

전차 교전 시물레이션을 위한 기본체계모델의 논리 모델링 방법

이순주[†]

Logical Modeling of Base System Model for Tank Engagement Simulation

Sunju Lee[†]

ABSTRACT

Tank, which is a representative ground weapon system, is one of the most important weapon systems in each country. For the cost-effective acquisition of a tank based on scientific analysis, the operational concept and effectiveness should be studied based on engagement simulation technology. Besides physical capabilities including maneuver and communication, logical models including decision-making of a tank commander should be developed systematically. This paper describes a method to model a tank for engagement simulation based on Base System Model(BSM), which is the standard architecture of the weapon system model in AddSIM, an integrated engagement simulation software. In particular, a method is proposed to develop logical models by hierarchical and modular approach based on human decision-making model. The proposed method applies a mathematical formalism called DEVS(Discrete EVent system Specification) formalism. It is expected that the proposed method is widely used to study the operational concept and analyze the effectiveness of tanks in the Korean military in the future.

Key words : Tank Base System Model, Logical Modeling, DEVS, Engagement Simulation, AddSIM

요약

다양한 무기체계 중 대표적인 지상 무기체계인 전차는 각국의 핵심 전력 중 하나로, 전차의 운용 개념과 효과도 분석을 통해 과학적 분석 기반의 비용 효과적인 연구개발을 할 수 있다. 이를 위하여 교전 시물레이션 기술이 활용될 수 있는데, 전차 무기체계를 모델링함에 있어 전차의 기동, 통신 등과 같은 물리적인 요소뿐만 아니라, 운용교리를 반영한 효과분석을 위하여 전차장 등의 의사결정을 모델링하는 논리 모델도 중요하다. 이 논문에서는 무기체계 통합시물레이션 소프트웨어(AddSIM)에서 제공하는 무기체계 모델의 표준 아키텍처인 기본체계모델(Base System Model, BSM)에 맞추어 전차 교전 시물레이션에 필요한 전차 BSM 설계방법에 대하여 논한다. 특히 논리 모델을 인간 의사결정 모델에 근거하여 세분화하였으며, DEVS 형식론이라는 수학적 형식론에 기반한 정형적인 모델링 방법으로 모델링하였다. 그 결과 전차 BSM을 계층적이고 모듈화된 형태로 제안하였다. 제안하는 방법은 향후 우리 군의 전차 운용 개념 연구와 전차의 효과분석 등에 활용될 것으로 기대된다.

주요어 : 전차 기본체계모델, 논리 모델링, DEVS, 교전 시물레이션, AddSIM

1. 서론

무기체계가 첨단화, 복합화함에 따라 무기체계 획득비

용이 기하급수적으로 증가하고 있다. 이로 인해 무기체계의 소요 기획 단계에서 DM&S(Defense Modeling and Simulation, 국방 모델링 및 시물레이션) 기술을 활용하여 개발 대상 무기체계의 효과도(Measure Of Effectiveness, MOE)를 사전에 분석하는 과정과 배치 이후 무기체계의 운용개념을 연구/개발하는 과정이 더욱 중요해지고 있으며, 무기체계 간 교전(Engagement) 모의의 필요성이 대두되었다.

교전 모의분석 기술은 다양한 전장 상황하에서 무기체

Received: 6 April 2020, Revised: 15 May 2020,
Accepted: 19 May 2020

[†] **Corresponding Author:** Sunju Lee
E-mail: sunjulee@kaist.ac.kr
The 2nd R&D Institute, ADD(Agency for Defense Development), Daejeon, Korea

계의 기능과 성능, 운용개념을 변화시키며 무기체계 간 교전을 수행하고 그 결과를 분석함으로써, 무기체계의 효과도 분석과 운용개념 연구를 지원한다. 이러한 교전 모의분석 기술은 무기체계가 발전하고 미래 전장 환경이 복잡해짐에 따라 좀 더 현실적인 시뮬레이션 결과를 제공하는 고해상도 모델 기반의 교전급M&S로 발전하는 추세이며, 무기체계 모델링 시 무기체계를 구성하는 물리적인 요소뿐만 아니라 논리적인 요소에 대한 모델링 또한 중요해지고 있다(Oh et al., 2019; Tolk, 2012).

다양한 무기체계 중 대표적인 지상 무기체계인 전차는 각국의 핵심 전력 중 하나이다(Kang et al., 2016). 우리나라의 경우 최근 차세대 전차 K-2를 실전배치하였다. K-2를 효과적으로 운용하는 전투발전요소 개발과 다음 세대 전차의 효과도 및 운용개념을 개발하기 위해서는 한반도 지형과 한국군의 교리를 반영한 교전 시뮬레이션 수행이 필요하다.

이러한 전차를 모델링할 때에는 전차의 기동, 통신 등과 같은 물리적인 능력을 모델링하는 것뿐만 아니라, 전차전의 전술, 작전 등의 운용교리를 반영한 효과분석을 하기 위하여 전차장과 소대장 등의 의사결정을 모델링하는 논리 모델도 중요하다. 전차의 주요 의사결정은 이동, 탐지, 사격, 통신이다. 이동은 전차장의 이동 지시에 따라 이동을 담당하는 조종수가 담당하고, 사격은 사격 지시에 따라 사수가 주포를 조작하거나 전차장이 실시한다. 탐지는 사수가 탐지장비를 이용하여 실시한다. 전차 간 통신은 전차장이 통신 장비를 이용하여 실시한다. 이들 각각의 의사결정을 전차에서 발생하는 의사결정 절차에 맞추어 체계적이고 직관적으로 모델링할 수 있어야 한다.

