

# 복합시스템 가용도 분석을 위한 시뮬레이션 모델 연구

## A Study on a Simulation Model to Analyze the Availability of a SoS

김혜령\*                      김의환\*\*                      최상영\*  
 Hye Lyeong Kim              Ui-Hwan Kim                  Sang Yeong Choi

### Abstract

Today, most weapon systems operate as component systems of SoS(System of Systems) and they produce synergy effects in the battle field by interoperating. In addition, the acquisition issues on weapon systems have expanded into SoS context including sustainment analysis. Availability is the sustainment KPP(Key Performance Parameter) of weapon systems. In this paper, a simulation model is proposed to analyze the availability of SoS. The simulation model consists of 5 modules: Mission and Task, System, System RBD, Maintenance system and a simulation engine. Then it was implemented and applied to a SoS. As a result of the application, the simulation model could be applied for analyzing the availability of the SoS and provided information about critical tasks and risky component systems to complete the given mission of the SoS.

Keywords : SoS(System of Systems), Reliability, Availability, Maintainability, RBD(Reliability Block Diagram)

### 1. 서론

무기체계의 능력은 임무 능력, 상호운용성, 전투 지속성(sustainment) 등으로 표현된다<sup>[4]</sup>. 임무 능력은 조직이 주어진 임무를 수행하기 위해 요구되는 탐지율, 명중률과 같은 성능이다. 상호운용성은 전쟁수행방식이 네트워크 중심으로 수행됨에 따라 센서체계, 지휘 통제체계, 타격체계를 연동하여 시너지 효과를 달성토록 하기 위해 요구되는 성능이다. 전투 지속성은 무기체계가 임무를 지속적으로 수행할 수 있도록 하는 성

능으로 주어진 기간 동안 어느 정도의 비용으로 가용한 상태를 유지할 수 있는지에 관한 것이다.

오늘날 대부분의 무기체계는 합동성을 증대시키고 상호운용성을 달성하기 위해 복합시스템(SoS : System of Systems)으로 구축하여 시너지 효과를 높이고 있다<sup>[6]</sup>. 또한 인식하지 못하고 있을지라도 대부분의 무기체계는 복합시스템의 일부로서 그 기능을 수행하고 있다<sup>[1]</sup>. 이에 따라 복합시스템 환경에서 무기체계의 획득에 대한 관심이 증대되고 있으며<sup>[1]</sup>, 기존의 단일 시스템에서 복합시스템 수준으로 분석 대상체계를 확대하여 지속성을 분석하고자 하는 필요성이 제기되고 있다.

지속성과 관련된 핵심성능지표(KPP : Key Performance Parameter)에는 가용도(availability)가 있고, 핵심체계속성(KSA : Key System Attribute)으로 신뢰도(reliability)

† 2011년 7월 11일 접수~2011년 10월 21일 게재승인

\* 국방대학교(KNDU) 국방과학부

\*\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김혜령(yu2ki@hanmail.net)

와 소유비용(ownership cost)이 있다<sup>13,4)</sup>. 소유비용은 운영유지비용으로 시스템의 가용도와 신뢰도를 비용 대 효과적으로 절충하기 위해 고려되는 요소이다. 지속성 지표는 무기체계의 전 수명주기 단계에서 지속적으로 관리된다. 복합시스템의 지속성은 이를 구성하는 개별 시스템의 신뢰도, 정비도(maintainability)와 연계해서 분석된다.

본 논문에서는 소요단계와 초기 획득단계에서 임무 및 과업으로부터 복합시스템의 구성을 식별하고, 시스템의 지속성 지표인 가용도를 분석하기 위한 시뮬레이션 모델을 제안한다. 그리고 제안하는 모델을 사용하여 가상의 복합시스템의 가용도를 분석한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 복합시스템의 특징과 유형을 고찰한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 복합시스템의 가용도 분석을 위한 시뮬레이션 모델의 문제영역과 시뮬레이션 모델을 구현하기 위한 개략 구조를 설명한다. 4장에서는 제안하는 모델을 사용하여 가상의 복합시스템의 가용도를 분석한다. 그리고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 복합시스템 특징과 유형

복합시스템은 서로 독립적이고 유용한 시스템들이 하나의 큰 시스템으로 통합되어 특정 능력을 발휘할 수 있는 시스템들의 집합 혹은 배열로 정의된다<sup>15,6)</sup>. 복합시스템은 Fig. 1과 같이 사용자 영역의 개념적인 능력시스템(capability system)으로부터 무기체계 및 장비와 같은 물자시스템(materiel system)으로 실체화된다.

물자시스템은 임무필수기능을 수행하는 임무시스템(mission system)과 지원시스템(support system)으로 구성된다. 물자시스템은 임무 특성에 따라 다양한 임무 시스템과 지원시스템으로 구성되는 복합시스템이다. 본 논문에서 가용도 분석 대상은 물자시스템으로 구현되는 복합시스템이며, 임무필수기능을 수행하는 임무시스템을 중심으로 분석한다.

