

탐지체계의 RAM 분석을 위한 시뮬레이션 모델링 연구

윤원영^{*†} · 한영진^{*} · 박고은^{*} · 최충현^{**} · 정덕재^{***}

^{*} 부산대학교 산업공학과
^{**} 국방과학연구소
^{***} 방위사업청

Simulation Modeling for RAM Analysis of a Searching System

Won Young Yun^{*†} · Young Jin Han^{*} · Goeun Park^{*} · Chung Hyun Choi^{**} · Duk Jae Jung^{***}

^{*}Department of Industrial Engineering, Pusan National University
^{**}Agency for Defense Development
^{***}Defense Acquisition Program Administration

Key Words : RAM, Simulation, Weapon System, Operational Availability

Abstract

RAM(Reliability, Availability and Maintainability) is one of the important indicators to show the performance of weapon systems. For analyzing RAM characteristics, RAM simulation is useful and powerful as mathematical techniques. However, it is necessary to build the simulation model to express about the operation environment of weapon systems, and obtain detail input data for reliability and maintainability about the system to get accurate results by RAM simulation. In this paper, we propose a procedure to analyze RAM of the searching system consisting in weapon systems by RAM simulation and we estimate searching system availability by a commercial simulation program, AvSim.

1. 서 론

최근 개발되는 무기체계는 정밀화, 고가화 되고 지원 체계의 복잡성 증가로 인해 개발 및 획득비용뿐만 아니라 운용유지비용도 증가하고 있다. 따라서 수명주기비용을 절감하고 군의 전투준비태세(Combat readiness)를 향상시키기 위해서는 무기체계의 지원성 및 운용성과 관계가 있는 무기체계의 RAM에 대한 연구가 필요하다. RAM은 신뢰도(Reliability), 가용도(Availability) 그리고 보전도(Maintainability)를 일컫는 말로 무기체계의 RAM은 전투준비태세, 시스템 안전(System safety), 임무 성공(Mission success), 총 소유비용(Total ownership cost), 군수지원(Logistics support) 등에 중요

한 영향을 미친다. RAM 특성값 중에서 무기체계에 요구되는 성능과 운용성을 평가하는 중요한 계량적 요소는 가용도로, 신뢰도와 보전도를 기반으로 산출되는 시스템의 운용성능을 평가하는 척도로 사용되고 있다. 가용도는 무기체계의 운용환경에 따라 고유가용도(Inherent availability), 성취가용도(Achieved availability) 그리고 운용가용도(Operational availability)로 분류할 수 있으며, 군 전투준비태세를 나타내는 측정치로도 사용되기 때문에 많은 연구자들에 의해서 무기체계의 운용환경이 반영된 가용도 산출방안에 대한 연구가 많이 진행되었다.

과거에는 무기체계의 OMS(Operational Mode Summary)/ MP(Mission Profile)와 유사무기체계의 운용 데이터를 이용하여 수리적 모형으로 무기체계의 가용도를 산출하였는데, 이한규와 최진희(2000)는 전차의 RAM 목표값 설정을 위해 전/평시 OMS/MP와 Decision

† 교신저자 wonyun@pusan.ac.kr
※ 본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다 (계약번호 UD100007DD).

tree를 이용하여 가용도 계산에 필요한 시간요소를 정의하고 시간 값을 추정하였다. 반면, 김경용과 배석주(2009)는 이항분포식을 이용하여 전투준비태세화물을 만족하는 무기체계의 목표가용도를 설정한 뒤 역으로 가용도 계산에 필요한 시간요소의 값을 산출하였다. 최충현 et al.(2009)은 기존의 무기체계의 OMS/MP 분석과 유사장비의 운용데이터를 이용한 운용가용도 산출식과 보전간 평균시간(MTBM: Mean Time Between-Maintenance)과 평균 비가동시간(MDT: Mean Down Time)을 고려한 운용가용도 산출식을 사례연구를 통하여 비교 분석하였다.

김혜령 et al.(2009)은 총 비가동시간(TDT: Total Down Time)의 시간요소인 총 고장보전시간(TCM: Total Corrective Maintenance)산출시 체계의 신뢰도 특성에 따라 발생하는 운영손실뿐만 아니라 교전으로 인해 발생하는 전투손실을 고려하여 무기체계 가용도를 계산하는 방법을 제안하였다.