전차 교전 시뮬레이션과 관련하여 다양한 연구들이 진행되었다. Choi(2003)는 기갑 전투그룹 교전 시뮬레이션 모델(armed vehicle Battle Group Simulation, BAGSim)을 제안하였다. BAGSim은 대대급 이하 기갑전의 전차 전술운용효과분석과 차세대 전차 개발 시 체계개념분석을 위한 사건 기반 시뮬레이션 모델로, 교리에 따른 부대 편성과 전술 운용 시 전차운용 효과와 생존율 등의 분석 기능을 제공하고, 새로운 체계 구성이 가능하다. 그러나 무기체계 모델의 구조에 대한 체계화된 형태를 제공하지 않고 단일 클래스로 구성하였기 때문에, 물리적인 요소와 논리적인 요소가 혼재되어, 모델의 확장과 유지보수, 공유, 재사용 등이 제한된다.

Lim et al.(2006)은 대전차 유도무기(Anti-Tank Guided

Missiles, ATGMs)에 대한 소프트-킬(Soft-kill) 능동방호 체계(Active Protection System, APS)를 장착한 전차의 생존성 분석 기능을 제공하는 전차 교전 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 그러나 대전차 유도무기에 대한 생존성 분석 외의 시나리오에 대한 확장이 불가하며, 단순히 적/아를 판단하는 정도의 논리 모델만이 고려되어 전차운용 교리 등의 분석이 제한된다.

그리고 ZHAO et al.(2013)은 Interior thinker model 과 Exterior behavior model, Physics dynamics model로 구성되는 에이전트(Agent) 기반의 전차 에이전트 모델을 개발하여, 시뮬레이션 중 수집되는 상황 정보를 통해 스스로 교전 판단이 가능한 전차 모델을 제안하였다. 그러나 전차 운용원인 전차장과 조종수, 사수가 하나의 형태로 혼합되어, 전차 모델의 논리적인 요소 반영이 제한된다.

이와는 달리 Seo et al.(2014)은 통합 교전 시뮬레이션 도구가 아닌 DEVS 형식론 기반의 교전 시뮬레이션 구조를 제안하였다. 이를 통해 형식론 기반의 체계적인 무기체계 모델링 및 교전 시뮬레이션이 가능하도록 하였으나, 무기체계의 모델링 요소를 Platform과 Weapon으로 나누고 각각을 논리적 요소인 Controller와 물리적 요소인 Maneuver와 Sensor로 제한하여, 통신 요소 등이 반영된 통합 의사결정에 대한 고려가 부족하였다.

본 연구에서는 상술한 기존 도구 및 연구들을 참고하고 기존 연구의 제한사항을 고려하여, 전차 교전 시뮬레이션에 사용되는 전차 모델을 체계적으로 모델링하였다. 특히 인간 의사결정 모델에 근거하여 계층적이고 모듈화된 논리 모델링 방법을 제안한다. 제안한 방법은 DEVS 형식론이라는 수학적 형식론에 기반한 정형적인 모델링 방법으로, AddSIM과 전차 기본체계모델(Base System Model, BSM)에 적용된다. AddSIM은 공학급 모델로 교전 시뮬레이션을 수행하는 무기체계 통합시뮬레이션 소프트웨어이다(Oh et al., 2014). 버전 3.0에서는 무기체계 모델을 표준화된 형태로 개발하기 위해 BSM 개념을 도입하였으며(Kim et al., 2018), 이 논문에서는 AddSIM 버전 3.0의 BSM 표준 아키텍처에 맞추어 전차 교전 시뮬레이션에 필요한 전차 BSM 설계방법에 대하여 논한다.

이후 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 이해를 돕기 위한 관련 연구를 소개하고, 3장에서 전차 BSM의 논리 모델링에 대해 다룬다. 그리고 4장에서 1:1 전차 교전 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 실효성을 보이고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 AddSIM과 BSM

AddSIM은 고해상도 공학급 무기체계 모델들 간 통합 교전 시뮬레이션을 수행하여, 무기체계의 성능 및 효과도를 분석하는 기능을 제공하는 무기체계 통합시뮬레이션 소프트웨어로, 국방과학연구소에서 개발하였다. AddSIM에서는 단일 무기체계 단위의 모델을 플레이어(Player)라 하고, 이를 소프트웨어 컴포넌트로 모듈화하여 개발하도록 지원한다. 플레이어는 단일 모듈 또는 하위의 서브 컴포넌트로 구성할 수 있으며, 플레이어와 서브 컴포넌트는 Plug&play 방식으로 조립 및 재구성 가능하다(Kim et al., 2015).

교전급 시뮬레이션의 무기체계 모델은 기동을 위한 동역학 모델과 같은 연속 시간 시스템(Continuous time system)과 전자장 등의 의사결정을 모의하는 이산 사건 시스템(Discrete event system)이 모두 고려된 하이브리드 시스템(Hybrid system)으로 표현된다. 국방과학연구소에서는 이러한 하이브리드 요소를 고려한 무기체계 모델을 표준화된 형태로 확보하기 위해 Fig. 1과 같이 BSM 구조를 제안하였다.

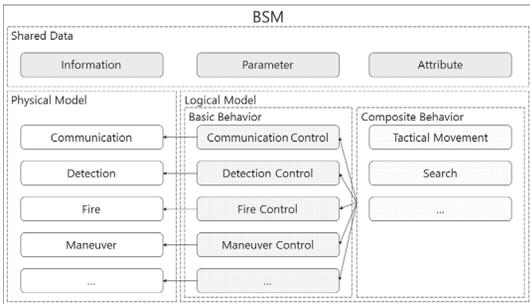


Fig. 1. Conceptual diagram of BSM

BSM의 구성요소는 공유 데이터, 물리 모델, 논리 모델로 나뉘며, 무기체계에 따라 세부 모델링이 가능하다. 공유 데이터와 물리 모델, 논리 모델의 정의 및 역할은 다음과 같다.

