



Received: 2025/08/30  
Revised: 2025/09/07  
Accepted: 2025/09/29  
Published: 2025/09/30

**\*Corresponding Author:**

**Chul Hyun**

Maritime R&D Center, LIG Nex1  
333 Pangyo-ro, Bundang-gu, Seongnam-si,  
Gyeonggi-do, 13488, Republic of Korea  
Tel: +82-31-5178-4293  
Fax: +82-31-5179-7086  
E-mail: chul.hyun@gmail.com

# 유·무인 복합체계 협업 시나리오 모델링을 위한 행위자 기반 시뮬레이션 구조

## An Agent-based Simulation Structure for Modeling Collaborative Scenarios of Manned-unmanned Systems

현철<sup>1\*</sup>, 김동건<sup>1</sup>, 김현승<sup>2</sup>, 정동민<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LIG넥스원 해양연구소 수석연구원

<sup>2</sup>LIG넥스원 해양연구소 선임연구원

Chul Hyun<sup>1\*</sup>, Donggeon Kim<sup>1</sup>, Hyunseung Kim<sup>2</sup>, Dongmin Jeong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Chief research engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1

<sup>2</sup>Research engineer, Maritime R&D Center, LIG Nex1

### 1. 서론

현대 전장 환경에서는 유인 플랫폼과 무인 플랫폼이 함께 운용되는 복합 상황이 점점 보편화되고 있으며, 이들 간의 협업 과정이 작전 효과에 중요한 요소로 작용한다. 이러한 상황을 분석하고 운용 개념을 검토하기 위해 시뮬레이션이 널리 활용되고 있지만, 기존 시뮬레이션 모델은 개별 플랫폼의 성능 검증이나 단순한 절차 재현에 머무르는 경우가 많다. 이로 인해 복합체계 간의 역할 분담, 상호작용, 전술적 흐름을 유연하게 표현하는 데에는 한계가 존재한다.

특히 기존의 시스템 다이내믹스, 이산 사건 시뮬레이션, 에이전트 기반 모델링은 분야별 장점을 갖고 있음에도 불구하고 플랫폼 중심적이고 사전 정의된 규칙에 기댄다는 공통적 제약이 있다[1]. 예컨대 이산 사건 시뮬레이션은 동시 발생 이벤트의 처리 순서가 결과에 편향을 초래할 수 있다는 점이 지적되었으며[2], 대규모 시뮬레이션 환경에서는 데이터 규모와 복잡성이 확장성을 제약하는 요인으로 작용한다[3]. 이러한 배경에서 행위자 기반 모델링은 동시성 표현, 상호작용 구조화, 모듈성 측면에서 유리하다는 점이 다양한 연구를 통해 확인되고 있다[4-6].

본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위한 방법으로 행위자(actor)

### Abstract

미래 전장은 유·무인 복합체계의 통합 운용을 전제로 더욱 복잡하고 동적으로 변화하고 있다. 그러나 기존 시뮬레이션 모델은 개별 체계 성능이나 단일 작전 개념에 치중해, 플랫폼 간 협업과 상호작용을 충분히 반영하기 어렵다. 본 연구는 이러한 한계를 보완하기 위해 행위자 기반 시뮬레이션 구조를 제안한다. 구조는 역할 기반 모델링, 모듈형 상호작용, 시나리오 중심 구성으로 설계되며, 실제 구현보다는 기획 및 검토 단계에서 운용 개념 정립을 지원한다. 또한 해상 플랫폼, 무인수상정, UAV, 기만체가 포함된 복합 시나리오 사례를 통해 적용 가능성을 제시한다. 본 논문은 체계 수준을 넘어 협업 기반 시뮬레이션의 필요성을 강조하고, 다양한 전장 환경에 활용 가능한 프레임워크 개념을 정립한다.

Future battlefields are becoming increasingly complex with the integrated use of manned and unmanned systems. Yet conventional simulations, focused on individual performance or single mission concepts, struggle to reflect collaboration among diverse platforms. This study proposes an agent-based simulation framework built on role-based modeling, modular interaction, and scenario-driven composition, aimed at supporting concept development in the planning stage. A scenario with naval platforms, unmanned surface vessels, UAVs, and decoys illustrates its applicability. The paper emphasizes the need for collaboration-oriented simulation and contributes to defining a framework adaptable to diverse operational environments.

### Keywords

유·무인 복합체계(Manned-unmanned Systems), 행위자 기반 시뮬레이션(Agent-based Simulation), 협업 시나리오 모델링(Collaborative Scenario Modeling), 역할 기반 모델링(Role-based Modeling), 전장 시뮬레이션 구조(Battlefield Simulation Framework)

기본 시뮬레이션 시나리오 구조를 제안한다. 제안된 구조는 플랫폼을 단일 객체로 모델링하기보다 탐지, 교란, 결정, 공격과 같은 역할 단위의 행위 주체로 정의하고, 이들 간의 상호작용 규칙을 통해 시나리오를 전개하는 방식을 취한다. 이를 통해 복잡한 협업 과정을 구조적으로 표현할 수 있으며, 나아가 효과도 분석이나 운용 전략 검토와 같은 다양한 분석에 활용 가능한 프레임워크를 제공한다는 점에서 의의가 있다.