그러나 현대 무기체계는 많은 구성품들로 구성되어 다양한 기능을 수행하게 되면서 과거에 사용되었던 RAM 분석 방법을 적용하기에는 적합하지 않은 점이 많게 되었다. 따라서 보다 정확한 무기체계의 가용도 산출을 위해서는 복잡한 무기체계의 운용환경을 현실 상황에 가깝게 묘사한 모형을 사용하는 시물레이션 기법을 활용하는 것이 적합하다. 이에 많은 연구자들이 RAM 시물레이션 개발에 필요한 구성요소 및 설계에 대해 연구하였다. 정일환과 박삼준(2008)은 무기체계의 특성과 운용환경을 고려한 RAM 시물레이션 분석을 위해 신뢰성/보전성/보급지원체계별 필요한 입력 요소를 정의하였다. 그리고 다양한 종류의 RAM 시물레이션 S/W의 기능을 비교, 분석하고, RAMSim을 이용한 예제 실험에서 Duty cycle, 운송시간, 수리부속의 수 변화에 따른 운용가용도의 변화를 분석하였다. 그리고 Yun et al.(2008)은 무기체계와 같이 복잡한 구조로 이루어져 있으며, 하나 이상의 기능을 수행하는 시스템을 다기능 복합시스템(Multi-functional system with complex structures)이라 정의하고, 시물레이션 기법을 이용한 다기능 복합구조 시스템의 신뢰도, 가용도, 보전도의 예측 및 분석기법에 대해 연구하였다.

정일환과 윤원영(2008)은 이산사건 시물레이션 방법과 객체지향 설계를 이용하여 수평보급이 이루어지는 MIME (Multi-indenture Multi-echelon) 무기체계의 운용가용도를 계산하는 RAM 시물레이션 설계방법을 제안하였다. 김혜령과 최상영(2010)은 무기체계 개발

단계에서 소요기획 및 선행연구 단계별 RAM 업무 수행에 활용할 수 있도록 RAM 시물레이션 모델 개념을 3개의 계층으로 구분하여 제안하였다.

위와 같이 개발된 다양한 RAM 시물레이션 모델을 이용하여 연구자들은 개발 또는 운용 중인 무기체계와 대형 시스템의 RAM 성능을 분석하였다. Köchel과 Nieländer(2002)는 다 계단으로 이루어진 Kanban 시스템의 최적설계에 대해 연구하였으며, 시물레이션 KaSimIR을 이용하여 총 비용을 계산하였다. McGee et al. (2004)는 Arena를 이용하여 미 공군의 공급 사슬구조를 모델링하고 분석하였는데, 개발된 시물레이션 모형에서는 대상시스템의 물리적 구조를 Level 3, 보급체계의 수준은 2계단으로 고려하였다. 그리고 Marquez et al.(2005)은 몬테카를로 시물레이션 기법을 이용하여 Power plant의 운용시나리오를 모형화하고 가용도를 계산하였다.

김병수 et al.(2009)는 장기간의 저장 상태로 유지된 후 한 번의 운용을 통해 임무를 완료하는 One-shot system의 특성을 가지는 유도탄의 검사주기 결정에 대해 연구하였는데, 범용 시물레이션인 SIMSCRIPT를 이용하여 사용부대의 운용환경과 다 계단 유지보수체계의 모델링하고 유도탄의 저장신뢰도는 계산하였다. 김도형과 김성호(2010)는 DEVS 형식론 기반으로 설계된 시물레이션 모델을 이용하여 감시정찰, 목표감지, 통신중계 등과 같은 정찰임무를 수행하는 무인정찰기의 운용신뢰도와 정찰임무무효시간비용(ETOS: Effective Time On Station)을 분석하였다. 그리고 Shaikh와 Metta (2010)는 Natural-gas processing plant의 RAM 분석을 위해 상용 RAM 시물레이션 S/W인 BlockSim을 이용하여 Plant의 프로세스를 모형화 하고 시스템의 가용도와 수명주기비용을 분석하였다.