미 국방부는 복합시스템의 유형을 가상(virtual) 복합시스템, 협력적(collaborative) 복합시스템, 인정된(acknowledged) 복합시스템, 지시된(directed) 복합시스템으로 구분하고 있다<sup>6)</sup>. 가상(virtual) 복합시스템은 구성시스템들 간의 임무 목표와 운영유지 및 관리 측면에서 중앙집권성이 약하며, 비가시적으로 운용된다. 협력적(collaborative) 복합시스템은 구성시스템들이 중앙

집권적인 임무 목표를 수행하기 위해 정도에 따라 자발적으로 상호 작용을 한다. 인정된(acknowledged) 복합시스템은 특정 임무 목표와 지정된 관리자가 주어진다. 하지만 구성시스템의 소유권이 각각 다르고, 서로 독립적으로 재정지원을 받고 운영유지(sustainment)된다. 지시된(directed) 복합시스템은 특정한 임무 목표를 달성하기 위해 개별 시스템들이 개발되어 통합되는 시스템이며, 임무를 수행하기 위해 중앙집권적으로 관리된다.

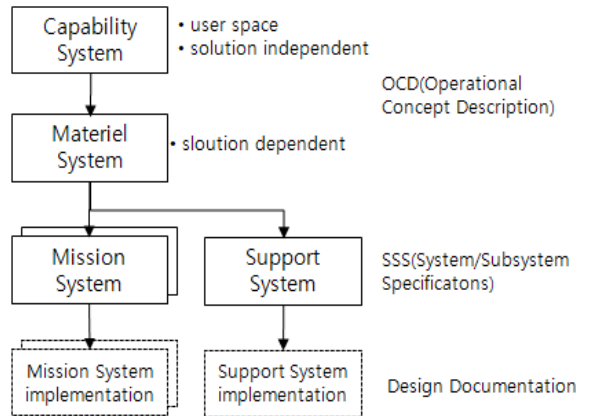


Fig. 1. 능력기반 시스템

출처 : Department of Defence, CDD Guide, Australia, 2009. Yong Soo Kwon, Trend of Systems Engineering and Our Tasks, The Korean Society of System Engineering, 2011. p. 21에서 재인용.

지시된 복합시스템은 소유권과 관리 주체가 동일하며, 임무시스템들이 패키지로 획득되어 통합되는 형태이다. 복합시스템 수준의 운용개념과 군수지원개념을 근간으로 임무시스템들의 세부 운용개념과 정비정책이 구체화된다. 복합시스템 수준에서 가용도 분석이 이루어지고, 임무별 작전템포를 고려하여 임무시스템들에게 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)값을 할당한다. 그리고 획득과정을 거치는 동안 임무시스템들의 구조가 구체화되면서 점진으로 신뢰도와 정비도 분석이 수행된다.

가상 복합시스템, 협력적 복합시스템, 인정된 복합시스템은 복합시스템을 구성하는 임무시스템들의 소유권이 서로 다르며, 관리의 주체도 다르다. 이러한 복합시스템은 주어진 임무에 따라 운용형태와 구성되는 임무시스템이 달라진다. 따라서 임무별로 복합시스

템 수준의 가용도 분석이 이루어져야 한다. 그리고 복합시스템의 신뢰도와 정비도는 하나의 확정적인 값으로 정의하는 것이 제한되며, 임무시스템 단위로 획득되므로 개별 임무시스템 단위도 RAM 분석이 이루어진다.

가용도 분석 측면에서 4가지 유형 모두 복합시스템 수준에서 달성해야 할 임무로부터 구성되는 임무시스템을 식별하고, 임무시스템의 신뢰도와 정비도 특성을 기초로 복합시스템의 가용도를 분석한다. 그리고 복합시스템은 임무 지향적으로 임무시스템들이 구성되어 운용되므로 임무와 시스템의 밀접한 연관 관계를 고려하여 가용도를 분석해야 한다.

### 3. 복합시스템 가용도 분석 시뮬레이션 모델

#### 가. 가용도 분석 영역

복합시스템의 가용도 분석과 관련된 문제영역은 Fig. 2와 같이 임무 및 과업, 시스템, 정비지원체계 영역으로 구분하여 모델링하고, 시뮬레이션 모델을 설계하여 구현한다. 시뮬레이션 모델은 임무에 따라 복합시스템을 구성하는 하부 시스템들이 달라지고 이에 따라 복합시스템의 계층 구조 또한 달라지는 특징을 고려하여 임무 및 과업에 따라 시스템의 신뢰도 구조를 유연하게 모델링하여 모의할 수 있도록 한다.

