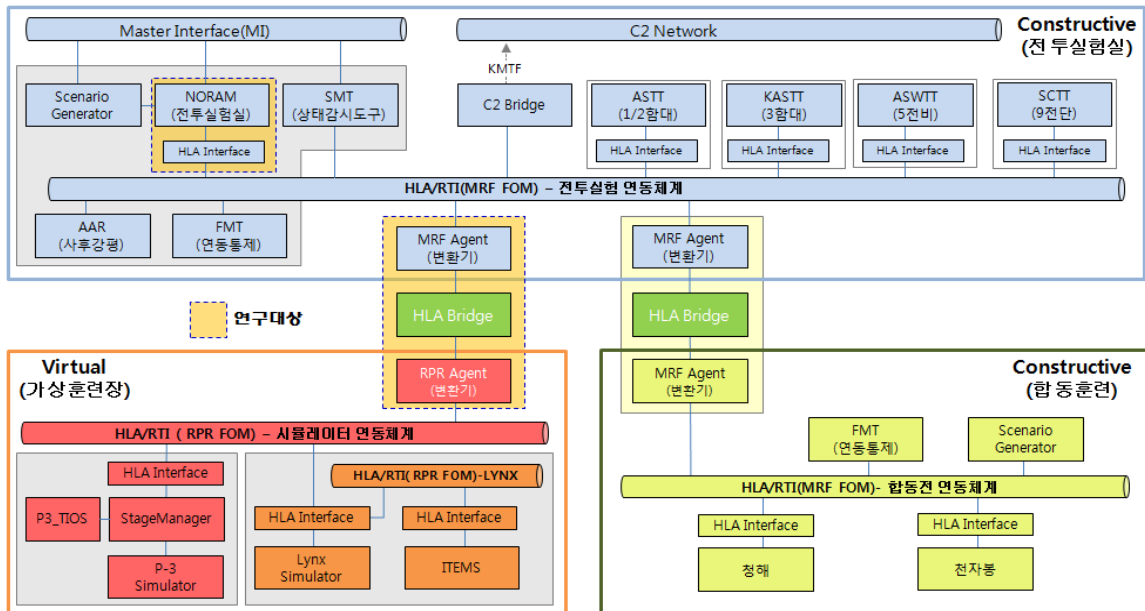


Fig. 4. The interoperation structure of maritime warfighting experimentation systems

대해 모든 HLA 서비스를 지원하고, 상호 작용 교환과 변환기능을 제공하는 역할을 수행한다. 또한 연동 Bridge는 무엇보다도 실시간으로 유통되는 많은 데이터의 병목현상을 방지하기 위해 자료가 잘 정제되어 유통되도록 설계함으로써 성능 효율을 극대화 한다.

여기서 연동 Bridge는 MRF(Model Reference Framework) Agent와 RPR(Real-time Platform Reference) Agent 사이 인터페이스로써 MRF Agent와 RPR Agent를 관리하고 데이터 변환 기능을 수행한다. MRF Agent는 해군분석모델의 Federation을 관리하고 객체관리 역할을 수행한다. RPR Agent는 대잠헬기시물레이터의 Federation 관리와 객체관리를 수행한다.

해군분석모델과 대잠헬기시물레이터 이기종 체계 간 연동을 위해 기존에 각각의 모델이 적용하고 있는 아키텍처를 수정하지 않고 연동할 수 있는 방식으로 HLA/RTI 기반 연동 Bridge 및 연동구조는 Fig. 4와 같다<sup>8)</sup>.

### 5. 분석모델(C)과 시물레이터(V)의 연동실험

4장에서 제시한 연동절차를 바탕으로 분석모델(C)과 대잠헬기시물레이터(V) 간 연동체계를 구성하여 MRF FOM과 RPR FOM의 연동데이터의 변환 및 보정 결과를 실험을 통해 확인한다. 이를 위하여 시스템 구성 및 각각의 도구는 다음과 같은 역할을 담당한다.

