

## 대 잠수함 HVU 호위 임무 분석 모델링 및 시물레이션

박강문 · 이은복 · 신석훈 · 한승진 · 지승도\*

### Modeling and Simulation for Anti-submarine HVU Escort Mission

Kang-Moon Park · Eun-Bog Lee · Suk-Hoon Shin · Seungjin Han · Sung-Do Chi\*

#### ABSTRACT

Most warship combat systems inquire human operator to control several sensor and another equipments as well as decision-modeling. For this reason, many researches with multi-agent based M&S (Modeling and Simulation) have been increasingly conducted. However there cannot find any researches of M&S based analysis for anti-submarine warfare that requires a high level of mission complexity between multiple platforms. In this research, we have been developed various combat platform models such as warship, submarine and helicopter, etc. In order to apply the multi-agent-based M&S technology to the anti-submarine warfare i.e. a HVU (High Value Unit) escort mission scenario. Then we have successfully analyzed the measures of effectiveness according to the different tactics and different situations. In future, the defence engineer maybe employ our methodology and tools to analyze actual tactical problem by simply inserting actual data into our agent model.

**Key words** : M&S, Multi agent, Anti-submarine tactics

#### 요약

함정 전투체계는 각종 센서 및 무장을 포함한 플랫폼들을 효율적으로 통제하기 위해서 운용자의 개입을 필요로 한다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 다중 에이전트 기반의 M&S(Modeling and Simulation) 기술이 도입되어 다양한 연구가 이루어져 왔다. 하지만 다중 플랫폼간의 높은 임무 복잡도를 필요로 하는 대 잠수함 전투에 있어서는 M&S 시스템을 통한 전술에 관한 연구가 거의 진행되지 않은 실정이다. 본 연구에서는 다중 에이전트 기반의 M&S 기술을 대 잠수함 전투에 적용하였다. 이를 위해 함정, 잠수함, 헬기 등 다수의 플랫폼을 에이전트 기반으로 모델링함으로써 HVU(High Value Unit) 호위 임무를 위한 모델 구조를 제시하였다. 이를 통해 다양한 전장상황에 대한 다양한 전술 효과도를 분석할 수 있었다. 그 결과 조건별 최적의 전술적 효과를 확인할 수 있었다. 국방 관계자들이 본 연구에서 제안한 방법론을 도입하여 상세한 모델 변수값들을 대입한다면 보다 실질적인 대 잠수함 전술 효과도를 분석해 낼 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어** : M&S, 다중 에이전트, 대 잠수함 전술

## 1. 서론

함정 전투체계는 각종 센서 및 무장을 포함한 플랫폼들을 효율적으로 통제하기 위한 운용자의 영향이 매우 큰 의사결정 중심의 시스템이다. 이러한 시스템은 운용자의 개입이 필수적이다. 그 때문에 반복적인 실험이 어렵고 결과가 운용자의 능력에 의존적일 수밖에 없다.

이러한 문제점들을 극복하기 위해서 에이전트 기반의 M&S(Modeling and Simulation) 시스템들이 활발히 연구되고 있다. 이에 따라 전장을 묘사, 설계, 평가하는 등 고도로 복잡한 대상시스템을 모델링하고 개체간의 관계

\*이 논문은 국방과학연구소 UD110040DD 해양무기체계 전투실험을 위한 전투개체 모델링 기법 연구와 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 ICT융합고급인력과정 지원사업(NIPA-2014-H0401-14-1021)의 연구결과로 수행되었음.

**Received:** 27 November 2014, **Revised:** 12 December 2014,  
**Accepted:** 18 December 2014

**\*Corresponding Author:** Sung-Do Chi  
E-mail: sdchi@kau.ac.kr  
Korea Aerospace University

들과 이로 발생하는 다양한 상황을 모의하는 수준에 이르렀다(Seo et al., 2011; Li et al., 2005; 지승도 et al., 2008). 또한 에이전트 기반의 M&S 시스템에서는 높은 자율성을 갖는 전투개체 모델링이 용이하기 때문에, 에이전트 기반의 M&S 시스템을 통해 전술을 생성하거나 표현하는 연구가 활발히 진행되고 있다(정찬호 et al., 2011, 신석훈 et al., 2013).

한편 함정 호위를 비롯한 함정 전술 운용에 있어서 적군의 잠수함을 탐지하고 대응하는 데 잠수함 전술분석이 매우 중요한 것으로 알려져 있지만(Zeigler, 1989), 아쉽게도 M&S를 통한 체계적인 연구는 아직까지 시도된 바가 없다.