임무 및 과업은 시스템이 달성해야 할 임무와 세부 과업에 관한 영역으로 과업의 수행 순서와 시간으로 표현한다. 이는 시뮬레이션 수행 시 시스템의 운용시

나리오가 된다. 임무 및 과업과 시스템은 기능으로 연관관계가 형성된다. 기능은 임무 및 과업을 달성하기 위해서 시스템이 발휘하는 능력이다.

시스템 영역은 복합시스템의 계층 구조와 임무시스템의 하부체계 및 구성품의 신뢰도와 정비도 특성과 관련된다. 시스템의 최하위 품목은 각각 신뢰도와 정비도 함수 분포특성과 모수를 고유 속성으로 가지며, 고장시간과 수리시간은 확률적으로 표현되도록 한다. 복합시스템의 구조는 임무 및 과업 수행에 필요한 기능을 도출한 후 이를 수행하는 임무시스템, 하부체계 및 구성품들을 식별하여 정의한다. 그리고 임무 및 과업을 수행하기 위해 운용되는 기능과 이에 해당하는 복합시스템의 하부 시스템, 구성품들의 연결 구조를 기초로 과업 단위로 시스템 RBD(Reliability Block Diagram)를 모델링한다<sup>[7,8]</sup>. Fig. 3은 주어진 임무를 달성하기 위해서 과업을 수행하는 동안 운용되어야 할 기능과 복합시스템을 구성하는 임무시스템, 하부체계들의 관계를 보여준다. 복합시스템의 계층 구조는 임무 및 과업 분석과 함께 시스템의 개념이 구체화되는 정도에 따라 하위 품목들로 세분화된다.

정비지원체계는 정비부대와 정비자원으로 표현한다. 정비부대는 정비계단별로 편성되며, 정비자원을 운용하여 정비활동을 한다. 정비부대가 정비자원을 하기 위해서는 정비시간과 행정군수지연시간이 소요된다. 정비시간은 시스템의 정비도 특성에 따라 결정되며, 행정군수지연시간은 정비절차와 정비자원의 운용수준에 따라 결정된다. 정비자원은 정비인력과 예비품 및 수리부속이다.

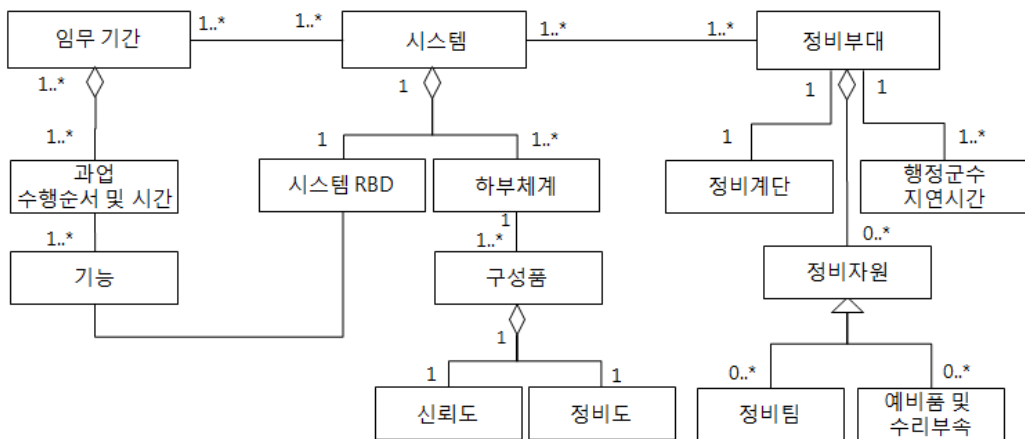


Fig. 2. 가용도 분석 영역

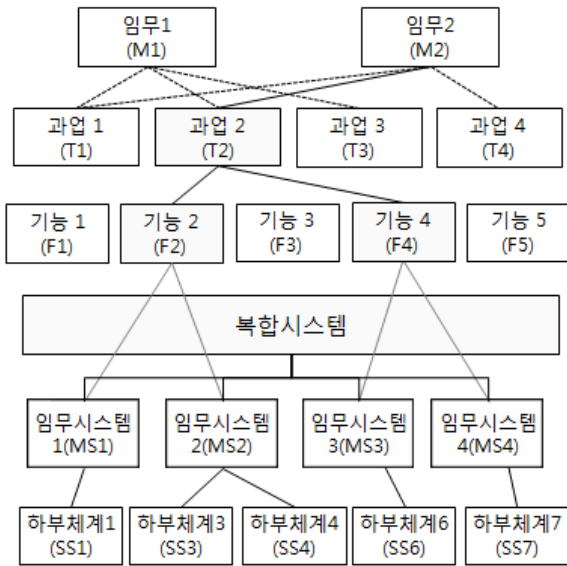


Fig. 3. 임무, 과업, 기능과 시스템 관계

가용도 분석 영역을 모델링하여 시뮬레이션 모델을 구현함에 있어서 가정 사항은 다음과 같다.

