

## 에이전트 기반 모델링 및 시뮬레이션을 이용한 무기체계 가용도 예측에 관한 연구

이 세 훈\*·최 명 진\*\*

### *A Study on the Prediction of Weapon System Availability Using Agent Based Modeling and simulation*

Lee Se-Hoon·Choi Myoung-Jin

#### 〈Abstract〉

Availability is one of the important factor for developing weapon system, because it indicates the mission capability and sustainable life cycle management of weapon system. Recently, as weapon system becomes more advanced and more complex, availability estimation becomes more important to reduce the life cycle cost of weapon system. Modeling and simulation(M&S) is useful method to describe the availability of complex weapon system applying operational environment and maintenance plan. Especially agent based model(ABM) has the strength to describe interactions between agents and environments in complex system. Therefore, this paper presents the availability estimation of weapon system using agent based model. The sample data of part list and reliability analysis is applied to build availability estimation model. User agent and mechanic agent are developed to illustrate the behavior of operation and maintenance using formal specification. Storage reliability is applied to describe failure of each parts. The experimental result shows that this model is quite useful to estimate availability of weapon system. This model may estimate more reasonable availability, if full scale data of weapon system and real field data of operation is provided.

Key Words : Availability, Agent Based Model(ABM), Simulation, Reliability, Weapon System

## I. 서론

최근에는 무기체계 장비들이 정밀해지고 복잡해짐

에 따라 무기체계 개발에 많은 비용이 필요하며 무기 체계의 운영유지를 위해서도 막대한 비용이 소요된다. 하지만 무기체계 개발 및 운영유지 비용의 증가 대비 가용 예산은 제한적이기 때문에 비용을 예측하고 예산을 적절히 분배하기 위해서는 무기체계의 설

\* 국방과학연구소 연구원

\*\* 건양대학교 군사학과 교수(교신저자)

계 방안, 운용 개념, 정비 방안, 신뢰성 등의 요소를 복합적으로 고려해야 한다. 더불어 단순히 무기체계의 개발 비용이나 운용유지 비용을 최소화하는 것뿐만 아니라 무기체계의 임무수행 능력과 운용 유지성, 가용도를 보장할 수 있도록 개발해야 한다. 이는 제한된 자원 내에서 임무수행 능력을 높이고 효과적인 운용 유지성을 보장하는 무기체계를 개발해야 한다는 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 무기체계의 가용도를 분석하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 무기체계의 가용도는 시스템의 요구 기능을 요구 시간 동안 수행할 수 있는 확률로써 가용도가 낮다면 임무수행이 제한되고, 소요군이나 고객의 만족도는 떨어지게 된다. 특히 무기체계와 같이 복잡한 시스템 개발에 있어 가용도는 특정시점에서 무기체계의 임무수행 가능성을 나타내는 지표이기 때문에 더욱 중요하다고 할 수 있다[1]. 또한 가용도 산출을 위해 신뢰도와 정비도를 분석해야 하며, 이를 통해서 설계방안, 부품선정, 정비소요 및 수리부속의 수량 등을 효율적으로 결정하여 비용을 최소화하는 무기체계의 개발 계획과 운용 계획을 수립할 수 있게 된다.

무기체계의 가용도는 무기체계의 설계, 무기체계의 운용 및 훈련 시간, 정비, 저장 환경 등에 영향을 많이 받는다. 기존 수학적인 모델은 복잡한 시스템을 표현하고 분석하기 어렵기 때문에 무기체계의 가용도를 예측에 한계점이 있다. 복잡한 시스템의 가용도를 예측하기 위해서는 시간에 따라 다르게 나타나는 구성품들의 고장률, 정비 및 운용개념을 고려하고 시스템 구성요소들간의 상호관계를 고려해야 한다. 따라서 여러 구성 요소들과 상호간의 관계를 고려하기 위해서 모델링 및 시뮬레이션 기반 실험을 통해 가용도를 분석하려고 한다.

복잡한 시스템의 가용도를 분석하기 위한 많은 연구자는 모델링 및 시뮬레이션을 적용하고 있다. Maxime, Benoit 및 Olivier는 가용도를 평가하기 위한 모델링 방법으로 확률 페트리넷의 확장형인

Stochastic Activity Networks(SAN)을 적용하였으며, 모델의 일반적인 고장 발생 외에 임무 수행 중 입는 피해 모델을 추가하여 고장과 피해 상태를 고려한 가용도를 분석하였다[2].

