

해군 전투체계 설계위한 효과도 분석 사례 연구

최관선^{1†} 김준형² 이태원³

내용목차

1. 서론
2. 이론적 고찰
3. 시뮬레이션 환경 구축
4. 차기기뢰부설함 전투체계 효과도 분석
5. 결론

1† 삼성탈레스 해양/시스템연구소 수석연구원
(교신저자 Tel: 054-460-8704 E-mail: knsn.choi@samsung.net)

2 삼성탈레스 해양/시스템연구소 연구원

3 삼성탈레스 해양/시스템연구소 선임연구원

논문접수일: 2012년 10월 29일 게재확정일: 2012년 12월 24일

논문수정일: (1차: 2012년 11월 5일 2차: 2012년 11월 26일)

A Case Study of Effectiveness Analysis of Naval Combat System Design

Choi, Kwan Seon^{1†} Kim, Jun Hyeong² Lee, Tae Won³

Abstract

Effectiveness analysis is an important process that is used to evaluate numerous designs and operation concepts for a real world.

This study proposes an effectiveness analysis that uses modeling and simulation, and analyzed the effectiveness of the design of the next mine layer ship's combat system. The simulation framework that uses the platform structure management and analysis model was employed to build the modeling and simulation environment. The result of this case study was approved through a system functional review.

<Keywords:> Effectiveness analysis, MoEs/MoPs, modeling and simulation, simulation framework, platform structure management, Monte Carlo analysis model

1. 서론

1.1 연구의 배경과 목적

차기기뢰부설함 전투체계 개발 사업은 정부투자 업체주관으로 개발하는 사업으로 삼성탈레스가 체계개발을 수행하고 있다. 함정 전투체계는 함정에 탑재되어 복합전 전투상황 하에서 자함 탐지 센서와 외부로부터 획득된 정보를 종합 처리하여 지휘 및 무장통제 수단으로 운용되는 무기체계이다. 운용개념에서 보듯이 전투체계는 함정의 모든 센서, 전술데이터통신체계 및 무장을 연동 통합하는 매우 복잡한 시스템으로 이루어진다. 따라서 개발단계에는 연동/통합문제 등 수많은 개발위험이 내재된 사업이다.

일반적으로 방위산업체는 무기체계 연구개발단계에 개발위험 감소, 개발비용절감, 개발기간단축, 사업 효율성 향상 등을 위해 SBD(Simulation Based Design)를 적용한다.[1] 효과도 분석은 실세계에서 무기체계 설계 및 운용개념을 평가하는데 많이 사용되는 중요한 대안분석 방법론으로 체계개발단계에서 요구분석 및 체계성능 검증에 활용되고 모델링 및 시뮬레이션(Modeling and Simulation: M&S)을 이용하여 수행될 수 있다.

본 연구의 목적은 차기기뢰부설함 전투체계를 개발함에 있어 효과도 분석을 통하여 개발요구사항의 적합성을 검증하고, 체계 설계에 대한 예측결과를 제공함으로써 적절한 설계가 이루어지도록 유도함에 있다.

1.2 연구 방법 및 구성

연구 방법은 효과도분석에 대한 이론적 고찰을 수행하고, 본 연구에 적합한 모델링 및 시뮬레이션 환경을 구축한다. 구축된 모델링 및 시뮬레이션 환경을 이용하여 차기기뢰부설함 전투체계 설계를 위한 효과도 분석을 사례로 연구한다. 시뮬레이션에 사용될 입력 자료들은 소요군의 자문을 통해 확인하고, 시뮬레이션 결과는 체계개발 주요 활동인 체계기능검토회의(SFR: System Function Review)를 통해 검증을 받는다.

연구의 구성은 다음과 같다. 먼저, 2장에서는 이론적 고찰로 효과도분석 방법론 및 선행 연구들을 고찰한다. 3장에서는 본 연구에 적합한 모델링 및 시뮬레이션 환경을 구축하고, 4장에서는 차기기뢰부설함 전투체계 설계를 위한 효과도분석 사례연구를 수행한다. 5장에서 결론 및 향후 연구에 대해서 논의한다.

