

# 수중 교전 모의를 위한 HLA/RTI 기반 시물레이션의 모니터링 시스템 구축 연구

함원경<sup>1</sup> · 정용호<sup>1</sup> · 최종엽<sup>2</sup> · 박상철<sup>1\*</sup>

## A Study on Implementation of Monitoring System of Distributed Simulation for Underwater Warfare

Won K. Hwam · Yongho Chung · Jong-Yeob Choi · Sang C. Park

### ABSTRACT

This paper presents design and implementation of the monitoring system for the distributed simulation of underwater warfare. As importance of defense modeling and simulation(M&S) has raised, Simulation-Based Acquisition(SBA) was authorized for an obligatory process in the development process of weapon systems. Yet, it requires tremendous resources to develop a large-scale simulation system that describes complex and broad battlefields. Therefore, an approach of the distributed system was devised to develop a new simulation system combining legacy simulators that were developed for confined purpose and sole operations. High-Level Architecture (HLA) of distributed systems is a standardized protocol by IEEE for the distributed simulation system and Run-Time Infrastructure(RTI) is an implementation of HLA to structure efficient distributed systems. The main objective of this paper is to derive appropriate monitoring factors for underwater warfare simulation, design and implementation of the monitoring system to analyze the factors based on HLA/RTI.

**Key words** : Defense M&S, Distributed System, HLA/RTI, Simulation Monitoring, Underwater Warfare

### 요약

본 연구에서는 수중 환경에서의 교전급 모의를 위한 분산 시물레이션 시스템에서 모니터링 시스템을 설계 및 구축한다. 국방 분야에서 모델링 및 시물레이션(M&S)을 통한 검증은 비용, 시간, 및 노력의 측면에서 효율적인 접근 방법으로 주목되어 왔으며, 무기체계의 도입의 각 단계에서 시물레이션 기반의 획득(Simulation-Based Acquisition : SBA)이 필수 프로세스로 지정되었다. 그러나 복잡한 전장 환경을 전반적으로 묘사하는 방대한 시물레이션 시스템의 개발은 많은 자원을 요구한다. 따라서 이미 개발된 한정적인 목적을 갖는 시물레이터들을 조합하여 새로운 시물레이션 시스템을 구축하는 분산 시물레이션 시스템을 통해 시스템의 개발에 투입되는 비용 및 시간의 절약이 가능하다. 분산 시물레이션 시스템 중 High-Level Architecture(HLA)는 미국 표준으로 지정되었고, 이것을 구현한 Run-Time Infrastructure(RTI)는 미들웨어로서 효율적인 분산 시물레이션 시스템의 구축을 도와준다. 본 연구의 핵심 목적은 HLA/RTI 기반의 수중 교전 모의 시물레이션 시스템에서 수행 목적에 적합한 모니터링 요소를 도출하고, 그 체계 및 표현 방안을 설계하여 시물레이션을 분석하는 시스템의 구현에 있다.

**주요어** : 국방 M&S, 분산 시스템, HLA/RTI, 시물레이션 모니터링, 수중 교전

\*본 연구는 방위사업청(UD10009DD), 국방과학연구소(UD110006MD) 및 한국연구재단(2010-0021040)의 지원으로 수행되었습니다.

접수일(2012년 12월 12일), 심사일(2013년 4월 30일),

게재 확정일(2013년 6월 20일)

<sup>1)</sup> 아주대학교 산업공학과

<sup>2)</sup> 방위사업청 M&S 기술팀

주 저 자 : 함원경

교신저자 : 박상철

E-mail; scpark@ajou.ac.kr

## 1. 서론

무기체계의 획득 및 개발에 관련된 소요정의, 연구개발, 시제제작, 시험 및 평가, 생산 등의 전 과정에 시물레이션 기반 획득(SBA, Simulation-Based Acquisition) 프로세스를 적용하면, 비용-시간-성능의 관계를 효율적으로

조정하고, 소요의 충족에 과학적으로 접근할 수 있다. 따라서 국방 분야에 모델링 및 시뮬레이션(M&S)의 적용을 통해 실제 자원이 투입되기 전에 무기체계를 검증하여 오류를 최소화하고 최적 설계, 제조 및 생산이 가능하다 (Park, Seong, 2010). 국방 M&S의 적용 범위는 시뮬레이션의 묘사 수준에 의하여 공학급, 교전급, 임무급, 전쟁급 모델로 분류되는데, 그 중 본 연구는 교전급 시뮬레이션 모델에 초점을 둔다.

교전급 시뮬레이션은 실제 전장에 존재하는 여러 가지 요인들을 모델링하고, 이를 가상의 전장 환경에 투입하여 시뮬레이션을 수행한다. 교전급 시뮬레이션은 전투 개체의 행위와 시스템 기능을 자세히 묘사하며, 위험이나 작전형태는 부분적으로 모델링한다(Choi, 2008). 그러나 다양한 전장 환경에서 전투 개체들의 행위와 그 상호작용을 묘사하는 것은 간단한 작업이라 할 수 없는데, 그 이유는 하나의 무기체계가 다양하고 높은 기술들의 집약체이기 때문이다. 즉, 여러 가지 기술들이 다른 기술 및 환경과 상호작용 함에 따라 무기체계의 성능에 영향을 미치고, 성능 변화에 따라 달라지는 전장상황이 시뮬레이션에 반영될 필요가 있다. 그렇기 때문에 시뮬레이션에 영향을 주는 기술을 식별하고, 그것의 역할을 반영할 수 있도록 시스템을 설계하여야 한다. 하지만 식별된 기술을 모델링하여 시뮬레이션 시스템에 포함하는 것은 효율성 측면에서 고려될 필요가 있는데, 그 이유는 크게 두 가지로 말할 수 있다. 하나는 모델링 된 기술이 많은 연산 또는 컴퓨터 리소스를 필요로 하여 전체 시뮬레이션 시스템의 성능을 저하시킬 가능성이 존재하기 때문이고, 다른 하나는 그 기술을 시뮬레이션하기 위해 이전에 이미 모델링 된 시뮬레이터가 존재할 때 이것을 재사용하는 것이 새로이 개발하는 것보다 효율적이기 때문이다. 위의 두 가지 현상을 해결하기 위하여 분산 시뮬레이션 시스템이 대두되었다 (Australian Defense Simulation Office, 2004).