- ① 연동엔진 및 연동네트워크는 Federation 생성/가입, 데이터 선언, 시간관리를 위한 정보 관리자 역할, 객체 상태 정보를 관리하기 위한 객체 메시지 관리자 역할, 연합연습 모의체계에서 등록된 객체를 관리하기 위한 연동 객체 관리자 역할 등을 수행한다.
- ② 연동통제도구는 연동엔진과 네트워크 통신을 위한 네트워크 관리 기능, 연합에 가입, 탈퇴, 저장, 복구를 위한 Federation 관리 기능, 시간을 진행하거나 게임 속도를 조정하기 위한 시간 관리 기능, 연동엔진의 상태를 관리하고 조치하기 위한 응급조치 기능 등을 수행한다.
- ③ 연동지원도구는 연동 객체 및 상호작용 연동 설정 및 편집 기능, 연동 컴포넌트 소스 자동 생성 기능, 연동 데이터 매핑, 역매핑 데이터 관리 기능, 연동 데이터 형식 설정 및 관리 기능 등을 수행한다.
- ④ 모의엔진은 해군분석모델, 대잠헬기시물레이터의 모의 수행을 담당한다. Fig. 5는 연동체계 구성도 및 연동운용절차를 나타내고 있다<sup>8)</sup>.

연동운용관련 외부 운용절차는 다음과 같다. ① 연동관련 획득한 FOM 자료를 연동지원도구(RFDT : RTI Foundation Development Tool)를 활용하여 연동환경자료를 생성 및 편집한다. ② RFDT를 이용하여 생성된 연동환경자료를 각각의 파일로 생성한다. ③ 생성된

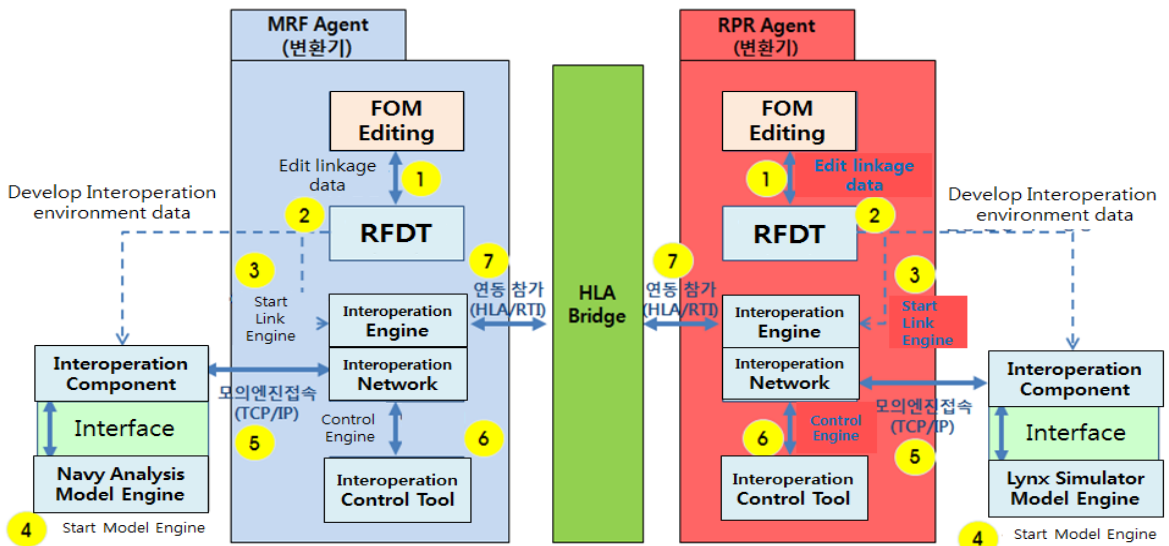


Fig. 5. The interoperation procedure of maritime warfighting experimentation system

연동환경과일을 이용하여 연동엔진을 가동시킨다. ④ 분석모델과 대잠헬기시물레이터 간 각각의 모의엔진을 가동시킨다. ⑤ 연동네트워크를 이용하여 모의엔진에 접속한다. ⑥ 연동통제도구를 이용하여 연동엔진을 관리한다. ⑦ HLA/RTI를 통해 연동모의체계에 참가한다.