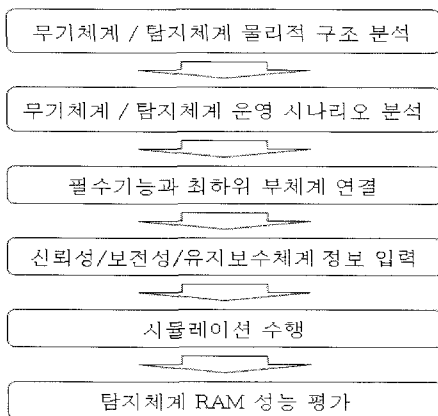
본 논문은 Yun et al.(2008)이 제시한 시물레이션을 이용한 다기능 복합시스템의 RAM 예측/분석 기법을 활용하여 무기체계를 구성하는 부체계 중 하나로 적을 탐지하는 기능을 수행하는 탐지체계의 RAM 성능 분석 절차를 제시한다. 그리고 상용 RAM 시물레이션 S/W를 이용하여 전/평시 운용시나리오에서 탐지체계의 RAM 성능을 분석한다. 사용된 상용 RAM 시물레이션 S/W는 Isograph사에서 개발한 Availability Workbench Module(이하 AvSim)이다.

2. 탐지체계의 RAM 성능 분석

무기체계의 가용도를 구하는 방법은 크게 해석적 방법과 시뮬레이션을 이용하는 방법으로 구분할 수 있다. 과거에는 해석적 방법을 이용하여 체계의 가용도와 신뢰도를 계산하고 분석하였지만, 유지보수자원의 제약이 없거나, 구성품의 고장, 수리나 예방보전이 독립적으로 수행된다는 가정하에서 분석이 이루어졌다. 그러나 최근 무기체계의 첨단화 및 복잡화로 해석적 방법으로 분석하기에는 어려움이 많아 무기체계의 RAM 분석에 시뮬레이션이 많이 활용되고 있는 추세이다. 시뮬레이션에서는 시스템의 구조를 흐름 다이어그램이나 신뢰성 블록도로 모형화하면, 컴퓨터 모형에서 확률적 사건(구성품 고장 등)들이 생성되고 이에 따라 계획된 사건(예방보전 등)과 상태기반 사건들이 발생된다. 본 절에서는 탐지체계의 RAM 분석을 위한 시뮬레이션 모델링 절차를 제안하고 시뮬레이션 수행을 위해 필요한 입력 정보에 대해 설명한다.

2.1 시뮬레이션을 이용한 탐지체계의 RAM 성능 분석 절차

시뮬레이션으로 탐지체계의 RAM 성능을 분석하기 위해서는 먼저 체계의 운용환경과 특성을 모델링해야 한다. 본 논문에서는 탐지체계의 모델링 절차를 <그림 1>과 같이 제시한다. 탐지체계의 물리적 구조 및 운용 시나리오(Operational scenario)를 분석하기 위해서는 무기체계의 물리적 구조와 운용 시나리오 분석이 선행되어야 한다.



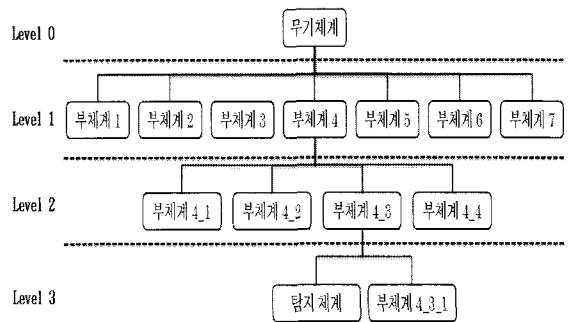
<그림 1> 탐지체계 RAM 분석 절차

먼저 탐지체계가 속한 무기체계의 물리적 구조를 탐지체계가 위치한 수준까지 분석한다. 동일한 분석 수준

에서 다른 부체계와 탐지체계와의 관계를 파악하고, 탐지체계의 물리적 구조를 분석 가능한 수준까지 분석한다. 그리고 무기체계가 수행하는 운용 시나리오와 임무 그리고 기능을 파악하고, 실제 탐지체계가 수행하는 임무 및 필수기능을 분석한다. 그 다음 필수기능과 필수기능을 수행하기 위해 필요한 탐지체계의 최하위 구성품을 연결한다. 마지막으로 최하위 구성품의 고장/보전 정보, 탐지체계의 예방보전(Preventive maintenance), 유지보수체계에 대한 정보를 입력하고 시뮬레이션을 수행하여 탐지체계의 RAM 성능 평가 및 통계량 분석을 수행한다.