분산 시뮬레이션 시스템은 기존에 개발된 시뮬레이터들을 온라인으로 연동하여 하나의 새로운 시스템을 구성하는 시스템을 의미한다. 일반적으로 시뮬레이션 시스템의 개발은 시뮬레이션 목적에 맞도록 개발되기 때문에 목적이 다른 경우 기존의 시스템을 재사용하기가 쉽지 않다. 특히, 대형 시스템의 개발은 많은 비용과 시간, 인력이 투입되는데, 그렇기 때문에 다양한 시뮬레이션 목적을 모두 충족시키는 개별 시뮬레이터를 개발하는 것은 현실적으로 불가능하다. 분산 시뮬레이션 시스템의 이점은 기존의 개발된 시뮬레이터들의 재사용성 향상과 이것들의 조합을 통해 다양한 M&S의 목적을 저렴하고 빠르게 충족시

킬 수 있는 새로운 시뮬레이션 시스템의 개발이 가능하다는 것이다. 미 국방성 산하 기관인 모델링/시뮬레이션 조정국(MSCO, Modeling and Simulation Coordination Office)은 이와 같은 분산 시뮬레이션 시스템의 이점에 주목하고, 계속적으로 활용성을 높이기 위해 노력해 왔다. 그 결과로 표준적인 분산 시뮬레이션 시스템을 위한 미들웨어 구성인 High Level Architecture(HLA)를 개발하였고, IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 1516으로 등록되어 분산 시뮬레이션 시스템의 새로운 표준으로 제정되었다. HLA 표준을 준수하여 개발된 시스템은 Run-Time Infrastructure(RTI)라 하며, 미들웨어와 클라이언트 구성 등 다양한 분산 시뮬레이션 시스템 구축 요건들을 충족한다(MSCO, 2012).

일반적으로 시스템을 모니터링 하는 목적은 시스템의 상태 변화를 계속적으로 관측 및 분석하기 위해서 사용된다. 제조 시스템에서의 모니터링은 시스템의 컴포넌트가 이상 상태로 전이된 것을 인지하고 복구하거나, 이런 상태로 전이되는 것을 사전에 예방하기 위해서 수행된다(박형태, 2011). 컴퓨팅 시스템에서의 모니터링은 컴퓨터의 리소스 사용 상태를 관측하고, 이를 분석하여 작업 수행 중 비효율적인 작업을 개선하며 병목 현상 등의 이상 상황 발생을 방지하는데 사용된다(Kwon et al., 2006). 이외에도 장기간의 데이터를 계속적으로 수집하여 그 추세를 분석하기 위해서도 사용된다(Fujino et al., 2010; Ko et al., 2011). 그러나 기존의 연구에서는 모니터링의 수행을 통해 얻은 데이터의 시뮬레이션이 목적이며(Wynn, Clarkson, 2009) 시뮬레이션 수행의 모니터링은 단일의 독립된 범용 시뮬레이션 시스템(예: Arena, EMPlant)에서 하나의 기능으로서 존재한다.

본 연구의 목적인 분산 시뮬레이션 시스템의 모니터링은 다음과 같은 이유에서 요구사항이 있다. 첫째는 다양한 개별 컴포넌트로 구성되는 분산 시뮬레이션 시스템의 특징으로 인하여 범용 시스템과 달리 시뮬레이션 목적에 따라 교환되는 데이터와 시스템의 구성이 다르다. 그러므로 시뮬레이션 목적에 맞도록 모니터링 요소들을 도출해야 한다. 둘째, 분산 교전 시뮬레이션에서 시스템의 각 클라이언트들은 자신의 수행 상태에 관련된 정보만 관리하므로, 시뮬레이션 분석을 위해서는 전체 시뮬레이션 시스템의 TSPI(Time, Space and Position Information) 상태를 종합하여 분석할 수 있는 시스템이 필요하다. 마지막으로, 교전 시뮬레이션 수행을 통제하여 다양한 상황을 모의하고자 할 때, 전투 개체와 전장 환경 등 시뮬레이션의 중요 요소에 관련된 현재 상태를 알고 있어야 하기 때

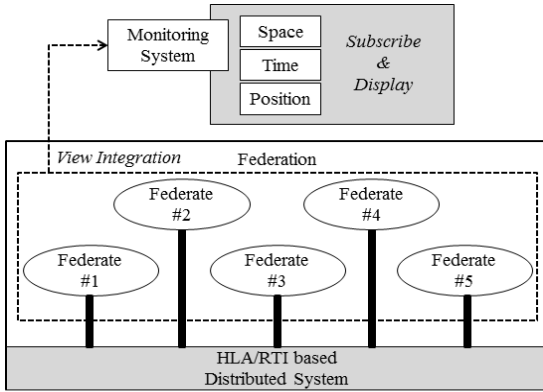


Fig. 1. Monitoring System in HLA/RTI based System

문에 시뮬레이션 시스템의 모니터링이 요구된다. 본 연구에서는 모니터링 시스템에 대한 요구사항을 충족시키기 위하여 수중 교전 모의 시뮬레이션 시스템 설계를 위한 모델링 요소를 도출하고, 도출된 요소들을 HLA/RTI 기반 시뮬레이션 시스템에서 효율적으로 모니터링 하기 위한 체계 설계 및 표현 방안을 결정한다. 분산 시뮬레이션 시스템에서 수중 교전 모의가 진행되면 모니터링 시스템은 Fig. 1과 같이 클라이언트들이 교환하는 데이터를 통합하고, 시뮬레이션 상태를 실시간으로 모니터링 하여 시뮬레이션 상태의 분석이 가능하다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수중 교전 모의를 모델링하기 위한 핵심 요소들을 도출하고 3장에서 도출된 요소들을 효율적으로 모니터링 하기 위한 HLA/RTI 기반 수중 교전 시뮬레이션 시스템을 설계한다. 4장에서는 설계를 바탕으로 구축한 모니터링 시스템을 설명하고, 마지막으로 본 연구의 결론을 맺는다.

## 2. 수중 교전 모의를 위한 모델링 요소 도출

### 2.1 수중 교전 시나리오 도출

수중 교전에서 중심이 되는 전투 개체는 잠수함으로, 작전 중에 대부분의 시간을 해저에서 운용한다. 심해에서 운용되는 잠수함의 탐지 도구는 소나(Sonar)로서, 음파를 사용해 수중목표의 방위 및 거리를 알아내는 장비이다. 대기에서 사용되는 레이더(Radar)는 해수를 통과할 때 전 달 손실률이 매우 높기 때문에 소나는 해저에서 사용되는 거의 유일한 탐지수단으로 사용된다. 소나가 음파를 사용하여 적을 탐지하는 특성으로 인해 잠수함은 소음을 최대한 차단하여 심해를 향해함으로 자신의 존재를 은폐한다.

반면에 수상함의 소음은 충분히 잠수함에게 탐지될 정도로 크며, 이러한 특성은 수상함이 잠수함을 탐지하는 확률보다 잠수함이 수상함을 탐지할 확률을 매우 크게 만든다. 이와 같이 비대칭적인 탐지확률을 보완하기 위해 잠수함을 탐지하고자 하는 세력은 다양한 장비를 이용하는데, 링스(Lynx) 헬기와 같은 대잠 헬기나 대잠 항공기가 있다.