연동운용관련 내부 처리절차는 다음과 같다. ① 수상함/잠수함/항공기 등록은 분석모델과 시물레이터에서 하며, 분석모델에서 연동 시나리오 로딩 후 수상함/잠수함/항공기 객체정보를 등록한다. ② 분석모델과 시물레이터에서 수상함/잠수함/항공기 등 객체정보를 송수신 및 변환한다. ③ 분석모델과 시물레이터에서 수상함/잠수함/항공기를 기동한다. ④ 분석모델과 시물레이터에서 기동 간 탐지체계에 의해 탐지한다. ⑤ 분석모델에서 자료수집/분석한다.

Fig. 6은 시물레이터(V)와 분석모델(C)간 연동실험 결과 화면으로 ①은 시물레이터(V)의 3D 상황도이고 ②는 분석모델(C)의 3D 상황도이며, ③은 상호 연동을 통해 분석모델(C)에서 시물레이터(V)의 플랫폼 정보를 수신하고 있는 화면이다.

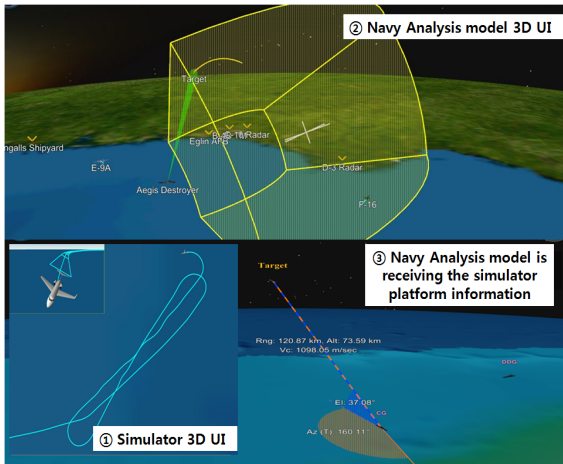


Fig. 6. Interoperation result between navy analysis model and ASW helicopter simulator

## 6. 분석모델(C)과 시물레이터(V) 연동분석 방법론 및 사례연구를 통한 검증

본 장에서는 분석모델(C)과 시물레이터(V) 연동분석 방법론을 제시하고, 사례연구를 통하여 검증한다.

V-C 연동분석 방법은 Fig. 7과 같다.

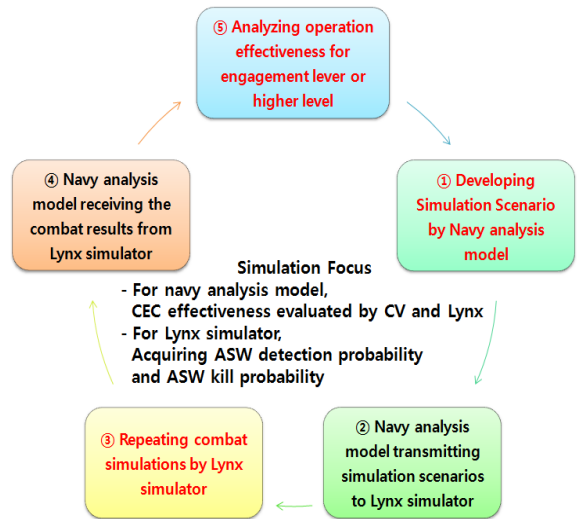


Fig. 7. V-C interoperation simulations analysis methodology

1단계는 분석모델에서 모의시나리오를 작성한다. 2단계는 분석모델에서 작성된 모의시나리오를 시물레이터에 송신한다. 이를 통해, 시물레이터는 분석모델 시나리오와 동일한 합성전장환경을 구성하게 된다. 3단계는 시물레이터를 통해 무기체계급 수준의 전투모의가 이루어지고 무기체계급 수준의 교전결과를 산출한다. 4단계는 시물레이터 교전결과를 분석모델에서 수신한다. 5단계는 시물레이터에서 수신한 교전결과를 분석모델의 무기체계급 데이터베이스에 반영시킨다. 이를 바탕으로 분석모델은 교전급 이상 전투모의를 다시 실시하고 작전효과를 산출한다.