- ① 임무는 하나 이상의 과업으로 수행되며, 과업은 하나 혹은 둘 이상의 기능이 동시에 운용된다. 기능은 하나 이상의 품목들로 수행된다. 각각의 기능에 대하여 임무시스템과 하부체계 및 구성품은 1:1 혹은 1:다수로 대응된다.
- ② 시스템의 최하위 품목의 고장은 서로 독립적으로 발생한다. 어떤 품목이 수리복구 될 때 완전수리복구되는 것으로 가정한다.
- ③ 정비지원체계는 기본적으로 3계단 구조이다. 정비인력은 팀 단위로 운용한다. 정비소요가 발생했을 때 기본적으로 정비계단별 장비 수송과 입고를 위해 행정군수지연시간이 소요된다. 정비팀이 가용하지 않을 때 가용할 때까지 행정지연시간이 추가 소요되고, 해당 정비계단의 부대에 예비품 및 수리부속 재고가 없을 때 수리부속을 청구하여 수령하는데 군수지연시간이 추가로 소요된다.

가용도 분석 영역에서 수행하는 임무 및 과업 행위, 시스템의 고장과 이에 따른 정비행위를 임무(과업)사건, 고장사건, 정비사건으로 구분하여 이산사건으로 모델링한다. 그리고 제안하는 가용도 시뮬레이션 모델은 이산사건시뮬레이션 방법으로 시스템의 고장과 정비

시간을 모의하여 주어진 기간 동안의 시스템의 가용도를 산출한다. 가용도는 식 (1)을 사용하여 시뮬레이션 기간 동안의 시스템 운용시간과 고장 및 정비로 인한 불가동시간을 기초로 산출한다<sup>3,4</sup>. 식 (1)에서 가용도는 운용가용도( $A_o$  : Operational Availability)이며, 예방정비시간과 행정군수지연시간의 반영 여부에 따라 고유가용도( $A_i$  : Inherent Availability), 성취가용도( $A_a$  : Achieved Availability)를 산출할 수 있다.

$$A_o = \frac{uptime}{uptime + downtime} \tag{1}$$

$$= \frac{TT - (CMT + PMT + ALDT)}{TT}$$

여기서,

$uptime$  :  $TT - downtime$

$TT$  : Total Time

$downtime$  =  $CMT + PMT + ALDT$

$CMT$  : Corrective Maintenance Time

$PMT$  : Preventive Maintenance Time

$ALDT$  : Administrative and Logistics Delay Time

#### 나. 시뮬레이션 모델 구현

##### 1) 시뮬레이션 모델 구조

시뮬레이션 모델은 가용도 분석 영역에서의 임무 및 과업, 시스템과 정비부대를 각각의 모듈로 설계하여 구현한다. 시스템의 신뢰도 구조로서 시스템 RBD는 별도 모듈로 구성하며, 시뮬레이션 동안 시스템의 상태 판단 시 참조된다. 그리고 시뮬레이션 진행을 위해 시뮬레이션 엔진 모듈을 구성한다. 5개의 모듈로 구성되는 시뮬레이션 모델의 개략적인 구조와 모듈간의 관계는 Fig. 4와 같다.

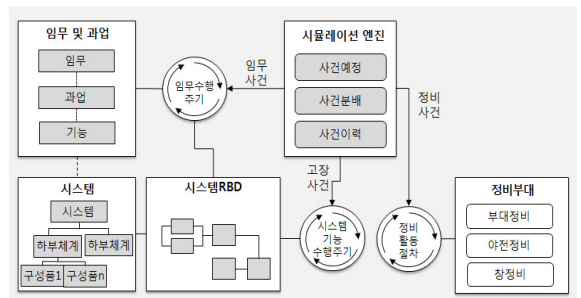


Fig. 4. 시뮬레이션 모델 구조

시뮬레이션 엔진은 시뮬레이션의 시작과 종료를 통제하고, 시뮬레이션 동안 일어나는 사건과 시간을 관리하여 시뮬레이션을 진행시킨다. 시뮬레이션 엔진은 임무 및 과업, 시스템과 시스템 RBD, 정비부대에서 각각 발생하는 임무(과업)사건, 고장사건과 정비사건을 관리한다. 또한 임무 및 과업, 시스템 그리고 정비부대의 최근 사건을 찾아서 관련된 다른 모듈로 분배하거나 전달한다.