잠수함이 탑재하는 장비와 잠수함을 격침시키기 위한 장비들 중 대표적인 것은 어뢰이다. 어뢰는 소나를 장착하여 목표한 적의 음향 특성을 추적하여 폭발한다. 일반적인 어뢰의 속도는 30-50 노트(1Knot = 1.8km/h), 사정거리는 10-40Km 정도이다. 제인 함정 연감에 의하면 현재까지 가장 빠른 잠수함은 미국의 씨울프급 핵잠수함으로, 수중 최대 38 노트의 속력을 낼 수 있다(Saunders, 2011). 이에 비추어 볼 때, 일반적인 상황에서 어뢰의 속력은 잠수함의 속도보다 빠르며, 잠수함은 어뢰의 공격을 피하기 위해 기만기와 재머를 이용하여 어뢰의 추적을 방해하고, 어뢰가 연료를 모두 소진할 때 까지 회피기동을 수행한다 (Cote, Sapolsky, 1997; Task Force ASW, 2005).

### 2.2 수중 교전 핵심 요소 도출

수중 교전에서 전투 개체들의 운용을 비추어 볼 때, 가장 핵심적인 기술은 소나를 활용한 탐지에 있다. 소나는 크게 두 종류로 나누어지는데, 하나는 수동 소나이고, 다른 하나는 능동 소나이다. 수동 소나는 음향 수신 시스템으로 수중 청음기에 해수를 통해 전해지는 음파를 수신하여 증폭 및 처리한다. 반면에 능동 소나는 수중에 음파를 방출(Ping)하고, 음파가 물체에 의해 반향되는 음파를 수신한다. 수동 소나는 음향 발신지의 방향, 종류 등을 알려 줄 수 있으나 발신지와와의 거리를 구하기 위한 정보는 갖지 않는다. 하지만 능동 소나는 반향되는 음파의 세기를 통해 물체와의 거리를 정확하게 계산할 수 있도록 하여 물체의 위치를 파악하는데 가장 효과적이다. 그러나 교전 상황에서 능동 소나를 사용하여 음파를 방출하면 적함의 수동 소나에 의해 아함의 존재가 노출된다. 따라서 공격에 필요한 정보는 상황에 따라 충분하지 못하더라도 모두 수동 소나를 활용하여 얻고, 능동 소나는 공격의 최종 데이터를 얻기 위한 1회 방출로 한정된다(Choi, 2000).

수중 교전의 핵심 요소인 소나의 탐지 성능은 제원과 환경에 의하여 결정된다. 제원은 소나의 출력, 주파수 및 탐지 한계치 등이 있으며 수백 미터 이내의 가까운 거리는 100Khz 이상의 고주파 소나, 잠수함과 같은 원거리의 큰 표적은 5-20Khz 사이의 저주파 소나를 사용하여 탐지한다. 소나의 성능 증가를 위해 출력을 향상시키려면, 소

나의 크기가 커져 함정의 성능에 악영향을 미친다. 따라서 소나의 제원 상수를 통한 성능 향상은 제한적이며, 주로 환경 요인에 의해 그 성능이 결정된다(Sohn, Park, 2001; Wikipedia, 2012a). 소나가 환경에 영향을 크게 받는 이유는 음파가 수중에서 전달될 때 다양한 환경적 요인에 의해 많은 에너지가 손실되기 때문이다. 따라서 소나 자체의 성능이 우수할 경우에도 해역의 음파전달조건이 나쁘면 탐지거리가 짧아지며 음파가 통과하지 않는 음영구역이 나타날 경우에는 가까운 거리에서도 표적탐지가 제한되는 운용 특성을 갖는다. 소나 운용을 방해하는 환경적 요인은 크게 전달 손실, 배경 소음, 유사 표적과 굴절이 존재한다. 이 중 소나 운용에 있어서 가장 중요한 환경적 요인은 음파의 굴절 현상이다. 음파는 동일한 염분과 온도, 수압을 갖는 물속에서 직진성을 갖고 있으나, 수중의 염분과 온도, 수압은 매우 다양하여 음파 전달 속도에 큰 영향을 준다. 예를 들어 염분과 온도가 높은 해역이 낮은 해역보다 음파의 전달 속도가 더 빠르다. 이런 차이는 음파의 굴절을 발생시켜 방사된 음파가 잠수함에 전달되지 않아서 정상적인 소나가 잠수함을 탐지 할 수 없는 상황이 발생하게 된다(Bradley and Stern, 2008; DOSITS, 2012).

**2.3 수중 교전 모의를 위한 모델링 요소 도출**

수중 교전 시뮬레이션 모델은 크게 전투 개체와 전장 환경 및 시간으로 분류하여 모델링 할 수 있다. 수중 교전을 위한 전투 개체의 특성으로는 크게 위치 정보, 탐지 특성 정보, 무장 특성 정보, 개체 특성 정보 등이 존재하며 각 특성별 도출된 모델링 요소는 Table 1에 표현되어 있다. 개체 특성 정보의 구성 요소로는 개체의 크기 및 이동 능력, 무장 특성 정보는 개체가 보유한 공격 및 방어 무기의 수, 탐지 특성 정보로는 개체가 주변 전장 인식 특성 결정 요소, 그리고 개체 위치 정보는 현재 개체가 전장에서의 위치 정보 및 방향 정보를 표현한다. 수중 교전에는 전투 개체 뿐만 아니라 전투 개체에 의하여 운용되는 어뢰나 기만기 같은 무기 개체가 존재하는데 무기 개체도 개체 특성 정보와 위치 정보로 분류될 수 있다. 무기 개체의 특성별 도출된 모델링 요소는 Table 2에 표현되어 있다. 무기 개체에 대한 특성 정보는 경어뢰, 중어뢰, 미사일 등을 식별하는 무기 종류, 무기를 사용한 운용 주체, 목표 정보, 무기의 이름, 그리고 운용 한계 등을 가지며, 개체 위치 정보를 통해 현재 위치와 방향을 표현한다. 탐지 특성을 표현하기 위한 정보는 수동 및 능동 소나 방정식에 기초하여 도출되었고, 무장 특성 및 개체 특성 정보는 시

나리오에 기반하여 도출되었다(Wikipedia, 2012b). 또한 기존에 연구된 교전급 시뮬레이션에서 잠수함 표준 모델을 활용하였다(Kim et al., 2007).