사례연구 주제는 청군과 홍군 사이에 가상의 복합전 상황에서 해상교전을 설정하고 대잠항공모함을 투입하였을 때 작전효과를 분석하는 것으로 설정한다. 청군 투입전력은 함정 40척, 잠수함 10척, 항공기 10척을 투입하고 홍군은 수상함 100척, 잠수함 50척을 투입한다. 이때 비교대안은 대잠항공모함을 투입하지 않는 ‘대안 A’와 대잠항공모함을 투입한 ‘대안 B’를 모의분석한다.

Fig. 7의 V-C 연동분석 방법 1단계에서와 같이 분석모델을 이용하여 교전급 수준의 모의시나리오를 작성한다. 여기서, 정량적 분석의 대상이 되는 대잠항공모함의 작전효과도를 평가하기 위해서는 대잠헬기의 대잠탐지율( $P_d$ )과 어뢰공격 성공률( $P_k$ )이 주요 변수로 작용하게 된다. 즉, 대잠항공모함 투입 시 작전효과도

는 대잠항공모함의 연계 무기체계인 대잠헬기의 작전 능력에 직결된다. 따라서 대잠헬기의 대수 변화에 따른 대잠탐지율( $P_d$ )과 어뢰공격 성공률( $P_k$ )을 주요 변수로 선정하였다. 하지만, 분석모델은 교전급 수준 이상의 모의분석이 이루어지고 무기체계급 수준의 모의 내용은 대잠탐지율( $P_d$ )과 대잠공격 성공률( $P_k$ ) 공식에 의해 처리되어진다. 따라서 정량적 분석의 신뢰도를 높이기 위해 시뮬레이터를 활용하여 무기체계급 수준의 교전을 하고, 그 교전결과들을 분석모델에 연동하여 데이터 공유를 하면, 신뢰도 높은 교전급 이상의 모의분석을 할 수 있다. 이러한 V-C 연동 및 결과 검증을 위해서는 분석모델의 모의논리를 살펴보아야 한다. 하지만, 상기 모의논리는 비공개 자료이므로 미해군대학원 등에서 활용되고 있는 Random Search Theory의 Koopman 공식<sup>[9]</sup>을 적용해서 논하고자 한다. 분석모델에서 적용되는 첫 번째 핵심변수는 대잠탐지율(Probability of Detection)이며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

식 (1)에서 가장 난해한 변수는 대잠탐색폭(w)이다. 이유는 플랫폼 속도(v), 탐색시간(t), 투입된 대잠플랫폼의 수(s), 대잠탐색구역(A) 등은 통제변수로써 전투실험 시 대조군과 실험군에서 모두 동일하게 유지되고 데이터 산출도 용이하다. 반면, 대잠탐색폭(w)은 대잠플랫폼의 내부요인과 외부요인에 따라 영향을 크게 받는 독립변수가 된다. Koopman 공식에서는 대잠탐색폭(w)을 식 (2)<sup>[10]</sup>와 같이 나타낸다.

$$w = \frac{\text{Number of Objects Detected Per Unit Time}}{(\text{Number of Objects Per Unit Area}) \times (\text{Searcher Speed})} \quad (2)$$

where, all values are averages over a statistically significant sampling period

식 (2)는 탐색구역에서 단위면적당 투입된 표적의 수, 단위시간당 탐색된 표적의 수, 대잠플랫폼의 탐색속력을 고려하여 대잠탐색폭(w)을 결정한다. 즉, 음향탐색과 비음향탐색을 포괄할 수 있는 수식이다. 따라서 식 (2)는 교전급 또는 임무급 수준의 분석모델에 적용하기에 최적화된 수식이다. 가상의 입력데이터(헬기 수, 속도, 탐색구역, 탐색시간, 탐색폭)를 식 (1)과 식 (2)에 적용하면 분석모델에서의 대잠탐지율( $P_d$ )은 Table 1 같이 산출된다.