이승상 외 3명은 무기체계의 최적 예방정비 주기 설정을 위해 모델링 기법을 적용하였으며, ARENA를 이용하여 임무 수행 중 예방정비와 고장정비를 수행하는 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 결과로 운용 가용도를 확인하여 운용 가용도가 가장 높은 예방정비 주기를 최적의 예방정비 주기로 제안하였다[3].

유연용 외 1명은 SysML 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법을 활용한 무기체계 정비도 지수 산출을 제시하였다. 이는 시스템공학 도구 상의 정비속성 및 속성간 관계 값을 SysML 구조 다이어그램에 반영하여 모델링하고, MATLAB과 연계한 시뮬레이션을 통해 정략적인 정비도 지수를 산출하였다[4].

본 연구에서는 시뮬레이션 모델로 에이전트 기반 모델(Agent Based Model, 이하 ABM)을 적용하였다. 에이전트 기반 모델(ABM)은 복잡한 시스템에서 구성요소 간의 상호작용을 고려할 수 있는 특성이 있다[5]. 이러한 에이전트 기반 모델(ABM)의 특성을 이용하여 무기체계 및 무기체계 장비 구성, 정비 시간, 운용 시간 등 여러 가지 요소들 사이의 상호작용을 고려할 수 있는 모델을 구축하였다. 그리고 에이전트 기반 모델(ABM)과 시뮬레이션을 활용하여 가용도 분석을 수행하는 방법을 제시하였다.

무기체계 구성품은 일반 제품들과는 수명 특성이 상이해 무기체계의 수명 특성을 고려해서 고장률을 산출해야 한다. 대표적으로 미사일과 같이 임무를 수행할 때까지 저장 상태에 있다가 임무를 수행하고 폐기되는 시스템을 원샷 시스템이라고 하는데 원샷 시스템의 경우 대부분의 수명주기 동안 저장상태로 존재하다가 폐기된다. 원샷 시스템이 아니더라도 최근에는 주변국들의 적대적인 활동이 빈번하지 않기 때

문에 무기체계의 저장시간이 긴 경우가 많다. 따라서 저장시간이 긴 무기체계의 수명 특성을 고려하여 고장률을 계산하는 것이 필요하다. Martinez는 구성품을 주기적으로 테스트하는 환경에서 저장 신뢰도를 고려한 수학적 모델을 제시하였다[6]. 본 연구에서는 무기체계의 수명 특성을 반영하기 위해 Martinez의 저장 신뢰도 모델을 적용하여 무기체계 구성품의 고장률을 산출하였다.

모델링에 적용한 방법론은 이산 사건 시스템 명세(Discrete Event System Specification, DEVS)이다. DEVS는 사건의 발생에 따라 모델의 상태 변화를 표현하여 시스템의 동적인 변화를 기술하는 방법론이다. 본 연구에서는 DEVS 시뮬레이션 도구를 이용하지는 않았지만, 에이전트를 모델링하고 설명하는데 있어 DEVS 형식론을 이용하였다. 에이전트 기반 모델(ABM)을 DEVS 형식론으로 설명하는 방법은 [7]에서 제시한 방법을 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 전체적인 모델의 구성과 각 에이전트 모델에 대한 설명, 그리고 시뮬레이션 시나리오에 대해서 기술하였다. III장에서는 시뮬레이션 실험에 대한 방법과 시뮬레이션 결과에 대해서 분석을 하였으며, 마지막으로 IV장에서는 본 연구의 결론 및 연구 결과에 대한 기대 효과를 제시하였다.

## II. 가용도 예측 에이전트 기반 모델(ABM)

### 2.1 관련연구

Arena로 개발되는 시뮬레이션 모델은 크게 프로세스를 모델링 하는 플로차트 모듈(Flowchart Module, 이하 FM)과 이때 쓰이는 데이터를 정의하는 데이터 모듈(Data Module, 이하 DM)로 구성되는데[8], Arena 모델은 공정의 확률분포를 분석하고 이를 적

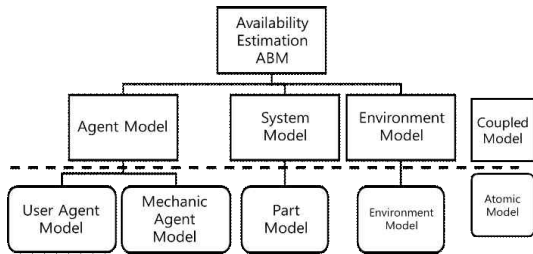
용하는 시뮬레이션 모델로 조직 또는 비즈니스 프로세스에 대한 예측과 검증이 가능하도록 지원해 주는 시뮬레이션이다.