**Table 1.** Modeling Elements for Battle Entity

Characteristic	Modeling Element
Simulation Entity	Maximum Velocity
	Acceleration
	Turn-ability
	Volume
Weapon Equipment	Light Torpedo
	Heavy Torpedo
	ASROC
	Harpoon Missile
	Decoy
Detection	Jammer
	Active Sonar Power
	Detection Threshold
	Detectable Angle
Position	Noise Emission
	Current Latitude
	Current Longitude
	Current Depth
	Current Course
	Current Speed

**Table 2.** Modeling Elements for Weapon Entity

Characteristic	Modeling Element
Simulation Entity	Weapon Type
	Parent Entity
	Target Entity
	Name
	Maximum Velocity
	Acceleration
	Turn-ability
Position	Maximum Operable Time
	Current Latitude
	Current Longitude
	Current Depth
	Current Course
	Current Speed

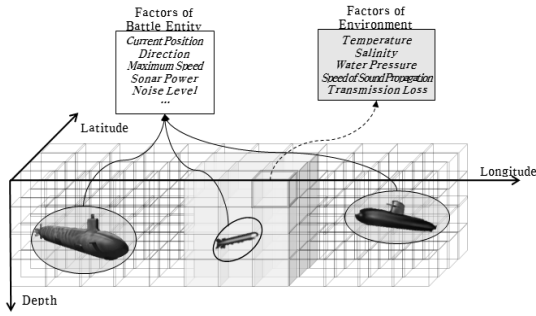


Fig. 2. Synthetic Battlefield Model of Underwater Warfare

수중 환경 특성을 시뮬레이션에 반영하기 위한 합성전장환경은 시간에 따른 위도, 경도, 그리고 깊이의 축을 가지며 시간과 위치에 따른 온도와 염분 요소들의 수치 변화 및 해저 표면 정보를 표현하여 공간(Space) 정보를 구축한다. 따라서 이와 같은 해양 환경을 모델링하기 적합한 시계열 3차원 격자 구조를 기반으로 합성전장환경을 구축한다. 시계열 3차원 격자 구조는 시간에 따른 위도, 경도, 그리고 깊이의 3개축을 통해 격자 구조를 구축하며 격자 구조의 각 셀에는 해당되는 영역의 온도와 염분의 수치데이터를 갖는다(Bub, 2011). 시뮬레이션 중에는 온도와 염분을 이용해 음파 전달 속도를 계산하며, Range-dependent Acoustic Model 또는 Bellhop과 같은 수치 모델을 사용해 음파 전달 속도와 전투 개체의 위치에 따른 음파의 전달 손실을 계산할 수 있다. 도출된 음파 전달 손실 값과 전투 개체의 특성을 사용하여 소나 성능 수준을 얻을 수 있고, 성능 수준에 의해 환경에 따른 전투 개체간의 탐지확률을 도출 할 수 있다. Fig. 2는 설명된 합성전장환경을 표현하고 있으며, 특정 시점에서 위도, 경도, 및 깊이로 구성된 격자 구조의 환경에서 교전 상황에 대해서 설명하고 있다.

시간(Time)에 관한 정보는 시뮬레이션이 시작되는 시점의 정보와 시뮬레이션 시간으로 모델링된다. 시뮬레이션 시작 시점 정보는 교전이 벌어지는 적절한 합성전장환경의 구축에 필요하며 시뮬레이션 시간은 시뮬레이션 진행에 따른 전투 개체의 위치 정보를 표현하기 위해 필요하다.

### 3. HLA/RTI 기반 수중 교전 시뮬레이션 시스템 설계

#### 3.1 HLA/RTI 기반 시뮬레이션 시스템

HLA/RTI 기반의 분산 시뮬레이션 시스템은 간접 커

뮤니케이션 시스템으로 게시-구독(P-S, Publish-Subscribe) 패러다임을 따른다. P-S 패러다임은 서버와 클라이언트로 구성되며, 클라이언트들이 데이터들을 서버에 게시하고, 필요한 데이터들을 구독하면서 통신한다. 이와 같은 시스템은 사건 기반의 분산 시스템의 구성에 효과적인 방법이다(Coulouris et al., 2012).

HLA/RTI 기반 시스템에서는 클라이언트를 페더레이트라 칭하며, 페더레이트들이 RTI 서버에 데이터를 게시하고 구독한다. 이와 같은 전체 시뮬레이션 시스템을 페더레이션(Federation)이라 하며, 각 페더레이트(Federate)들이 시뮬레이션 수행 중 교환할 데이터 내역들을 사전에 정의한 문서를 페더레이션 객체 모델(FOM, Federation Object Model)이라 한다. FOM은 객체 모델 서식(OMT, Object Model Templates)을 따라서 작성된다. 페더레이트에서 RTI 서버로부터 FOM의 내용을 게시/구독하기 위해서 페더레이트는 RTI 인터페이스로 시뮬레이션 객체 모델(SOM, Simulation Object Model)을 갖는다. RTI 서버와 페더레이트 사이에서 교환되는 데이터 형식은 객체(Object) 클래스와 인터랙션(Interaction) 클래스가 존재하는데, 객체 클래스는 지속적으로 공유되는 데이터, 인터랙션클래스는 메시지와 같이 단발적인 데이터 교환에 적합하다. 관련된 객체와 인터랙션 클래스 데이터의 형식은 FOM에 선언되어 있으며, 객체클래스에는 속성(Attribute)들을, 인터랙션 클래스에는 패러미터(Parameter)들을 하위에 가져 상세 데이터 목록이 정의 되어있다(IEEE Std 1516TM, 2010).

HLA/RTI를 기반으로 하는 분산 시뮬레이션 시스템을 효과적으로 개발하기 위한 체계공학절차인 페더레이션 개발 및 수행 절차(FEDEP, Federation Development and Execution)에서는 페더레이션 개발을 Table 3과 같이 정의하고 있다. 본 연구에서는 FEDEP에서 정의된 절차 중 4단계인 페더레이션 개발이 수행되었을 때, 페더레이션의 시뮬레이션 데이터를 통합하고 그 수행 결과물을 도출하는 5단계 이후를 지원하고자 수행되었다. 모니터링 시스템의 구축을 통해 시뮬레이션 내용을 추적하여 결과물 분석을 용이하게 하며, 또한 이후 시뮬레이션의 수행 중 페더레이션의 데이터 관리를 통한 페더레이트의 통제를 위해서 데이터 교환을 추적하는 모니터링 시스템의 구축은 필수적이다(Shin, 2007).

#### 3.2 데이터 교환 체계 설계

본 절에서는 수중 교전의 모의를 위해 크게 전투 개체, 전장 환경 및 시간으로 구분된 모델링 요소들의 데이터를

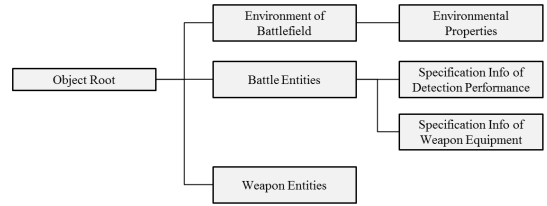
**Table 3.** Federation Development and Execution Process

No.	Activity
1	Define Federation Objectives
2	Perform Conceptual Analysis
3	Design Federation
4	Develop Federation
5	Plan, Integrate, and Test Federation
6	Execute Federation and Prepare Outputs
7	Analyze Data and Evaluate Results

HLA/RTI 기반의 시스템에서 교환하기 위한 FOM 설계를 진행한다. FOM 설계는 모델링 요소의 특성에 따라 객체 클래스와 인터랙션 클래스로 구분하여 TSPI 및 전투 개체의 특성 데이터를 교환할 수 있도록 설계된다. FOM 설계의 과정에서 모델링 요소의 특성별로 데이터 교환을 정의해야 모니터링 시스템이 RTI 서버를 통해 교환되는 데이터 중 모니터링 하고 싶은 특성 데이터의 효율적인 구독이 가능하다.