- 공유 데이터(Shared Data) : BSM 내에서 공유되는 데이터로 정보, 파라미터, 속성으로 나뉜.
 - 정보(Information): 탐지된 타 개체 경로 정보를 포함하여, 탐지 자산을 통해 획득한 데이터
 - 파라미터(Parameter): 개체의 사양과 같은 고유

특성값을 표현하는 데이터로 모델 초기화 시 사용자 또는 외부 데이터로부터 입력받아 사용

- 속성(Attribute): 시뮬레이션 진행 중 개체의 상태를 표현하는 데이터로 시뮬레이션 진행 간 변경되는 변수
- 물리 모델(Physical Model) : 실제 장비 및 무기의 기본 특성을 반영한 물리적 기능을 표현
- 논리 모델(Logical Model) : 이동 제어, 사격 제어와 같은 물리 모델 제어와 계획 수립, 실행 평가 등과 같은 지휘통제 및 전술적 기능을 수행
 - 기본행위(Basic Behavior): 물리 모델을 직접 제어하는 행위 또는 최소 단위의 논리 행위 모의
 - 복합행위(Composite Behavior): 기본행위 및 다른 복합행위를 조합하여 구성하는 더욱 복잡한 의사결정 행위 모의

2.2 DEVS 형식론

DEVS 형식론은 이산 사건 시스템을 표현하기 위한 다양한 형식론 중 하나로, 이산 사건 시스템을 집합 이론으로 표현하며(Zeigler et al., 1976), 교전급 이상 M&S 분야에 널리 사용되고 있다(Seo et al., 2014).

DEVS 형식론은 원자 모델과 결합 모델로 구성되나 본 논문에서는 원자 모델만을 다룬다. 원자 모델(Atomic DEVS Model)은 입력 사건에 의한 상태 천이와 시간 진행에 따른 상태 천이를 기술하며, 전자를 외부 상태 천이, 후자를 내부 상태 천이로 명명한다. 원자 모델은 수학적 으로 다음과 같이 표현되며, 3개의 집합과 4개의 함수로 구성된다.

$$AM = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle \quad (1)$$

- X , 입력 사건 집합
- S , 상태 집합
- Y , 출력 사건 집합
- $\delta_{int} : S \rightarrow S$, 내부 상태 천이 함수(Internal transition function), 현 상태의 수명(Lifespan)에 도달할 때 다음 상태로 변경
- $\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$, 외부 상태 천이 함수(External transition function)
 - $Q = (s, e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)$, 전체 상태 집합
 - e , 마지막 상태 천이로부터의 경과시간(Elapsed time)

- $\lambda : S \rightarrow Y$, 출력 함수(Output function) 내부 상태 천이가 발생할 때, 외부로 출력 사건을 발생시킴
- $ta : S \rightarrow Re_{[0, \infty)}^+$, 시간 전진 함수(Time advance function)

3. 전차 BSM 설계

전차 BSM 설계 시 논리 모델을 계층적이고, 기능 별로 모듈화하는 방식으로 모델링하였으며, 절차와 규칙을 분리하는 방법을 적용하였다. 본 장에서는 전차 BSM의 전체 구조를 포함하여, 각각을 순차적으로 설명한다.

3.1 전차 BSM 전체 구조

전차는 다양한 요소로 구성되므로, 기능 단위 또는 장비 단위 등으로 모델링하는 것이 직관적이다. 이 논문에서는 전차의 기능적인 분류를 기준으로 설계하였다. 전차의 기능은 통신, 탐지, 교전, 기동으로 분류할 수 있으며, 이러한 기능을 운용하는 사람의 의사결정 요소 또한 포함되어야 한다. 이와 같은 요소를 고려하여 부록의 Fig. 10과 같이 전차 BSM의 구조를 정의하였다.

먼저 물리 모델은 전차의 기능을 반영하여 통신 장비 모델(CommunicationDevice)과 탐지 장비 모델(Detection-Device), 기총 모델(MachineGun), 포신 모델(Turret), 기동 물리 모델(GroundVehicleDynamics)로 구성하였다. 통신 장비 모델은 통신을 위한 송/수신 장비의 통신 효과를 모의하였고, 탐지 장비 모델은 전차의 탐지 기능을 모의하였다. 포신 모델은 포신의 움직임을 모의하여, 표적을 향한 조준이 가능하도록 한다. 마지막으로 기동 물리 모델은 전차의 기동 특성을 모의하였다.

다음으로 논리 모델은 BSM의 아키텍처에 따라 복합 행위 논리 모델과 기본행위 논리 모델로 구성되며, 복합 행위 논리 모델은 전차 운용자(전차장, 포수, 운전수)의 의사결정 요소(SituationAwareness, Communication-DecisionMaking, DetectionDecisionMaking, Engagement-DecisionMaking, ManeuverDecisionMaking)를 모의하였고, 기본행위 논리 모델은 복합행위 논리 모델의 의사결정에 따라 대응되는 물리 모델을 제어하는 요소(CommunicationControl, DetectionControl, MachineGun-Control, DirectWeaponControl, DefenseSystemControl, ManeuverControl)를 모의하였다.

끝으로 Table 1과 같이 공유 데이터를 식별하였다.

Table 1. Shared data of Tank BSM

Type	Data
Information	DetectionList, CommunicationInfo
Parameter	PlatformSpec, WeaponSpec, CommunicationDeviceSpec, DetectionDeviceSpec
Attribute	Position, Attitude, Velocity, State, Task, Weapon List

3.2 계층적 논리 모델링

전차 BSM은 크게 논리 모델과 물리 모델로 구성된다. 이때, Fig. 2와 같이 논리 모델은 BSM의 기본 아키텍처에 따라 계층적인 구조를 갖도록 복합행위 논리 모델과 기본행위 논리 모델로 구성하였다. 추가적으로 사람의 의사결정 과정을 반영하여, 복합행위 논리 모델을 상황 인지 모델과 의사결정 모델로 분류함으로써, 복합행위 논리 모델의 계층을 세분화하였다.