페트리넷(Petri-Net)은 시스템의 모델링과 분석에서 오랫동안 사용되어 온 모델링 방법이다. 페트리넷 모델링 및 시뮬레이션에서 정보의 흐름이나 제어를 담당하는 시스템의 구성요소들은 크게 수동적인 요소들(passive elements)과 능동적인 요소들(active elements)로 분류할 수 있으며, 조건(condition)과 상태(status)는 수동적인 요소들이고 이벤트(event)나 동작(action)은 능동적인 요소들로 구성된다[9]. 이것은 동시성(concurrency)을 나타내기 쉽고 정형적인 의미(formal syntax)가 명확하며 시각화가 용이하나, 기본 페트리넷에서는 표현력이 부족하다는 것을 지적해왔다.

위 두 모델은 프로세스를 기반으로 한 모델의 구조, 모델의 상태 그리고 모델의 행동을 표현하여 시뮬레이션을 수행할 수 있으나, 각 프로세스를 사용자 중심으로 모델의 상태 변화를 반영하는 것은 제한적이다.

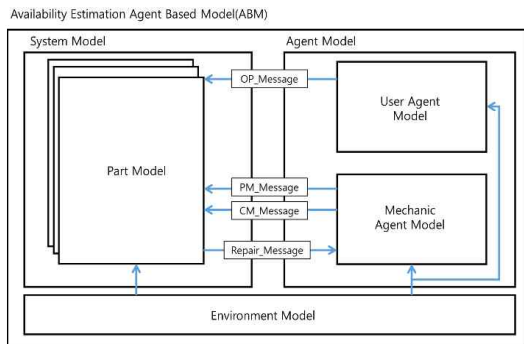
### 2.2 에이전트 기반 모델(ABM)의 전체 구성

가용도 예측 에이전트 기반 모델(ABM)의 전체 구성은 <그림 1>과 같다. DEVS 형식론에는 모델들의 연결 관계를 표현해 주는 결합 모델(Coupled Model)과 단일 모델의 상태 및 상태 변화를 표현하는 원소 모델(Atomic Model)이 있다. 가용도 예측 ABM과 에이전트 모델, 시스템 모델 그리고 환경 모델이 결합 모델에 속한다. 에이전트 모델은 정비사 에이전트와 사용자 에이전트 모델로 구성된다. 시스템 모델은 다수의 부품 모델로 구성된다. 환경 모델은 환경 모델 하나로 구성된다. 정비사 에이전트 모델, 사용자 에이전트 모델, 부품 모델 그리고 하위의 환경 모델은 원소 모델에 속한다.



<그림 1> Hierarchical structure of agent based model

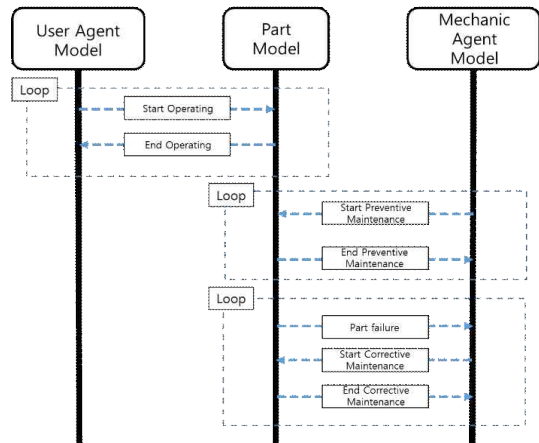
전체 모델을 DEVS 형식론을 이용해 표현하면 <그림 2>와 같다. <그림 2>의 결합 모델은 모델 간에 상호 연결 관계를 표현한다. 각 에이전트 모델은 메시지를 통해 상호작용을 한다. 사용자 에이전트 모델은 운용 임무를 수행하기 위해 시스템 모델에 운용 메시지(OP\_message)를 보낸다. 정비사 에이전트 모델은 정비 임무 수행을 위해 시스템 모델에 예방정비 메시지(PM\_message) 및 보수정비 메시지(CM\_message)를 보낸다. 정비 메시지(Repair\_message)를 통해 정비 결과를 받는다. 환경 모델은 시뮬레이션의 시간을 관리하고 각 에이전트에 현재시간 정보를 전달해준다.