FOM 설계를 위해 페더레이션에서 RTI 서버를 경유하는 데이터 교환 시나리오를 구성하면 다음과 같다. 합성 전장 환경에 대한 데이터 요구는 교전 모의를 하려는 시점과 공간에 대한 정보를 바탕으로, 해당하는 수온과 염분, 그리고 해저 지표에 관한 환경 데이터를 제공한다. 제공된 환경 데이터를 이용해 합성 전장 환경의 음파 전달 속도를 도출하여 게시하는 것으로 공간 정보를 교환한다. 전투 개체에 대한 데이터 요구는 현재의 위치 및 진행 방향을 표현하기 위한 정보와 전투 개체가 어뢰 또는 기만기와 같은 무기를 사용했을 경우에 무기 개체의 위치에 대한 정보를 게시하여 위치 정보를 교환한다. 또한 실시간으로 시뮬레이션의 시간 진행을 모니터링 하기 위해 매 데이터 게시 시점(Tick)마다 현재 시뮬레이션 시간을 게시함으로써 시간 데이터를 교환한다. 이와 같은 데이터 교환 시나리오를 통해 TSPI 상태 정보를 교환할 수 있다.

TSPI 외에도 페더레이트들은 시뮬레이션을 분석하기 위해 2장에서 도출된 전투 개체 자체 및 탐지, 무장 특성에 관련된 모델링 요소들을 교환해야 한다. 전투 개체의 위치와 탐지 특성은 공간 정보인 음파 전달 속도와 함께 음파 전달 손실 모델의 입력값으로 수중 교전을 모의함에 있어서 필수적인 요소이다. 도출된 음파 전달 손실과 전투 개체 자체 특성 및 탐지 특성을 소나 성능 함수에 입력하여 탐지 확률을 계산하고 게시한다. 게시된 탐지 확률을 전투 개체들의 적 발견 상태에 반영하여 공격 가능 적



**Fig. 3.** Design of Object Classes

함에 무장된 공격 무기를 발사하거나 또는 피탐지 상태에서 적 어뢰에 대항하는 방어 무기를 발사할 수도 있다.

기술된 데이터 교환 시나리오에 기초하여 데이터 교환 체계를 FOM으로 설계하였다. 시뮬레이션 전반적으로 유지되는 합성전장환경 정보, 전투 개체들의 자체 특성, 탐지 특성, 무장 특성 정보 및 시뮬레이션의 시작 시점에 관한 시간 정보는 객체 클래스로 구성된다. 이러한 객체 클래스의 설계는 Fig. 3과 같이 구성되었다. 설계된 객체 클래스의 구성은 전장 환경 및 그 속성 정보, 전투 개체 및 탐지 특성, 무장 특성 정보, 무기 개체 정보 클래스들로 구성되었으며, 각 클래스 별 속성들은 다음과 같다. 전장 환경 정보(Environment of Battlefield) 클래스의 속성은 전장 환경의 공간 구성 정보인 각 공간 축의 격자 데이터를 가지며 환경속성 정보(Environmental Properties) 클래스는 염분과 온도 등의 환경 속성에 관련된 데이터를 갖는다. 전투개체 정보(Battle Entities) 클래스에 관한 속성으로는 개체ID, 최대 속도, 가속력, 만재배수량, 선회력 등이 존재하며 탐지특성 정보(Specification Info of Detection Performance) 클래스의 속성으로 능동 소나 출력, 탐지 한계치, 탐지 허용각, 소음 발생 수준 등을 갖는다. 무장특성 정보(Specification Info of Weapon Equipment) 클래스는 장착 가능한 경/중어뢰, 재머, 기만기 수 등을 속성으로 갖는다. 무기개체(Weapon Entities) 클래스는 전투 개체에 의해 생성되며 무기 개체의 ID, 부모 전투 개체의 ID, 목표 전투/무기 개체의 ID, 최대 운용 시간, 최대 속도, 가속력, 선회력 등을 속성으로 갖는다.

시뮬레이션 중 계속적으로 변하는 데이터는 인터랙션 클래스 중심으로 설계하였다. 인터랙션 클래스를 구성하는 데이터는 전장 환경의 범위, 현재 전투 개체 상태, 무장, 위치 및 탐지 정보, 그리고 무기 개체의 위치 정보의 표현을 위한 클래스로 설계되어있으며 Fig. 4에 표현되어 있다. 각 인터랙션 클래스의 패러미터들은 다음과 같다. 전장환경 범위(Battlefield Range Info) 클래스는 교전 시점, 공간의 위도, 경도, 깊이 범위를 패러미터로 갖는다.

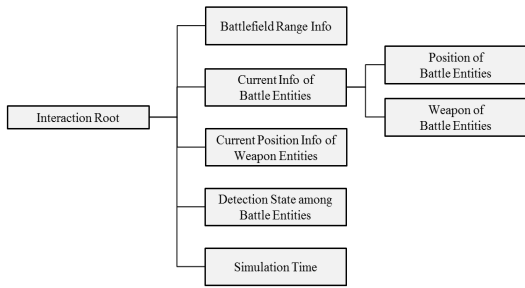


Fig. 4. Design of Interaction Classes

전투개체상태 정보(Current Info of Battle Entities) 클래스는 현재 전투 개체의 ID, 손상도, 속도 등을 패러미터로 가지며, 무장상태 정보(Weapon of Battle Entities) 클래스는 경/중어뢰, 기만기, 재머 등 전투 개체의 무기 보유 수, 전투개체위치 정보(Position of Battle Entities) 클래스는 위도, 경도, 심도로 구축된 3차원 공간상의 전투 개체 위치와 현재 침로, 무기개체위치 정보(Current Position Info of Weapon Entities) 클래스 또한 무기 개체의 ID, 3차원 공간상의 무기 개체의 위치와 현재 침로를 패러미터로 갖는다. 탐지상태 정보(Detection State among Battle Entities) 클래스는 탐지한 전투 개체의 ID와 탐지당한 전투 개체의 ID를 패러미터로 갖는다. 시뮬레이션 시간의 경우 HLA/RTI에서 제공하는 시간관리(Time Management) 기능이 있으나 전송되는 메시지에 관련된 기능으로서 본 연구에서는 시뮬레이션 시간을 페더레이트에서 관리하도록 구성되었다. 따라서 시뮬레이션 시간(Simulation Time) 클래스를 인터랙션 클래스에 두어 설계하였다.