2. 이론적 고찰

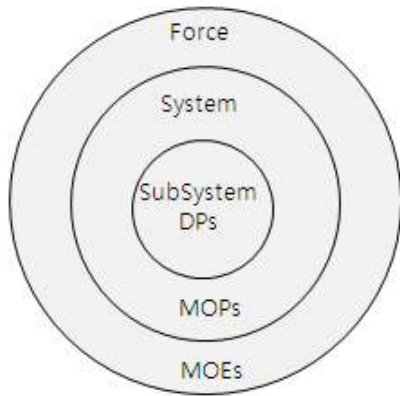
2.1 효과도 분석(Effectiveness analysis)

효과도분석은 실세계에서 무기체계 설계 및 운용개념을 평가하는데 많이 사용되는 중요한 대안분석 방법론이다. 효과도분석에서는 효과도 및 성능치를 분석하게 되는데, John C. Hootman은 “함정 설계 및 획득을 위한 군사 효과분석 및 의사결정프레임워크” 연구에서 효과도(MOEs: Measures of Effectiveness), 성능치(MOPs: Measures of

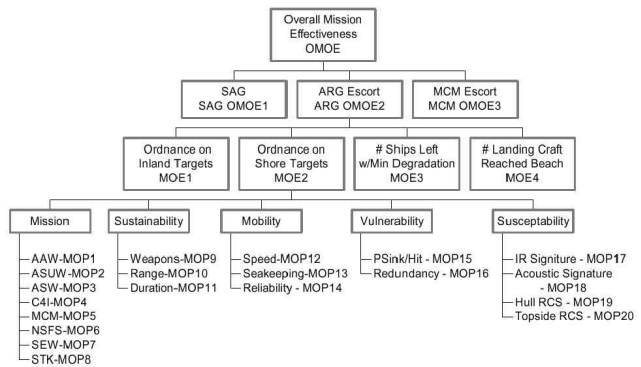
Performance), 특성치(DPs: Dimensional Parameters)를 다음과 같이 정의하고 있다.[7]

- 특성치(DPs)는 체계행위를 구동하는 물리적 특성치이다.
- 성능치(MOPs)는 특성치로부터 계산되는 특정형태의 비확률적인 척도이다
- 효과도(MOEs)는 MOPs로부터 계산되는 체계의 운용적 수행도(operational performance)를 척도이며 확률로 나타냄을 선호한다.

이들 용어의 체계 경계 수준은 <그림 1>과 같이 나타낼 수 있으며, 연관관계는 <그림 2>와 같이 계층적으로 나타낼 수 있다.



<그림 1> 체계 경계 수준



<그림 2> MOE 계층구조

대안별 효과도 및 성능치는 계층적 기법과 모델링 및 시뮬레이션 기법을 통하여 분석하게 된다. 계층적 기법은 MOE 계층구조에서 동일 층의 성능치들은 개별 중요도를 가지며, 성능치에 대한 값들이 중요도를 반영하여 합함으로써 최고층의 효과도를 산출하게 된다. 모델링 및 시뮬레이션 방법은 무기체계에 대한 성능치를 반영하여 임무 시나리오에 따라 시뮬레이션을 수행하여 임무성공률(효과도)를 산출하게 된다.

2.2 선행연구 고찰

함정 전투체계 효과도/성능분석에 관련된 선행연구를 다음과 같이 고찰하였다.

이근록은 시뮬레이션을 활용한 함정 전투체계의 효과측정에 관한 연구를 수행하였다.[2] 이 연구에서는 다수의 고속 테러선박이 아 함정을 동시다발적으로 공격하였을 시 적의 공격에 효율적으로 대처하기 위하여 전투체계 운용에 따른 단계별 소요시간을 산출하고 ARENA 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 임무성공에 미치는 요인과 영향을 분석하여 주요 요인을 개선시킴으로써 임무성공 향상 정도를 측정하였다. 이 연구에서 적용된 MOEs/MOPs 구조는 <표 1>과 같으며, MOPs의 기본값은 전투체계 운용자 설문을 통해서 획득하였다. 시뮬레이션은 MOPs가 기본값 및 개선값을 가질 때 MOE를 산출하고 그 결과를 분석하였다.

연구논문

홍정희 외 2명은 전투체계 효과도 및 성능분석을 위한 공학/교전 모델 연동에 대해서 연구하였다.[3] 이 연구에서는 전투체계 MOEs/MOPs 를 측정하고 분석하는데 있어 교전급 모델과 공학급 모델간의 연동의 필요성을 고찰하고 방안을 제시하였다. 이 연구에서 적용된 MOEs/MOPs 구조는 <표 2>와 같다.