Table 1. Multi-Helicopters random search results

# of Helo	Speed (kt/h)	Search Radius (nm)	Search time (hr)	Sweep Width (nm)	Prob. Detect ( $P_d$ )
1	100	12	1	0.1	<b>0.022</b>
2	100	12	1	0.1	<b>0.043</b>
3	100	12	1	0.1	<b>0.064</b>
4	100	12	1	0.1	<b>0.085</b>
5	100	12	1	0.1	<b>0.105</b>
6	100	12	1	0.1	<b>0.124</b>
7	100	12	1	0.1	<b>0.143</b>
8	100	12	1	0.1	<b>0.162</b>
9	100	12	1	0.1	<b>0.180</b>
10	100	12	1	0.1	<b>0.198</b>

식 (2)에서 Table 2와 같은 대잠탐색 영향요소들을 추가 고려한다면 현대무기체계와 전장환경이 고려된 보다 현실감 있는 전투실험을 할 수 있게 된다.

Table 2. Factors that shall affect the sweep width

① The search objects's characteristics affecting detection
② The capabilities of the sensor(s) in use
③ The environmental conditions at the place and time of the search
④ The pilot capacities in terms of Anti Submarine Operation



그러나, 상기 대잠탐색 영향요소들(표적특성, 센서능력, 해양환경, 조종사능력)을 교전급 수준의 분석모델에서 현실적으로 구현하는 것은 제한적이다.

두 번째 핵심변수는 대잠공격 성공률( $P_k$ )이다. 미해군대학원 논문<sup>[11]</sup>을 참조하면 대잠공격 성공률( $P_k$ )는 식 (3)과 같이 나타난다.

$$P_k(R) = 1 - e^{-\frac{r^2}{2R^2}} \quad (3)$$

where,  $R$  : Initial distance from torpedo to target  
 $r$  : Weapon lethal radius

식 (3)에서 어뢰의 유효사거리를 〇〇〇yds로 설정하고 어뢰의 입수지점으로부터 표적까지의 거리( $R$ )를 증가시킬 경우, 대잠공격 성공률( $P_k$ )이 Table 3과 같이 산출된다.

Table 3. Probability of kill by torpedo

Weapon lethal radius (yds)	Initial distance from torpedo to submarine (yds)	Probability of Kill ( $P_k$ )
Confidential Values	500	1.00
	1,000	1.00
	1,500	0.99
	2,000	0.95
	2,500	0.86
	3,000	0.75
	3,500	0.64
	4,000	0.54
	4,500	0.46
	5,000	0.39

즉, 잠수함 예상위치 지점에 어뢰를 투발하였을 때, 실제 잠수함과 최초 어뢰의 입수된 위치 간 거리가 증가할수록 대잠공격 성공률( $P_k$ )은 줄어들게 된다.

이처럼, 교전급 이상의 분석모델에서는 무기체계급 수준의 전투실험을 할 수 없고, 세부 무기체계들에 대

해 입력된 데이터를 기준으로 모의공식을 활용하여 교전모의가 이루어진다. 따라서 교전급 모의에서 핵심 무기체계의 중요 독립변수에 대해서는 무기체계급 수준의 사전 검증이 필요하다. 이러한 차원에서 분석모델과 연동된 대잠헬기시뮬레이터를 통해 대잠탐지율( $P_d$ )과 대잠공격 성공률( $P_k$ )을 검증하는 절차가 필요하다.