사람의 의사결정 과정은 Fig. 3과 같이 모델링 가능하다. 의사소통(Communication)이나 감각기관(시각, 청각, 후각, 미각, 촉각)을 통해 정보를 수집(Data Collection)

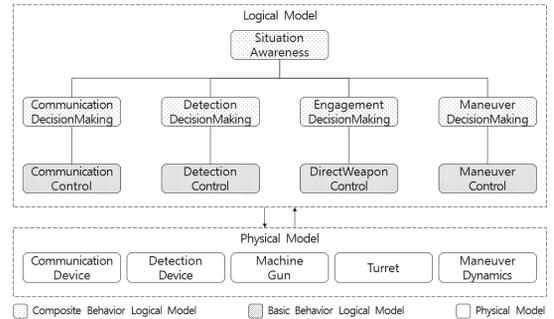


Fig. 2. Hierarchical structure of logical model

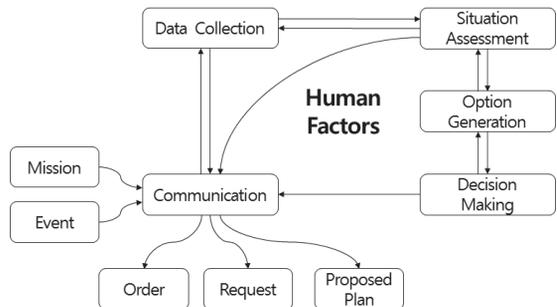


Fig. 3. Human decision-making model(Dompke, 2003)

하고, 수집된 정보를 활용하여 상황을 인식한다(Situation Assessment). 그리고 방책을 생성하고(Option Generation), 다양한 대안들 중 최종 의사결정을 수행하며(Decision Making), 의사결정된 내용을 의사소통을 통해 외부로 전달한다.

이러한 사람의 의사결정 과정은 전차의 운용 시에도 동일하다. 통신 기능을 통해 지휘통제(Command & Control, C2)와 같은 외부 개체로부터 정보를 받아들이고, 전차의 탐지 자산을 통해 적 개체 등의 탐지 정보를 수집하거나, 연료량, 현재 위치, 잔여 보유 무장 수량과 같은 전차의 다양한 정보들을 수집한다. 이렇게 수집된 정보를 평가하여, 현 상황에서의 방책을 생성하고, 최종적인 의사결정을 수행하며, 그 결과를 통신 기능을 통해 외부로 공유하거나 교전 또는 기동과 같은 명령을 수행하게 된다. 이러한 절차를 고려하여, 복합행위 논리 모델을 통신과 탐지 자산, 하위 모델들의 보고를 통해 데이터를 수집하고, 상황에 대해 인지하는 상황 인지 모델과 인지된 상황하에서 정해진 규칙에 따라 상황에 대한 의사결정을 수행하는 의사결정 모델로 구분하였다.

3.3 의사결정 모델의 기능별 분리

다음으로 계층화된 논리 모델을 기능별로 분리하였다. 일반적으로 교전급 시뮬레이션에서 무기체계 모델은 탐지, 교전, 기동으로 분류한다(Seo et al., 2014). 이를 고려하여, 의사결정 모델을 통신 의사결정 모델과 탐지 의사결정 모델, 교전 의사결정 모델, 기동 의사결정 모델과 같이 기능별로 분리하였다. 3.2절의 계층적 논리 모델링과 본 절의 의사결정 모델의 기능별 분리를 고려한 각각의 모델의 역할은 부록의 Table 3과 같다.

이때, 개별 의사결정 모델은 정의된 기능에 대한 의사결정만을 수행하도록 하였으며, 직접적인 인터페이스 연결을 통한 의사결정 모델 간의 상호작용은 하지 않고, 상황 인지 모델을 통한 간접적인 상호작용이 가능하도록 설계하였다. 이는 모델 간의 응집력을 감소시켜 모델의 수정 시 파급효과를 감소시키기 위함이다.

상황 인지 모델을 통한 의사결정 모델 간의 간접적인 상호작용 방식의 예를 들면 다음과 같다. 고속기동 중 교전 상황이 식별되면, 교전 가능한 속도로 기동 속도 감소 등과 같이 의사결정 모델 간의 상호작용이 필요하다. 고속기동 중 표적이 탐지 및 식별되면, 탐지 정보가 상황 인지 모델에게 보고된다. 상황 인지 모델이 교전 의사결정 모델에게 의사결정 요청을 송신하면, 교전 의사결정 모델은 내부 규칙에 따라 표적 할당 및 무장 할당을 수행

하고, 교전 상태를 상황 인지 모델에게 송신한다. 할당된 표적과 무장에 대해 상황 인지 모델이 기동 의사결정 모델에게 의사결정 요청을 송신하면, 기동 의사결정 모델은 내부 규칙에 따라 현재 상황에 맞는 기동 방식(표적 추적 등)과 기동 목적지, 기동 속도를 결정한다.

3.4 의사결정 모델의 절차와 규칙 분리

의사결정 모델은 교전급 무기체계 모델의 설계 시, 특히 까다로운 부분이다. 이 논문에서는 이러한 의사결정 모델을 절차(Procedure)와 규칙(Ruleset)으로 분리하였다. Fig. 4와 같이 “의사결정 모델의 절차”는 상황 인지 모델로부터 의사결정 요청을 수신하였을 때 의사결정에 소요되는 시간만큼 시뮬레이션 시간을 진행시키고, 내부에 정의된 규칙에 질의하여 그 결과를 대응되는 제어 모델(기본행위 논리 모델)에게 명령으로 송신하거나 상황 인지 모델에게 의사결정 결과를 보고하며, 다음의 의사결정 요청을 기다리는 것으로 모델링된다. 이때 내부에 정의된 규칙은 “의사결정 규칙”으로 정의되며, 교전 의사결정 규칙은 표적 할당 및 무장 할당 규칙이 포함된다. 이러한 규칙은 절차와 달리 의사결정 모델의 종류(탐지, 교전 등)에 따라 변화된다. 따라서 의사결정 모델을 의사결정 절차 부분과 의사결정 규칙으로 분리하여, 의사결정 규칙은 별도의 서브 컴포넌트로 구성하였다.