<표 1> 이근록의 MOEs/MOPs 구조

MOEs	MOPs
표적 격침확률	표적검증시간
	식별시간
	위협평가시간
	우선순위 시간
	임무평가시간
	무장할당시간
	공격계획승인시 간
	교전명령시간

<표 2> 홍정희의 MOEs/MOPs 구조

MOEs	MOPs
합정 생존율	수상함 회피기동 패턴
	기만기 운용패턴
	기만기 동작시간
	자항식 기만기 속도

이태원, 오광백[4]은 플랫폼 구조 관리기법을 이용한 시뮬레이션 프레임워크에 관한 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 국방 M&S 환경에서 다양한 형태를 가진 무기체계의 통합 및 운영성능 분석 기능을 제공하고, 재사용성(Reusability) 및 연동성(Interoperability)을 고려한 시뮬레이션 프레임워크 구성방안을 제시하였다.

김준형, 오광백[5]은 시뮬레이션 프레임워크의 실행으로 저장된 로그데이터를 목적에 맞게 분석하기 위한 분석모델로서 Matlab 기반 Monte-Carlo 분석모델 아키텍처를 제시하였다.

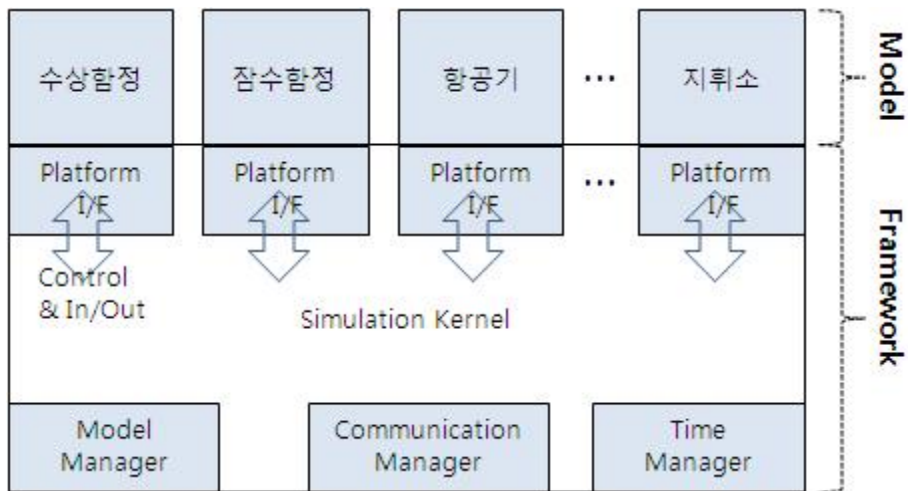
선행된 연구들을 보면 전투체계 효과도/성능분석에서 일반적으로 연구되는 절차는 효과도 및 성능치를 정의하고 시뮬레이션 또는 AHP 기법 등을 이용하여 성능치 및 효과도를 분석하게 된다. 본 연구에서는 선행연구의 방법론을 적용하여 차기기뢰부설함 효과도/성능분석의 사례 연구를 수행한다.

3. 시뮬레이션 환경 구축

본 연구에서 시뮬레이션 수행 및 분석을 위해 사용한 시뮬레이션 환경의 큰 특징은 시뮬레이션 프레임워크와 분석 모델이 이원화되어 분산 운용된다는 점이다. 시뮬레이션 프레임워크는 개체 모델을 생성하고 시뮬레이션을 반복 수행하면서 결과를 로그 데이터로 저장하는 역할을 수행한다. 분석 모델은 반복 시뮬레이션 결과를 불러와 분석 목적에 맞게 분석하는 역할을 수행한다. 이렇게 시뮬레이션 실행과 분석을 분산한 목적은 분석 모델로 인하여 시뮬레이터가 받는 연산 부하를 방지하기 위함이다. 다음은 두 도구에 대해서 간단한 소개를 한다.

3.1 시뮬레이션 프레임워크

본 연구에서 시뮬레이션 수행을 위한 시뮬레이션 도구는 <그림 3>의 플랫폼 구조 관리기법을 이용한 시뮬레이션 프레임워크를 활용하여 구축하였다. 시뮬레이션 프레임워크는 모델의 생성, 삭제, 정보 등을 출괄 관리하는 모델 관리자(Model Manager), 모델간 통신 및 외부 GUI 등과의 통신을 담당하는 통신관리자(Communication Manager), 모델의 진행 및 동작을 관리하는 시간관리자(Time Manager) 및 모델과의 인터페이스를 담당하는 기본 플랫폼 I/F로 구성된다. 모델 간 메시지 전달 처리는 <그림 4>의 메시지 기본 구조로 이루어진다.