본 연구에서는 대 잠수함 협력 전술의 효과도 분석을 위해 대 잠수함 HVU(High Value Unit) 호위 전장 상황을 에이전트 기반으로 모델링하고 시뮬레이션 하였다. 이를 통해 적군과 아군의 성능격차에 따른 전술효과도를 성공적으로 분석할 수 있었다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 대잠 임무와 함정 시뮬레이션에 관련된 연구들을 요약한다. 3장에서는 대잠 임무와 협력 전술에 대한 모델링 방법을 설명하고 4장에서는 사례연구 결과를 분석한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 대 잠수함 시뮬레이션 연구

해상 전투에 있어서 잠수함과 어뢰처럼 해저에서 움직이는 물체들은 전장 상황을 매우 복잡하게 만든다. 이런 전장 시스템을 설계하고 분석하기 위해서는 다양한 M&S 기술이 필요하다. 다중 에이전트 기반의 시뮬레이션은 국방 분야에서 가장 최신의 기술로, 복잡한 시스템을 표현하는데 적합하다(Ibrahim et al., 2010). 대표적 예로는 DEVS(Discrete Event System Specification)(Zeigler, 1989) 기반의 M&S 환경을 위한 에이전트 모델인 Expert-Agent 모델에 관한 연구(Shin et al., 2013), DEVS 기반의 해저 전장 시스템 M&S 연구가 있다(Buisignies et al., 1988).

이들 연구는 대 어뢰 전투 시스템의 분석 모델링을 중심으로 진행된 바, 특히 함정과 어뢰 등을 상세히 표현함으로써 공학급에서 교전급에 이르기까지의 성능분석에 성공적으로 적용된 바 있다. 하지만 임무급에서 필요로 하는 전술 분석적인 측면까지는 시도된 바가 없다.

### 2.2 다중 에이전트 간의 협력에 관한 연구

임무복잡도가 증가할수록 협력작업은 더욱 중요해 진

다. 이를 위해서는 다중 에이전트를 이용한 협력 연구가 필요하다(Huang et al., 2009). 따라서 임무 복잡도는 물론 다중 플랫폼 간에 복잡한 전장양상을 갖게 되는 함정 전투에 있어서 협력전술의 운용은 핵심적 요소가 되었다.

이를 위한 대표적인 연구로는 다중 에이전트 기반의 육군 유닛 전투 시뮬레이션 연구(Ibrahim et al., 2010)와 유전 알고리즘을 이용한 협력 전술 생성 연구(정찬호 et al., 2011; 이성용 et al., 2010)를 들 수 있다. Ibrahim의 연구에서는 주어진 환경 안에서 각자의 역할을 수행하는 에이전트들로 구성된 시뮬레이션을 모델링하였는데, 각각의 에이전트들이 개인에게 주어진 역할만 수행하고 서로 간의 협력은 존재하지 않는다는 단점이 있다. 정찬호의 연구는 유전 알고리즘을 통해 드러나는 창발성을 전술 생성에 적용시켰다는 점에서 칭찬 받을만하지만 방법론 중심적인 연구에 머문 아쉬움이 있다. 즉 단순한 함대 간 전투 등에 그침으로써, 잠수함을 포함한 이종의 다중 플랫폼간의 복잡한 임무를 표현할 수 없는 한계점을 갖는다.

## 3. 대 잠수함 HVU 호위 임무를 위한 에이전트 모델링

### 3.1 임무 시나리오

잠수함은 단일 함정만으로도 하나의 함대 수준의 화력을 갖는다. 따라서 함정으로써 잠수함에 대응하기 위해서는 다수의 함정이 필요하다. 즉 Fig. 1에 묘사된 바와 같은 대잠수함 작전 임무가 요청된다.

Fig. 1에서 아군은 HVU 한척을 수상함 다섯 대가 호위해서 목표 위치에 도달하도록 하는 것이 임무이다. 해상에는 아군이 적 잠수함으로 오인할 수 있는 허위 잠수함 표적(바위와 같은 해저상의 자연적 장애물) 여러 개가 임의로 퍼져있고, 그 사이에 적 잠수함 한척이 대기하고 있다. HVU를 호위하는 아 수상함 다섯 척은 목표 위치까지 이동하는 동안 탐지 범위에 식별되지 않은 표적이 나타나면 이동을 멈추고 탑재하고 있던 헬기를 식별 대상 표적에게 보낸다. 출동된 헬기는 디핑소나를 사용하여 해당 표적을 식별하고 식별 정보를 수상함에게 보낸다. 수상함의 명령에 따라, 전투 여부를 결정한다. 만약 표적이 적 잠수함으로 식별된다면 공격을 할 수도 있고 상황에 따라서 (전술적 고려에 따라) 무시하고 이동할 수도 있다. 한편 적 잠수함은 특정 위치에 대기하고 있다가 아 수상함 또는 HVU가 탐지 범위 내에 들어오면 공격을 위해 이동하고 어뢰를 발사한다. 아 수상함 또한 정해진 탐지 거리 내에 들어온 표적에게 어뢰를 발사할 수 있다.