2.2 무기체계/탐지체계 물리적 구조 분석

탐지체계의 물리적 구조 분석을 위해서는 최상위 체계인 무기체계의 물리적 구조를 탐지체계의 수준까지 분석한다. 예를 들어, <그림 2>에서 무기체계는 물리적 구조가 Level 1에서는 7개의 부체계로 구성되어 있으며, 탐지체계는 그중에서 부체계 4-부체계 4_3에 포함되어 작동한다.



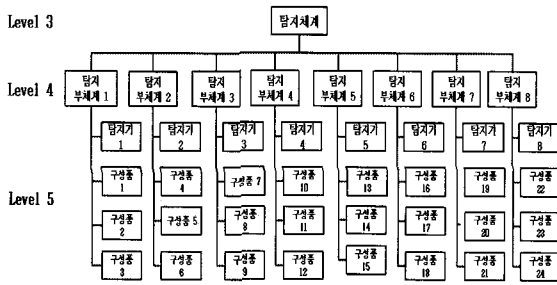
<그림 2> 무기체계의 물리적 구조(예)

탐지체계가 위치한 수준까지 무기체계의 물리적 구조가 분석이 된다면, <그림 3>의 예와 같이 탐지체계의 물리적 구조를 분석한다. 대부분의 탐지체계는 탐지방식과 목적에 따라 여러 종류의 탐지 부체계로 이루어져 있으며, 탐지 부체계들은 특정기능으로 적을 탐지하는 탐지기를 제외하면, 대부분 유사한 구성품으로 구성되어 있다.

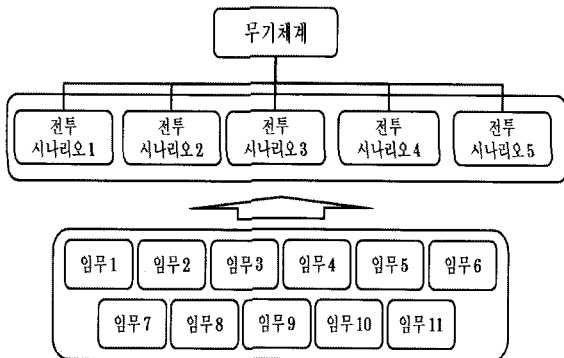
2.3 무기체계/탐지체계의 운용 시나리오 분석

대부분의 무기체계는 평시와 전시에 따라 서로 다른 운용시나리오를 주어진 시간동안 수행한다. 예를 들어,

평시의 경우 교육, 훈련, 감시 등과 같이 교육을 목적으로 한 임무들을 주로 수행하지만, 전시의 경우 운용시나리오는 적을 감시 또는 파괴하는 것이 목적인 임무들로 구성되어 있으며, 각 운용시나리오는 <그림 4>와 같이 무기체계가 수행하는 임무들의 조합으로 이루어진다.



<그림 3> 탐지체계의 물리적 구조(예)

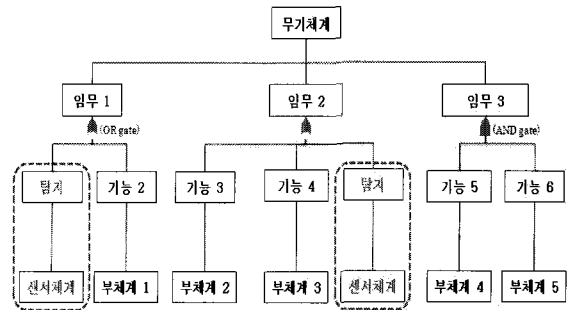


<그림 4> 무기체계의 전투시나리오와 임무 종류

무기체계의 임무가 완수되기 위해서는 임무별 요구되는 방호, 기동, 화력, 추적, 탐지 등과 같은 필수기능이 수행되어야 한다. 체계단위에서 임무별 요구되는 여러 필수기능 중에서 탐지체계가 수행하는 필수기능은 적의 위치를 분석하는 탐지기능이다. 즉, 탐지기능이 포함된 임무는 탐지체계가 수행하는 임무로 정의할 수 있으며, 무기체계가 탐지기능을 필요로 하지 않는 그 외에 임무들을 수행하는 동안에는 탐지체계는 작동되지 않거나 또는 탐지체계의 고장은 임무수행에 영향을 미치지 않는다.