<그림 3> 시뮬레이션 프레임워크 기본구조



- Snd Model : 메시지를 전송하는 모델
- Rcv Model : 메시지를 수신하는 모델
- Msg Type : 플랫폼 간 정의된 상호작용 구분자
- Msg Data : 상호작용을 정의한 데이터

<그림 4> 메시지 전달정보 구조

시뮬레이션을 위해 먼저 수상함정, 잠수함정, 항공기, 유도탄 등 표준 개체에 대한 기본 플랫폼 I/F를 특성에 맞게 정의한다. 그리고 실제 시뮬레이션에 사용되는 개체 모델들을 기본 플랫폼 I/F를 상속받아 개발한다.

시뮬레이션이 수행되면 시뮬레이션 프레임워크의 시간관리자는 시간정보를 제공하고 모든 개체들은 시간정보에 따라 동작하여 기동, 탐지, 지휘 및 무장통제, 교전을 수행하며 개체들 간의 상호작용 결과를 로그 데이터로 저장하게 된다.

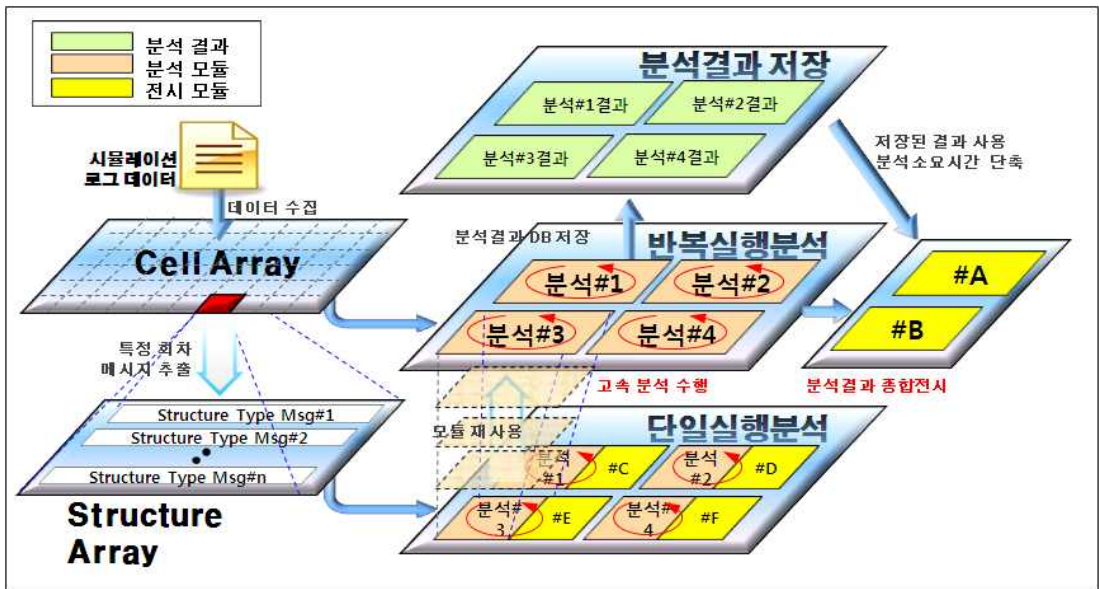
3.2 분석 모델

시뮬레이션 프레임워크의 실행으로 저장된 로그데이터를 목적에 맞게 분석하기 위해서 Monte-Carlo 분석모델 아키텍처를 적용한 <그림 5>의 분석 모델을 사용한다. 분석 모델은 크게 수집, 분석, 전시 모듈로 구성된다.[6]



<그림 5> 분석모델 구성도

분석모델 전체 구조는 <그림 6>과 같이 설계되었다. 수집모듈은 시뮬레이션 결과인 로그데이터를 수집하여 분석에 적합한 형태의 분석메시지로 가공한다. 사용자의 분석모드 선택에 따라서 분석모듈은 반복실행결과 분석과 단일실행분석이 모두 가능하며 전시 모듈에서 분석모듈의 분석결과를 전시하는 형태를 갖는다.



<그림 6> Monte-Carlo 분석모델 아키텍처 구조

반복실행분석은 실행된 모든 회차의 결과데이터를 다종의 분석모듈이 일괄적으로 분석을 수행하고 모든 분석결과를 DB형태의 저장소에 저장 후 전시모듈에서 일괄 전시하는 구조이다. 단일실행분석은 특정 실행회차에 대하여 미시적 분석을 수행하여 장비별 성능지수 등 다양한 분석을 분석모듈별 개별적으로 수행하여 결과를 전시하는 구조이다.