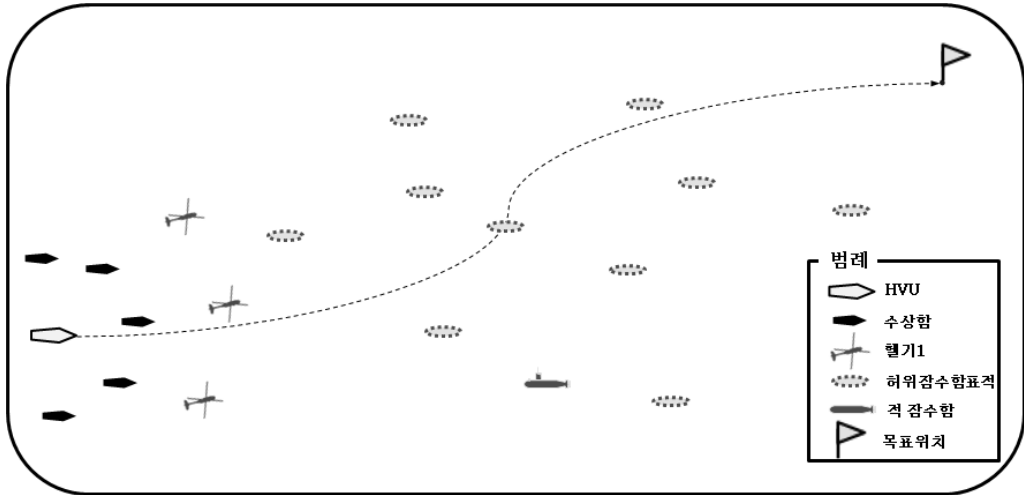


Fig. 1. Anti-submarine HVU escort mission conceptual diagram

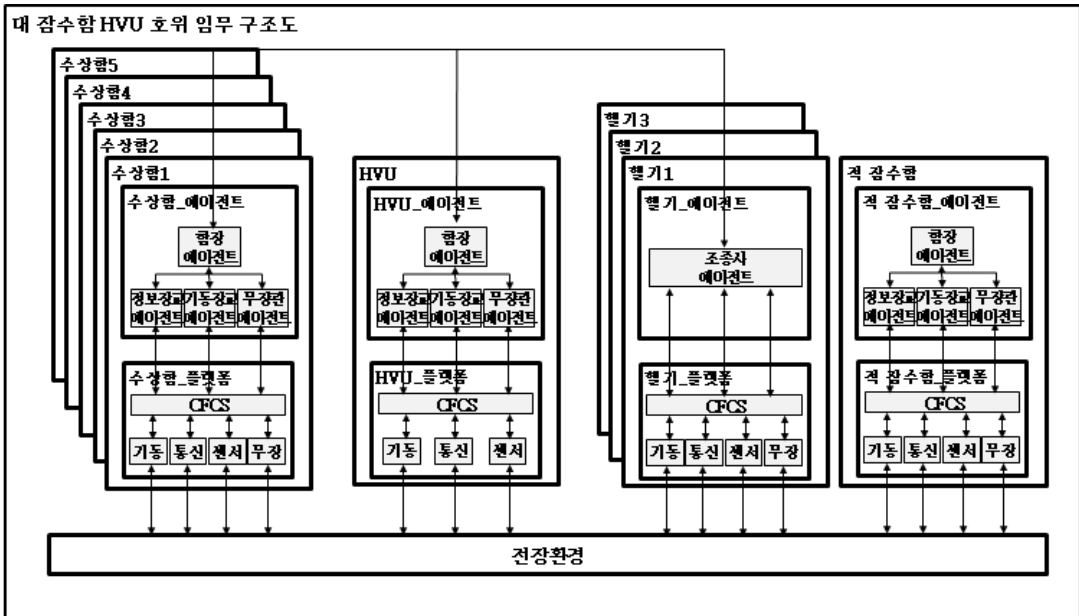


Fig. 2. Anti-submarine HVU escort mission structural diagram

만약 아군 HVU가 목표 위치에 무사히 도달하거나 적 잠수함이 피격되면 아군이 승리하게 되고, 아군 HVU가 피격되면 아군이 패배한다.

이와 같은 시나리오를 가정하였을 때, 아군이 취할 수 있는 기본적인 전술은 다음과 같다. 첫째 모든 함정이 적 잠수함이나 허위 표적과는 무관하게 오로지 목표 위치만을 향해서 돌진하는 각개 전술, 둘째 각 함정들이 각자의 역할을 맡아 허위 잠수함이나 적 잠수함을 탐색해가며 목

표를 향해 이동해 가는 협력 전술이 있다.