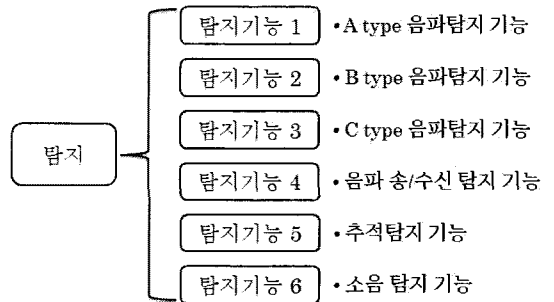
예를 들어, <그림 5>에서 무기체계의 임무 1과 2의 수행시간 동안 탐지체계는 체계단위의 필수기능인 탐지기능의 수행을 위해 작동한다. 이때 탐지체계의 고장은 임무 1과 2의 수행에 영향을 미칠 수 있다. 반면 탐지기능을 필요로 하지 않는 임무 3의 수행시간 동안은 탐지체계가 작동하지 않거나, 작동을 하더라도 탐지체

계의 고장은 임무 3 수행에 영향을 미치지 않는다.



<그림 5> 무기체계/탐지체계의 임무와 필수기능

무기체계의 임무와 필수기능 분석을 통하여 탐지체계가 수행하는 임무를 파악할 수 있다. 그러나 체계단위에서 요구하는 탐지기능을 수행하기 위해서 탐지체계를 구성하는 모든 탐지기 부체계가 작동한다고 판단하기는 어렵다. 비록 <그림 5>에서 임무 1과 2 모두에 탐지기능이 필요하지만, 임무의 특성에 따라 작동되는 탐지체계의 구성품은 다를 수 있다. 이에 체계단위의 필수기능인 탐색기능을 탐지체계를 구성하는 탐지 부체계들의 특성에 따라 <그림 6>과 같이 세부 필수기능으로 분류할 수 있다.



<그림 6> 탐지체계의 필수기능

2.4 탐지체계의 필수기능과 최하위 구성품과의 연결

탐지체계의 물리적 구조와 필수기능 분석 후 탐지체계의 필수기능이 수행되기 위해 작동되어야 하는 탐지 부체계들의 최하위 구성품들을 연결한다. 예를 들어, <표 1>에서 탐지기능 1이 수행되기 위해서는 탐지기 1과 탐지기 2가 작동이 되어야 하며, 탐지기능 6이 수행되기 위해서는 탐지기 6, 7 그리고 8이 작동되어야 한

다. 그리고 필수기능의 고장은 구성품과 필수기능의 신뢰성 구조에 따라 발생한다.

<표 1> 필수 기능과 탐지체계의 탐지기와 연결

필수 기능	탐지기 1	탐지기 2	탐지기 3	탐지기 4	탐지기 5	탐지기 6	탐지기 7	탐지기 8
탐지기능 1	0	0						
탐지기능 2	0			0				
탐지기능 3		0			0			
탐지기능 4	0		0					
탐지기능 5				0	0			
탐지기능 6						0	0	0

2.5 신뢰성/보전성/유지보수체계 정보

시뮬레이션을 이용해 탐지체계의 RAM 성능을 평가하기 위해서 최하위 구성품의 신뢰도, 보전도 그리고 탐지체계의 예방보전 및 유지보수체계에 대한 정보가 필요하다. 먼저 최하위 구성품의 신뢰도 정보는 실제 물리적 고장이 발생하는 구성품의 고장특성에 적합한 고장분포와 구성품과 필수기능간, 필수기능과 임무간의 신뢰성 구조에 대한 것이다. 무기체계에서 구성품의 고장은 임무수행에 영향을 미치지 않는 고장과 임무수행에 영향을 미치는 고장으로 구분할 수 있으며, 고장의 종류에 따라 체계 신뢰도 또는 임무 신뢰도를 분석할 수 있다. 그리고 시뮬레이션에서는 다양한 고장분포에 따른 구성품의 고장시간을 생성할 수 있기 때문에 보다 정확한 탐지체계의 RAM 성능을 분석하기 위해서는 최하위 구성품의 고장특성에 따른 적합한 고장분포와 해당분포의 모수에 대한 정보가 필요하다.