임무 및 과업은 임무수행주기에 따라 시간 순차적으로 임무(과업)사건을 발생한다. 임무수행주기와 연계하여 시스템 기능수행주기가 정의되고, 어떤 기능을 수행하기 위해 필수적으로 운용되어야 하는 시스템의 하부체계, 구성품 등으로 시스템 RBD가 형성된다. 시뮬레이션 동안 어느 시점에 시스템을 구성하는 하위 품목에 고장사건이 발생하면 시뮬레이션 엔진은 시스템 RBD를 참조하여 해당 시스템의 가용 여부를 결정한다. 그 결과 시스템의 운용에 영향을 미치는 고장사건으로 판명되면 시스템은 불가동 상태가 되고, 고장사건은 정비사건으로 전환되면서 해당 정비계단의 정비부대로 전달된다. 정비사건은 정비부대에서 정비절차에 따라 처리되고 해당 품목은 가용한 상태로 복구된다. 이때 정비시간과 행정군수지연시간과 같은 시스템 불가동시간(down time)이 발생한다.

2) 시스템 가용도 규칙

시스템 RBD는 임무, 과업, 기능과 시스템의 관계 분석을 통하여 정의하며, 시뮬레이션 동안 최상위 시스템의 상태를 결정하는 가용도 규칙으로 사용된다. 시뮬레이션 동안 어느 시점에 시스템의 하위 품목에 고장이 발생하면, 시스템 RBD를 참조하여 해당 임무 및 과업을 수행함에 있어서 시스템의 가동 상태에 영향을 미치는 고장인지를 확인한다. 시스템의 상태는 시스템의 고장사건이 발생했을 때 외에도 새로운 임무와 과업을 시작할 때, 정비를 완료했을 때 확인한다.

Fig. 5는 어떤 과업을 수행할 때 시스템의 상태를 확인하는 경로 예로서 최상위 노드인 결론에서부터 최하위 노드까지 모든 노드의 상태를 확인한 후 최종적으로 결론의 상태를 판명한다. 여기서 결론은 과업(T2)이다. 최상위 노드 T2에서부터 화살표 경로를 따라서 깊이 우선 탐색절차로 최하위 수준의 노드인 SS1, SS2와 SS3, SS4, SS5까지 모든 노드의 가용 여부를 확인한다. 복합시스템의 상태는 최상위 노드 T2의 상태와 대응되며, 이는 F2, F4와 같은 기능, MS1, MS2, MS3, MS4와

같은 임무시스템(mission system), SS1, SS2, SS3, SS4, SS5와 같은 임무시스템의 하부체계(sub-system) 등 하위 노드들의 상태에 의해 결정된다. 각 노드의 상태는 하위 노드들의 연결구조에 따라 식 (2), (3), (4)로 결정되며<sup>[7]</sup>, 각 노드의 상태('0' 또는 '1')가 최종적으로 최상위 노드의 상태('0' 또는 '1')를 결정한다.

$$직렬\ 노드\ 상태 : N_s = \begin{cases} 1 : \sum_{j=1}^n E_{m_j} = n \\ 0 : \text{이외 (otherwise)} \end{cases} \quad (2)$$

$$병렬\ 노드\ 상태 : N_p = \begin{cases} 1 : \sum_{j=1}^n E_{m_j} \geq 1 \\ 0 : \text{이외 (otherwise)} \end{cases} \quad (3)$$

$$k\ out\ of\ n\ 노드\ 상태 : N_k = \begin{cases} 1 : \sum_{j=1}^n E_{m_j} \geq k \\ 0 : \text{이외 (otherwise)} \end{cases} \quad (4)$$

여기서,

$N_s, N_p, N_k$  : 노드의 상태

$E_{m_j}$  : 노드의 구성 요소(하위 노드),  $j=1, 2, \dots, n$

$n$  : 노드를 구성하는 요소(하위 노드)의 수량

$k$  : 노드의 가용 상태를 위한 최소 가용 요소(하위 노드)의 수량

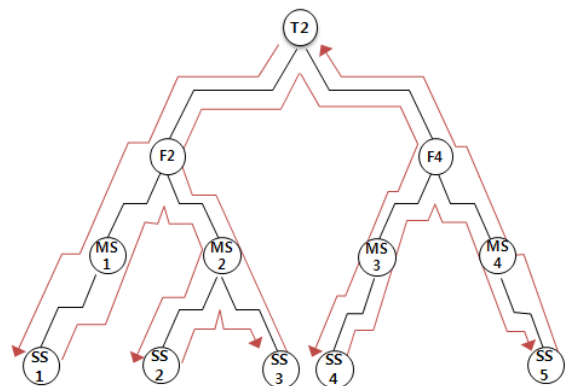


Fig. 5. 시스템 상태 확인 경로

시뮬레이션 모델은 Pentium 4 RAM 256MB 환경에서 Visual Studio 2008 C#언어로 구현하였다. 시뮬레이션 모델의 자료 입력과 출력은 스프레드시트 인터페이스 방식으로 엑셀파일(xls) 형식으로 입력하고, 시뮬레

이선이 종료하면 시뮬레이션 결과와 이력을 엑셀파일(xls) 형식으로 출력한다.