<그림 2> Coupling relations of the interaction events in the availability estimation agent based model

시뮬레이션에서 각 모델 간 발생하는 이벤트의 흐름도는 <그림 3>과 같다. 사용자 에이전트는 운용 주기가 되면 부품 모델에 운용 시작을 알린다. 운용을

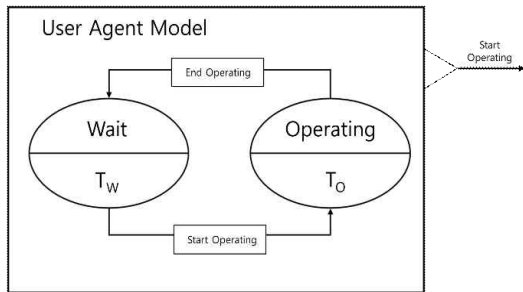
시작하면 사용자 에이전트 모델과 부품 모델은 운용 시간 동안 운용 상태로 변한다. 운용이 종료되면 사용자 에이전트 모델은 다시 대기 상태가 된다. 부품 모델은 운용 간 고장 발생 여부에 따라 대기 상태 또는 고장 상태로 변한다. 정비사 에이전트는 예방정비 주기가 되면 부품 모델에 예방정비 메시지를 보낸다. 부품이 운용 상태면 운용 시간 이후에 예방정비를 수행하고, 대기 상태면 예방정비를 수행한다. 예방정비 시간동안 정비사 에이전트 모델은 예방정비 상태가 되고 부품 모델은 정비 상태가 된다. 예방정비가 끝나면 정비사 에이전트 모델은 대기 상태가 된다. 부품 모델은 정비 결과에 따라 대기 상태 또는 고장 상태가 된다. 장비 상태가 운용 또는 예방정비 상태에서 고장 상태가 되면 정비사 에이전트 모델에 고장 발생을 알린다. 정비사 에이전트 모델은 대기 상태에서 고장을 확인하면 보수 정비 상태가 되고 부품 모델은 정비 상태가 된다. 보수 정비 시간이 종료되면 정비사 에이전트 모델과 부품 모델은 모두 대기 상태가 된다.



<그림 3> Event flows between component models in the availability estimation agent based model

### 2.3 사용자 에이전트 모델

사용자 에이전트는 장비를 운용하는 에이전트 모델이다. <그림 4>는 DEVS 다이어그램을 이용하여 사용자 에이전트 모델의 상태 및 상태 변화를 표현한 그림이다. 사용자 에이전트의 상태는 대기 상태와 운용 상태가 있다. 주어진 시나리오의 운용 주기 및 운용 시간에 따라 상태 변화가 생긴다. 대기 상태에서 시작해서 운용 주기가 되면 운용 상태로 바뀌고 부품 모델에 운용 시작 메시지를 전달한다.  $T_{\text{운용}}$  시간 동안 운용을 수행하면 운용 종료 메시지를 받아 대기 상태가 되고, 대기 시간  $T_{\text{대기}}$ 는 운용 주기 시간과 같다. 사용자 에이전트 모델은 대기과 운용 상태를 반복하고 부품 모델이 고장이나 정비 상태인 경우는 고장 및 정비가 종료된 후에 운용 임무를 수행한다.

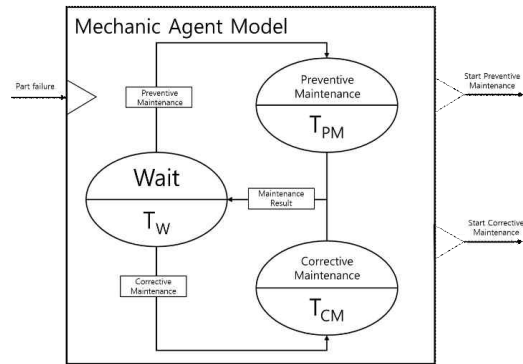


<그림 4> State diagrams of user agent model

### 2.4 정비사 에이전트 모델

정비사 에이전트 모델은 시뮬레이션에서 장비를 정비하는 에이전트 모델이다. <그림 5>는 DEVS 다이어그램을 이용하여 정비사 에이전트 모델의 상태 및 상태 변화를 표현한 그림이다. 정비사 에이전트 모델의 상태는 대기, 예방정비, 그리고 보수 정비가 있다. 주어진 시나리오의 예방정비 주기 및 장비의 고장 상태에 따라 상태 변화가 생긴다. 대기 상태에서 시작해서 예방정비 주기가 되면 예방정비 상태로 바뀌고 예