의사결정 모델은 인지된 상황을 입력받아 그에 합당한 의사결정 결과를 출력하는 모델로 설계할 수 있으며, 이 논문에서는 의사결정 모델의 종류를 기능에 따라 통신, 탐지, 교전, 기동으로 분류하였다. 상황 인지 모델로부터 수신된 의사결정 요청에 대해 각각의 의사결정 모델은 자체적인 의사결정 규칙에 따라 의사결정을 수행하고, 그 결과를 출력한다. 이때, 의사결정 모델의 종류와 무관하게 의사결정 절차를 일반화시키고, 목적별로 규칙을 달리

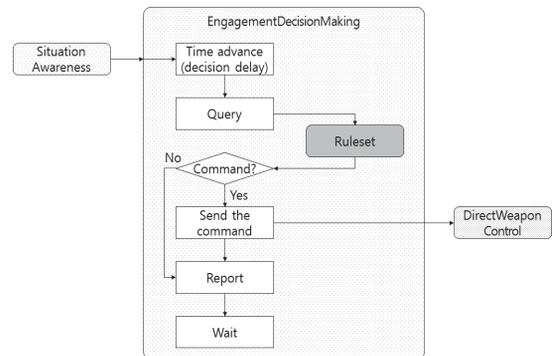


Fig. 4. An example of decision making procedure - Engagement

적용시킴으로써, 동일한 형태의 구조를 사용하여 상기의 다양한 의사결정 모델의 모델링이 가능하도록 하였으며, 모델 개발자는 기능별 의사결정 규칙만을 고려하도록 하였다.

3.5 전차 논리 모델의 DEVS 모델링

전차 BSM의 전체 흐름은 최상위 상황 인지 모델로부터 시작하여 의사결정 모델, 대응되는 제어 모델, 물리 모델 순서로 진행되며, 교전에 관련된 흐름을 예로 들면 Fig. 5와 같다. 이때, 논리 모델은 DEVS 원자 모델로 모델링된다. 교전 의사결정 모델과 직사화기 제어 모델을 예로 들면 다음과 같다.

Fig. 6은 교전 의사결정 모델의 DEVS 원자(Atomic) 모델을 나타낸다. 교전 의사결정 모델은 ReceiveInMsg-RequestDecisionMaking, ReceiveInMsgStop, InnerInMsg-Response, 3가지의 입력 포트와 SendOutMsgCommand, SendOutMsgReport, SendOutMsgStop, InnerOutMsg-QueryRuleset, 4가지의 출력 포트를 갖는다. 그리고 초기 상태인 IDLE를 포함하여, DECIDE, WAIT, COMMAND, REPORT, STOP, 6가지의 상태를 가진다. 상황 인지 모델로부터 ReceiveInMsgRequestDecisionMaking을 수신하면, IDLE에서 DECIDE로 외부 상태 천이가 발생하며, DECIDE 상태에서 의사결정 소요 시간인 dt 만큼의 시간이 경과한 후 내부 상태 천이 시 내부 Ruleset 서브컴포넌트에게 InnerOutMsgQueryRuleset으로 출력을 발생시키고, WAIT 상태로 변경하여 Ruleset 서브컴포넌트 (DEVS 모델이 아님)의 출력을 기다린다. WAIT 상태에서 InnerInMsgResponse를 통해 Ruleset 서브컴포넌트의 출력을 수신하면, 외부 상태 천이가 발생한다. 가용한 보유 무장이 있어 표적 할당과 무장 할당이 정상적으로 수행된 경우 COMMAND 상태로 천이하고, 선택된 무장 제어 모델에게 SendOutMsgCommand를 통해 교전 명령을 송신하며, REPORT 상태로 내부 천이한다. 가용한 보유 무장이 없는 등의 이유로 교전 명령을 출력할 수 없는 경우는 REPORT 상태로 내부 천이한다. REPORT 상태에서는 즉시 SendOutMsgReport를 통해 상황 인지 모델에게 출력을 송신하고, IDLE 상태로 내부 천이한다. 그리고 모든 상태에서 ReceiveInMsgStop을 수신하면, STOP 상태로 외부 천이하고, 하위 모델들에게 SendOutMsgStop을 출력하여 모델 동작을 정지하도록 하고, IDLE 상태로 내부 천이한다.

기본행위 논리 모델의 경우 또한 DEVS 형식론으로 모델링된다. 직사화기 제어 모델(DirectWeaponControl)

