

# 함포 사격통제시스템 검증을 위한 시물레이션 환경 구축 및 개발진행단계에 따른 적용 방안 연구

김의진<sup>1†</sup>

## Naval Gun Fire Control System Simulation for Verification Depending on Development Phase

Eui-Jin Kim

### ABSTRACT

Naval Gun FCS(Fire Control System) is the most fundamental weapon system in Naval Combat System. Simulation-based verification of FCS is mandatory before sea trial since ballistic solution needs complicated process and uses almost all information produced by own ship sensors. The FCS simulation method is proposed for verification of naval gun FCS and applicable to the FCS design depending on combat system development phase based on available data in each design phase. Verified FCS through proposed simulation method is adapted in real naval combat system and the performance has been proven by sea trial.

**Key words** : M&S, Simulation, Fire Control System, Tracking Filter, Ballistic Calculation

### 요약

함포 사격통제시스템은 수상함 전투체계에서 가장 사용빈도가 높은 무장 시스템으로 탄도계산의 연산과정이 복잡할 뿐만 아니라 각종 레이더 및 센서등 자함에 탑재된 대부분의 장비로부터 정보를 수신하여 탄도계산을 수행하기 때문에 시물레이션을 통해 사전에 검증을 하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 함포 사격통제시스템을 검증하기 위한 시물레이션 환경 구축 기법을 제안하였으며, 구축된 시물레이션 환경을 통해 무기체계의 개발진행단계별로 주어진 데이터를 최대한 활용하는 효율적이며 실용적인 시물레이션 방법을 제시하였다. 시물레이션을 통해 검증된 사격통제시스템은 실제 수상함 전투체계에 탑재되어 함포 사격에서 우수한 결과를 얻었으며, 이를 통해 제안된 시물레이션 방법의 정확성 또한 입증되었다.

**주요어** : M&S, 시물레이션, 사격통제시스템, 추적필터, 탄도계산

## 1. 서론

수상함 전투체계는 함상의 각종 센서와 무장을 연동하여 주변 위협세력에 대한 위협평가를 수행하고, 위협세력에 대한 교전을 수행하는 시스템으로 함정 외적으로 보이는 않으나 내부의 모든 연산을 담당하는 수상함의 두뇌에 해당하는 핵심역할을 담당한다. 수상함의 다양한 무장

중 함포는 미사일의 등장 이후 과거 수상함의 주력 무장으로써의 의미는 퇴색되었으나 그 편리성 및 경제성으로 인하여 여전히 전투함에서 가장 빈번하게 사용되는 무장으로, 함포 사격통제시스템은 이러한 함포를 이용하여 수상함이 사격을 수행하고자 하는 대함/대공 표적에 대해 표적의 위치를 추적하고 탄도계산을 수행하여 함포를 통제함으로써 교전을 가능하게 하는 시스템이다. 함포 사격통제시스템은 탄도계산 알고리즘 자체가 매우 복잡할 뿐만 아니라, 탄도계산시 자함의 거의 모든 센서를 활용하게 되며 이들의 오차가 사격 정확도로 직결된다. 따라서, 사격 정확성을 높이기 위해서는 시물레이션을 통해 알고리즘을 검증하고 주변 센서의 영향성을 사전에 파악하여 대비하는 것이 필요하다.

접수일(2011년 2월 14일), 심사일(1차 : 2011년 4월 28일),  
게재 확정일(2011년 5월 5일)

<sup>1)</sup> 국방과학연구소

주 저 자 : 김의진

교신저자 : 김의진

E-mail; eui\_jin.kim@add.re.kr

함포 사격통제시스템을 시뮬레이션하기 위한 연구가 이동훈 외(2007)와 황근철(2007)에 의해 수행된 바 있다. 그러나 이들 연구는 함포를 이용한 교전 효과도를 분석하기 위한 것으로 센서, 함포 사격통제시스템 및 함포는 간략한 형태로 모델링하고 확률적 모델로 모사하였기 때문에 높은 정확도를 요구하는 함포 사격통제시스템의 시뮬레이션에는 한계를 갖는다. 국외에서 개발되어 국내 도입되기도 한 WSA-423의 시뮬레이션 프로그램인 SPAFIRE는 가상 시나리오 및 실제 표적정보를 활용하여 시뮬레이션을 수행하는 것이 가능하나 입력정보의 정확성이나 시뮬레이션의 자유도에 제한이 있었다(김경기 등, 1988). 그 외에도 국외에서 사격통제시스템을 시뮬레이션하기 위한 노력들이 있었으나 많은 경우 실사격을 대신할 훈련장비를 위한 시뮬레이션(D. Bardos, 1996)에 대한 연구로써 진행되었고, 함포 사격통제시스템을 정확히 시뮬레이션하기 위한 연구는 이루어지지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 함포 사격통제시스템 검증에 활용 가능한 높은 정확성을 갖는 시뮬레이션 환경을 구축하고, 이를 전투체계 각 개발단계별로 활용하는 방안에 대한 연구를 진행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 일반적인 함포 사격통제시스템의 구성에 대해 소개하고, 3절에서는 함포 사격통제시스템을 시뮬레이션하기 위해 제안된 환경 구축방법에 대해 기술하였다. 4절에서는 제안된 시뮬레이션 환경을 이용하여 시스템 개발 단계별 적용 방안에 대해 기술하였으며, 5절에서는 시뮬레이션 결과를 검증하기 위한 실사격 결과를 제시하였다. 결론에서는 제안된 시뮬레이션 방법의 한계 및 향후발전 방향에 언급하였다.