보전은 크게 고장보전(Corrective maintenance)와 예방보전(Preventive maintenance)로 구분된다. 고장보전은 시스템이 고장 난 상태에서 작동상태로 복원시키는 활동이며, 예방보전은 시스템이 고장 나지 않은 상태에서 시스템의 상태를 개선하는 활동이다. 최하위 구성품의 보전도 정보는 구성품의 고장이 발생하였을 때 수리 또는 교환을 통해 구성품을 복구시키는 고장보전에 대한 것으로, 구성품의 고장발생시 회복까지 소요되는 보전수행시간, 보전 수행 후 효과, 보전 수행에 소요되는 유지보수자원에 대한 정보를 입력한다. 특히 구성품의 고장이 발생하였을 때 고장보전 수행조건에 대해 파악하는 것이 중요하다.

예방보전은 고장이 발생하지 않거나 적게 일어나게 하는 예방적 차원에서 실시하는 보전활동으로, 시뮬레이션에 필요한 탐지체계의 예방보전 정보는 예방보전의 종류, 수행주기, 수행시간, 보전효과, 유지보수자원 등에 대한 것이다. 예방보전의 종류로는 시스템의 수명에 근거하여 실시하는 수명기준보전(Age based maintenance), 정해진 시점들에서 예방보전이 수행되는 시간기준보전(Time based maintenance), 시스템의 상태변수가 한계값에 도달하거나 넘었을 때 수행되는 상태기준보전(Condition based maintenance) 그리고 하나의 장비를 수리하는 경우에 고장 나지 않은 다른 장비들도 함께 보전을 하는 기회보전(Opportunistic maintenance)이 있다.

무기체계의 예방보전은 보전의 정도에 따라 보전이 수행되는 곳이 다르다. 무기체계의 유지보수체계는 일반적으로 부대, 야전 그리고 창으로 이루어져 있으며, 부대에서는 수시로 간단한 육안검사 및 점검 등이 수행되며, 야전에서는 주기적으로 구성품의 교환 및 수리가 수행된다. 그리고 창에서는 분해 보전을 통하여 필수 교환품목의 교환 등을 이뤄진다. 예를 들어, 함정과 같은 무기체계의 경우 상가보전이 필요한 예방보전은 상가 장비를 보유한 야전으로 이동시키며, Overhaul은 창 또는 제조업체에서 수행된다.

유지보수효과는 고장 및 예방보전 수행 후 구성품의 수명상태의 변화를 정의하는 것으로, 보전 후 구성품의 수명이 새것과 같이 되는 완전수리(Perfect repair), 보전직전의 수명을 가지는 최소수리(Minimal repair), 0과 1사이의 값을 가지는 확률값 p 에 따라 완전수리 또는 최소수리가 되는 불완전수리(Imperfect repair) 그리고 수명감소인자(Age reduction)에 따라 구성품의 수명이 감소되는 개선수리(Improvement repair)가 있다.

체계의 수명주기 동안 체계를 지원하는 유지보수체계를 시뮬레이션으로 묘사하기 위해서는 유지보수체계의 계단별로 운용하고 있는 유지보수자원의 종류와 가용한 수, 특히 예비품의 종류, 재고정책, 보관/주문/운송비용, 유지보수계단별 이동시간 등에 대한 정보가 필요하다. 일반적으로 무기체계의 유지보수체계는 다 계단(Multi-echelon)으로 부대, 야전 그리고 창으로 이루어져 있으며, 각 계단별로 체계의 복구에 필요한 자원을 보관 및 운용한다. 유지보수 자원은 예비품, 정비원, 장비가 있으며, 3가지 모두가 가용해야만 체계를 복구하기 위한 보전이 수행될 수 있다. 자원의 부족은 보전 지연시간 발생으로 이어지고 체계의 가용도가 저하되

는 반면 자원의 과잉은 관리를 위한 운용비용을 증가시킨다. 특히 무기체계의 경우 대부분의 예비품들을 국외에서 조달하며, 고가이므로 무기체계의 가용도와 운용비용을 고려하여 적합한 재고정책을 선정하고 예비품을 관리하는 것이 중요하다.