방정비를 수행한다. 부품 모델이 운용 또는 고장 상태면 운용 또는 보수 정비 종료 후에 예방정비를 수행한다. 예방정비 시작 메시지를 부품 모델에 전달하고  $T_{PM}$  시간 동안 예방정비를 수행하고 다시 대기 상태가 된다. 대기 상태에서 정비 요청 메시지를 받아 부품의 고장을 확인하면 보수 정비 상태로 변한다. 보수 정비 상태에서는 부품의 고장 상태를 파악하여  $T_{CMi}$ 의 총 합인 보수 정비 시간  $T_{CM}$ 을 계산한다. 그리고 부품 모델에 장비가  $T_{CM}$  이후에 수리 완료된다는 것을 전달하고 보수 정비 시간  $T_{CM}$  동안 보수 정비 업무를 수행한다. 보수 정비 업무가 끝나면 다시 대기 상태로 바뀐다.



<그림 5> State diagrams of mechanic agent model

### 2.5 부품 모델

부품 모델은 무기체계를 구성하는 부품을 표현한 모델이다. <그림 6>은 DEVS 다이어그램을 이용하여 부품 모델의 상태 및 상태 변화를 표현한 그림이다. 부품 모델의 상태는 대기, 운용, 고장, 정비로 구성된다. 주어진 시나리오의 운용 주기나 정비 주기에 따라 운용과 정비 상태로 변화한다. 예방정비 또는 운용 중에 고장이 발생하면 고장 상태로 전환되고 보수 정비를 통해 수리가 완료되면 대기 상태가 된다.

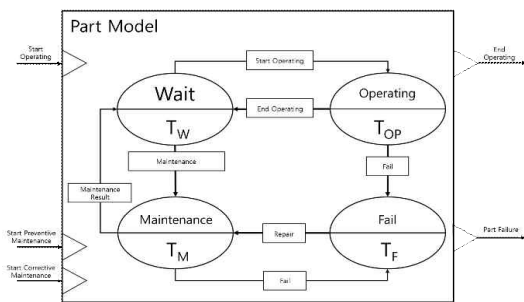
부품 모델의 고장률은 수명주기 동안 많은 시간을

저장 상태로 존재하는 무기체계의 특성을 고려하여 Martinez의 저장 신뢰도 모델을 적용하였다[6]. Martinez의 저장 신뢰도 모델에서 N 번째 예방정비 이후의 신뢰도는 아래와 같다.

$$R_N(Max) = e^{-[(N-1)(1-\alpha)(\lambda_s T_s + \lambda_o T_o)]} \times e^{-[\lambda_s T_s]}$$

위 수식에서 변수 N은 현재 시점까지 정비 횟수,  $\alpha$ 는 고장탐지확률,  $\lambda_s$ 는 저장 고장률,  $T_s$ 는 저장시간,  $\lambda_o$ 는 운용 고장률,  $T_o$ 는 운용 시간이다. Martinez 모델의 운송, 임무 수행에 관련된 변수는 본 시뮬레이션에서 고려대상이 아니므로 제외하였다.

시뮬레이션이 진행되는 동안 부품 모델은 운용과 정비 업무를 반복하게 된다. 장비의 고장은 운용이나 예방정비 시에만 발견이 되므로 운용 또는 예방정비 업무를 수행하지 않은 저장 시간이  $T_s$ , 운용 또는 예방정비 업무를 수행하는데 소요되는 시간이  $T_o$ 이다. 고장이 식별되어 교체된 장비는 새로운 장비이므로 예방정비 횟수 N,  $T_s$ ,  $T_o$ 를 초기값으로 변경한다.



<그림 6> State diagrams of part model

## 2.6 환경 모델

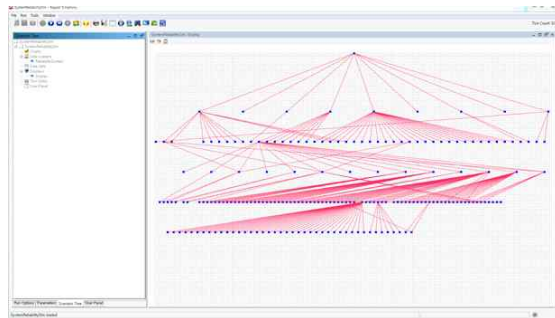
환경 모델은 시뮬레이션 상의 시간을 관리하는 모델이며, 시뮬레이션 시간을 각 모델에 전달하고 관리한다. 별도의 환경상태 파라미터는 없으며, 각 모델에

서 요청할 시에 현재 시뮬레이션 시간을 전달해 준다.