## 2. 함포 사격통제시스템

함포의 사격통제시스템은 자함센서, 추적센서 및 각종 정보처리장비등과 연동하여 대함/대공전을 수행하는 수상함 전투체계의 일부로써, 대함 및 대공 표적에 대해 함포로 교전할 수 있는 기능을 제공하는 역할을 한다. 일반적으로 함포 사격통제시스템은 그림 1과 같이 추적센서, 자함센서, 함포 사격제원계산장치(BCU : Ballistic Computing Unit) 그리고 함포로 구성된다. 추적센서는 함포로 교전을 하고자 하는 표적의 정보를 레이다 또는 광학장비를 통해 획득하여 함포 사격제원계산장치에 제공하는 역할을 한다. 추적센서의 표적정보는 함포 사격제원계산장치로 전달되어 전처리를 거쳐 추적필터를 통해 현재의 기동(위치/속도/가속도등) 정보 산출에 사용된다. 함포의 경우

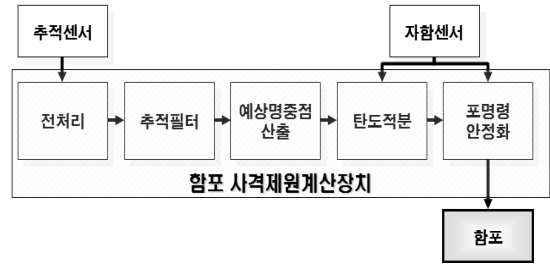


그림 1. 함포 사격통제시스템 구성 요소

탱크나 총기류와 같이 탄이 직선으로 나가는 무기와는 달리 곡선형태로 탄의 궤적이 형성되며, 사격후 탄이 실제 표적에 명중하기까지 수초~수십초의 시간이 소요된다. 따라서 탄과 표적이 조우하는 미래의 예상명중점을 산출하여, 이 지점까지 탄을 보내기 위한 함포의 고각/선회각을 탄도 적분을 통해 계산한다(Tae-II Suh 등, 2010). 탄도적분시에는 자함센서로부터 측정된 온도/습도/기압/풍향/풍속등 환경정보가 반영되며, 자함의 자세 흔들림에 따라 포신각도를 보정한후 안정화시켜 함포에 인가하여 표적과의 교전을 수행한다.

## 3. 시뮬레이션 환경 구축

본 연구에서는 ‘2. 함포 사격통제시스템’에서 언급된 내용 중 함포 사격제원계산장치 내에서 장비간 데이터 변환 등을 제외한 실제 계산을 수행하는 부분만을 시뮬레이션 대상으로 하였으며, 이는 그림 2에 ‘사격제원계산 모듈’로 표시하였다.

실제 수상함 전투체계 환경의 경우 각종 추적센서와 자함센서 정보는 전투체계 데이터버스(CSDB : Combat System Data Bus)를 통해 사격제원계산장치를 포함한 연동단에 전달된다. CSDB상에 존재하는 Sensor Data는 실시간으로 전송되기 때문에 BCU 실장비의 입력을 확인하기 위해서는 별도의 PC를 CSDB에 연결하여 CSDB 정보를 Log 형태로 저장해야한다. 사격제원계산장치의 정보처리 과정 및 결과 또한 BCU Log 형태로 저장되며, 이를 사후에 별도의 분석프로그램을 통해 분석함으로써 사격제원계산 결과의 정확도 분석 및 오류 분석등을 수행하는 것이 가능하다.

본 연구를 통해 개발된 BCU 시뮬레이션 환경은 기존 BCU 실장비의 Sensor Log, BCU Log 및 분석 프로그램을 재사용 가능하도록 구성하였으며, 핵심적인 사격제원