#### 4. 시뮬레이션 모델을 사용한 가상의 복합시스템 가용도 분석

제안하는 시뮬레이션 모델을 사용하여 가상의 복합시스템의 가용도를 분석한다. 분석절차는 시스템 정의, 시스템 RAM 분석 자료수집, 시스템 RBD 모델링 순으로 수행하며, 가용도 분석을 위한 조건과 시뮬레이션 모델의 입력 자료를 정의한다. 그리고 시뮬레이션 모델을 사용하여 가용도를 산출하고 결과를 분석한다.

##### 가. 분석 조건

###### 1) 시스템 정의

시스템 정의 단계에서는 임무로부터 복합시스템을 구성하는 임무시스템을 식별하고 시스템의 개략적인 임무프로파일을 작성한다. 분석 예에서 가용도 분석

Table 1. XYZ 복합시스템 임무프로파일

과업명	시작시간 (시간)	종료시간 (시간)	운용기능
전송기동(T1)	0.00	24.00	기동(F1)
A형 위협탐지(T2)	24.00	48.00	정보1(F2)
A형 위협식별(T3)	48.00	52.00	정보1(F2), 지휘통제2(F6)
무장할당(T4)	52.00	56.00	지휘통제1(F5)
A형 표적추적(T5)	56.00	68.00	정보1(F2), 방호1(F10)
A-1형 사격(T6)	68.00	72.00	정보1(F2), 지휘통제1(F5), 화력1(F7), 방호1(F10)
A-2형 사격(T8)	72.00	76.00	정보1(F2), 지휘통제1(F5), 화력2(F8), 방호1(F10)
A형 피해평가(T7)	76.00	80.00	정보1(F2), 지휘통제1(F5)
B형 위협탐지(T9)	80.00	92.00	정보2(F3)
B형 위협식별(T10)	92.00	96.00	정보3(F4), 지휘통제2(F6)
무장할당(T4)	96.00	100.00	지휘통제1(F5)
B형 위협추적(T9)	100.00	112.00	정보2(F3)
B형 사격(T11)	112.00	116.00	정보2(F3), 지휘통제1(F5), 화력3(F9), 방호2(F11)
B형 피해평가(T12)	116.00	120.00	정보2(F3), 지휘통제1(F5)

대상체계는 XYZ 복합시스템이다. XYZ 복합시스템은 합정 수준의 시스템으로 다양한 임무시스템이 하나의 플랫폼에 통합된 시스템이며, 복합시스템 유형 중 지시된(directed) 복합시스템이다. XYZ 복합시스템은 전시 및 평시 운용개념에 따라 OO지역에서 공중위협, 수상위협, 수중위협에 대응하는 복합임무(ABC)를 수행한다. 주어진 임무는 120시간 동안 Table 1의 과업 순서로 수행한다.

각 과업을 수행하기 위해 운용되는 기능을 정의하고 이로부터 XYZ 복합시스템을 구성하는 임무시스템(MS11~MS52)을 식별한다. 주어진 임무(ABC)를 달성하기 위해 수행하는 과업과 운용기능, 그리고 시스템과 관계를 Fig. 6과 같이 QFD(Quality Function Deployment) 형태로 작성한다.

ABC												
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
o	T1	o										
o	T2		o									
o	T3		o			o						
o	T4				o							
o	T5		o								o	
o	T6		o		o		o				o	
o	T7		o		o							
o	T8		o		o				o		o	
o	T9			o								
o	T10				o	o						
o	T11			o	o					o		o
o	T12				o	o						
XYZ 복합 시스템	MS11	o										
	MS12	o										
	MS21		o		o							
	MS22			o	o							
	MS31					o						
	MS32						o					
	MS41							o				
	MS42									o		
	MS43										o	
	MS44							o	o			
	MS45							o	o			
MS51											o	
MS52												o

Fig. 6. 임무, 과업, 기능과 시스템 QFD

Table 2. XYZ 복합시스템의 임무시스템 신뢰도 및 정비도

임무시스템	고장시간분포	형상모수	척도모수 (MTBF)	교환계단 (수리계단)	수리시간분포	교환시간	수리시간
MS11	Weibull	1.50	1200.00	1(3)	Exponential	8	48
MS12	Weibull	2.00	1324.00	1(3)	Exponential	8	48
MS21	Exponential	-	2048.00	2(3)	Exponential	4	48
MS22	Exponential	-	2048.00	2(3)	Exponential	4	48
MS31	Exponential	-	1439.00	1(3)	Exponential	2	48
MS32	Exponential	-	1439.00	1(3)	Exponential	2	48
MS41	Exponential	-	1560.00	2(3)	Exponential	4	48
MS42	Exponential	-	1420.00	2(3)	Exponential	4	48
MS43	Exponential	-	796.00	2(3)	Exponential	2	48
MS44	Exponential	-	880.00	1(3)	Exponential	2	48
MS45	Exponential	-	920.00	1(3)	Exponential	2	48
MS51	Exponential	-	1600.00	2(3)	Exponential	4	48
MS52	Exponential	-	1600.00	2(3)	Exponential	4	48

2) 시스템 RAM 분석 자료 수집

XYZ 복합시스템을 구성하는 임무시스템의 신뢰도와 정비도를 수집하여 입력한다. 13개 임무시스템의 신뢰도와 정비도는 Table 2와 같다.