본 논문은 2장에서 기존 시뮬레이션 구조의 한계를 정리하고, 3장에서 행위자 기반 모델의 핵심 개념과 적용 방식을 설명한다. 이어 4장에서는 해상 복합작전 시나리오를 사례로 제시하여 적용 가능성과 설명력을 확인하고, 5장에서 결론 및 향후 활용 방향을 제시한다.

## 2. 기존 시뮬레이션 구조의 한계와 분석

현대 방위산업 분야에서 활용되는 시뮬레이션은 오랫동안 특정 무기체계의 성능을 검증하거나, 제한된 작전 개념 하에서 개별 플랫폼의 작동 여부를 확인하는 용도로 발전해 왔다. 이러한 방식은 체계 자체의 정량적 특성을 평가하고 단위 시스템의 기능적 적합성을 확인하는 데에는 매우 유용하다. 그러나 최근 전장 환경은 다수의 이(異)기종 플랫폼이 동시에 상호작용하며 임무를 수행하는 복합 양상으로 변화하고 있으며, 기존 시뮬레이션 구조만으로는 이러한 상황을 충분히 표현하는 데 어려움이 존재한다. 본 장에서는 이러한 한계를 구체적으로 살펴보고, 새로운 접근의 필요성을 논의한다.

### 2.1 플랫폼 중심 모델의 구조적 한계

기존 시뮬레이션 모델은 주로 함정, 드론, 무인정과 같은 개별 플랫폼 단위로 정의되고 구성된다. 즉, 각 체계가 독립적으로 시뮬레이션 객체로 구현되며, 시나리오 역시 특정 플랫폼의 운용 여부를 중심으로 전개된다. 이러한 접근은 플랫폼 단위의 상세한 성능 분석이나 제한된 작전 개념 내 검증에는 적합하나, 다음과 같은 구조적 제약을 가진다.

첫째, 체계가 추가되거나 변경될 경우 전체 시뮬레이션 구조를 수정해야 하므로 확장성이 떨어진다.

둘째, 플랫폼 단위 중심의 모델은 역할 기반의 협업

관계를 표현하기 어렵고, 최근 강조되고 있는 자율성 (autonomy) 개념을 반영하기에도 한계가 있다.

셋째, 결과적으로 개별 체계는 자율적 행위 주체보다 단순 제어 명령이나 이벤트에 반응하는 수동적 객체로 머무르게 된다.

예를 들어, 무인수상정(USV)이 목표를 정찰하고, 함정이 이를 토대로 대응을 수행하는 시나리오를 가정해 보자. 기존 모델의 경우 USV가 정찰을 수행하고, 함정이 별도로 대응을 실행하는 과정까지는 구현할 수 있다. 그러나 ‘목표 탐지 → 정보 공유 → 협업 대응’과 같은 연속적이고 유기적인 협업 흐름을 자연스럽게 표현하기에는 한계를 보인다. 더 나아가, 이러한 구조는 협업 효과를 수치적으로 비교하거나, 체계 변경이 전술적 결과에 미치는 영향을 정량적으로 분석하는 기반을 제공하지 못한다는 점에서 제약이 크다.

### 2.2 이벤트 기반 시뮬레이션의 표현 한계

이벤트 기반 시뮬레이션은 특정 조건이나 시간에 사전에 정의된 이벤트가 발생하고, 이에 따라 상태가 전이되는 방식으로 구성된다. 이 방식은 비교적 단순한 상황이나 제한된 작전 절차를 재현하는 데에는 유용하다. 그러나 다수 행위자의 복잡한 상호작용을 표현하는 데에는 다음과 같은 제약이 따른다.

첫째, 사전 정의된 조건에만 반응할 수 있어 상호작용의 유연성이 부족하다.

둘째, 복수 행위자들의 자율적 판단 또는 동시성 (concurrency)을 표현하는 데 제약이 있으며, 개별 플랫폼이 독립적으로 상황을 해석하고 반응하는 과정을 모사하기 어렵다.

셋째, 전장 상황이 실시간으로 변화할 경우, 기존 이벤트 루트를 변경하거나 추가 정의해야 하므로 구조가 경직될 수밖에 없다.

특히 협업 시나리오처럼 각 체계의 상태 변화가 상호 영향을 주고받으며 전개되는 경우, 이벤트 기반 구조만으로는 이러한 복합적 상호작용을 충분히 반영하기 어렵다. 이로 인해 다양한 상황 변화에 따른 전술적 유연성을 확보하기 힘들 뿐만 아니라, 교란 장비의 투입 시점, 센서 수량 변화 등과 같은 정책적 선택이 성과에 미치는 영향을 정량적으로 비교하기 어렵다는 한계도 드러난다.

### 2.3 행위자 기반 모델 도입의 필요성

앞서 살펴본 플랫폼 중심 모델과 이벤트 기반 모델은 정적인 구조, 체계 중심의 표현, 사전에 정의된 흐름에 의존하는 공통된 한계를 가진다. 그러나 현대의 복합 전장 환경은 이와는 상반된 특성을 요구한다.

우선, 유·무인 복합체계는 단순한 플랫폼의 집합이 아니라 임무 수행을 위한 역할 분담과 동적 연계를 바탕으로 운용된다. 또한 각 체계는 자율적 판단을 통해 행동을 결정하며, 이 과정에서 비선형적 상호작용이 발생한다. 나아가 작전 상황은 실시간으로 변화하며, 이에 따른 유연하고 적응적인 대응이 필수적이다.