### 3.3 시뮬레이션 시스템 설계

페더레이션에서 생성된 FOM을 기반으로 데이터 교환을 수행하며 시뮬레이션을 진행하기 위해 페더레이트들이 페더레이션을 구성한다. 본 연구의 수중 교전 페더레이션을 설계하기 위해서 FOM에 정의된 교환 데이터 목록을 수행 목적에 맞도록 분류하고, 페더레이트들과 RTI 서버의 데이터 교환이 효율적인 통신을 하도록 각 페더레이트를 수행 목적에 적합하게 SOM을 구축하여 RTI 서버에 연동한다. 수행 목적별로 페더레이트를 구성한 결과는 Fig. 5에 표현되었다.

설계된 수중 교전 페더레이션은 수중 교전 시뮬레이터 페더레이트, 환경 데이터를 관리하는 페더레이트, 그리고 환경 데이터와 시뮬레이션 데이터를 이용해 시뮬레이터 페더레이트의 전투 개체들 사이의 탐지 확률을 계산해주는 소나 운용 페더레이트가 존재한다. 각 페더레이트의 SOM은 다음과 같은 역할을 한다. 수중 교전 시뮬레이터 페더레이트의 SOM은 객체 클래스의 전투개체, 무기개체 정보 클래스 및 하위 클래스들과 인터랙션 클래스의 전장 환경범위 정보, 현재 전투개체상태 및 무기개체상태 정보 및 하위 클래스들, 시뮬레이션 시간을 게시하고, 인터랙션 클래스의 현재 탐지상태 정보 클래스를 구독하여 시뮬레이션에 반영한다. 환경 데이터를 관리하는 페더레이트의 SOM은 인터랙션 클래스의 전장환경범위 정보를 구독하고, 전장환경의 범위에 해당하는 수온, 염분 및 해저 지형 등의 데이터를 객체 클래스의 전장환경 및 그 하위 클래스에 게시하여 분산 시스템의 합성전장환경을 구축한다. 소나 운용 페더레이트의 SOM은 객체 클래스의 탐지특성 정보 클래스, 전장환경 및 그 하위 클래스와 인터랙션 클

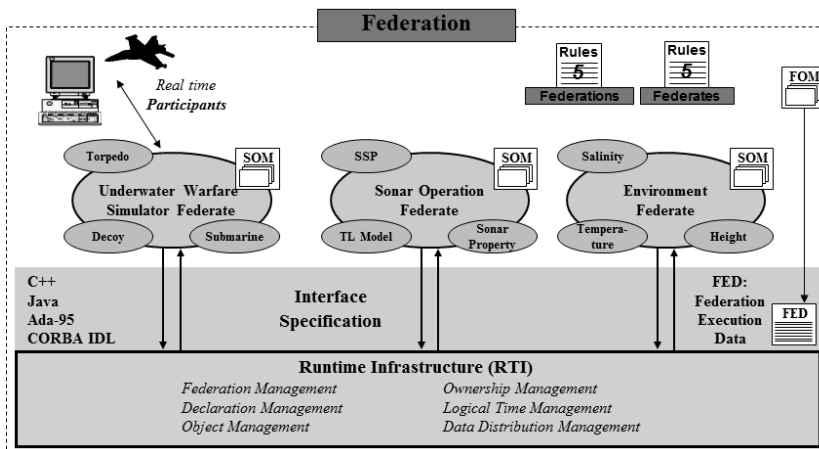


Fig. 5. Design of the Federation

래스의 현재 전투개체위치 및 무기개체위치 정보 클래스를 구독한다. 구독한 정보를 전달 손실 모델, 소나 성능 모델 등에 입력하여 도출된 결과를 바탕으로 전투 개체간의 탐지상태를 분석하며, 그 결과를 탐지상태 정보 클래스에 게시한다.

#### 4. 모니터링 시스템 구축

수중 교전 모의를 위한 페더레이션이 구축되어 시물레이션이 진행되면 페더레이트들이 FOM에 정의된 데이터들 중 자신의 SOM에 해당하는 데이터를 RTI 서버에 게시 또는 구독하여 공유한다. 모니터링 시스템은 하나의 페더레이트가 그 역할을 수행하여 페더레이션을 모니터링 한다. 시물레이션의 모니터링 역할을 맡은 모니터링 페더레이트는 RTI 시스템에 접속하여 FOM을 공유하는 시물레이션 시스템에 연동된다. 연동된 모니터링 페더레이트는 시물레이션 시스템에서 공유되는 모델링 요소 중 모니터링 목적에 맞는 요소 정보를 구독한다. 구독된 정보는 사용자의 분석이 가능하도록 가공(Process)되어 전시(Display)된다.

모니터링 페더레이트는 기존의 모니터링 시스템의 일반적인 역할인 데이터의 변화 추이를 관측한다는 개념에서는 동일한 역할을 수행한다. 하지만 본 연구의 모니터링 페더레이트를 활용한 수중 교전 모의를 위한 HLA/RTI 기반의 분산 시물레이션 시스템의 모니터링은 다음과 같은 점에서 그 목적이 다르다. HLA/RTI 시스템에서 각 페더레이트는 자신의 수행 목적에 관련된 SOM만을 가지며 그 외의 데이터를 교환하는 것은 효율적이지 않다. 따라서 각 페더레이트가 페더레이션의 시물레이션 수행 상태를 모른채로 페더레이트의 역할을 수행한다. 이와 같이 수행 목적에 따라 RTI서버와 데이터 교환이 발생하는 특징 때문에 페더레이션의 전체 시물레이션 수행 상태를 분석하는 것이 힘든 문제를 해결하기 위해 필요하다.

본 연구의 수중 교전 모의를 위해 구축한 HLA/RTI 기반의 시물레이션 시스템은 모니터링 시스템에 용이한 구조를 갖는다. 그 이유는 FOM에 교환할 데이터를 사전 정의하며 RTI 서버를 경유하여 교환되기 때문에 모니터링 페더레이트가 RTI 서버에 게시된 데이터 중 모니터링 목적에 따라 다른 모델링 요소를 선택적으로 구독할 수 있다. 이로 인해 모니터링 페더레이트는 페더레이트들의 구성과 무관하게 시물레이션 모니터링이 가능하며 목적에 따라 확장이 가능하다. 또한 데이터 교환이 RTI 서버와 모니터링 페더레이트에서만 발생하여 모니터링이 시물레

이션 수행을 위한 데이터 교환에 영향을 주지 않는다.