다양한 재고정책 중에서 많이 사용되고 있는 재고정책은 (s, S)와 (S-1, S) 재고정책으로 (s, S) 정책은 주로 수명주기가 짧은 일회성 부품들에 대하여 대량구매를 실시하는 시스템에 적합한 재고정책이다. 이 경우 예비품의 재고수준이 사전에 정한 s 지점까지 낮아지게 되면 예비품 보유수준인 S까지 예비품을 보충한다. 그리고 (S-1, S) 재고정책은 공급지와 수요지를 순환하는 수리가능 부품에 주로 적용되는 재고정책이다. 항공기, 군사장비와 같이 고가의 장비에 대한 예비품 재고정책으로 사용되고 있으며, 예비품에 대한 수요가 발생할 때마다 예비품을 주문하여 보충한다. 이때 고장난 구성품의 복구를 위해 예비품을 보급한 해당 유지보수계단의 예비품은 현 보유재고이외에 수리 후 보급 예정인 예비품(Pipeline내 예비품)이 존재하기 때문에, 상위계단에 예비품을 요청시 이를 고려해야 한다. 그리고 각 유지보수계단간의 예비품 공급시 운송시간이 존재하며 이로 인해 체계의 복구에 지연시간이 발생하게 된다. 이러한 지연시간은 무기체계의 운용가용도를 감소시키는 원인 중 하나이다.

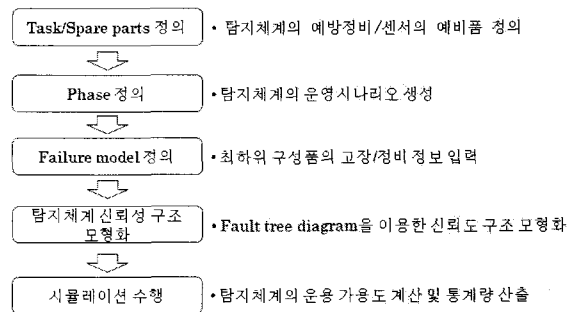
3. RAM 시뮬레이션 S/W (AvSim 설정)

AvSim은 Reliasoft사의 BlockSim, Relex사의 Opsim과 같이 Isograph사에서 개발한 상용 RAM 시뮬레이션 S/W로 <표 2>와 같이 다양한 종류의 고장분포와 수리분포, 유지보수효과모형, 여러 종류의 계획보전(검사/예방보전) 그리고 다 계단 보급체계(Level 3) 및 수리수준(Level 2) 등 다양한 기능을 제공한다.

탐지체계 RAM 성능 평가를 위한 AvSim 설정은 <그림 7>과 같다. 먼저 탐지체계의 예방보전과 임무를 정의하고 Failure Model을 생성하여 구성품의 고장 및 보전정보를 입력한다. 그 다음 임무와 필수 기능 그리고 필수 기능과 최하위 구성품 간의 신뢰성 구조를 Fault tree diagram을 이용하여 표현한다. 마지막으로 시뮬레이션 주기, 반복횟수를 설정하여 시뮬레이션을 수행한다.

<표 2> AvSim 기능

특성	설 명
개발사	Isograph사
신뢰성 구조	RBD, FTD
고장분포	지수, 와이블, 정규 등 다수
Duty cycle	구성품별 운영시나리오 적용
유지보수효과	완전/최소/개선수리
유지보수자원	장비, 정비원, 예비품
예방보전	계획보전, 그룹보전 설정
재고정책	(S-1, S), 정기주문, (s, S)
유지보수체계	보급체계: 3 계단 수리수준: 2 계단



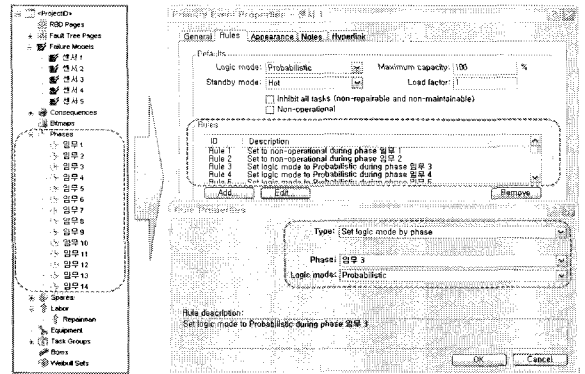
<그림 7> AvSim 설정 절차

<그림 8>은 AvSim에서 탐지체계의 예방보전 설정을 나타낸다. 일반적으로 효과적인 예방보전을 수행하기 위해서 구성품별로 예방보전을 수행하기보다 체계 단위로 예방보전을 실시하기 위하여 다른 구성품과 같이 수행한다. 따라서 수행되는 무기체계의 예방보전별로 AvSim에서 Group task를 생성하여 구성품을 그룹화 한다. 그리고 모든 예방보전은 무기체계가 입항 후 수행됨으로 예방보전 수행 동안 구성품의 작동상태는 비가동상태로 정의한다.