### 3.2 플랫폼 별 에이전트 구성

앞서 제시한 대잠수함 호위임무 모델링을 위해 다중 에이전트 아키텍처를 구성하였다(Fig. 2 참조). 먼저 함정 에이전트는 세부적 역할에 따라서 함장 에이전트, 정보장교 에이전트, 기동장교 에이전트, 그리고 무장관 에이전트로 구성된다. 함장 에이전트는 정보장교에게서 주변 탐

```

move(); //주어진 위치로 이동
sensing(); //센서에서 센싱 정보를 받음
if(detect) //물체가 발견되면
    report(something); //정보장교 에이전트에게 물체 발견 보고
if(command_classify) //기동장교 에이전트에게서 식별 명령
    classify(); //발견된 표적을 식별하기 위해서 헬기 출력
if(command_warning) //정보장교 에이전트에게서 경고 명령을 받으면
    communicate(); //전체 함정들에 경고
if(command_stop) //기동장교 에이전트에게서 정지 명령
    stop(); //제자리에 정지
report(classified_data) //식별된 정보를 정보장교 에이전트에게 보고
if(command_fire) //무장관 에이전트에게서 공격 명령
    fire(); //공격 개시
    
```

Fig. 3. CFCS의 수도코드

색 정보를 받아들인다. 그리고 그 정보와 현재 상황에 따라 행동여부를 판단한 뒤 기동장교 에이전트 또는 무장관 에이전트에게 적절한 명령을 내리거나 정보장교 에이전트를 통해 다른 함정에게 협력을 요청/제공한다. 정보장교 에이전트는 외부에서 주어진 데이터를 종합하여 정보로 가공한 뒤 함장 에이전트에게 보고한다. 또는 다른 함정으로부터 받은 협력 요청 정보를 함장에게 전달하는 역할도 한다. 기동장교 에이전트는 함장 에이전트에게 받은 이동 및 정지 명령을 수행하는 역할을 한다. 그리고 무장관 에이전트는 함장 에이전트에게 받은 공격 및 탐지 명령을 시행하는 역할을 한다.

헬기 에이전트는 조종사 에이전트로만 구성된다. 조종사 에이전트는 함정의 무장관 에이전트로부터 명령을 받아 탐지 및 공격 행위를 수행한다.

### 3.3 플랫폼 별 전술 순서

함정은 시뮬레이션 시작과 동시에 기동 및 탐색을 진행한다. 탐색 도중 탐지 범위 안에 무엇인가 발견되면 식별을 위한 작전이 개시된다. 먼저 대기하고 있던 헬기를 출동시킨다. 만약 모든 헬기가 표적 식별을 위해 이미 출동된 경우에는 함정이 직접 움직여서 식별을 할 수도 있다. 식별 결과 대상체가 적 잠수함으로 확인된다면 전체 함정들에 위협 경보를 보내고 어뢰로 공격을 시도한다. 만약 식별 결과 대상체가 적 잠수함이 아닌 허위표적이라면 재기동하면서 탐색을 계속한다. HVU와 적 잠수함도 이와 유사한 작전을 펼치게 된다. 단, HVU는 공격을 하

지 않고, 적 잠수함은 적 함 식별 시 헬기를 사용하지 않는다는 점이 다르다.

헬기는 식별 명령을 받으면 표적의 위치로 이동한 뒤 디핑소나를 사용해서 식별을 시작한다. 그리고 대상체의 식별 정보를 아 수상함으로 전달한 후에 소속 수상함으로 복귀한다.

## 4. 시뮬레이션 검증

### 4.1 대 잠수함 HVU 호위임무 에이전트 모델링

#### 4.1.1 수상함

수상함 에이전트는 함장 에이전트, 정보장교 에이전트, 그리고 무장관 에이전트로 구성된다. 각 에이전트 모델들은 DEVS 확장 모델인 Expert-Agent 모델(신석훈 et al., 2013) 기반으로 설계되었다. 함장 에이전트는 주어진 정보에 따라서 정보장교 에이전트, 기동장교 에이전트, 그리고 무장관 에이전트에게 이동 명령, 정지 명령, 식별 명령, 공격 명령을 내린다. 그리고 정보장교 에이전트는 수상함 플랫폼 모델의 센서에서 받아온 탐지 정보를 판단해서 함장에게 전달하고 다른 수상함에게 전할 메시지를 전달해주는 역할을 한다. 이런 메시지 전달을 통해서 각 함정들이 협력을 하고 효율적인 전술 수행이 가능하게 된다. 기동장교 에이전트는 함장이 내린 명령에 따라서 목표점 또는 표적을 향해서 이동하거나 제자리에 정지하는 역할을 수행한다. 그리고 무장관 에이전트는 표적을 식별하기 위해서 헬기를 출격시키거나 적 잠수함을 향해서 어뢰를 발사하는 역할을 한다.

수상함의 움직임에 직접적으로 관여하게 되는 플랫폼 모델은 CFCS(Control Force Commands), 기동 모델, 통신 모델, 센서 모델, 그리고 무장 모델로 구성된다.