따라서 시뮬레이션 구조 역시 개별 체계 중심에서 임무·역할·행위자 중심으로 전환될 필요가 있다. 행위자 기반 모델은 각 체계를 독립적인 ‘행위자’로 정의하고, 이들 간의 상호작용과 협업을 동적으로 표현할 수 있다. 더 나아가, 이러한 접근은 단순히 시나리오를 재현하는 수준을 넘어 탐지 확률, 교란 효과, 자산 생존율 등의 정량적 성과 지표를 설정하고, 정책적 선택의 영향을 분석하는 기반을 마련한다는 점에서도 의미가 크다. 이는 복합 작전 환경의 특성을 보다 충실히 반영하고, 향후 운용 개념 정립과 협업 전략 검토에도 직접적으로 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 3. 행위자 기반 시뮬레이션 모델 구조 제안

2장에서는 기존 시뮬레이션 구조의 한계를 검토하였다. 본 장에서는 이를 극복하고 유·무인 복합체계 간의 협업 시나리오를 효과적으로 구현할 수 있는 행위자 기반(agent-based) 모델링 구조를 제안한다. 제안된 구조는 크게 행위자 정의와 역할 분류, 행위자 간 상호작용 구조, 시나리오 구성 방식의 세 가지 축으로 이루어진다. 이를 통해 단일 플랫폼 중심의 경직된 구조를 넘어, 임무 중심적이고 유연한 시뮬레이션 프레임워크를 구현하는 것이 목표이다. 또한 이 구조는 단순 개념 제시에 그치지 않고, 역할별 성과 지표를 설정하고 정책 변화의 영향을 정량적으로 분석할 수 있는 기반을 제공한다는 점에서도 의미가 있다.

#### 3.1 행위자(actor)의 정의와 역할 분류

행위자(actor)란 시뮬레이션 내에서 독립적으로 판

단하고 행동하며 특정 역할을 수행하는 주체를 의미한다. 기존 모델이 플랫폼 단위(예: 함정, UAV, 무인정 등)를 중심으로 정의되었다면, 행위자 기반 구조는 기능과 임무를 기준으로 역할을 정의한다는 점에서 차별성을 가진다.

예를 들어, 센서를 탑재한 UAV나 함정은 탐지 행위자로 분류될 수 있으며, 재머(jammer)나 기만기는 교란 행위자에 해당한다. 또한 전술적 판단이나 의사결정을 담당하는 요소는 결정 행위자, 직접적인 무력 사용을 수행하는 무기체계는 공격 행위자로 정의된다. 중요한 점은 하나의 실제 플랫폼이 복수의 행위자 역할을 동시에 가질 수 있다는 것이다. 예를 들어, 무인수상정(USV)은 탐지 센서를 통해 탐지 행위자의 역할을 수행함과 동시에 기만기를 탑재하여 교란 행위자의 역할을 병행할 수 있다.

이러한 역할 기반 분류는 플랫폼을 단순한 ‘객체’가 아니라 상황에 따라 임무 수행 단위를 유연하게 정의할 수 있는 ‘행위자’로 바라보게 하며, 복합 시나리오의 표현력을 크게 확장시킨다. 아울러 행위자를 역할 단위로 분리하면, 탐지 확률·교란 효과·공격 성공률 등과 같은 수치적 지표를 각 행위자에 귀속시켜 정의할 수 있어, 정량적 분석과 성능 비교를 위한 명확한 기준을 제공할 수 있다.

본 연구에서 정의한 주요 행위자 역할은 탐지, 교란, 결정, 공격의 네 가지로 구분된다. 각 행위자는 단일 플랫폼에 국한되지 않고 상황에 따라 복수의 역할을 병행할 수 있다. Table 1은 이러한 행위자 정의와 더불어 실제 플랫폼 예시와의 대응 관계를 보여준다.

**Table 1.** Classification of actor roles in the proposed simulation structure

Actor role	Definition	Example platforms/systems
Detection actor	Performs target/threat detection and information gathering	UAV sensors, USV radars, shipborne radars
Disruption actor	Creates confusion or disables enemy detection systems	Decoys, electronic jammers, USV-mounted devices
Decision actor	Conducts tactical judgment and decision-making	Shipboard combat management systems, C2 modules
Attack actor	Operates weapons and executes final engagement	Naval guns, missiles, torpedo launchers

3.2 행위자 간 상호작용 구조

행위자 기반 시뮬레이션의 핵심은 각 행위자가 독립적으로 행동하는 동시에, 상황에 따라 동적으로 상호작용한다는 점이다. 이러한 상호작용은 다음과 같은 구조적 원칙을 따른다.

첫째, trigger-response 기반 인터페이스이다. 특정 조건이나 사건이 발생하면 해당 조건에 반응하는 행위자의 동작이 촉발된다. 예를 들어, UAV가 적 목표를 탐지하는 순간 ‘탐지 행위자’의 이벤트가 발생하며, 이후 다른 행위자들의 반응을 유도한다.