분석모델 구현은 고성능 언어로써 수치해석, 행렬계산뿐만 아니라 미분방정식, 알고리즘 개발, 공학 모델링 등을 다양한 그래픽 기능을 이용하여 제공하는 Matlab을 이용하여 구현되었다.

4. 차기기뢰부설함 전투체계 효과도/성능분석

4.1 임무분석

차기기뢰부설함은 전시에는 기뢰 부설 및 기뢰대항전 지휘함 임무를 수행하며, 평시에는 교육훈련 지원함 임무를 수행한다. 따라서 함정에 탑재되는 전투체계는 자함방어 및 기뢰대항전 세력보호 임무를 수행하기 위한 대공전, 대함전, 대잠전, 전자전과 같은 전투 과업을 수행한다. 본 연구의 효과도/성능분석에서는 전투체계 과업 중 대공전 과업에 대해서 다룬다.

4.2 효과도(MOE)/성능치(MOP) 설정

본 연구에서 차기기뢰부설함 전투체계의 설계를 지원하기 위해 설정한 효과도(MOE) 및 성능치(MOP)는 다음과 같다.

- MOE: 자함 생존률
- MOP1: 시간-거리축에서 본 교전결과
- MOP2: 거리/시간축에서 본 CFCS 자원할당 결과
- MOP3: 시간 축에서 본 CFCS 위협지표 평가결과
- MOP4: 시간 축에서 본 CFCS 무장할당 결과
- MOP5: 교전반응시간
- MOP6: 센서탐지오차에 따른 교전효과

4.3 시나리오 설정 및 실행

차기기뢰부설함이 대공전을 수행하는 개념은 SAAM, 76mm함포, 대함유도탄기만체계에 의한 계층적 방어로 이루어진다. 본 연구에서는 위협의 양상, 계층적 무장통제방식에 따른 전투체계 성능을 분석하기 위해서 다음 두 가지 경우에 대해서 분석한다.

○ Case #1: 단방향 순차접근 위협유도탄에 대한 Hard Kill 무장(SAAM+GUN)
통제 전투체계 효과도 및 체계성능 평가



◆기본 정보

- 위협 유도탄 최초 자함기준거리 : 00Km
- 위협 유도탄 간 이격거리 : 0Km
- 자함 대공전 사용 무장 : SAAM + GUN
- SAAM 최대 속도 : 000Km/s
- SAAM 발사패턴 : shoot-shoot-look
- GUN 연속 발사탄 수 : 0발

◆가변 값

- 적 위협 유도탄 수 : 1 ~ 9발(+1발씩 증가)
- 적 위협 유도탄 속도 : Mach0.9(306m/s), Mach2.5(850m/s)

◆시나리오 반복실행 회수

- 개별 시나리오 반복실행 회수 : 50회
- 총 실행 회수 : 900회 (9 X 2 X 50)

<그림 7> 단방향 순차접근 위협유도탄에 대한 대공방어 시나리오

○ Case #2: 다방향 동시접근 위협유도탄에 대한 Hard Kill 무장(SAAM+GUN)
통제 전투체계 효과도 및 체계성능 평가



◆기본 정보

- 위협 유도탄 최초 자함기준거리 : 00Km
- 자함 대공전 사용 무장 : SAAM + GUN
- SAAM 최대 속도 : 000Km/s
- SAAM SALVO : 0발
- GUN 교전당 발사탄 수 : 0발

◆가변 값

- 적 위협 유도탄 수 : 1 ~ 9발(+1발씩 증가)
- 적 위협 유도탄 속도 : Mach0.9(306m/s), Mach2.5(850m/s)

◆반복실행 회수

- 개별 시나리오 반복실행 회수 : 50회
- 총 실행 회수 : 900회 (9 X 2 X 50)