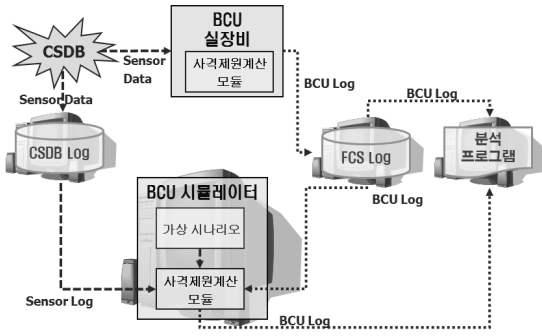


그림 2. 사격제원계산장치 시뮬레이션 환경의 구성 요소

계산 모듈은 실장비와 시뮬레이터가 동일한 코드를 사용하여, 실장비와 시뮬레이터 환경의 계산 산출결과가 일치하도록 하였다. BCU 시뮬레이터의 입력은 실제 환경에서 CSDB 분석을 위하여 저장한 CSDB의 Sensor Log를 입력받아 BCU 실장비와 동일한 정보를 받을 수 있도록 하였으며, BCU Log에 포함된 Sensor Data로도 시뮬레이션이 구동될 수 있도록 하였다. 이를 통해 BCU 실장비의 입력/출력 데이터(Sensor Log /BCU Log)를 모두 입력받아 시뮬레이션이 가능하도록 함으로써 두 결과의 비교를 통해 BCU 실장비의 문제여부의 판단을 용이하게 하였다. 예를 들어 Sensor Data는 동일한데 BCU 실장비와 시뮬레이터의 수행결과가 상이할 경우 BCU 실장비에 오류가 있음을 판단할 수 있으며, BCU 실장비와 시뮬레이터의 Sensor Data와 BCU Log가 모두 동일한 경우 최초의 입력데이터인 Sensor Data 자체에 오류가 있다고 판단하고 오류 분석 및 수정을 진행할 수 있다.

언급된 실제 환경에서 획득한 Sensor Log 및 BCU Log 외에도 시뮬레이터 자체에서 생성한 가상시나리오에 의한 시뮬레이션도 가능하게 하여 실제 환경에서 시험 불가능한 표적의 움직임이나 상황도 시뮬레이션이 가능하게 하였다. 시뮬레이터의 수행 결과는 BCU 실장비와 동일한 형태의 Log로 남게하여 BCU 실장비를 분석할 때 사용하는 분석프로그램을 그대로 활용하여 BCU 시뮬레이터 결과 또한 분석 가능하도록 하였다. 시뮬레이터 환경에서 입력과 출력 정보의 상세 구성 방법은 다음과 같다.

### 3.1 시뮬레이터 입력정보 구성

BCU 시뮬레이터의 입력은 Sensor Log, 가상시나리오, BCU Log가 있으며, 그림 3과 같이 입력정보 통제 모듈을 두어 3가지 입력을 모두 입력받을 수 있도록 구성하여 입력되는 정보의 종류에 관계없이 동일한 사격제원계산

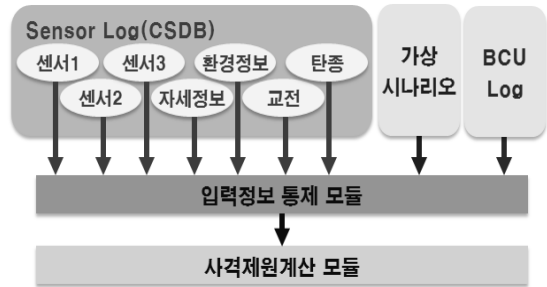


그림 3. 시뮬레이터 입력정보 구성

모듈이 동작하도록 구성하였다.

CSDB를 통해 사격제원계산장치로 입력되는 정보로는 추적센서로부터 입력되는 표적위치정보, 포신의 각도 보정을 위한 자함 자세정보, 온도/습도/풍향/풍속/기압 등의 환경정보 그리고 교전상태와 탄 특성에 맞는 탄도 계산을 위한 탄중정보가 있다. 이러한 사격제원계산장치의 입력 정보는 Sensor Log 형태로 별도 PC에서 저장되며, 사격제원계산장치에도 입력되는 순간 Log정보로 남기어 BCU Log에 그대로 저장된다. 따라서 BCU Log만으로도 CSDB 상의 정보를 얻을 수 있어 시뮬레이션 수행이 가능하다. 가상 시나리오를 이용하는 경우에는 해당 정보를 모두 가상으로 시뮬레이터 상에서 구현하여 사격제원계산 모듈의 입력으로 사용하였으며, 실제 표적정보의 특성을 반영하기 위하여 다음과 같이 표적기동, 표적궤적, 센서특성을 모델링하여 시나리오에 반영하였다.

#### 3.1.1 표적 기동 모델링

가상 시나리오의 신뢰성 확보를 위해서는 표적의 기동이 실제와 유사하게 생성되어야 한다. 본 연구에서는 표적의 상태정보를 식 (1)과 같이 표적의 속도, 위치, Euler angle로 정의하고 수치해석적으로 물리량을 산출함으로써 표적의 궤적을 생성하였다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \\ x \\ y \\ z \\ \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \text{ velocity} \\ y \text{ velocity} \\ z \text{ velocity} \\ x \text{ position} \\ y \text{ position} \\ z \text{ position} \\ \text{roll (euler angle)} \\ \text{pitch (euler angle)} \\ \text{yaw (euler angle)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