둘째, 공유 정보 구조를 활용한다. 행위자 간에 직접적인 연결을 모두 구현하는 대신, 공용의 전장 인식 공간(shared battlefield awareness)을 두어 간접적으로 정보를 주고받는다. 이를 통해 모델의 복잡성을 줄이고, 새로운 행위자가 추가되더라도 구조적 수정 없이 쉽게 통합할 수 있다.

셋째, 우선순위 기반 충돌 해소 로직을 포함한다. 동일한 자극에 대해 복수의 행위자가 동시에 반응하려 할 경우, 시스템은 사전에 정의된 우선순위를 바탕으로 충돌을 조정한다. 이를 통해 불필요한 중복 반응이나 불안정한 동작을 방지한다.

행위자 간 상호작용은 조건 발생 시 반응하는 트리거-응답 구조, 공유 정보 공간을 통한 간접적 소통, 그리고 우선순위 기반 충돌 해소라는 세 가지 원칙으로 구성된다. 이러한 요소들은 개별적으로는 단순하지만, 전체적으로 결합되었을 때 복합적 시나리오 전개를 유연하게 표현할 수 있다.

Fig. 1은 제안된 구조의 전형적인 상호작용 흐름을 시각화한 것이다. 탐지 행위자가 정보를 공유 공간에 갱신하면, 결정 행위자가 이를 바탕으로 전술적 판단을 수행하고, 우선순위/충돌 해소 과정을 거쳐 교란 또는 공격이 선택된다. 이처럼 상단-하단의 2단 구조와 정책 분기 노드는 행위자 기반 접근의 핵심 특징을 보여준다.

이러한 상호작용 규칙은 조건과 반응을 단순 논리로만 정의할 수도 있지만, 확률적 변수나 효과 계수를 포함하도록 설계하면 정책 변화가 성과에 미치는 영향을 정량적으로 비교할 수 있다. 예컨대, 기만기 방출의 타이밍을 조정했을 때 아군 생존율이나 적 탐지 성공률이 어떻게 달라지는지 수치적으로 산출할 수 있다.

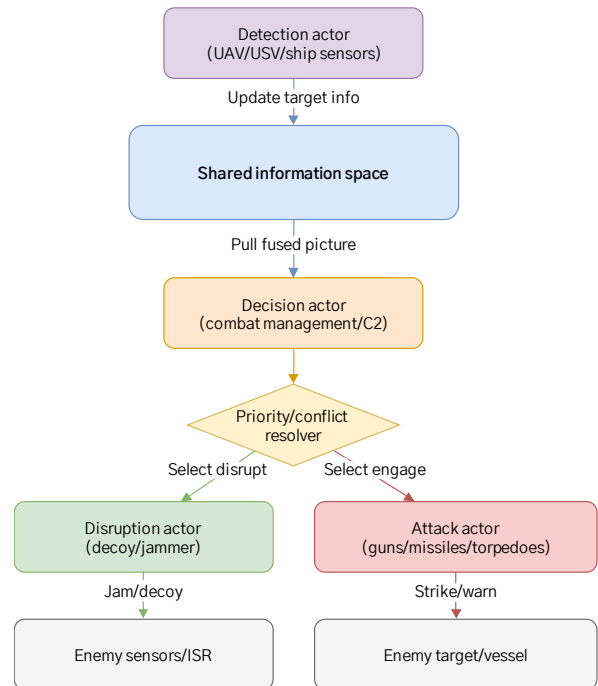


Fig. 1. Interaction structure of actors in the proposed simulation framework

3.3 시나리오 구성 방식

행위자 기반 모델의 시나리오는 단순히 플랫폼의 배열이나 사건의 나열이 아니라, 행위자 집합과 초기 조건, 미션 목표, 그리고 환경 요소로 정의된다. 구체적으로 시뮬레이션은 다음과 같은 단계로 진행된다.

- 초기 상태 설정: 행위자들의 위치, 임무, 상태를 초기화한다.
- 환경 요소 반영: 감지 범위, 기상 조건, 전장 환경 등의 요소를 반영하여 시뮬레이션 조건을 구성한다.
- 행위자별 판단 및 행동 반복: 각 행위자는 자신의 역할과 상황에 따라 독립적으로 판단하고 행동하며, 이 과정에서 다른 행위자와 상호작용한다.
- 시나리오 종료 조건: 미션 목표 달성, 시간 경과, 또는 특정 종료 조건 충족 시 전체 시뮬레이션을 종료한다.

이러한 구성 방식은 단일 이벤트의 발생이나 플랫폼의 독립 수행에 의존하지 않고, 다수의 행위자가 동적으로 상호작용하는 과정을 반복적으로 수행함

로써 복잡적이고 현실적인 시나리오 구현을 가능하게 한다. 또한 초기 조건·환경 요소·종료 조건을 수치화하면 동일한 시나리오를 다양한 설정으로 반복 실험할 수 있고, 이를 통해 민감도 분석이나 정책별 효과 비교도 가능하다.