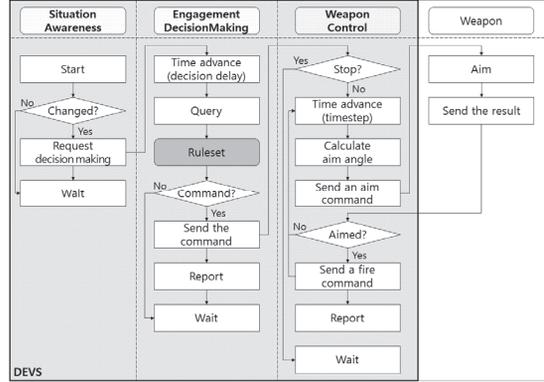


Fig. 5. An example of overall procedure - Engagement

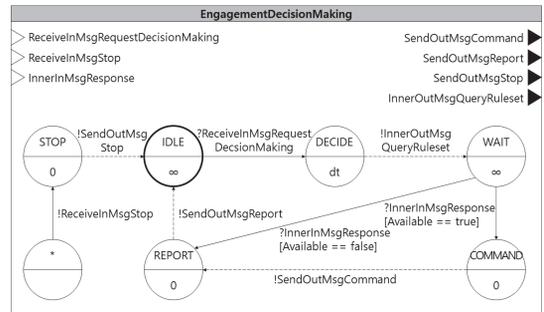


Fig. 6. Atomic DEVS model for Engagement Decision Making

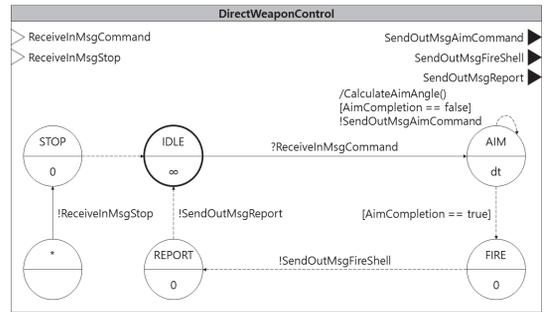


Fig. 7. Atomic DEVS model for Direct Weapon Control

을 예로 들면 Fig. 7과 같다. 직사화기 제어 모델은 ReceiveInMsgCommand, ReceiveInMsgStop, 2가지의 입력 포트와 SendOutMsgAimCommand, SendOutMsg-FireShell, SendOutMsgReport, 3가지의 출력 포트를 가진다. 그리고 초기 상태인 IDLE를 포함하여, AIM, FIRE, REPORT, STOP, 5가지의 상태를 가진다. 교전 의사결정 모델로부터 ReceiveInMsgCommand를 수신하면, IDLE에서 AIM으로 외부 상태 천이가 발생한다. 포신(Turret)

조건 완료 시까지 AIM 상태에서 포신 모델의 제어 주기인 dt 단위로 내부 상태 천이가 발생하며, 현재 전차의 상태와 표적의 정보를 활용하여 조건 방위각 및 고각을 계산하고, SendOutMsgAimCommand를 통해 포신 모델에게 전달한다. 시뮬레이션이 진행됨에 따라 포신 모델의 조건이 완료되면, AIM 상태에서 FIRE 상태로 내부 천이하고, 즉시 직사화기 탄 모델(별도의 모델)에게 SendOutMsgFireShell을 통해 발사 명령을 송신하며, REPORT 상태로 내부 천이한다. REPORT 상태에서는 SendOutMsgReport를 통해 상황 인지 모델에게 발사 명령 수행 여부를 전달하고, IDLE 상태로 내부 천이한다. 그리고 모든 상태에서 ReceiveInMsgStop을 수신하면, STOP 상태로 외부 천이하고 모델 동작을 정지하며, IDLE 상태로 내부 천이한다.

4. 시뮬레이션

4.1 시나리오 작성



Fig. 8. 1 vs. 1 Tank engagement scenario

제안한 전차의 논리 모델링 방법에 따라 전차 BSM 개발이 가능하고, 전차 교전 시뮬레이션이 가능함을 확인하기 위하여 Fig. 8과 같은 시나리오를 작성하였다. 시나리오는 1:1 전차 교전 상황으로, 흐름은 다음과 같다. 통신 장비를 통해 아군 지휘관의 명령을 수신한 아군 전차가 초기 위치에서 경로를 따라 기동 중 산악 지형 뒤편에 위치한 적군 전차를 발견하고 기동을 중지한다. 그리고 탐지 정보를 지휘관에게 보고하고, 지휘관의 명령을 기다린다. 아군 전차가 지휘관으로부터 교전 명령을 수신하면, 직사화기를 통해 교전 수행 후 지휘관에게 표적 무력화 결과를 보고한다. 아군 전차로부터 표적 무력화 보고를 수신한 지휘관이 기동 명령을 송신하고, 명령을 수신한 아군 전차는 최종 목표지점까지 이동하여 그 결과를 지휘관에게 최종 보고한다.

해당 시나리오는 AddSIM 버전 3.0에서 작성되었으며, 사용된 전차 모델은 3장에서 제안한 전차 BSM 구조를 AddSIM 버전 3.0을 통해 개발하였고, 모델의 초기 위

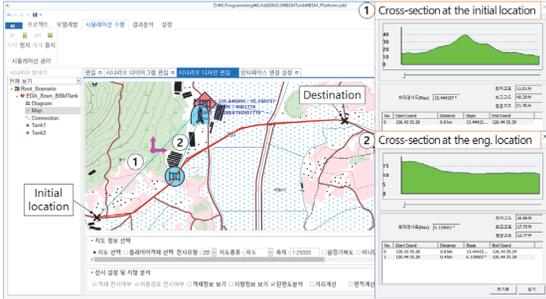
Table 2. Initial positions & input parameters

Player	Initial Position (deg, deg, m)	
Blue Commander	(126.382122, 35.291626, 3.46)	
Blue Tank(Tank1)	(126.434952, 35.279376, 15.33)	
Red Tank(Tank2)	(126.440460, 35.285128, 11.01)	
Parameter	Data	Value
Communication DeviceSpec	Delay	0 sec
	Signal power	20 dB
	Signal frequency	500 MHz
Detection DeviceSpec	DeviceType	Binoculars
	MaxRange	1 km
PlatformSpec	Weight	54,500 kg
	WheelType	Track
	MaxSpeed	60 km/h
WeaponSpec	Diameter	120 mm
	Initial velocity	1,500 m/s
	Mass	5 kg