#### 5. 모니터링 시스템 구현 결과

본 연구에서 RTI 서버는 Pitch사의 pRTI1516을 사용하였으며, 모니터링 페더레이트는 Visual Studio 2008을 사용한 C++, MFC 및 차트 라이브러리를 사용하여 개발되었다. Fig. 6은 구현된 모니터링 페더레이트의 사용자 인터페이스(UI, User-Interface)를 표현하고 있으며 시물레이션 시스템으로부터 받은 시물레이션 데이터를 상단의 윈도우에 전시하고, 현재 전장 공간 범위를 하단에 표시한다. 또한 다양한 모니터링 목적을 만족시키기 위해 전시창 컨트롤을 구성하여 전장의 공간 표현, 전장 환경 표현 및 전투 개체의 현재 위치 표현 등이 가능하다. Fig. 6은 상단에 합성전장환경의 범위를 상단에 차트로 표현하였고, 하단에 수치로 표현하였다.

모니터링 페더레이트는 구축된 UI를 기반으로 RTI 서버로부터 받은 모니터링 데이터를 전시한다. RTI 시스템을 기반으로 수행되는 시물레이션은 청군과 홍군이 대립하는 시나리오를 가지며, 각 세력은 1척의 잠수함과 수상함 시물레이션 개체를 운용한다. 홍군의 잠수함은 청군의 감시 지역을 진입하고, 청군 및 홍군의 각 개체는 적을 발견하면 어뢰를 발사한다. 이와 같은 시나리오로 진행되는 시물레이션을 모니터링 페더레이트가 RTI 서버를 통해 구독하여 전시한다. 모니터링 페더레이트의 환경 데이터

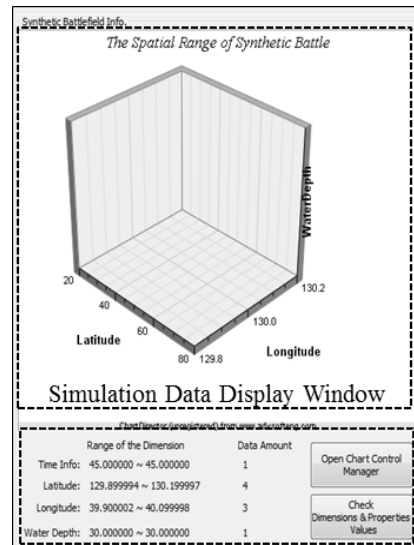


Fig. 6. User-Interface Design of the Monitoring Federate



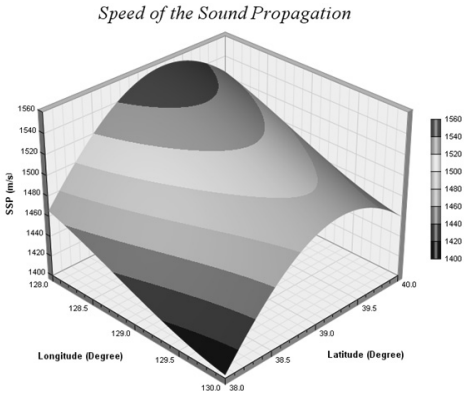
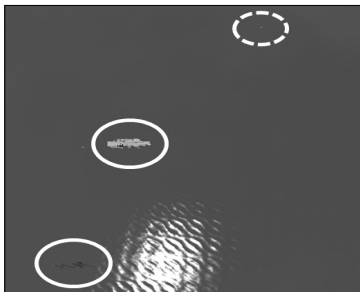


Fig. 7. Representation of the Space Information

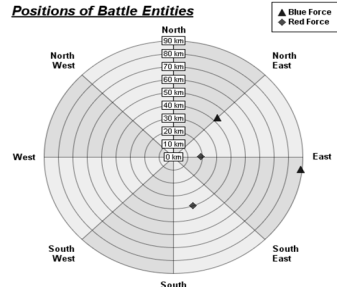
전시는 Fig. 7과 같이 표현된다. Fig. 7은 현재 전장 환경의 환경 속성인 수온과 염분을 구독한 소나 운용 페더레이트 의해 도출된 음파 전달 속도를 표현하고 있으며 환경 데이터 관리 페더레이트가 게시하는 수온과 염분도 같은 형태의 차트로 표현된다. 이와 같은 기능을 통해 수중 교전 시뮬레이션의 공간 정보 모니터링이 가능하다.

전장 환경에서 시뮬레이션 참여 개체들의 위치 정보의 전시는 Fig. 8에 표현되었다. Fig. 8의 (a)는 수중 교전 시뮬레이터 페더레이트에서 전투 개체가 3D로 가시화된 전장에 위치하고 있음을 표현하고 있다. 시뮬레이터 페더레이트는 RTI 서버에 전투 개체 위치를 게시하고, 모니터링 페더레이트는 이를 구독하여 (b)와 같이 전시한다. Fig. 8의 (a)에 실선으로 표시된 개체는 홍군이며 점선으로 표시된 개체는 청군으로 (b)에 반영되어 있다. Fig. 8의 (c)는 청군 잠수함에서 홍군 수상함으로 어뢰를 발사하여 청군 어뢰가 홍군 수상함을 추적하는 상태이며 실선으로 표시된 개체가 전투개체, 점선으로 표시된 개체가 어뢰이다. (c)의 상태는 모니터링 페더레이트에서 (d)와 같이 전시되었다.

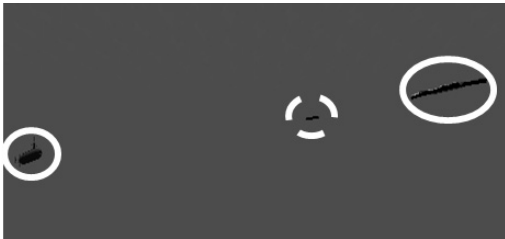
수중 교전 시뮬레이션의 시간은 Fig. 9에 표현되었다. 시뮬레이션의 배경 시간은 합성전장환경의 범위에 포함되며 시뮬레이션 시간은 시뮬레이션이 시작되고 흐른 시간을 의미한다. 모니터링 페더레이트는 시뮬레이션 시간을 구독하여 Fig. 6의 기본 UI와는 별도의 창에 시뮬레이션 시간의 진행을 전시한다.