표적이 기동할 시에는 표적에 특정 방향으로 힘이 작용하여 표적의 기동이 변화한 것으로 가정하였다. 표적에 작용하는 힘의 크기가  $A$ 이고 표적 진행방향 기준 선회 및 고각 방향 각도가 각각  $\beta$   $\epsilon$  일 때, 식 (2)과 같이 표적의 동체 중심 좌표계에서의 가속도( $\ddot{x}_B, \ddot{y}_B, \ddot{z}_B$ )를 산출하여 힘의 작용을 반영하였다.  $\beta$   $\epsilon$ 의 각도 값을 조절하여 등가속 운동, 원운동, 타원운동등 표적이 기동 가능한 모든 운동을 표현하는 것이 가능하다.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_B &= A \times \cos(\epsilon) \times \cos(\beta) \\ \ddot{y}_B &= A \times \cos(\epsilon) \times \sin(\beta) \\ \ddot{z}_B &= A \times \sin(\epsilon) \end{aligned} \quad (2)$$

### 3.1.2 표적 궤적 모델링

이상적인 경우 표적이 등속 직선 기동을 수행하며 추적센서에 오차가 없다고 가정할 때, 완벽한 직선형태의 표적정보가 측정되어야 한다. 그러나, 수상함의 교전 대상이 되는 대함/대공 표적은 현실적으로 직선형태로 기동하는 것이 불가능하다. 특히, 수상함의 시험평가 사격시 사격대상이 되는 대함/대공 표적은 예인함/예인기에 연결되어 자체동력 없이 끌려가는 형태의 예인 표적이기 때문에 더욱 변화가 심한 표적특성을 갖게 된다. 이러한 표적의 흔들림 특성을 모델링하기 위하여 김의진 외(2010a, 2010b)의 방법을 적용하여 모델링을 수행하였다.

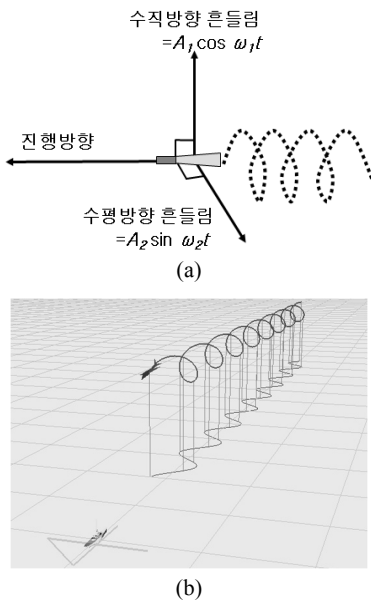


그림 4. 표적 궤적 모델링

그림 4(a)는 대공 표적의 궤적 모델링 개념도이다. 표적의 진행방향의 수직 및 수평방향에 대한 주기함수로서 표적궤적의 흔들림을 모델링하였으며, 대함 표적의 경우에는 해상에서 존재하기 때문에 수평방향의 흔들림만 모델링 하였다. 그림 4(b)는 대공 표적 궤적을 모델링한 결과의 예를 구현된 시뮬레이터 상에서 전시한 것으로, 표적의 궤적이 전체적으로는 자함을 향해 돌진하는 직선궤적이나 표적 자체가 흔들리는 것을 확인할 수 있다.

### 3.1.3 센서 특성 모델링

일반적으로 센서의 모델은 Yaakov(1993)에서와 같이 평균과 분산을 갖는 정규분포 형태로 표현이 가능하다. 그러나 플랫폼이 해상에 있는 경우 센서 측정값에 파도의 출력임에 의한 센서 오차가 포함된다. 이론적으로는 자함 자세 보상에 의하여 이러한 센서 오차는 모두 제거되어야 한다. 그러나 현실적으로 불규칙한 파도에 의한 움직임이 주어진 자함 자세 정보로 완벽히 보상하는 것은 불가능하여 해상 환경에서 오차가 발생하며, 이렇게 발생된 오차 또한 시뮬레이션에 반영되어야 한다.

그림 5는 센서 특성 모델링의 방법 및 결과를 나타낸다. 자함의 흔들림 보상 오차에서 기인한 센서의 직교좌표계상의 오차는 거리에 비례하는 주기함수로서 모델링 되었으며, 고각 및 방위각 방향에 대해 각각 모델링하였