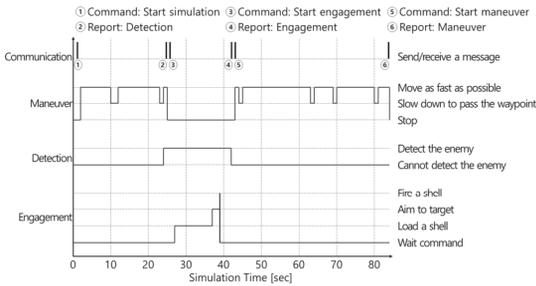
치와 주요 입력 파라미터는 Table 2와 같다. 전차 BSM의 통신 규칙은 지휘관의 경우 시뮬레이션 시작 시 아군 전차에게 시뮬레이션 시작 명령을 송신하고, 아군 전차로부터 탐지 보고 수신 시 교전 명령을 송신하며, 표적 무력화 보고 수신 시 기동 명령을 송신하도록 하였다. 그리고 아군 전차의 경우 적 탐지 시 탐지 보고를 송신하고, 표적 무력화 시 표적 무력화 보고를 송신하며, 최종 목적지 도달 시 최종 목적지 도달 보고를 송신하도록 작성하였다. 탐지 규칙은 시간대(주/야)를 고려하여 탐지 장비(쌍안경/야간투시경)를 할당하고, 탐지 주기를 결정하도록 작성하였으며, 기동 규칙은 목표지점으로부터 기준 거리 이내 도달 시 감속 기동하도록 하고, 적 발견 시 기동 중지 명령을 발생시키도록 하였다. 그리고 교전 규칙은 지휘관의 교전 명령 수신 시 적군 전차에 직사화기 탄을 할당하고, 포신을 조건하여 할당된 탄을 발사하도록 작성하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

4.1절에서 작성한 1:1 전차 교전 시나리오의 시뮬레이션 결과는 Fig. 9와 같다. Fig. 9(b)에서 시뮬레이션 시간 1초에 아군 지휘관(Commander)이 시뮬레이션 시작 명령을 송신하고, 이를 아군 전차(Tank1)가 수신하여 기동을 시작하였다. Fig. 9(a)에서 우상단의 단면도 ①은 아군 전차의 초기 위치와 적군 전차(Tank2) 간 단면도로 아



(a) Simulation on AddSIM



(b) State transition

Fig. 9. Simulation result of Tank engagement scenario

군 전차와 적군 전차 사이에 산악지형이 존재하는 것을 알 수 있다. 이로 인해 시뮬레이션 초기에는 아군 전차가 쌍안경으로 적군 전차를 발견하지 못하고, Fig. 9(b)에서 처럼 적군 전차를 탐지하기 전까지 시나리오에서 정의된 경로점을 따라 기동만을 수행하였다. 이때, 정해진 기동 규칙에 따라 시나리오에서 설정된 경로점 기준 거리 내에 도달하면 감속 명령을 발생시킴을 확인하였다. 시뮬레이션이 진행됨에 따라 Fig. 9(a) 우하단의 단면도 ②와 같이 아군 전차와 적군 전차 사이를 가로막는 산악지형이 사라져, Fig. 9(b)에서 시뮬레이션 시간 25초에 아군 전차가 적군 전차를 발견하고 기동을 중지하며, 적 탐지 보고를 송신하였다. 탐지 보고를 수신한 지휘관이 교전 명령을 송신하면, 이를 수신한 아군 전차가 시뮬레이션 시간 26~39초에 정해진 교전 규칙에 따라 직사화기 탄을 장전하고, 포신 조준 후 직사화기 탄을 발사하는 명령을 발생시켰다. 그리고 시뮬레이션 시간 42초 이후 적군 전차가 파괴되어 탐지가 되지 않아 교전 상황이 종료되면, 아군 전차는 그 결과를 지휘관에게 보고하였다. 그에 대한 응답으로 43초에 지휘관으로부터 기동 명령을 수신하면 잔여 경로점에 대한 기동을 수행하고, 84초에 최종 목적지에 도달하여 목적지 도착 보고를 송신하였다. 이를

통해 제안한 전차의 논리 모델링 방법에 따라 개발된 전차 BSM으로 전차 교전 시뮬레이션이 가능함을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 통합시뮬레이션 도구인 AddSIM에서 제공하는 무기체계 모델의 표준 아키텍처인 BSM에 맞추어 전차 교전 시뮬레이션에 필요한 전차 BSM 설계방법에 대하여 제안하였다. 제안된 방법은 인간 의사결정 모델을 기반으로, 전차 BSM의 논리 모델을 계층적이고 기능별로 분리된 구조를 갖도록 설계하였다. 이러한 계층적이고 모듈화된 구조를 통해 논리 모델 개발 시 각각의 논리 모델의 역할만을 고려할 수 있도록 하였다. 즉, 다수의 기능이 복합적으로 고려되어야 하는 논리 모델링의 어려움을 감소시켰다. 이와 더불어 의사결정 모델의 절차와 규칙을 분리함으로써 모델의 재사용성과 유지보수성을 향상시켰다. 그리고 DEVS 형식론을 적용함으로써, 모델 설계 시 일관성과 완전성, 검증가능성을 확보할 수 있다. 제안하는 방법은 향후 우리 군의 전차 운용 개념 연구와 전차의 효과분석 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 다양한 무기체계 중 전차에 대한 것으로 제한하였다. 미래 전장 환경에서 발생할 수 있는 다양한 시나리오를 분석하기 위해서는 전차뿐만 아니라 지상, 해양, 공중 분야 무기체계의 통합 시뮬레이션이 필요하기 때문에, 향후 본 연구에서 제안하는 방식을 지상, 해양, 공중 무기체계 모델 개발에 확장 적용하는 연구를 추진할 예정이다.

References

Choi, S. (2003), "Armed Vehicle Battle Group Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.12, No.1, pp.73-83.

Dompke, U. (2003), "Computer Generated Forces-Background, Definition and Basic Technologies", *RTO SAS Lecture Series on Simulation of and for Military Decision Making*, RTO-EN-017.

Kang, I.W., J.S. Hong and H.M. Ro (2016), *2014-2016 Acquisition Trend of World Main Battle Tank*, Defense Agency for Technology and Quality.