Fig. 3에서는 플랫폼모델 중 핵심적인 역할을 하는 CFCS모델의 수도코드를 표현하였다. CFCS는 각 에이전트들에게 받은 명령을 수행하기 위해서 하부 모델인 기동 모델, 통신 모델, 무장 모델에게 구체적인 지시를 하는 역할을 수행한다. 그리고 또한 센서 모델과 다른 플랫폼의 통신 모델에게서 받은 정보를 정보장교 에이전트에게 보고하기 위해서 정보를 가공하는 역할을 한다.

#### 4.1.2 헬기

헬기 에이전트는 수상함과는 달리 조종사 에이전트 하나로 구성되어있다. 조종사 에이전트는 수상함으로부터 식별 명령을 받게 되면 표적을 향해 이동 후 표적을 식별

R1 : IF 시뮬레이션 시작, THEN 이동 명령 R2 : IF 적으로 식별, THEN 공격 명령 R3 : IF 물체 탐지 보고, THEN 정지 명령 R4 : IF 물체 탐지 보고, THEN 식별 준비 R5 : IF 식별 준비 완료, THEN 식별 명령 R6 : IF 허위 표적으로 식별, THEN 이동 준비 R7 : IF 이동 준비 완료, THEN 이동 명령
(a) Captain agent
R1 : IF 물체 탐지, THEN 탐지 보고 R2 : IF 허위 표적 식별, THEN 허위 표적 식별 보고 R3 : IF 적으로 식별, THEN 적 잠수함 식별 보고
(b) Information officer agent
R1 : IF 이동 명령, THEN 목표지점을 향해 이동 R2 : IF 이동 준비 완료, THEN 목표지점을 향해 이동 R3 : IF 정지 명령, THEN 정지 R4 : IF 식별 명령, THEN 표적을 식별
(c) Shipping officer agent
R1 : IF 공격 명령, THEN 표적 공격
(d) Fire officer agent

Fig. 4. Tactical rule for our surface ship using attack first tactic

한다. 플랫폼 모델은 수상함과 동일하게 구성되었다.

### 4.1.3 적 잠수함

적 잠수함 에이전트는 수상함과 같이 함장 에이전트, 정보장교 에이전트, 그리고 무장관 에이전트로 구성된다. 하지만 적 잠수함 에이전트는 표적 식별 시에 헬기를 사용하지 않는다. 플랫폼 모델 또한 수상함과 구성은 같지만 이동 속도, 식별 거리, 공격 거리 등 내부 변수 값이 다르게 구성되어있다.

## 4.2 시뮬레이션 검증

대 잠수함 전술 시뮬레이션의 타당성 검증을 위해 두 가지 전술을 각각 시뮬레이션하였다. 첫 번째 전술은 적 잠수함을 발견 시 우선적으로 공격을 하는 공격 우선 전술이다. 두 번째 전술은 적 잠수함이나 허위표적의 유무에 상관없이 목표 지점만을 향해서 나아가는 목표 우선 전술이다. Fig. 4는 공격 우선 전술에서 각 에이전트들을 구성하는 규칙들을 표현하고 있다.

반면에 목표 우선 전술의 경우에는 허위표적이나 적 잠수함의 발견 유무와는 상관없이 목표지점에 도달하는 것을 최우선으로 삼기 때문에 함장 에이전트는 이동 명령 외에 다른 명령은 내리지 않도록 설계하였다.

실험의 용이성을 위하여 아군의 탐지거리는 15km로 고정하였으며, 적군의 탐지거리는 10km부터 5km씩 증가

시켜 30km까지 각각 다섯 가지 경우를 실험하였다.

즉, 탐지거리에 있어서 아군의 성능과 적군의 성능 간의 차이가 전술 효과면에서 어떤 차이를 보이는지 비교해 보았다.

허위표적 개수는 5개로 고정하였다. 허위표적 개수 변화에 따른 전술효과도 분석은 향후 연구에서 다룰 계획이다. 탐지 거리에 따른 탐지율은 Fig. 5와 같으며 무기체계 공학에서 활용되는 바 2차방정식 (1)을 따른다. 식 (1)에서 상수 a는 최대 탐지 거리에 따라서 달라지는데, 최대 탐지거리를 결정하는 역할을 한다. 그리고 식 (1)에서 x에 최대탐지거리를 대입할 때 탐지율을 0으로 계산하면 2차 방정식의 기울기인 a는 식 (2)로 유도된다.