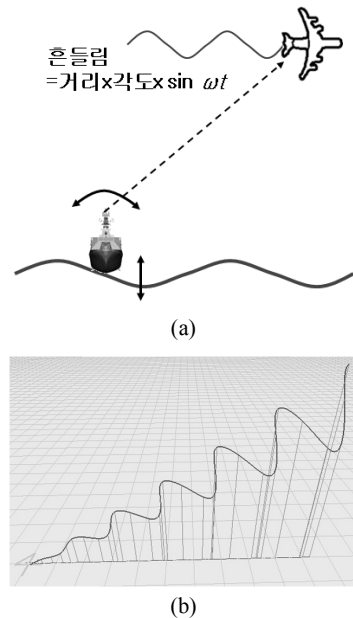


그림 5. 센서 특성 모델링

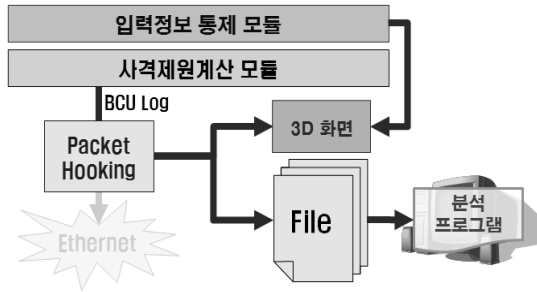


그림 6. 시뮬레이터 출력정보 구성

다. 그림 5(a)는 고각 방향의 모델링 개념을 보여주며, 그림 5(b)는 모델링된 센서 특성을 고각방향에 적용한 예를 구현된 시뮬레이터를 통해 전시한 것으로 근거리일 때 보다 원거리에서 보다 큰 오차를 갖는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 시뮬레이터 출력정보 구성

시뮬레이터의 출력은 BCU 실장비와의 통일성을 유지하면서 시뮬레이션 수행결과를 보여줄 수 있도록 구성하였다. 사격제원계산장치 실장비에서 BCU Log는 Ethernet 망을 통해 Logging을 수행하는 PC로 저장되며, 실장비와 동일한 코드를 갖고 있는 BCU 시뮬레이터의 사격제원계산 모듈 또한 Log를 Ethernet에 Packet 형태로 출력한다. 이를 Ethernet 망으로 전송할 경우 결과를 보기 위해서는 Ethernet 망 내의 다른 PC로 확인해야 하기 때문에 본 연구에서 개발한 시뮬레이터에서는 그림 6과 같이 소켓 프로그램에서 이를 Packet으로 전송하지 않고 PC 내의 파일 형태로 저장하도록 구성하여 단일 PC 내에서 시뮬레이션 수행 및 결과 저장이 가능하도록 하였다.

저장된 BCU Log 파일은 실제 사격제원계산장치의 Log와 동일한 형태를 갖으며 실장비 분석시 사용하는 프로그램과 동일한 프로그램을 사용하여 분석을 수행하였다. 분석은 배운지 외(2008)과 윤동식 외(2008)의 방법에 따라 추적필터와 탄도계산의 성능을 확인할 수 있도록 수행하였다. 또한, 효과적인 결과 출력을 위하여 표적정보와 사격제원계산결과를 함께 3D 화면에 도시함으로써 시각적으로 비교 분석이 가능하게 하였다.

## 4. 개발 단계별 시뮬레이션 활용 방안

일반적으로 시뮬레이터를 개발시 알고리즘 개발 이전 모델을 이용한 단계, 알고리즘 개발단계 및 실제 시험평가 단계등 특정 개발 단계에 특화된 시뮬레이터를 개발하



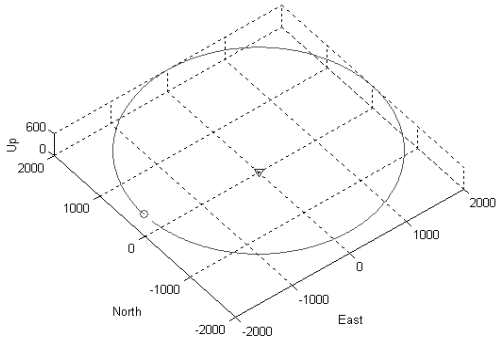
그림 7. 개발단계별 시뮬레이션 활용 개념도

여 시뮬레이션에 활용한다. 이 경우 해당 단계에서는 매우 높은 활용성을 보일 수 있으나, 해당 단계가 지나면 시뮬레이터의 업그레이드가 원활히 진행되지 않는 유지보수 등의 문제로 실제 개발 완료된 장비와 현실적으로 다른 형상을 갖게 되어 지속적인 활용이 어렵게 된다. 본 연구를 통해 개발된 시뮬레이터는 실장비와 동일한 알고리즘 모듈을 활용함으로써 유지보수를 용이하게 하였으며, 다양한 입력을 받을 수 있도록 구성함으로써 그림 7와 같이 개발 진행단계에 따라 입력을 달리하여 각 단계별로 가용한 실장비의 정보를 최대한 활용할 수 있도록 구성하여 시뮬레이션의 효과를 극대화 시켰다. 상세한 각 단계별 적용은 다음과 같다.

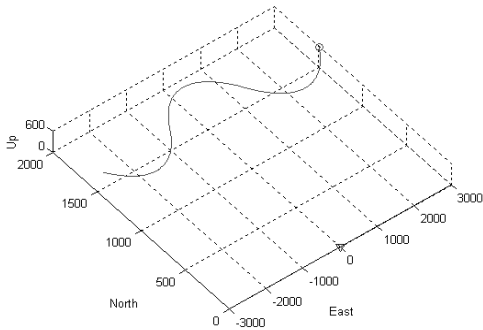
### 4.1 설계 및 구현 단계

알고리즘 및 기능들을 설계하고 구현하는 단계에서는 개발하고자하는 함정의 자함정보 및 탑재되는 센서의 표적정보를 획득하는 것은 불가능하다. 따라서 표적/자함/환경 정보 모두 가상의 시나리오로 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