#### 4. 제안 모델의 적용 시나리오 사례

본 장에서는 제안한 행위자 기반 시뮬레이션 구조가 실제 유·무인 복합체계 운용 시나리오에 어떻게 적용될 수 있는지를 설명하기 위해, 하나의 해상 작전 시나리오를 개념적으로 구성하여 소개한다. 해당 시나리오는 실제 구현이 아닌 개념 수준의 시뮬레이션 적용 예시로, 구조의 타당성과 활용 가능성을 확인하는 데 목적이 있다. 또한 단순히 시나리오의 재현을 넘어, 행위자 기반 접근이 정책 변화나 자원 분배와 같은 운용 전략 비교·분석에도 활용될 수 있음을 보여준다.

##### 4.1 시나리오 개요: 유무인 해상 복합 작전

가상의 상황은 다음과 같다. 해상 전술 환경에서 적 수상 표적이 출현하였고, 아군은 이를 대응하기 위해 유·무인 복합 전력을 운용할 수 있는 조건을 갖추고 있다. 아군 전력은 함정 1척, 무인수상정(USV) 2기, UAV 1기, 그리고 기만기 1기로 구성된다. 이러한 전력 조합은 각 플랫폼이 서로 다른 역할을 수행하면서도 상호 보완적으로 협력하는 전형적인 복합체계 운용 형태를 보여준다.

임무 목표는 다음과 같이 설정된다. 우선, UAV를 활용하여 원거리에서 초기 탐지를 수행한다. 이후 탐지된 정보를 기반으로 USV가 적 표적에 근접하여 교란 임무를 수행하며, 이 과정에서 적의 대응을 분산시키거나 혼선을 유도한다. 최종적으로는 아군 함정이 무장을 운용하여 표적을 제압하는 절차를 수행한다. 추가적으로 상황이 불리하게 전개될 경우에는 기만기를 투입하여 적의 표적 지정을 분산시키고, 아군 주력 자산의 생존성을 높이는 것을 목표로 한다.

이러한 시나리오 전개 과정에서 각 플랫폼은 고유한 행위자로 정의되며, 탐지, 교란, 결정, 공격 등의 역할이 분리되어 모델링된다. 예컨대 UAV는 탐지 행위자로서 초기 탐색 및 목표 식별을 담당하고, USV는 탐

지와 교란을 병행하는 다중 행위자의 역할을 수행한다. 함정은 결정 행위자와 공격 행위자를 동시에 포함하여 전술적 판단과 무력 사용을 담당하며, 기만기는 교란 행위자로 기능한다.

이와 같이 시나리오를 구성함으로써, 제안된 행위자 기반 구조는 단일 플랫폼 중심이 아닌 역할 기반 상호작용을 통해 복합 작전 환경을 자연스럽게 표현할 수 있음을 확인할 수 있다. 특히 탐지 → 정보 공유 → 교란 → 최종 대응 → 기만 투입으로 이어지는 연속적 절차가 행위자 단위에서 구현됨으로써, 기존 이벤트 기반 모델에서 구현하기 어려웠던 협업적 흐름이 보다 명확히 드러난다.

또한 본 사례는 단순한 절차 재현을 넘어, 행위자 역할과 상호작용 규칙을 변수화함으로써 운용 전략이나 정책 변화가 성과에 미치는 영향을 정량적으로 비교할 수 있는 실험틀로 확장될 수 있다. 예컨대 기만기 투입 시점이나 UAV·USV 운용 조합에 따른 탐지율 및 생존율 변화를 수치적으로 산출할 수 있는 기반을 제공한다.

##### 4.2 행위자 정의 및 역할 분담

시나리오에서 각 플랫폼이 수행하는 역할을 행위자 단위로 구분하였다. 이는 행위자 기반 모델링의 핵심인 ‘역할 중심 표현’을 실제 사례에 적용한 것으로, 플랫폼이 아니라 기능적 역할(functional role)을 기준으로 모델을 정의한다는 점에 의의가 있다. 플랫폼별 세부 역할은 Table 2에 제시되어 있으며, 이를 통해 각 플랫폼이 어떤 기능적 행위자로 작동하는지 명확히 확인할 수 있다.

Table 2에서 보듯이 UAV는 탐지 행위자로 정의되어 초기 탐지 임무를 수행하고, USV는 탐지와 교란을 동시에 담당하는 복합 행위자로 설정된다. 함정은 결정 행위자와 공격 행위자를 모두 포함하여 전술적 판단과 무력 대응을 수행하며, 기만기는 교란 행위자로 기능하여 적의 표적 지정을 분산시킨다. 이처럼 동일 플랫폼이 복수의 행위자 역할을 병행할 수 있다는 점은, 플랫폼 중심 모델과 달리 행위자 기반 모델이 가지는 유연성과 확장성을 잘 보여준다. 또한 상황과 임무 목표에 따라 역할 분담을 재구성할 수 있어, 운용 전략 변화에 따른 다양한 분석 시나리오 설계가 가능하다.

**Table 2.** Role assignment of actors in the proposed scenario

Platform	Actor role	Description of function
UAV	Detection actor	Conducts long-range surveillance and initial target identification.
USV (2 units)	Detection actor Disruption actor	Performs close-in reconnaissance while deploying jamming or decoys to confuse enemy sensors.
Naval ship	Decision actor Attack actor	Executes tactical decision-making and delivers final engagement with shipborne weapons.
Decoy	Disruption actor	Distracts or misleads enemy targeting systems to increase survivability of friendly assets.