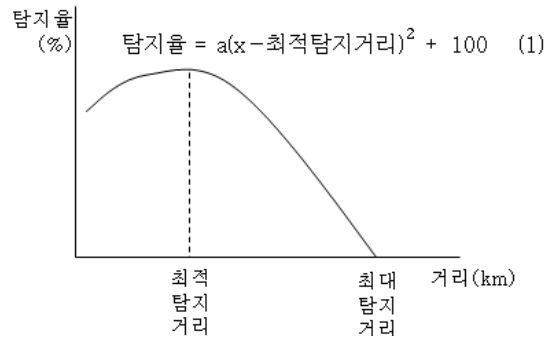


Fig. 5. Detecting rate by detecting distance

$$a = \frac{100}{(\text{최대탐지거리} - \text{최적탐지거리})^2} \quad (2)$$

이를 토대로 실행한 시뮬레이션은 Table 1에서와 같이 상세하게 진행된다. 지면 제약상 표에서는 전체 시뮬레이션 중 적 잠수함이 아 수상함을 선제공격 하는 부분적인 상황만을 담고 있다. 아 수상함들은 HVU를 호위하여 목표 지점을 향해 전진하던 도중 허위표적을 발견하고 식별하기 위해서 3번 수상함이 다가간다. 이 때 적 잠수함이 아군의 3번 수상함을 발견하고 어뢰로 선제공격하는 모습이다. Table 1은 이 과정에서 모델들 간에 주고받는 정보들을 상세히 보여준다. 이러한 세밀한 움직임들이 모여서 최종적인 효과도 분석 결과를 제공해 주게 된다.

### 4.3 시뮬레이션 결과 분석

두 전술 간의 효과도 분석을 위해 목표 달성율, 목표 달성 시간, 아군 피해율 등 3가지 지표를 MOE(Measure of Effectiveness)로 정하여 분석하였다. 본 연구에서는

**Table 1.** Internal state at simulating time

시물레이션 시간(SimTime) : 적 잠수함의 선제공격(SimTime : 59)	
상황도	
아 수상함	적 잠수함
<ol style="list-style-type: none"> <li>① 센서에서 발견한 표적의 정보를 CFCS로 전달</li> <li>② CFCS에서 표적 발견 사실을 규칙의 형태로 변환해서 정보장교 에이전트에 전달</li> <li>③ 정보장교는 “IF 물체 탐지, THEN 탐지 보고” 규칙에 따라서 함장에게 탐지 보고</li> <li>④ 함장은 “IF 물체 탐지 보고, THEN 정지 명령”, “IF 물체 탐지 보고, THEN 식별 준비”, 그리고 “IF 식별 준비 완료, THEN 식별 명령” 규칙에 따라서 기동장교에게 정지 및 식별 명령</li> <li>⑤ 기동장교는 “IF 정지 명령, THEN 정지”와 “IF 식별 명령, THEN 표적을 식별” 명령에 따라서 정지 및 표적 식별 지시</li> <li>⑥ 기동장교의 지시에 따라서 CFCS는 기동 모델에게 정지 신호와 헬기 출력 신호 전달</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 센서에서 식별한 표적의 정보를 CFCS로 전달</li> <li>② CFCS에서 적군 발견 사실을 규칙의 형태로 변환해서 정보장교 에이전트에 전달</li> <li>③ 정보장교는 “IF 적으로 식별, THEN 적 잠수함 식별 보고” 규칙에 따라서 함장에게 적군 식별 보고</li> <li>④ 함장은 “IF 적으로 식별, THEN 공격 명령” 규칙에 따라서 무장관에게 공격 명령</li> <li>⑤ 무장관은 “IF 공격 명령, THEN 표적 공격” 명령에 따라서 표적 공격 지시</li> <li>⑥ 무장관의 지시에 따라서 CFCS는 무장 모델에게 공격 신호 전달</li> </ol>

효과도 분석에 관한 관련 연구(정치영 et al., 2011, 임종원 et al., 2014, 조혜경, 2006)에서 시행하였던 시물레이션 횟수를 감안하여 50회 시행하였다. 공격 우선 전술과 목표 우선 전술을 각각 50번씩 시물레이션한 뒤 평균을 넘으로써 결과값을 얻을 수 있었다. 각 실험들은 적 잠수

함의 탐지 거리 외의 모든 조건을 같게 설정하였다.

시물레이션 결과는 Fig. 6에 나타난 바와 같다. 먼저 (a)에서 볼 수 있듯이 적 잠수함의 탐지 거리가 10km일 때, 즉 아군 성능에 못 미칠 경우에는 두 전술 모두 100% 성공률을 보였다. 한편 (b)에서와 같이 공격우선전술이