V-C 연동분석 방법 1단계를 거치면서 대잠헬기의 대잠탐지율( $P_d$ )과 대잠공격 성공률( $P_k$ ) 예상치를 산출하였다. V-C 연동분석 방법 2단계에서는 분석모델에 의해 작성된 모의시나리오를 대잠헬기시뮬레이터에 송신한다. V-C 연동분석 방법 3단계에서는 대잠헬기시뮬레이터에서 분석모델에서 만들어진 모의시나리오에 따라 대잠탐색 및 대잠공격을 50회 반복 수행한다. 대잠헬기시뮬레이터의 50회 반복 모의 절차는 송신된 해당 시나리오와 전장 환경을 근거로 실시간 개념 하에서 적 잠수함과 교전하는 절차를 50회 반복한다. 즉, 1차 공격 후, 최초 상황으로 재설정되고 다시 동일 시나리오 하에서 2차 공격 모의를 실시한다. 이때, 적 잠수함의 예상구역은 주어지고 실제위치는 임의변수를 활용하여 변경되며 적 잠수함 예상구역에서 표적을 탐지 추적 하면서 표적에 공격하는 절차를 반복 수행한다. 이때, 대잠헬기시뮬레이터의 반복교전결과를 통계적 데이터로 활용되기 위해 시뮬레이터 모의엔진에 저장된다.

Fig. 8은 대잠헬기시뮬레이터를 통해 대잠헬기를 증가시킬 경우 대잠탐지율( $P_d$ )을 나타내고 있다.

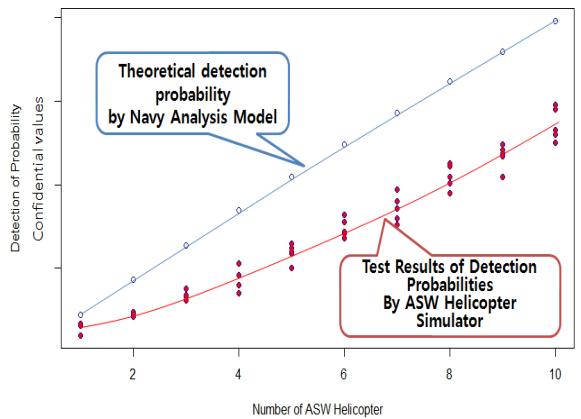


Fig. 8. Submarine detection probability by ASW helicopter simulators

파란색 점(선)은 분석모델을 통해 산출된 이론적 대잠탐지율( $P_d$ )을 나타내고 있으며, 빨간색 점(선)은 대잠헬기시물레이터를 활용한 실험결과적 대잠탐지율( $P_d$ )을 나타내고 있다.

Fig. 8에서는 시물레이터를 통해 산출된 대잠탐지율( $P_d$ )이 분석모델을 통해 산출된 대잠탐지율( $P_d$ )에 비해 3% ~ 6% 정도 낮게 나타나고 있다. 이는 조종사의 숙련도 수준, 모의되는 해양환경 특성 등의 차이로 인한 것으로 분석된다.

다음으로, 대잠헬기시물레이터를 이용하여 잠수함에 대한 어뢰공격을 50회 실시할 경우, 투발된 어뢰로부터 잠수함까지의 거리  $R$  값과 대잠공격 성공률( $P_k$ )이 Fig. 9와 같이 정규분포를 나타내고 있다. 이것은 대잠헬기조종사가 표적에 대해서 일정수준 위치를 파악 후에 어뢰공격단계에 들어가기 때문에  $R$  값이 특정 거리를 중심으로 정규분포를 나타내고 있고, 이에 따라 대잠공격 성공률( $P_k$ )도 유사한 정규분포를 나타낸다.

성공률( $P_k$ )은 빨간색 점으로 표시하였다. 50회의 시물레이션 결과, 표적 간 거리가 000yds ~ 000yds 주변에서 대잠공격이 집중적으로 이루어지고 있음을 나타내고 있다. 이는 조종사가 대잠식별절차 후 공격이 이루어지는 지점을 의미한다.