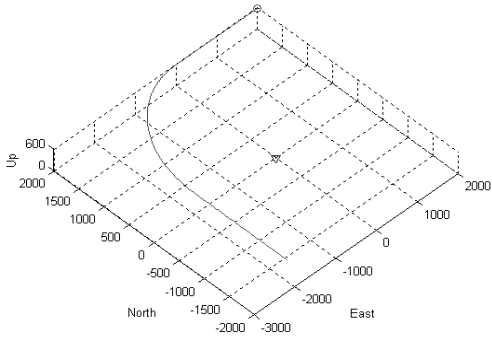
가상 시나리오를 활용하기 때문에 그림 8에 표시된 자함과 표적 궤적의 예와 같이 실제 상황에서 지원세력 제약이나 안정성 문제로 획득하기 어려운 다양한 궤적을 생성하고 이를 활용하여 알고리즘의 표적 대응 능력을 확인하였다. 그림 8에서 (a)는 자함 주변을 선회하는 표적의 궤적을, (b)는 가속도의 방향을 바뀌며 원운동을 수행하는 궤적을, (c)는 직선-곡선-직선 형태로 연속적인 기동변화가 일어나는 궤적을, (d)는 측면에서 저공으로 접근하는 미사일 표적의 예를 각각 보여준다. 특히 (d)와 같이 자함을 향해 충돌코스로 빠르게 접근하는 미사일 표적의 경우에는 자함의 안정성 이유로 현실적으로 해상환경에서 표적 정보를 획득이 불가하여 시뮬레이션 상으로만 그 대응 능력을 확인할 수 있다. 그 밖에도 수십가지의 대함/대공 시나리오를 통해 탑재하고자 하는 알고리즘 성능 비교 및 검증을 수행하고 다양한 상황에 대한 안정성을 확보하였다.



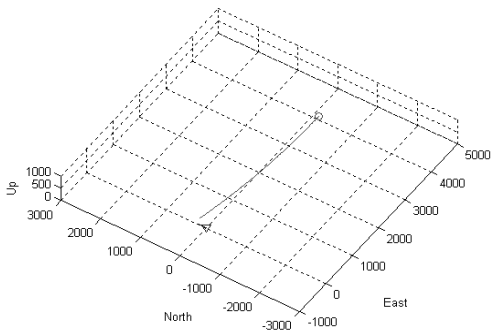
(a)



(b)



(c)

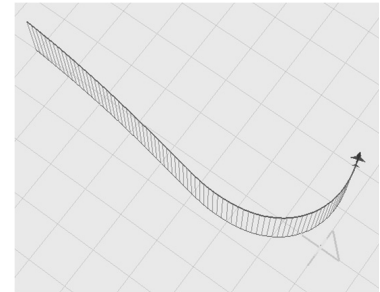


(d)

그림 8. 가상시나리오 궤적의 예



(a)



(b)

그림 9. 육상시험체계에서 획득한 궤적의 예

#### 4.2 육상 시험 평가 단계

최근 수상함용 전투체계에 개발에 있어, 해상에서 발생할 수 있는 다양한 오류를 사전에 식별하고 해결할 수 있도록 서태일 외(2008)에서와 같이 해안 근처의 육상에 육상시험체계(LBTS : Land Based Test System)를 구축하여 실제 함상과 유사한 환경을 만들어 육상체계통합시험을 수행하고 있다. 각종 추적센서를 실제로 장착하여 표적정보를 획득할 수 있으나, 육상에 시설이 있는 구조적 한계로 인하여 자함자세정보와 환경정보는 실제 정보를 얻지 못한다. 따라서, 본 연구에서는 실제 장비를 통해 획득 가능한 표적정보는 그대로 사용하고 자함자세 정보와 환경정보는 가상시나리오를 사용하는 실제-가상 정보의 조합을 통하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 9는 육상 시험체계에서 실제로 획득한 궤적을 개발한 시뮬레이터를 이용하여 도시한 것으로 (a)는 대함표적, (b)는 대공 표적의 궤적이다. 표적정보는 표적이 기동하여 움직이는 것을 볼 수 있으나, 자함은 육상에 고정되어 있는 관계로 움직이지 않는 것을 확인할 수 있다.

추적센서는 실제 장비를 활용하기 때문에 센서의 추적 성능 및 정보의 특성을 해상시험 이전에 파악하여 알고리즘의 개선에 활용하였으며, 센서 특성에 따른 함포의 교전 효과도 및 명중률 분석을 수행하였다.

### 4.3 해상 시험 평가 단계

해상 시험 평가 단계에서는 실제적으로 구현이 완료된 단계로 모든 장비가 함상에 탑재된 단계이기 때문에 모든 실장비 정보를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 육상 시험 평가 단계와는 달리 자함자세 정보 획득이 가능하여 해상의 파도 및 조류에 의한 자함자세 변화에 따른 함포 구동 명령의 안정성을 파악할 수 있으며, 자함자세 변화에 따른 추적센서의 특성 변화 또한 시뮬레이션 및 분석을 통해 고려함으로써 사격제원계산 알고리즘의 보완이 가능하다.