<그림 8> 다방향 동시접근 위협유도탄에 대한 대공방어 시나리오

4.4 시뮬레이션 분석

1) 교전효과도 분석

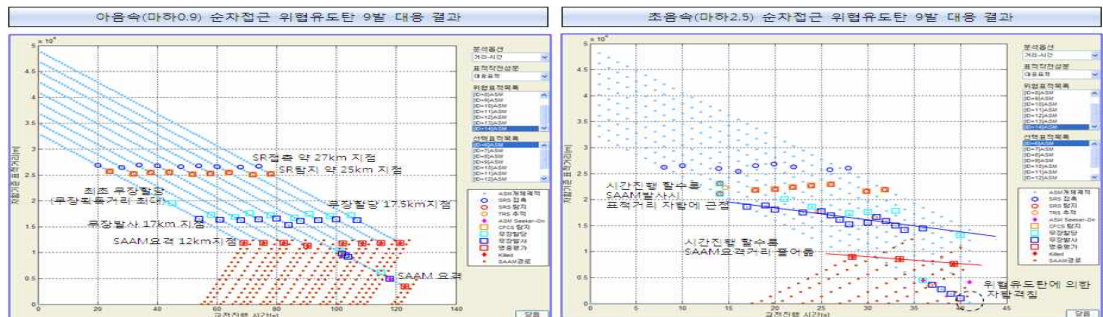
Case #1의 교전효과도 산출결과에서는 차기기뢰부설함의 전투체계는 마하 0.9 위협유도탄에 대해서는 자함생존율 00% 이상 유지하며 0발의 위협유도탄을 방어할 수 있었고, 마하 2.5 위협유도탄에 대해서는 자함생존율 00% 이상 유지하며 0발의 위협유도탄을 방어할 수 있었다.

Case #2의 교전효과도 산출결과에서는 차기기뢰부설함의 전투체계는 마하 0.9 위협유도탄에 대해서는 자함생존율 00% 이상 유지하며 0발의 위협유도탄을 방어할 수 있었고, 마하 2.5 위협유도탄에 대해서는 자함생존율 00% 이상 유지하며 0발의 위협유도탄을 방어할 수 있었다.

이 분석결과는 주어진 위협에 대해 전투체계가 임무수행을 얼마나 잘 할 수 있는지를 보여 준다.

2) 시간-거리 축에서 본 교전결과 분석

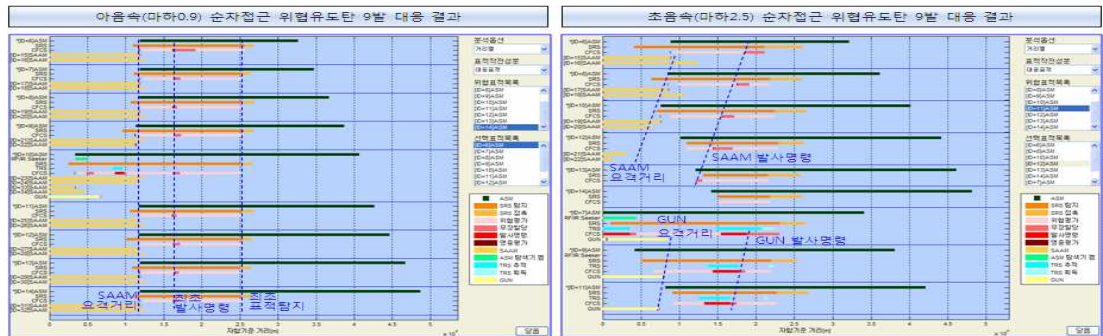
<그림 9>은 Case #1의 시간-거리 축에서 본 교전결과이다. 시뮬레이션 결과에서 차기기뢰부설함의 전투체계는 마하 0.9 위협유도탄에 대해서는 시간-거리 축에서 CFCS의 무장할당, 무장발사, 요격 거리가 유사한 패턴을 유지하고 있고, 마하 2.5 위협유도탄에 대해서는 시간-거리 축에서 CFCS의 무장할당, 무장발사, 요격 거리가 감소 패턴을 유지하고 있다. 이 분석결과는 전투체계의 무장할당기능 및 무장발사기능이 어떻게 적절히 이루어지는가를 보여준다.