정비지원체계는 3계단으로 운용하며, 정비부대는 정비계단별 1개씩 편성된다. 정비부대는 Table 3과 같이 정비팀과 예비품 재고를 운용하며, 임무시스템별 정비팀과 예비품이 편성된다. 예비품은 해당 교환계단의 정비부대에서 교체되며, 이때 교환시간이 소요된다. 교체된 고장품목은 수리계단 정비부대에서 수리 복구된 후 다시 예비품 재고로 운용된다. 평균행정군수지연시간(MALDT : Mean Administrative and Logistics Delay Time)은 고장정비 수행 시 장비 수송과 입고를 위해 기본적으로 소요되는 행정군수지연시간으로 시뮬레이션 수행을 위한 입력 값이다. 임무기간 동안 불가동시간을 유발하는 예방정비시간은 발생하지 않는 것으로 가정한다.

3) 시스템 RBD 모델링

임무와 과업으로부터 시스템이 수행해야 할 기능과 분석 대상체계의 임무시스템 구성을 식별하고, 이를 기초로 과업별 시스템 RBD를 정의한다. Fig. 6의 임무, 과업, 기능과 시스템 QFD를 기초로 과업별 시스템 RBD를 정의하고 가용도 규칙 자료로 입력한다. 예를

Table 3. 정비자원 운용량

부대정비부대				
정비팀 수	예비품			MALDT
	순번	품목	재고량	
1	1	MS11	1	4
1	2	MS12	1	
1	3	MS31	1	
1	4	MS32	1	
1	5	MS44	1	
1	6	MS45	1	
야전정비부대				
정비팀 수	예비품			MALDT
	순번	품목	재고량	
1	1	MS21	1	4
1	2	MS22	1	
1	3	MS41	1	
1	4	MS42	1	
1	5	MS43	1	
1	6	MS51	1	
1	7	MS52	1	
창정비부대				
정비팀 수	예비품			MALDT
	순번	품목	재고량	
13	-	-	-	4

들어 B형 사격(T11)을 수행할 때 XYZ 복합시스템의 RBD는 Fig. 7과 같다.

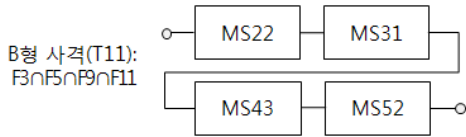


Fig. 7. B형 사격 수행 시 XYZ 복합시스템 RBD

나. 결과 및 분석

XYZ 복합시스템 1셋을 대상으로 Table 1의 임무 시나리오로 시뮬레이션을 500회 반복 수행하였다. 그 결과 주어진 임무(ABC)를 120시간 동안 수행하는 동안 XYZ 복합시스템 1셋의 평균 가용도는 Table 4이고, 임무시스템들의 가용도는 Table 5와 같다. 분석 예에서 정비자원의 제약으로 인한 행정준수지연시간은 추가로 발생하지 않았다.

Table 4. XYZ 복합시스템 가용도 및 임무 성공률

구분	가용도		임무 성공률
	평균	편차	
단위(%)	98.22	1.86	45.50

Table 5. XYZ 복합시스템의 임무시스템 가용도

구분	가용도(%)
MS11	99.94
MS12	99.98
MS21	99.86
MS22	99.84
MS31	99.88
MS32	99.79
MS41	99.87
MS42	99.93
MS43	99.62
MS44	99.83
MS45	99.89
MS51	99.87
MS52	99.83

Table 4에서 임무 성공률은 XYZ 복합시스템이 120시간의 임무 기간 동안 모든 세부 과업을 고장 없이 완수했을 때 성공한 것으로 간주하여 산정한 결과이다. 그 결과 가용도는 98.22%, 임무 성공률은 45.5%이다. 이때 XYZ 복합시스템 수준의 신뢰도와 정비도는 각각 지수분포에서 MTBF(Mean Time Between Failure) 99.70시간, MTTR(Mean Time To Repair) 2.92시간이다. Table 4의 결과는 120시간 동안의 XYZ 복합시스템의 평균 가용도이며, 120시간 동안 과업 구간별 가용도는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 보다시피 가용도는 t+66~t+72시간과 t+108~t+114시간 구간에서 93.42%, 90.13%까지 급격하게 저하되었다. 이때의 과업은 A-1형 사격(T6)과 B형 사격(T11)이다.