4.3 시나리오 전개 흐름

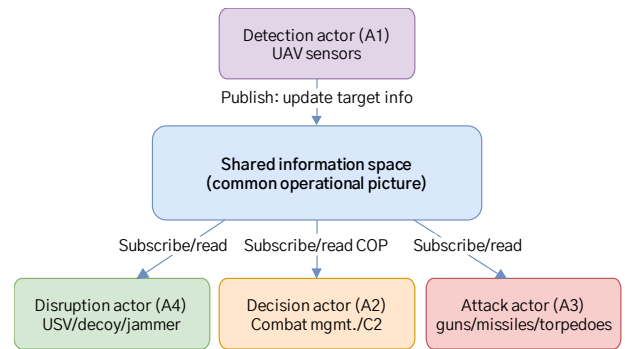
본 시나리오는 행위자 단위의 상호작용을 중심으로 단계적으로 전개된다. 우선, UAV(A1)가 탐지 행위자로서 임무를 수행하며 적 표적을 식별한다. 탐지된 정보는 곧바로 공유 정보 공간에 업데이트되어, 이후 다른 행위자들이 동일한 전장 상황을 인식하게 된다.

Fig. 2는 탐지 행위자가 획득한 정보를 공유 정보 공간에 게시(publish)하고, 다른 행위자들이 이를 구독(subscribe)하여 동일한 전장 상황 인식을 확보하는 과정을 시각화한 것이다. UAV는 장거리 탐지를 통해 적 표적을 식별한 뒤 그 결과를 공유 공간에 반영하며, 결정·교란·공격 행위자는 이 정보를 기반으로 일관된 전장 인식을 형성하고 후속 행동을 이어간다. 이러한 구조를 통해 행위자 간 정보 동기화가 보장되며, 시나리오 전체의 판단과 대응이 동일한 상황 인식하에서 이루어질 수 있다.

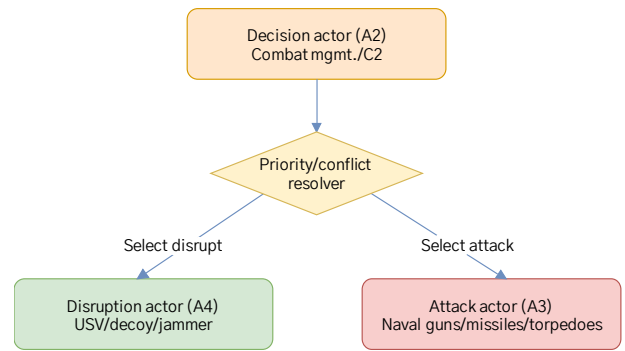
다음 단계에서는 결정 행위자(A2)가 전체 상황을 분석한다. A2는 적의 전력 상태와 아군의 가용 수단을 고려한 결과, 교란과 무력 대응을 병행하는 전략을 선택한다. 이에 따라 교란 임무를 담당하는 행위자(A4)에게는 접근 및 교란을 지시하고, 공격 행위자(A3)에게는 무력 대응 준비를 명령한다.

Fig. 3는 결정 행위자의 의사결정 과정을 나타낸 도식이다. 공유 정보 공간에서 수집된 정보를 바탕으로 전술적 평가가 이루어지며, 결과에 따라 교란 또는 공격이 선택된다. 이 과정은 단순한 이벤트 트리거 방식이 아니라, 정책 분기와 우선순위 해소 과정을 통해

복합적인 전략을 선택할 수 있음을 보여준다.



**Fig. 2.** Information flow from the detection actor to the shared information space



**Fig. 3.** Decision actor process and branching toward disruption or attack

앞선 Fig. 2가 행위자 간 정보 동기화 과정을 보여준다면, Fig. 3는 동일한 정보 기반 위에서 결정 행위자가 정책을 선택하고 이를 교란 및 공격으로 분기하는 절차를 강조한 것이다. 두 그림은 각각 정보 공유 단계와 의사결정 단계를 시각화한 것으로, 상호 보완적으로 제안 구조의 흐름을 설명한다.

교란 단계에서는 USV와 기만기로 구성된 행위자(A4)가 적 표적을 향해 접근한다. 일정 거리 이내로 진입하면 기만기를 방출하여 적의 탐지체계를 혼란시키고, 아군 주력 자산에 가해질 위협을 분산시킨다.

마지막으로 공격 또는 경고 대응 단계에서, 공격 행위자(A3)는 적의 반응을 평가하여 경고 차원의 대응을 선택할지, 실제 무력 사용에 나설지를 결정한다. 상황에 따라 필요 시 추가 행위자(A5)가 비치명적 대응을 수행함으로써 교전의 강도를 조절할 수 있다.

Table 3는 시나리오 전개 과정에서 행위자들이 시간의 흐름에 따라 수행하는 행동을 단계별로 정리한 것이다. Table 2가 플랫폼별 정적인 역할 정의를 보여

준다면, Table 3는 이러한 역할이 실제 시나리오 절차 속에서 어떻게 동적으로 발현되는지를 나타낸다.