<그림 9> Case #1 시간-거리 축에서 본 교전결과

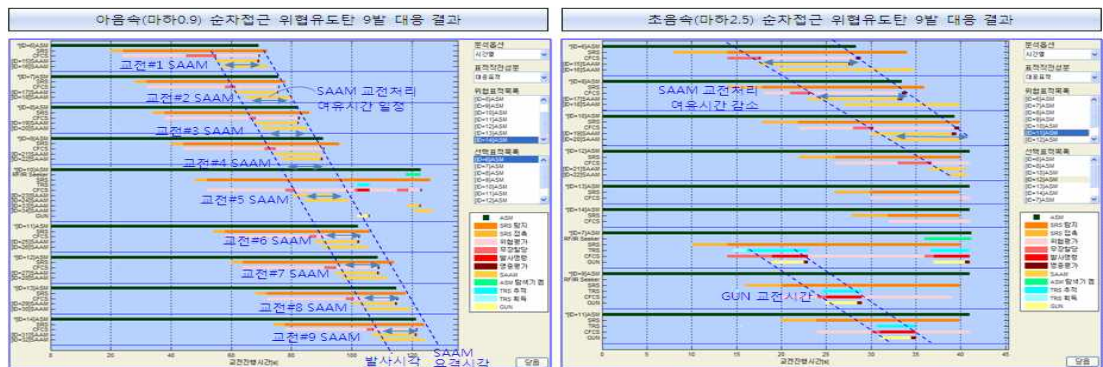
3) 거리/시간 축에서 본 CFCS 자원할당 결과 분석

<그림 10>은 Case #1의 거리 축에서 본 CFCS 자원할당 결과이다. 시뮬레이션 결과에서 차기기뢰부설함의 전투체계는 마하 0.9 위협유도탄에 대해서는 거리 축에서 CFCS의 무장할당, 무장발사, 요격 거리가 유사한 패턴을 유지하고 있고, 마하 2.5 위협유도탄에 대해서는 거리 축에서 CFCS의 무장할당, 무장발사, 요격 거리가 감소 패턴을 유지하고 있다.



<그림 10> Case #1의 거리축에서 본 자원할당 결과

<그림 11>은 Case #1의 시간 축에서 본 CFCS 자원할당 결과이다. 시뮬레이션 결과에서 차기기뢰부설함의 전투체계는 마하 0.9 위협유도탄에 대해서는 시간 축에서 CFCS의 발사명령↔요격 간 시간간격인 교전처리 여유시간이 유사한 패턴을 유지하고 있고, 마하 2.5 위협유도탄에 대해서는 거리 축에서 CFCS의 발사명령↔요격 간 시간간격인 교전처리 여유시간이 감소 패턴을 유지하고 있다. 이 분석결과는 전투체계의 무장할당기능 및 무장발사기능이 어떻게 적절히 이루어지는가를 보여준다.



<그림 11> Case #1의 시간 축에서 본 자원할당 결과

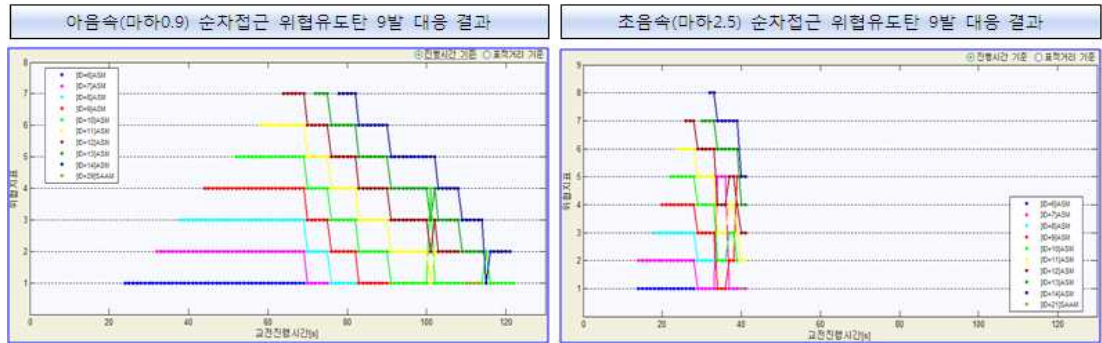
4) 시간 축에서 본 CFCS 위협지표 평가결과 분석

<그림 12>은 Case #1의 시간 축에서 본 CFCS 위협지표 평가결과이다. 시뮬레이션 결과에 따르면, 차기기뢰부설함의 전투체계는 마하 0.9 위협유도탄에 대해서는 00초 ~ 000초 사이에서 CFCS의 위협지표 평가가 이루어졌고, 마하 2.5 위협유도탄에 대해서는 00초 ~ 00초 사이에서 CFCS의 위협지표 평가가 이루어졌다. 이 분석결과는 전투체계 위협평가 기능이 어떻게 적절히 수행되는지를 보여준다.