두 번째 그래프는  $R$  값은 000yds를 평균값으로 000yds 표준편차를 가진 정규분포를 보이고 있음을 나타낸다.

세 번째 그래프는 대잠공격 성공률( $P_k$ ) 값은 평균 55% 살상률을 보이고, 표준편차는 5%를 가짐을 나타낸다.

V-C 연동분석 방법 4단계에서는 대잠헬기시물레이터를 통해 산출된 대잠탐지율( $P_d$ )과 대잠공격 성공률( $P_k$ ) 데이터들을 분석모델에서 수신한다.

V-C 연동분석 방법 5단계에서는 대잠헬기시물레이터로부터 수신한 대잠탐지율( $P_d$ )과 대잠공격 성공률( $P_k$ )을 분석모델 데이터베이스에 반영시킨다.

본 사례에서 결과를 분석해 보면, 대잠탐지율( $P_d$ )은 대잠헬기시물레이터를 통해 산출된 값이 분석모델의 모의공식에 의한 값 보다 3% ~ 6% 낮게 나타나고 있는데, 이것은 시물레이터 운용 간 외부요인(조종사 숙련도, 해양환경)에 의해 발생하는 차이로 분석된다.

다음으로, 대잠공격 성공률( $P_k$ )을 보면, 분석모델은  $R$  값(Initial distance from torpedo to target)이 000 yds일 경우 대잠공격 성공률( $P_k$ )이 75%를 나타내었으나, 대잠헬기시물레이터의 경우는  $R$  값이 000yds일 경우 대잠공격 성공률( $P_k$ )이 55%를 나타내고 있다. 이렇게 대잠공격 성공률( $P_k$ )이 20% 정도 차이 나는 것은 조종사 숙련도, 해양환경·대잠센서·적 잠수함 등의 모의수준 차이 등에서 기인하는 것으로 분석된다. 시물레이터를 통해 산출된 데이터는 인적요소 및 다양한 외부요인들이 무기체계급 수준으로 반영된 자료이기 때문에 이론적 예상 값과 다소 차이를 보이는 것은 당연하다. 따라서 분석모델에서는 사용되는 모의공식과 비교를 통해 시물레이터 조종사의 인적요소와 외부요인들이 반영될 수 있도록 적용한다. 이후 분석모델에서 시나리오 및 데이터 검증이 완료되면, 교전급 모의시나리오를 실행시키고 그에 따른 분석결과를 산출한다.

분석모델(C)과 시물레이터(V) 간 연동분석 방법론을 적용한 결과, 분석모델(C)이 교전급 수준의 시물레이션

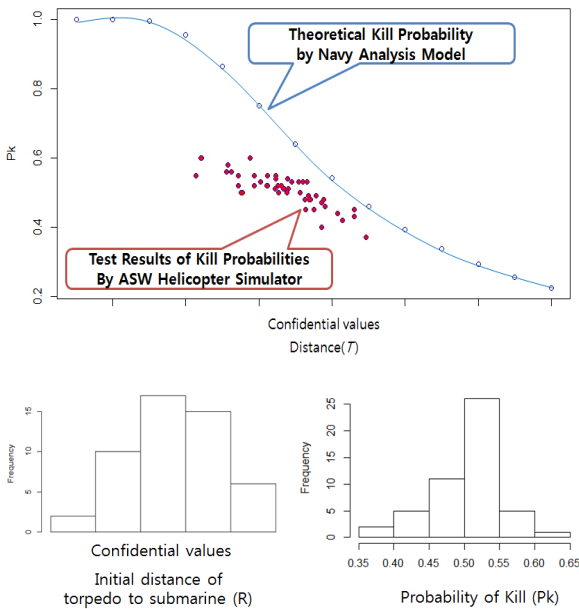


Fig. 9. 'R' values and  $P_k$  by ASW helicopter simulators

Fig. 9에서, 첫 번째 그래프는 분석모델에서 산출된 이론적 대잠공격 성공률( $P_k$ )을 파란색 점(선)으로 표시하고 시물레이터를 통해 산출된 실험결과적 대잠공격

분석에 한정되는 것을 무기체계급 수준의 인적요소와 다양한 외부요인까지 포함하여 분석결과를 산출할 수 있어서 분석결과의 신뢰도 향상에 크게 기여하는 것으로 확인되었다.