**Table 3.** Actor-to-action mapping in scenario progression

Scenario step	Actor(s) involved	Action performed
Initial detection	UAV (detection actor)	Conducts long-range surveillance and updates the shared information space.
Tactical decision	Naval ship (decision actor)	Evaluates situation and selects combined disruption/attack strategy.
Disruption phase	USV + decoy (disruption actor)	Approaches target, deploys decoys/jamming to confuse enemy sensors.
Engagement phase	Ship weapons (attack actor)	Executes warning fire or lethal strike against enemy target.
Optional response	Auxiliary actor (A5)	Performs non-lethal or limited-response actions to adjust engagement intensity.

초기 탐지 단계에서는 UAV가 공유 공간을 갱신하여 전장의 기초 정보를 제공하고, 전술 판단 단계에서는 결정 행위자가 종합적인 상황 인식을 바탕으로 교란·공격 전략을 선택한다. 이어지는 교란 단계에서는 USV와 기만기가 협력하여 적의 탐지체계를 혼란시키며, 공격 단계에서는 함정의 무장이 최종 대응을 수행한다. 필요에 따라 추가 행위자가 비치명적 조치를 취함으로써 교전 강도를 조절할 수도 있다. 이 표를 통해 행위자 기반 모델이 단순한 역할 정의를 넘어,

실제 운용 절차 속에서의 협업적 상호작용을 구체적으로 드러낼 수 있음을 확인할 수 있다.

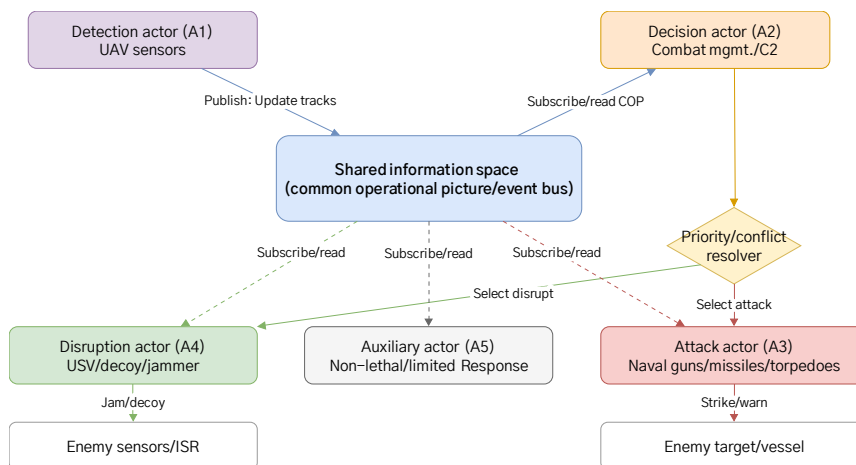
이와 같이 시나리오 전개는 행위자 간의 연속적인 판단-행동-상호작용으로 구성되며, 플랫폼 단위가 아닌 역할 단위의 협업 절차가 자연스럽게 구현된다. 이러한 구조는 복합 작전 상황에서의 동시성, 분기, 협업 효과를 시각적으로 명확히 드러내며, 기존 이벤트 기반 시뮬레이션의 한계를 보완하는 특징을 가진다.

#### 4.4 시뮬레이션 구성 예시

본 시나리오의 흐름은 행위자 간 정보 전달과 역할 수행을 중심으로 한 시뮬레이션 구조로 구체화될 수 있다. UAV(A1)가 탐지를 통해 공유 정보 공간을 갱신하면, 결정 행위자(A2)는 이를 바탕으로 전술 결정을 내린다. 이후 교란 행위자(A4)와 공격 행위자(A3)가 각각의 역할에 따라 행동을 개시하며, 이 과정에서 상호작용은 시간 순서가 아니라 조건과 자극(trigger)에 의해 유연하게 전개된다.

Fig. 4는 제안된 시나리오를 행위자 기반 시뮬레이션 구조로 구성했을 때의 개념도를 나타낸다. 탐지-판단-교란-공격 단계가 단일 시퀀스가 아니라, 각 행위자가 독립적으로 공유 정보 공간을 참조하고, 조건이 충족되면 즉시 반응하도록 설계된다. 이를 통해 복수의 행위자가 동시에 활동할 수 있으며, 실제 전장과 유사한 비선형적 상호작용을 재현할 수 있다.

이와 같은 행위자 중심 구성은 전통적인 플랫폼 중심 시뮬레이션과 뚜렷한 차이를 가진다. 기존 모델에서는 플랫폼 단위의 순차적 동작을 나열하는 데 그쳤



**Fig. 4.** Actor-based simulation configuration of the proposed scenario

다면, 행위자 기반 구조에서는 역할 단위의 상호작용이 중심이 되며, 복합적인 협업 절차를 자연스럽게 표현할 수 있다. 특히 UAV의 탐지, USV의 접근·교란, 함정의 무력 대응이 동시에 전개되는 상황을 구현할 수 있어, 플랫폼 간의 병렬적·비선형적 관계를 모의하는데 강점을 가진다.

최종적으로, 제안된 시뮬레이션 구성은 단순히 시나리오를 재현하는 수준을 넘어 전장 상황에서의 동시성(concurrency), 정책 분기(policy branching), 상호작용의 유연성을 구조적으로 담아낼 수 있다는 점에서 의의가 있다. 이는 향후 정책 변화나 자원 배분 시나리오를 비교 분석하는 기반으로 활용될 수 있다.