5) 교전반응시간 분석

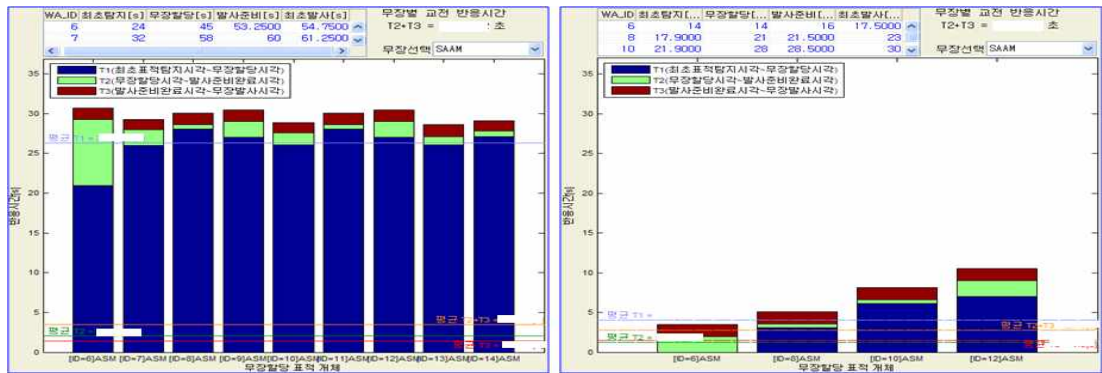
<그림 13>은 Case #1의 교전반응시간 산출 결과이다. 시뮬레이션 결과에 따르면, 차기기뢰부설함의 전투체계는 마하 0.9 위협유도탄에 대한 CFCS의 교전반응시간은 0.00초로, 마하 2.5 위협유도탄에 대한 CFCS의 교전반응시간은 0.00초로 산출되었다. 이 분석

해군 전투체계 설계위한 효과도 분석 사례 연구



<그림 12> Case #1의 시간 축에서 본 CFCS 위협지표 평가결과

결과에서 전투체계 처리능력이 어느 정도인지를 보여준다.



<그림 13> Case #1의 교전반응시간 산출 결과

6) 탐지레이더(SR) 탐지오차에 따른 교전효과도 분석

Case #2의 시나리오를 적용한 탐지레이더의 탐지오차에 따른 교전효과도 분석에서는 탐지오차가 00% 적용할 경우 전투체계 교전효과에서 대응탄수가 0발정도 감소됨을 알 수 있었다. 이 분석결과는 교전효과도가 전투체계 성능 외에 센서 및 무장에 영향을 받는다는 점을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 효과도분석에 대한 이론적 고찰을 수행하고, 본 연구에 적합한 모델링 및 시뮬레이션 환경을 구축하였다. 구축된 모델링 및 시뮬레이션 환경은 시뮬레이션 프레임워크와 분석모델로 구성되는데, 시뮬레이션 프레임워크는 개체 모델을 생성하고 시뮬레이션을 수행하여 결과를 로그 데이터로 생성하고 저장하는 역할을 담당하며, 분석모델은 저장된 로그 데이터를 수집하여 목적에 맞게 분석하는 역할을 담당한다. 이렇게 시

연구논문

시뮬레이션 환경을 이원화 하여 분산 운영하는 목적은 분석모델로 인하여 시뮬레이터가 받는 연산 부하를 방지하기 위함이다.

사례연구로 구축된 모델링 및 시뮬레이션 환경을 이용하여 차기기뢰부설함 전투체계 설계를 위한 효과도 분석을 수행하였다. 사례연구의 주요 내용은 교전효과도 분석, 시간-거리 축에서 본 교전결과 분석, 거리/시간 축에서 본 CFCS 자원할당 결과 분석, 시간 축에서 본 CFCS 위협지표 평가결과 분석, 교전반응시간 분석 등이며, 도출된 연구결과들은 체계설계에 반영되고 있다.

시뮬레이션에 사용될 입력 자료들은 소요군의 자문을 통해 확인하였고, 시뮬레이션 결과는 체계개발 주요활동인 체계기능검토회의(SFR: System Function Review)를 통해 검증을 받았다.

참고문헌

- [1] 방위사업청 지침 제2010-32호(2010. 9.13 개정) 무기체계 획득단계별 M&S 적용지침
- [2] 이근록, “시뮬레이션을 활용한 함정 전투체계의 효과측정에 관한 연구”, 국방대학교 석사논문, 2008.
- [3] 홍정희, 서경민, 김탁곤, “전투체계효과도 및 성능분석을 위한 공학/교전모델 연동”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문집, 2010.
- [4] 이태원, 오광백, “플랫폼 구조 관리기법을 이용한 시뮬레이션 프레임워크에 관한 연구”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문집, 2012
- [5] 김준형, 오광백, “몬테카를로 분석모델 구현을 위한 Matlab 기반 아키텍처 설계”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문집, 2012
- [6] 김준형, 오광백, “몬테카를로 분석모델 구현을 위한 Matlab 기반 아키텍처 설계”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문집, 2012
- [7] John C. Hootman, "A Military Effectiveness Analysis and Decision Making Framework for Naval Ship Design and Acquisition", Master of Science at Massachusetts Institute of Technology, 2003.