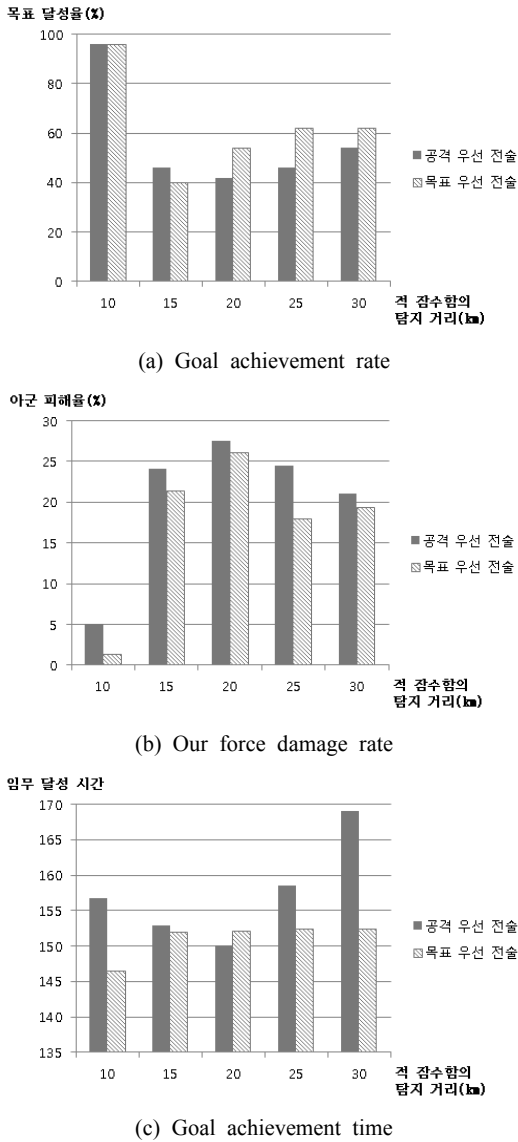


Fig. 6. Simulation result : Tactics comparing by detecting distance of enemy submarine

아군피해율을 낮출 수 있는 것으로 드러났다. 물론 (c)에서는 공격에 집중하느라, 임무 달성 시간은 목표 우선 전술보다 지연됨을 알 수 있다. 다음으로 적 잠수함의 탐지 거리가 15km 이상일 때, 즉 아군과 성능이 같거나 그 이상일 때는 (a)에서 확인할 수 있듯이 두 전술 모두 전반적으로 목표 달성율이 현저히 떨어짐과 동시에 (b)에서는 아군 피해율도 급격히 늘어남을 알 수 있다. 세부적으로 살펴보면 (a)에서는 적 잠수함의 탐지 거리가 늘어날수록

목표 달성율에 있어서는 목표 우선 전술이 효과적이었다. (b)와 (c)를 보면 아군피해율은 물론 임무 달성 시간도 줄일 수 있었다. 즉 탐지성능이 적군과 비슷하거나 떨어지는 경우에는 전반적으로 목표 우선 전술이 공격 우선 전술보다 효과적인 것으로 분석된다. 그 이유는 탐지거리에 따른 성능격차가 커질수록 적 잠수함에 대한 탐지확률이 떨어지기 때문이다. 다시 말하면 성능이 떨어지는 상태에서 무모한 공격은 임무 달성에 도움이 되지 않고 피해만 늘일 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

한편 적 잠수함의 탐지 거리가 20km일 때가 30km일 때에 비해 예상 밖으로 더 나쁜 결과를 보이고 있는데, 그 이유는 20km일 때 가장 활발한 전투가 벌어지기 때문으로 판단된다. 그러나 탐지 거리 차이가 벌어질수록 적 잠수함을 발견하지 못 할 확률이 올라가고, 이 경우 공격 우선 전술이라 하더라도 목표 우선 전술처럼 목표만을 향해서 나아가기 때문에 그러한 결과가 나오는 것으로 해석된다. 다만 이 경우 적 잠수함은 발견하지 못한 채 탐지하는데만 집중하느라 목표 달성 시간은 그만큼 늘어나는 것으로 분석된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 대 잠수함 협력 전술의 효과도 분석을 진행하였다. 이를 위해 대 잠수함 HVU 호위 전술을 DEVS 환경에서 에이전트 기반으로 모델링하고 공격 우선 전술과 목표 우선 전술의 두 가지 전술에 대해서 각각 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과 적 잠수함의 탐지 거리에 따라서 두 전술 모두 다른 목표 달성율과 아군 피해율, 적군 피해율, 그리고 목표 도달시간을 보이는 것을 알 수 있었다. 이를 통해서 적 잠수함이 아군의 함정보다 성능이 뛰어날수록 전투를 회피하는 것이 좋다는 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 진행한 모델링 및 시뮬레이션을 통해서 대 잠수함 전에서 주어진 상황에 따른 최적의 전술을 확인할 수 있었다. 따라서 국방관련 기관에서는 본 연구에서 제안한 다중 에이전트 기반의 M&S 방법을 도입함으로써 대 잠수함에 관한 다양한 전술적 분석을 효과적으로 해낼 수 있을 것으로 기대된다. 또한 성능요소, 임무요소 및 각종 전장 환경요소의 변화에 따른 최적의 전술융합방법에 대한 세밀한 분석도 가능할 것으로 판단된다.