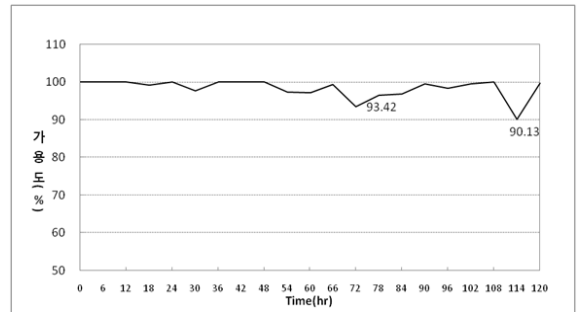


Fig. 8. 구간별 XYZ 복합시스템 가용도

시스템의 고장이력을 살펴보면 500회 반복 실험한 결과 총 365회 고장이 발생하였고, 고장빈도가 높았던 시스템과 고장빈도는 MS43시스템이 71회, MS44시스템이 40회, MS52시스템이 37회, MS32시스템이 33회, MS45시스템과 MS31시스템이 각각 32회 순서였다. 고장빈도가 높았던 품목들은 A-1형 사격(T6)과 B형 사격(T11) 과업을 수행할 때 운용되는 임무시스템들이다. 이중에서 Table 5에서도 보다시피 MS43시스템이 가장 취약한 것으로 나타났다.

임무 성공에 위협이 되는 과업을 안정적으로 수행하고, 가용도를 지속유지하기 위해서는 임무 달성에 가장 위험이 되고 고장빈도가 높은 임무시스템을 중복 운용하거나 성능 개선을 해야 한다. 가용도 분석 시뮬레이션 모델을 활용한 분석 자료는 군의 전투개발자 관점에서는 임무 성공에 위협이 되는 과업을 식별하여 임무 달성 방안을 분석하는데 참고할 수 있다. 사업관리자 관점에서는 복합시스템을 구성하는 임무시스템들의 성능개선 사항을 식별하여 시스템



획득 또는 성능개량 시 RAM 요구사항에 반영할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 복합시스템의 가용도 분석을 위한 시뮬레이션 모델을 제안하였다. 시뮬레이션 모델은 무기체계의 가용도 분석 영역을 임무 및 과업, 시스템과 시스템 RBD, 정비부대로 모델링하여 구현하였다. 시스템 RBD는 복합시스템이 주어진 임무를 수행하기 위해서 임무필수기능을 수행하는 하부 시스템들의 연결 구조이자 복합시스템의 상태를 판단하기 위한 가용도 규칙으로 사용되었다. 제안하는 시뮬레이션 모델을 사용하여 가상의 복합시스템의 가용도를 분석하였다. 그리고 주어진 임무의 구간별 가용도를 근간으로 임무 달성과 가용도 유지에 위험이 되는 과업과 임무 시스템을 식별하였다.

분석 예는 정비인력과 예비품 재고량을 고정시킨 가운데 가용도를 예측하였다. 차후에는 정비인력과 임무시스템의 예비품의 재고수준을 변화시키면서 가용도 목표를 달성하기 위해 요구되는 정비자원 운용수준을 분석하는 것도 가능할 것이다. 또한 복합시스템의 군수지원환경과 운용유지비용을 고려하여 복합시스템을 구성하는 임무시스템들의 대안분석에 관한 연구가 필요하다.

## References

- [1] 권용수, 송상기, 고남경, “복합시스템 환경에서 능력기반 획득 적용방안”, 한국국방경영분석학회지, 제36권 제2호, pp. 71~84, 2010. 8.
- [2] Yong Soo Kwon, Trend of Systems Engineering and Our Tasks, The Korean Society of System Engineering, p. 21, 2011.
- [3] Department of Defense, Reliability, Availability, Maintainability, and Cost Rationale Report Manual, pp. 1~3, June. 1. 2009.
- [4] Department of Defense CJCSI 3170.01E, Joint Capabilities Integration and Development System, 2005. 5. 11.
- [5] Department of Defense, DoD Defense Acquisition Guidebook(DAG), 2008.
- [6] Department of Defense, System Engineering guide for SoS(System of Systems) v1.0, 2008. 8. 1.
- [7] H. L. Kim, S. Y. Choi, “A Study on a Discrete Event Simulation Model for Availability Analysis of Weapon Systems”, 2010 Proceeding ICCESE, pp. 236~242, 2010. 8.
- [8] J. Yanez, T. Ortuno, B. Vitoriano, “A Simulation Approach to Reliability Analysis of Weapon Systems”, European Journal of Operational Research 100, pp. 216~224, 1997.