## III. 시뮬레이션 실험을 통한 가용도 예측

### 3.1 입력 데이터 및 모델 구성 자료

본 연구는 실제 장비의 BOM / 부품목록 샘플을 적용하여 부품 모델을 구축하였다. 무기체계 개발 시 기술 자료 묶음(TDP) 중 하나로 BOM / 부품목록 자료를 생산한다. BOM / 부품목록을 기준으로 구성품을 생성하고 구성품 간의 계층구조를 구축하여 시스템 모델을 생성하였다. 그리고 RAM 분석 결과의 부품 MTBF(Mean Time Between Failure)를 고장률 계산에 활용하였다. 본 연구에서는 무기체계의 전체 자료를 적용하지 않고, 일부 부품에 대한 부품 정보 및 계층구조와 MTBF 값만 적용하였다. 샘플로 선정한 장비의 수는 264개이고, 계층구조의 레벨은 최대 6레벨로 구성되어 있다. 본 연구는 시뮬레이션 엔진으로 Repast Symphony 2.6을 이용하였다. <그림 7>은 Repast Symphony를 이용해서 시나리오에 사용된 샘플 부품의 계층구조를 시각화 한 그림이다. 파란 박스는 각 부품을 의미하고 빨간 선은 부품간의 상하 부품 관계를 의미한다.



<그림 7> Hierarchical structure of part model in the simulation

### 3.2 시뮬레이션 시나리오

샘플 부품목록에 대한 가용도를 분석하기 위해서 시뮬레이션을 이용한 실험을 수행하였다. 실험 시나리오에서 적용한 입력 변수, 출력 변수, 시뮬레이션 매개 변수는 <표 1>과 같다.

<표 1> List of input variables, output variables, and parameters of the availability estimation agent based model

Type	Name	Implications
Input	BOM / Part List	Part list and Bill of Material(BOM) data of the weapon system(Output of technical data package)
	MTBF of each part	Mean Time Between Failure of each part
	Corrective maintenance time of a part (TCMi)	The time required for corrective maintenance of a part
	Corrective maintenance time (TCM)	The time required for corrective maintenance of all parts
	Operating time (TOperating)	The time required for an operating
Output	Availability, operational (Ao)	The probability that the system in normal state (total uptime of the system / total simulation time)
Parameters	Simulation end time (end_time)	Period of depot maintenance: 10 years
	Preventive maintenance time (TPM)	The time required for preventive maintenance (default = 8 hours)
	Failure rate ratio	Storage failure rate: operating failure rate (operating failure rate / Storage failure rate) (default= 8.9)
	Cycle of preventive maintenance (TPM_CYCLE)	Cycle of preventive maintenance: 1 month (=730 hours)
	Cycle of operating (TOP_CYCLE)	Cycle of operating: 1 week (=168 hours)

먼저 입력 변수로 BOM/부품목록은 기술자료묶음 (TDP)의 샘플 정보를 활용하여 부품 모델 및 계층구조 구축에 활용하였다. 부품 별 MTBF는 샘플 부품의 RAM 분석 결과 MTBF 값을 적용하였다. 저장 고장률과 운용 고장률의 비율은 P.D.T.O'Connor가 제시한 부품 카테고리별 운용 고장률과 저장 고장률 결과를 인용하였다[8]. 본 연구에서는 부품간 카테고리를 구분하지 않았기 때문에 저장 고장률 대비 운용 고장률값 비율의 평균값인 8.9 배를 적용 하였다.

가상의 실험을 위해 시뮬레이션 매개 변수로 예방 정비 주기( $T_{PM\_CYCLE}$ )는 1달, 장비 운용 주기( $T_{OP\_CYCLE}$ )는 1주로 설정하였다. 무기체계의 정비 단계 중 창 정비는 최상위 정비 단계로 완전분해수리를 수행하기 때문에 시뮬레이션의 종료 시점은 창 정비 주기인 10년(87,600시간)으로 설정하였다. 1회 예방 정비 소요 시간인, 예방 정비 시간  $T_{PM}$  은 8시간으로 설정하였다.