(강인원, 홍준석, 노희명 (2016), 2014-2016 세계 주

력전차 획득동향, 국방기술품질원)

- Kim, D., S. Lee, Y.L. Rhie, H. Oh (2018), "Architecture design of Base System Model for engagement simulation", *Proceedings of Korean Institute Of Industrial Engineers*, Gyeongju, Korea, pp.119-130.
- (김도형, 이순주, 이예림, 오현식 (2018), "교전 시뮬레이션을 위한 무기체계 기본체계모델 아키텍처 설계", 한국경영과학회 학술대회논문집, 경주, 한국, pp.119-130)
- Kim, D., H. Oh, J. Park and S. Park (2015), "A Converting Method to Simulated DEVS Models on AddSIM", *KIISE Transactions on Computing Practices*, Vol.21, No.7, pp.488-493.
- Lim, J.-K., E.-H. Lee and B.-G. Jeon (2006), "A Survivability Analysis of Soft-Kill Active Protection System Installed Armored Vehicle Using Engagement Simulator", *Spring Simulation Multiconference*, April 2-6, Von Braun Center, Huntsville, Alabama USA.
- Oh, H.-S., S. Park, Kim, H.-J., T. Lee, S. Lee, D. Kim, O. Paek and J.-H. Park (2014), "ADDSIM: A NEW KOREAN ENGAGEMENT SIMULATION ENVIRONMENT USING HIGH RESOLUTION MODELS", *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Savannah, GA, pp.2942-2953.
- Oh, H., D. Kim, S. Lee, Y.L. Rhie, S. Lee and S. Min (2019), "Developing Component Model Library of Weapon Systems", *12th International Army Modeling & Simulation Education Conference*, Daejeon, Korea, pp.76.
- (오현식, 김도형, 이상진, 이예림, 이순주, 민서정 (2019), "무기체계 컴포넌트 모델 라이브러리 구축", 제12회 육군 M&S 국제학술대회, 대전, 한국, pp76)
- Seo, K.-M., C. Choi, T.G. Kim and J.H. Kim (2014), "DEVS-based combat modeling for engagement-level simulation", *SIMULATION: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International*, Vol.90, No.7, pp.759-781.
- Tolk, A. (2012), *Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*, A John Wiley & Sons, Inc., p.64.
- Zeigler, B.P., H. Praehofer and T.G. Kim (1976), *Theory of Modeling and Simulation*, 2nd Edition, Academic Press., pp.75-77.
- ZHAO S., L. ZHANG, R. XIAO, Y. QU and Z. ZHANG (2013), "The Design and Implementation of Tank Agent in Combat Simulation", *5th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Hangzhou, China, Vol.2, pp.186-189.



이 순 주 (ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-9473-335X> / sunjulee@kaist.ac.kr)

2012 부산대학교 전자전기공학부 학사

2014 한국과학기술원 전기및전자공학부 석사

2015~ 현재 국방과학연구소 2본부 4부 연구원

관심분야 : 무기체계 효과분석, 국방 M&S체계, 무기체계 모델링, 소프트웨어 아키텍처

〈부 록〉

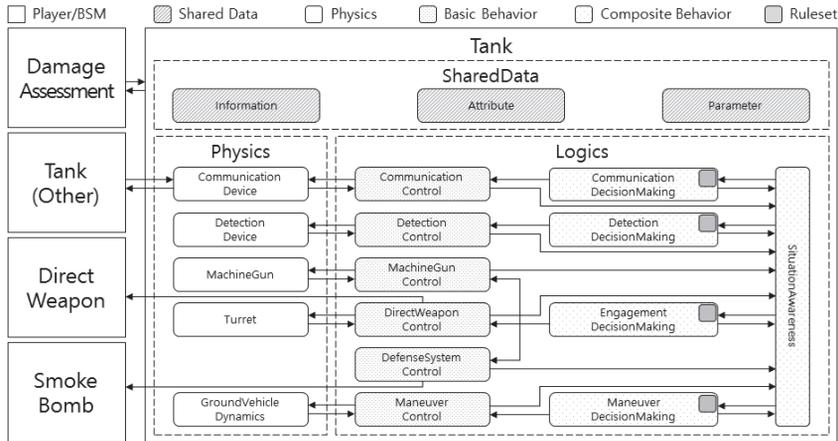


Fig. 10. Overall model structure of Tank BSM

Table 3. Role of each component of Tank BSM

Layer level 1	Layer level 2	Model	Role
Logical Model	Situation Awareness Layer	SituationAwareness	- receives reports from models of Decision Making Layer and Control Layer - requests decision making to Decision Making Layer
	Decision Making Layer	Communication DecisionMaking	- checks and decides available communication device - decides communication messages
		Detection DecisionMaking	- checks and decides available detection device - decides detection cycle
		Engagement DecisionMaking	- assigns target from detection list - allocates weapon to the assigned target
		Maneuver DecisionMaking	- decides maneuver method, target way point, and target speed
	Control Layer	Communication Control	- sets CommunicationDevice, such as frequency, power, and etc. - sends/receives the communication info to/from CommunicationDevice
		Detection Control	- controls selected DetectionDevice according to the cycle - checks detection result - reports the result to SituationAwareness whenever something is detected
		MachineGun Control	- aims and fires MachineGun according to the cycle - reports the result to SituationAwareness
		DirectWeapon Control	- aims Turret and fires DirectWeapon according to the cycle - reports the result to SituationAwareness
		DefenseSystem Control	- launches SmokeBomb according to the cycle - reports the result to SituationAwareness
Maneuver Control		- controls GroundVehicleDynamics according to the cycle - detects events using distance to the target way point - reports the event to SituationAwareness	
Physical Model	Physics Layer	CommunicationDevice	- sends and receives the communication info
		DetectionDevice	- searches things around the tank
		MachineGun	- fires bullets
		Turret	- aims to target
		GroundVehicleDynamics	- calculates dynamics for ground vehicle