## 7. 결 론

우리 군에서는 전투발전요소 개선, 전력소요에 대한 객관적 검증 등을 위한 LVC 기반 차세대 해상전투실형체계 구축을 추진하고 있다. LVC 기반 해상전투실형체계 구축을 위해서는 그동안 연구된 바가 없는 분석모델(C)과 시뮬레이터(V) 간 연동 연구가 필요하여 본 논문에서는 분석모델(C)과 시뮬레이터(V)의 연동실험 및 V-C 연동분석 방법론을 제시하고, 사례연구를 통하여 검증하였다.

분석모델(C)과 시뮬레이터(V) 연동에 대한 기술적 문제점은 없으나, 연동 후 어떠한 활용이 가능한지 의문이 제기되어 왔다. 즉, V-C(분석모델) 연동을 통한 연동분석 방법론이 확립되지 못했기 때문에 제기되었던 문제점이었다.

하지만, 본 연구를 통해 V-C(분석모델) 연동이 작전 분석의 신뢰도 향상에 기여할 수 있음을 증명하였다.

따라서 본 연구에서 제시한 V-C 연동분석 방법론은 차세대 해상전투실형체계 구축 시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이고, 향후 신뢰도 높은 모의분석과 전투실험의 기초가 될 것으로 기대된다.

## References

- [1] The Directive of ROK National Defense Capabilities Development System, Ministry of National Defense, p. 242, 2015.
- [2] Bong-wan Choi, Dong-soon Yim, Sang-yoon Jung, Jae-kyung An, Chang-min Lee and Jung-haeng Hur, "Study on the Simulation, Analysis and Assessment for Naval Warfighting and Weapon Systems Experiments," Agency for Defense Development, pp. 1-2, 2013.
- [3] Sang-hoon Baek, Jung-haeng Hur, Dong-hoon Kee and Bong-wan Choi, "A Study on the Standard Process of Battle Experiment of the Maritime Weapon Systems Based on the M&S," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 15, No. 5, pp. 577-585, 2012.
- [4] Dong-soon Yim and Bong-wan Choi, "Naval Warfighting Experimentation Systems Advance Research," Defense Acquisition Program Administration, pp. 49-51, 2014.
- [5] Sook-young Kim, Jung-hyun Ahn, Chang-ho Sung and Tag-gon Kim, "A Research on the Interoperation of Virtual-Constructive Simulation," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 468-471, 2010.
- [6] Moon-su Kim, Dae-kyu Kim, Hyog-lae Kwon and Tae-eog Lee, "A Study on Integration between an Entity-based War Game Model and Tank Simulators for Small-Unit Tactical Training," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 15, No. 1, pp. 36-45, 2012.
- [7] Soon-geol Kwon, Mi-sein, Choi, Mun-su Kim and Tae-eog Kee, "Test-Bed for the Interoperation of Virtual-Constructive Simulation," The Korea Society for Simulation, Vol. 19, No. 4, pp. 219-233, 2010.
- [8] ARES, "A Study on Interoperation between Naval Analysis Model and P-3·LYNX Simulator," Naval Force Analysis, Test & Evaluation Group, pp. 63-66, 2013.
- [9] NPS LCS Team, "Littoral Combat Ship Open Ocean Anti-Submarine Warfare," NPS Systems Engineering Capstone Report, pp. 31-39, 2014.
- [10] J. R. Frost, "Principles of Search Theory," Soza & Company Ltd, p. 7, 1999.
- [11] Stephen M. Valerio, "Probability of Kill for VLA ASROC Torpedo Launch," NPS Master's Thesis, pp. 11-18, 2009.