각 실험 변수의 값은 <표 2>와 같다. 총 6가지 경우를 설정하여 각 실험 셀 당 10회씩 반복하였다. 시뮬레이션 입력 변수 및 매개변수의 설정 화면은 <그림 8>과 같다.

<표 2> Virtual experiment design of scenario of interests

Experiment variable name	Experiment Design	Implications
Corrective maintenance time of a part (TCMi)	8, 12, 24(hour) (3 cases)	The time required for corrective maintenance of a part
Operatingtime (TOperating)	1, 8(hour) (2 cases)	The time required for an operating
Total experiment cells	3 * 2 (= 6 cases)	Each cell is replicated for 10 times

출력 변수는 평균 운용 가용도로 설정하였다. 운용 가용도는 총 시간 동안 시스템이 정상 상태인 시간의 비율이다. 시스템이 정상 상태라는 것은 모든 부품 모델의 상태가 운용 또는 대기 상태에 있으면 시스템



<그림 8> parameters setting in the simulation

이 정상인 상태이다. 시뮬레이션 상에서 운용 가용도는 다음과 같다.

$$A_o = \frac{\text{시스템이 정상 상태인 시간}}{\text{총 시뮬레이션 시간}}$$

본 연구에서는 제시된 모델을 통해 보수 정비 시간 및 장비 운용 시간에 따른 시뮬레이션 실험을 수행하여 실험 시나리오별로 평균 운용 가용도의 예측 결과를 분석하였다.

### 3.3 시뮬레이션 결과

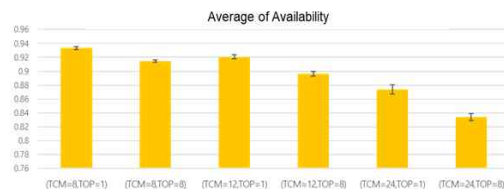
시뮬레이션 결과 각 시나리오에 따른 평균 가용도 평균 값은 <표 3>과 같다.

전체적으로 장비 1개에 대한 보수 정비 시간  $T_{CM}$ 이 증가할수록, 그리고 1회 운용 시간  $T_{OP}$ 이 증가할수록 시스템의 평균 가용도는 낮아졌다. 시뮬레이션 시나리오 중  $T_{CM}$ 이 8 시간이고,  $T_{OP}$ 이 1시간인 경우가 0.9324로 가용도가 가장 높은 케이스였다. 그리고  $T_{CM}$ 이 24

<표 3> Average availability of experiment scenarios

cell	Experiment scenarios	Availability(Ao)
1	( $T_{CM}=8, T_{OP}=1$ )	0.933406
2	( $T_{CM}=8, T_{OP}=8$ )	0.914384
3	( $T_{CM}=12, T_{OP}=1$ )	0.920772
4	( $T_{CM}=12, T_{OP}=8$ )	0.896215
5	( $T_{CM}=24, T_{OP}=1$ )	0.873954
6	( $T_{CM}=24, T_{OP}=8$ )	0.834128

시간이고,  $T_{OP}$ 이 8시간인 케이스가 가용도가 0.8428로 가장 낮았다. 시뮬레이션 시나리오의 가용도의 평균과 유의수준 0.05인 신뢰구간은 <그림 9>와 같다. 기본적으로 정비 시간이 증가하면 장비의 불가동 시간이 증가하고, 운용 시간이 증가하면 장비의 고장률이 증가하기 때문에 <표 3>과 <그림 9>의 결과를 보면 시뮬레이션의 결과는 타당하다고 볼 수 있다.



<그림 9> Result of virtual experiment: Average availability and confidence interval( $\alpha=0.05$ )

본 연구에서 제시한 모델에 실제 무기체계 전체 부품 정보와 운용 환경 및 정비 환경을 입력한다면 평균 운용 가용도를 예측하여 무기체계의 설계 개념, 운용 개념 및 정비 정책 등을 결정하는데 도움을 줄 수 있다. 예를 들어 운용 가용도 요구 조건이 0.90이고  $T_{CM}$ 이 12시간,  $T_{OP}$ 이 8시간인 경우라면, 위 시뮬레이션 결과를 봤을 때, 목표 가용도를 만족하지 않을 것이라고 예상할 수 있다. 그리고 다른 조건의 시뮬레이션 결과와 비교한다면 설계 및 정비 개념을 수정 및 보완하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.