실제 함정으로 해상에서 시험을 진행하는 경우 다수의 인원이 배에 탑승하여 시험해역까지 항해한 이후에 시험을 수행하고 다시 돌아오는 과정을 거쳐야 하기 때문에, 시험에 많은 시간/장소/예산의 제약이 발생한다. 문제 발생시 문제점이 발생한 당시와 동일한 조건을 만드는 것 또한 같은 제약이 존재하기 때문에, 본 연구에서는 그림 10과 같이 시뮬레이터를 활용하여 제약이 따르는 해상에서의 재시험 대신 육상에서 시뮬레이션을 활용하여 문제점의 수정 및 검증을 수행하였으며 그 절차는 다음과 같다. 우선 함상에서 실제 표적의 정보를 획득하면 Sensor Log 및 BCU Log를 통해 시뮬레이터에서 당시의 상황을 그대로 재연한다. 분석도구를 이용하여 분석한 결과, 문제점이 파악되면 BCU 시뮬레이터를 활용하여 SW를 수정한 후 다시 재연하여 문제점이 수정된 것을 확인한다. 이 경우 한가지 Log에 대해서만 정상 동작을 확인한 것이기 때문에 다양한 상황 하에서 검증을 하기 위해 축적된 과거의 Log들과 가상 시나리오를 통해 검증을 수행한다. 시뮬레이터 상에서 검증이 완료되면 시뮬레이터와 실장비의 사격제원계산 모듈이 Code Level에서 완전히 동일하기 때문에 실장비에 바로 탑재한 후 해당 OS에서 정상 동작 여부등의 최소한의 확인절차를 거쳐 문제점 수정 및 검증을 완료한다.

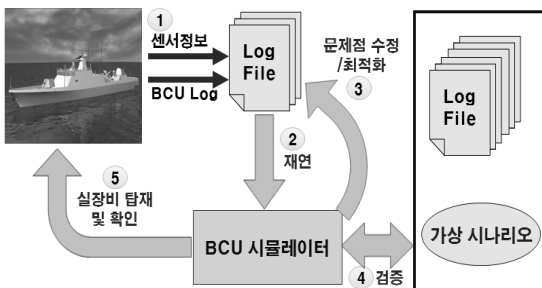


그림 10. 해상 시험 평가 단계에서의 시뮬레이터 활용

### 5. 실사격을 통한 검증

함포의 경우 발사 후 망각(Fire and Forget) 방식으로 탄이 날아가기 때문에 탄이 발사되는 시점까지는 시뮬레이션의 정확도를 어느 정도 보장할 수 있다. 그러나 탄이 발사되어 PHP(Predicted Hitting Point)까지 탄이 날아가는 데 걸리는 수초에서 수십초에 이르는 탄의 비과시간(ToF : Time of Flight) 동안에 발생하는 환경 변화로 인하여, 시뮬레이션 결과는 비과시간에 비선형적으로 비례하는 오차를 내포하게 된다. 따라서 시뮬레이션은 실제 사격에 따른 시간/장소/예산을 절감시키는 보조 수단일뿐, 실제 사격만이 사격통제시스템의 유일한 검증방법이라 할 수 있다. 본 연구의 검증 대상이 되는 유도탄고속함(검독수리-A급) 전투체계 사격통제시스템의 경우 대공 및 대함에 대해 실사격을 통한 시험평가가 진행되었으며, 김기성 외(2008)에서와 같이 우수한 사격결과를 얻었다.

대공 사격의 경우 전체 사격 탄 중 표적 반경 x<sub>mm</sub> 이내에 통과하는 탄의 비율이 기준치를 넘으면 합격으로 처리되며, 전체 실사격 모두 표 1과 같이 기준치를 상회하는 결과를 얻었다. 표 1은 사격시 해당 사격 조건에 해당하는 기준 값을 100%로 하였을 때 획득한 명중률 표시한 것으로 전체 사격에 걸쳐 기준대비 약 2배 이상의 명중률을 획득하였다.

대함사격은 해상의 표적에 대해 사격을 수행한 후 그

표 1. 대공 사격 결과

사격 번호	기준치 대비 명중률 (%)
1	250
2	250
3	222
4	178

표 2. 대함 사격 결과

사격 번호	기준치 대비 획득 오차 (%)			
	거리		방위	
	평균	분산	평균	분산
1	24.65	49.56	9.06	25.00
2	21.09	46.57	10.34	26.50
3	15.82	39.73	1.82	7.81
4	8.67	30.25	7.27	7.81
5	1.41	31.68	33.21	27.22
6	0.26	24.72	17.27	20.37