#### 4.5 적용 시 기대 효과

제안된 행위자 기반 시뮬레이션 구조는 단순히 시나리오를 재현하는 수준을 넘어, 다음과 같은 기대 효과를 가진다.

첫째, 구조적 확장성이다. 플랫폼이 추가되거나 변경되더라도 해당 플랫폼에 대응하는 행위자의 역할 정의만 수정하면 되므로, 전체 시뮬레이션 구조를 재작성할 필요가 없다. 이는 다양한 전력 구성을 실험하거나 새로운 무인 자산을 통합할 때 유리하다.

둘째, 전술적 유연성 확보다. 시나리오 단위에서 협업 전략을 설계할 수 있으므로, UAV의 수량, 기만기 투입 시점, 공격 우선순위와 같은 정책 변화를 변수로 설정하여 전략적 대안을 비교할 수 있다. 이를 통해 정량적 효과도 분석이나 운용 전략 검토가 가능하며, 의사결정 지원 도구로 활용될 수 있다.

셋째, 실험·훈련 응용 가능성이다. 실제 무기체계 구현 이전 단계에서 다양한 전장 상황을 재현할 수 있으므로, 개념연구와 교리 개발, 그리고 교육·훈련용 시뮬레이터 설계에도 활용할 수 있다. 특히 플랫폼 중심 모델로는 표현하기 어려운 다수 행위자의 동시성, 정책 분기, 상호작용의 비선형성까지 반영할 수 있어 훈련 효과의 현실성을 높일 수 있다.

결국 행위자 기반 시뮬레이션은 단순한 성능 검증을 넘어, 전장 개념 설계-전술 평가-훈련 응용으로 이어지는 연속적 활용이 가능하다. 이는 기존 이벤트 기반 시뮬레이션의 한계를 보완하면서, 미래 복합 전장 환경을 모의하는 데 필요한 유연하고 개방적인 프레임워크로 발전할 수 있음을 의미한다.

## 5. 결론

본 연구에서는 유·무인 복합체계 간 협업을 효과적으로 모의하기 위한 새로운 시뮬레이션 모델로서 행위자 기반 시나리오 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 기존 플랫폼 중심 모델의 한계를 보완하고, 역할 단위의 유연한 시나리오 구성을 가능하게 하며, 각 행위자의 자율적 판단과 상호작용을 구조적으로 반영할 수 있도록 설계되었다.

해상 복합 작전 시나리오를 통한 개념적 검토 결과, 제안 구조는 전술적 협업 절차의 표현, 모듈화된 시뮬레이션 구성, 정보 공유 기반의 상호작용 등에서 기존 이벤트 기반 구조 대비 뚜렷한 장점을 보여주었다. 특히 탐지-판단-교란-공격으로 이어지는 협업의 흐름을 행위자 단위로 독립적이면서도 상호가 연결되도록 구현할 수 있음을 확인하였으며, 정책 변수(탐재 수량, 투입 시점 등)의 변화를 반영하여 정량적 효과도 분석이나 운용 전략 비교로 확장할 수 있는 가능성을 제시하였다.

다만 본 연구는 개념적 제안 단계에 머물러 있어 정량적 성능 평가, 복수 행위자 간 충돌 해소 로직, 실제 C2 체계와의 연계성 측면에서 보완이 필요하다. 향후 연구에서는 특정 교전 시나리오를 바탕으로 한 사례 연구를 통해 행위자 모델을 보다 정형화하고, 분산형 시뮬레이션 구조 및 전술적 효용성 평가 방안을 구체화함으로써 발전시킬 수 있을 것이다.

제안된 구조는 특히 전술 개념 정립, 협업 전략 검토, 교육·훈련 시뮬레이터 설계와 같은 분야에서 활용 가능하며, 구조적 유연성과 개방성을 바탕으로 향후 방위산업 시뮬레이션 프레임워크의 핵심 요소로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- [1] V. Jnitova, S. Elsayah, and M. Ryan, "Review of Simulation Models in Military Workforce Planning and Management Context," *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, Vol. 14, No. 4, pp. 447-463, 2017. DOI: 10.1177/1548512917704525.
- [2] J. M. Carboni, "The Effect of Modeling Simultaneous Events on Simulation Results," M.S. thesis, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, OH, USA, Mar. 2019.
- [3] X. Song, Y. Wu, Y. Ma, Y. Cui, and G. Gong, "Military

Simulation Big Data: Background, State of the Art, and Challenges,” *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2015, Article ID 298356, 2015.

DOI: 10.1155/2015/298356.

[4] H. Shi, S. Li, Z. Huang, S. Li, and A. L. Y. Zhou, “Manned and Unmanned Aerial Vehicles Cooperative Combat Framework Based on Large Language Models,” *International Council of Aeronautical Science: School of Aeronautic Science and Engineering*, Beihang University, pp. 2–23, 2024.

[5] H. Hua, F. Zhu, Y. Yao, and W. Tang, “Multi-agent Dynamic Interaction in Simulation of Complex Adaptive Systems,” in *Proceedings of the 16th International Conference on Advances in System Modeling and Simulation (SIMUL 2024)*, IARIA, 2024.

[6] J. McAffer, *A Simulation System Based on the Actor Paradigm*, Defence Research Establishment Ottawa (DREO), Technical Note DREO-TN-89-4, Ottawa, Canada, Feb. 1988.