#### IV. 결론

본 연구는 에이전트 기반 모델(ABM)을 활용하여 무기체계의 가용도 예측을 수행하고 모델의 타당성을 확인하였다. BOM / 부품목록을 활용하여 모델을 구성하였고 DEVS 형식론을 이용하여 모델의 구조, 모델의 상태 및 상태 변화 그리고 모델의 행동을 표현하였다. 또한 부품 모델의 고장률은 RAM 분석 결과 자료의 MTBF 데이터를 활용하고 저장 신뢰도 모형을 이용하여 산출하였다. 모델 구축을 위해 실제 데이터는 일부 사용하였으나, 운용 데이터는 가상 데이터를 적용하여 가상 실험을 수행하였다. 개발 무기체계나 유사 무기체계의 전체 부품 정보 및 운용 데이터를 적용한다면 가용도 예측을 통해 효율적인 무기체계 개발 및 운용 계획을 수립할 수 있을 것이다.

본 연구는 형식적인 방법론을 사용했기 때문에 적용하고자 하는 무기체계에 맞게 모델 구성이나 수량을 변경하여 모델을 확장하기 쉽다. 후속 연구를 통해 실제 지형이나 도로 네트워크 데이터를 활용하여 행정 소요 시간을 추가하고 정비사의 정비 능력 등을 다양화해서 더 복잡한 시스템과 모델간의 상호작용을 고려한 가용도 예측에 관한 연구를 수행할 예정이다. 또한 환경 모델에 온도 및 습도 등의 다양한 요소를 고려할 수 있도록 시뮬레이션 모델에 추가 및 발전시킬 계획이다.

#### 참고문헌

[1] Department of Defense, Reliability, Availability, Maintainability, and cost rationale Report Manual, Washington, DC: Office of the Secretary of Defense for Acquisition and Technology, 2009.

[2] Maxime Monnin, Benoit Iung and Olivier

Sénéchal, "A Methodology for Weapon System Availability Assessment, Incorporating Failure, Damage and Regeneration," IFAC Proceedings Volumes, Vol. 40, Issue 6, 2007, pp.157-162.

[3] 이승상, 지웅기, 김성환, "최적 예방정비주기 설정을 위한 무기체계 모델링 기법," 한국방위산업학회지, Vol.18, No.1, 2011, pp.185-207.

[4] 유연용, 이재천, "SysML 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법을 활용한 무기체계 정비도 지수 산출," 한국산학기술학회 논문지, 제19권, 제11호, 2018, pp.88-95.

[5] R. Holzer and H de Meer, "On Modeling of Self-organizing Systems," In Proceedings of the 2nd International ICST Conference on Autonomic Computing and Communication Systems, No.29, 2008, pp.1-6.

[6] E. C. Martinez, "Storage Reliability with Periodic Test," Annual Reliability and Maintainability Symposium, Proceedings, San Francisco, CA, USA, 1984, pp.181-185.

[7] J. W. Bae, G. Lee and I. Moon, "Formal specification supporting incremental and flexible agent-based modeling," Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC), Berlin, 2012, pp.1-12.

[8] 라현우, 최성훈, "개념 모델을 이용한 arena 시뮬레이션 모델 생성에 관한 연구," 한국시뮬레이션학회, Vol.23, No.4, 2014, pp.21-29.

[9] 장희동, "Petri Net 모델 시뮬레이션을 통한 게임 플레이 분석방법," 한국게임학회, Vol. 15, No.5, 2015, pp.49-56.

■ 저자소개 ■



이 세 훈  
Lee, Se Hoon

2014년 10월~현재  
국방과학연구소 선임연구원  
2014년 8월  
KAIST  
산업및시스템공학과(공학석사)  
2012월 8월  
KAIST 산업및시스템공학과(공학사)

관심분야 : 무기체계, 시뮬레이션, 신뢰성, ILS  
E-mail : shlee0814@kaist.ac.kr



최 명 진  
Choi, Myoung Jin

2020년 9월~현재  
건양대학교 군사학과 교수  
2016년 2월  
전북대학교  
산업시스템공학과(공학박사)  
2006년 2월  
국방대학교  
국방정보관리학과(이학석사)  
1999년 2월  
승설대학교 산업공학과(공학사)

관심분야 : 무기체계, 정보시스템, 신뢰성, ILS  
E-mail : officesky@konyang.ac.kr

논 문 접 수 일	: 2021년 2월 17일
수 정 일(1차)	: 2021년 3월 2일
수 정 일(2차)	: 2021년 3월 10일
게 재 확 정 일	: 2021년 3월 17일