탄착의 거리와 방위 방향 오차에 대해 각각 평균과 분산을 구하여 그 값이 기준치 내에 들어오면 합격으로 처리된다. 명중률로 평가하는 대공 사격과는 달리 오차를 통해 평가를 진행하기 때문에 값이 낮을수록 우수한 결과를 획득하였음을 의미한다. 기준 값은 사거리와 함포의 종류에 따라 다르며, 표 2는 기준치를 100%로 보았을 때, 획득된 탄착의 평균과 분산을 나타낸다. 전 기준치에 걸쳐 합격조건을 절반을 하회하는 매우 우수한 결과를 갖음을 확인할 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 수상함 전투체계의 함포 사격통제시스템을 검증하기 위한 시뮬레이션 환경을 구축하고, 구축한 시뮬레이션 환경을 활용하여 전투체계 개발 단계에 맞춘 효과적인 시뮬레이션 방법을 제안하였다. 연구된 시뮬레이션 방법은 유도탄고속함(PKG) 전투체계의 함포 사격통제시스템 개발 전과정에 적용되어, 각 단계별로 제한된 확보 데이터로도 검증이 가능하게 함으로써 시스템 개발 시 발생가능한 오류 및 시행 착오를 최소화 하는데 기여하였다. 또한, 실제 시스템과 동일한 시뮬레이션 환경을 PC상 구축하여 해상 시험평가시 실제 함포 사격 없이도 사격 결과를 예측 가능하게 하여 시스템 검증 및 문제점 개선에 소요되는 시간/장소/예산의 절약을 가능하게 하였다. 시뮬레이션을 통해 검증된 사격통제시스템이 해상 실사격 평가에서 우수한 결과를 획득함으로써 제안된 시뮬레이션 방법의 정확도 및 신뢰성이 검증되었다.

연구된 시뮬레이션 환경은 현재 특정 수상함에 탑재된 사격통제시스템에만 적용이 가능하나, 이를 기반으로 다양한 무장 및 센서에 대한 모델링을 수행한다면 시뮬레이션 가능한 영역을 확장하여 범용적인 함포 사격통제시스템 시뮬레이션 환경 구축이 가능하다. 범용적인 함포 사격통제시스템 시뮬레이션이 개발되면 이동훈 외(2007)이나 황근철(2007)과 같은 교전급 시뮬레이터에서 한 단계

개선된 공학적 정확도를 갖는 시뮬레이터 개발이 가능할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 김기성, 류존하, 최영철, 이상훈, 김은로, 석성하, 이범직, 서태일, 이준호, 황수진, 김의진, “검독수리-A급 전투체계 2단계 운용시험평가 결과보고서(함포사격 및 무장통제 분야),” 국방과학연구소, 2008년 12월.
2. 김경기, 이봉기, 이양원, 김영주, “SPAFIRE를 이용한 함정용 사격통제장치(WSA-423) 성능평가 및 예측기법 연구,” 국방과학연구소, 1988년 10월.
3. 김의진, 서태일, 이범직, “대공 예인표적의 궤적 특성 및 모델링 방안 연구,” 국방과학연구소, 2010년 5월.
4. 김의진, 서태일, 이범직, “대함 예인표적의 궤적 특성 및 모델링 방안 연구,” 국방과학연구소, 2010년 5월.
5. 배윤지, 윤동식, 서태일, 김의진, “다수모델필터를 이용한 함포 사격제원계산 성능분석에 관한 연구,” 2008년 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 1089-1092, 2008년 8월.
6. 서태일, 류존하, 김의진, “검독수리-A급 전투체계 육상시험체계용 함포 시뮬레이터 연구,” 국방과학연구소, 2007년 3월.
7. 윤동식, 배윤지, 오광백, 유준하, 서태일, 김의진, “다수모델 필터를 이용한 사격통제 시스템 및 탄도 계산 성능 분석에 관한 연구,” 제7회 해양무기 학술대회, pp. 33-36, 2008년 7월.
8. 이동훈, 김철호, 김태수, “함포교전 시뮬레이션 시스템,” 한국군사과학기술학회지, 10(1), pp. 78-85, 2007년 3월.
9. 황근철, “모델 기반의 시뮬레이션 기법을 이용한 차기 고속정(Patrol Killer Experiment)용 전투체계 대공전 기능의 분석 및 설계,” 한국시뮬레이션 학회 논문지, 16(4), pp. 23-31, 2007년 12월.
10. David Bardos, “Simulation and live-firing in naval gunnery training,” Simulation Australia, pp. 345-348, 1996.
11. Tae-Il Suh, Eui-Jin Kim, Bum-Jik Lee, Jon-Ha Ryu and Sung-Eun Lee, “Performance comparison of tracking filters in terms of predicted hitting point,” IJCAS, April 2010 vol. 8, no. 2, pp. 454-461. Apr. 2010.
12. Yaakov Bar-Shalom, Xiao-Rong Li, “Estimation and tracking,” Artech House, p.90, 1993.



김 의 진 (eui\_jin.kim@add.re.kr)

2004 한양대학교 전자전기공학부 학사  
 2006 한양대학교 전자통신전파공학과 석사  
 2006~현재 국방과학연구소 연구원

관심분야 : 국방 M&S, 추적필터, 탄도계산, 수상함 전투체계, SBD