## References

1. Suk-Hoon Shin, Kang-Moon Park, Eun-Bog Lee, Sung-Do

- Chi, Seung-Jin Han. "Agent-based SAF Modeling Tool for DEVS M&S" *Journal of the Korea Society for Simulation* Vol. 22, No. 4 (2013): 49-55.
2. Sung Young Lee, Sung Ho Jang, Jong Sik Lee. "Modeling and Simulation of Optimal Path Considering Battlefield-situation in the War-game Simulation", *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 19, No. 3, pp. 27-35, 2010.
  3. Chan-ho Junh, Han-eul Ryu, Yong-jun You, Sung-do Chi, Jae-ick Kim. "Many-to-Many Warship Combat Tactics Generation Methodology Using the Evolutionary Simulation" *Journal of the Korea Society for Simulation* 20.3 (2011): 79-88.
  4. Sung-do Chi, Yong-jun You, Chan-ho Jung, Jang-se Lee, Jae-ick Kim. "Design of No-human-in-the-Loop Battleship Warfare M&S System applied to the Korea Yellow Sea Warfare Case using Agent-based Modeling" *Journal of the Korea Society for Simulation* 17.2 (2008): 49-61.
  5. Busignies, Henri G., and Louis A. DeRosa. "Submarine detection system." U.S. Patent No. 4,721,961. 26 Jan. 1988.
  6. Huang, Z., Gao, P., He, Y., He, Q. "Multi-Agent Cooperation Based on Interest Group." *Computational Intelligence and Software Engineering*, 2009. CiSE 2009. International Conference on. IEEE, 2009.
  7. Li, BO Hu "Some focusing points in development of modern modeling and simulation technology." *Systems Modeling and Simulation: Theory and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 2005. 12-22.
  8. Seo, Kyung-Min, Song, Hae Sang, Kwon, Se Jung, Kim, Tag Gon. "Measurement of effectiveness for an anti-torpedo combat system using a discrete event systems specification-based underwater warfare simulator." *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology* 8.3 (2011): 157-171.
  9. Cil, Ibrahim, and Murat Mala. "A multi-agent architecture for modelling and simulation of small military unit combat in asymmetric warfare." *Expert Systems with Applications* 37.2 (2010): 1331-1343.
  10. Shin. S. H., Lee. E. B., Park. K. M., Chi. S D., Han. S. J. "Expert-Agent Modeling and Simulation", IEICE, 2013.
  11. Zeigler, Bernard P. "DEVS representation of dynamical systems: Event-based intelligent control." *Proceedings of the IEEE* 77.1 (1989): 72-80.
  12. Chi-Young Jung, Jae-Moon Lee, Jae-Young Lee, Young-Kyu Park. "Operational Effectiveness Analysis of Field Artillery Ammunition Support Vehicle for K-55 Self-Propelled Artillery Using Simulation". *Journal of the Korea Society for Simulation* 20.3 (2011): 11-18.
  13. Jong-Won Lim, Hyog-Lae Kwon, Tae-Eog Lee. "Modeling and Analysis for Efficient Joint Combat Fire Operation of Army Artillery and Army Aviation" *Journal of the Korea Society for Simulation* 23.2 (2014): 47-55.
  14. Hye-Kyung Cho. "A Study on the Adjustable Autonomy for the Performance Improvement of Cooperating Robots." *Journal of the Korea Society for Simulation* 15.3 (2006): 61-67.





**박 강 문** (kmun422@naver.com)

2011 한국항공대학교 컴퓨터공학 학사  
2013 한국항공대학교 컴퓨터공학 석사  
2013~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학 박사과정

관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 인공생명, 지능 에이전트



**이 은 복** (danalee@kau.ac.kr)

2008 한국항공대학교 컴퓨터공학과 학사  
2010 한국항공대학교 컴퓨터공학과 석사  
2010~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 로봇 에이전트



**신 석 훈** (ev4shin@naver.com)

2009 한국항공대학교 컴퓨터공학과 학사  
2011 한국항공대학교 컴퓨터공학과 석사  
2011~현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 로봇 에이전트



**한 승 진** (sjhan@add.re.kr)

1999 한국과학기술원 항공우주공학과 학사  
2001 한국과학기술원 항공우주공학과 석사  
2001~현재 국방과학연구소 제6기술연구본부 선임연구원

관심분야 : 국방 모델링 및 시뮬레이션, 수중음향 스텔스



**지 승 도** (sdchi@kau.ac.kr)

1982 연세대학교 전기공학과 학사  
1984 연세대학교 전기공학과 석사  
1985~1986 두산 컴퓨터 (현 한국 디지털) 근무  
1991 미국 아리조나대학교 전기전산공학과 박사  
1991~1992 미국 SIMEX Systems and S/W 회사 S/W 담당자로 근무  
1992~현재 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수

관심분야 : 이산사건 시스템 모델링 및 시뮬레이션, 컴퓨터 보안, 지능시스템 디자인 방법론, 시뮬레이션 기반 인공생명, 교통 모델링