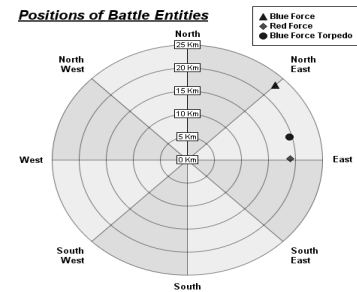
(a) Battle Entities on the Battlefield in the Simulator Federate



(b) Battle Entities on the Battlefield in the Monitoring Federate



(c) Battle & Weapon Entities on the Battlefield in the Simulator Federate



(d) Battle & Weapon Entities on the Battlefield in the Monitoring Federate

Fig. 8. Representation of the Position Information

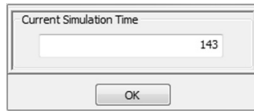


Fig. 9. Representation of the Time Information

## 6. 결 론

HLA/RTI 기반으로 수행되는 수중 교전 시뮬레이션을 분석하기 위한 모니터링 시스템의 설계를 위해 본 연구에서는 수행 목적에 적합한 전투 개체와 전장 환경에 관한 핵심적인 모델링 요소를 도출하고, 도출된 요소들의 체계 및 표현 방안을 설계하였다. 모니터링 요소의 도출 결과는 수중 교전의 TSPI를 표현하기 위한 전투 개체 위치, 전장 환경 상황, 시뮬레이션 시간 및 전투개체 특성 등이 있으며 도출된 요소들의 체계를 FOM으로 정리하였다. FOM으로 정리한 페더레이트 간의 데이터 교환 명세를 기반으로 수중 교전을 모의하기 위한 페더레이션을 구성하였다. 모니터링 시스템은 구성된 페더레이션의 시뮬레이션 진행을 계속적으로 표현하여 엔지니어가 전체적인 시뮬레이션 상황을 분석이 가능하도록 한다. 따라서 모니터링 시스템은 HLA/RTI 기반의 시뮬레이션 시스템에서 하나의 페더레이트가 역할을 담당하게 되어 모니터링에 필요한 모델링 요소들을 구축한다. 구현된 모니터링 페더레이트는 계속적으로 페더레이션의 모니터링 요소들을 구독함으로써 실시간 시뮬레이션 상태를 모니터링 하고, 각 클라이언트들이 독립적으로 관리하는 모니터링 요소들을 통합한다. 모니터링 페더레이트는 HLA/RTI 기반 시뮬레이션 시스템의 상태를 분석할 수 있도록 하여 엔지니어가 가상시험 결과를 빠르게 도출할 수 있다.

향후 본 연구의 모니터링 시스템을 기반으로 페더레이션의 실시간 통제가 가능한 시스템을 구축한다. 모니터링 시스템에서 추적한 모니터링 요소 중 통제 요소 및 통제 요구 작업을 도출하고, 도출된 내용의 체계 설계를 연구한다. 구축된 시스템은 수중 교전 시나리오를 기반으로 시뮬레이션을 수행하며 시뮬레이션의 수행 중 TSPI를 포함하는 통제 요소의 데이터 교환을 실시간 관리한다. 이를 통한 시뮬레이션의 진행 통제 및 전투 개체의 제어 기술을 연구한다.

## References

1. Australian Defense Simulation Office, Distributed simulation

guide. Department of Defence, Canberra, Australia 2004.

2. Bradley DL, Stern R. Underwater Sound and the Marine Mammal Acoustic Environment: A Guide to Fundamental Principles. U. S. Marine Mammal Commsision, 2008.

3. Bub FL. The status of ocean modeling at the naval oceanographic office (NAVOCEANO). Ocean Modeling Division 2011.

4. Choi SY. Technology Development and Outlook of Defense Modeling and Simulation. Journal of IEEK 2008; 35(10): 1157-1166.

5. Choi SK. Submarine Story. Yangseogak, Seoul 2000.

6. Cote O, Sapolsky H. Antisubmarine Warfare after the Cold War. MIT Security Studies Conference Series 1997.

7. Coulouris G, Dollimore J, Kindberg T, Blair G. Distributed systems: Concepts and design, fifth ed. Addison-Wesley, USA 2012.

8. DOSITS. How fast does sound travel?. University of Rhode Island 2012. URL: <http://www.dosits.org/science/soundmovement/sofar/>.

9. Fujino Y, Siringoringo DM, Nagayama T, Su D. Control, Simulation and Monitoring of Bridge Vibration - Japan's Recent Development and Practice. IABSE-JSCE Conference on Advances in Bridge Engineering-II 2010: 61-74.

10. IEEE Std 1516TM. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S): High Level Architecture (HLA) - Framework and rules (2010 Revised Ed). IEEE Computer Society, New York 2010.

11. Kim DH, Shin JH, Kim CK. On the Development of the Authoritative Representations of Submarine for Engagement Level Simulation. Journal of KSS 2007; 16(4): 1-12.

12. Ko SW, Jang MS, Lee YS. The Development of Offshore Wind Reource Measurement System and Remote Monitoring System. Journal of the Korean solar Energy Society 2011; 31(6): 72-77.

13. Kwon S, Choi J, Lee J. A Monitoring System based on Layered Architecture. Journal of KIISE 2006; 33(7): 440-447.

14. MSCO. Description of M&SCO. 2012. URL: <http://www.msc0.mil/descMSCO.html>.

15. Park SC, Seong KY. A Synthetic Environment Based Engagement Simulation Model. Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers 2010; 15(4): 271-278.

16. Park HT. HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation) based Production System Design. Ajou University 2011.

17. Saunders S. Jane's Fighting Ships 2011-2012. Jane's Information Group, USA 2011.

18. Shin JH. The Federation Development for Underwater

- Warfare Simulation. Journal of KSS 2007; 16(3), 11-18.
19. Sohn HJ, Park CS. Introduction to Submarine Engineering. Daeyoung, Seoul 2001.
  20. Task Force ASW. Anti-Submarine Warfare: Concept of Operations for the 21st Century. Department of the Navy, USA 2005.
  21. Wikipedia. Anti-submarine warfare. 2012. URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-submarine\\_warfare](http://en.wikipedia.org/wiki/Anti-submarine_warfare).
  22. Wikipedia. Sonar. 2012. URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Sonar>
  23. Wynn DC, Clarkson PJ. Design Project Planning, Monitoring and Re-planning Through Process Simulation. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN 2009.



**함원경** (lunacy@ajou.ac.kr)

2011 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사  
2013 아주대학교 산업공학과 석사  
2013~현재 아주대학교 대학원 산업공학과 박사과정

관심분야 : 국방 M&S, 분산 시뮬레이션, 에이전트, 합성전장환경



**정용호** (yongho1230@ajou.ac.kr)

2011 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사  
2013 아주대학교 산업공학과 석사  
2013~현재 아주대학교 대학원 산업공학과 박사과정

관심분야 : 국방 M&S, 동적 지형, 키네마틱스, 합성전장환경



**최종엽** (jmerit@kg21.net)

2005 아주대학교 대학원 정보통신학과 공학석사  
2012 광운대학교 대학원 방위사업학과 박사과정 수료  
2006~현재 방위사업청 M&S기술팀 사무관

관심분야 : 국방M&S, 합성전장환경, HLA/RTI



**박상철** (scpark@ajou.ac.kr)

Ph.D. (2000) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
B.S. (1994) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
M.S. (1996) in Industrial Engineering, Dept of I.E., KAIST, Korea  
2000년 9월~2001년 12월 큐빅테크, 선임연구원  
2002년 1월~2004년 2월 DaimlerChrysler ITM Dept. Research Engineer  
2004년 2월~현재 아주대학교 산업정보시스템 공학부  
관심분야 : 시뮬레이션, 제조 시스템, 이산사건 모델링, CAD/CAM, PLC