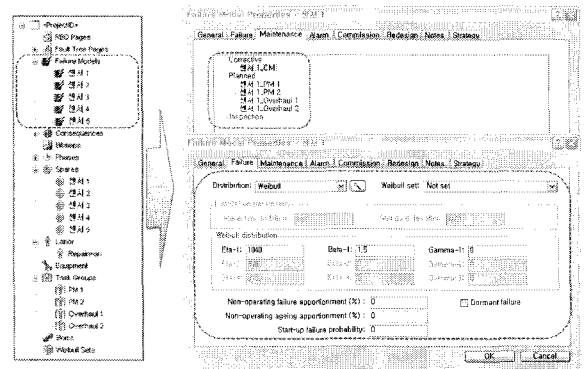
<그림 9>는 AvSim에서 예비품 설정을 나타내며, 예비품의 구입비용, 예비품별 유지보수체계 보관비용, 재고수준 그리고 유지보수계단간 이동시간에 대한 정보를 입력할 수 있다. AvSim에서는 최하위 유지보수계단(부대)은 (S-1, S) 재고정책과 정기주문 재고정책 그리고 상위 유지보수계단(야전)은 (s, S) 재고정책을 지원한다. 그리고 고장난 구성품이 수리 가능한 부품인 경우 수리수준(Level of repair)을 설정할 수 있으며, 야

전(Level 2)까지 지원한다. AvSim에서 구성품별 수행하는 임무를 <그림 10>과 같이 Phase를 통하여 설정할 수 있다. 탐지체계의 운용시나리오에 포함되어 있는 임무를 Phase로 정의하고, 구성품의 상태를 Phase마다 비가동 상태, 가동 상태, 비 보전상태 등으로 설정할 수 있다.

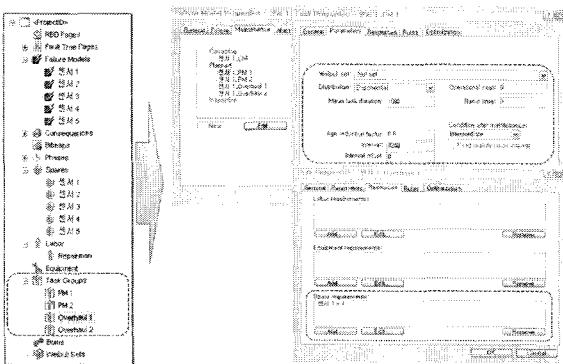
Failure model은 하나의 구성품에 대한 신뢰도, 보전도 정보를 설정하는 창으로 <그림 11>과 같이 구성품의 고장정보와 고장 및 예방보전정보를 입력하며, 보전 수행시 유지보수자원이 필요한 경우 마찬가지로 Failure model에서 설정한다. 그리고 동일한 신뢰도와 보전도를 가지는 구성품이 있는 경우 중복설정 없이 이미 정의된 Failure model을 사용하면 된다. 그 다음 Fault tree diagram으로 탐지체계의 임무, 기능 그리고 최하위 구성품의 신뢰성 구조를 모형화 한다. Fault tree diagram에서 기본 이벤트(Basic event)는 최하위 구성품의 고장으로 각 구성품별로 적합한 Failure model을 선택하여 설정한다. 마지막으로 시뮬레이션 수행시간과 반복횟수를 입력하여 탐지체계의 가용도를 계산한다.



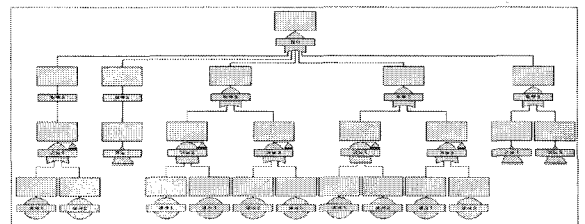
<그림 10> 운용시나리오 생성



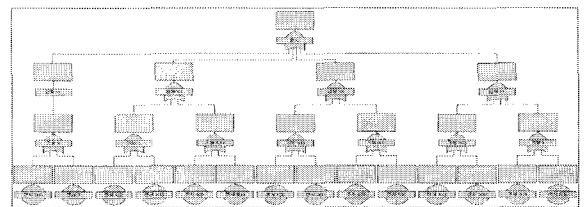
<그림 11> Failure model 설정



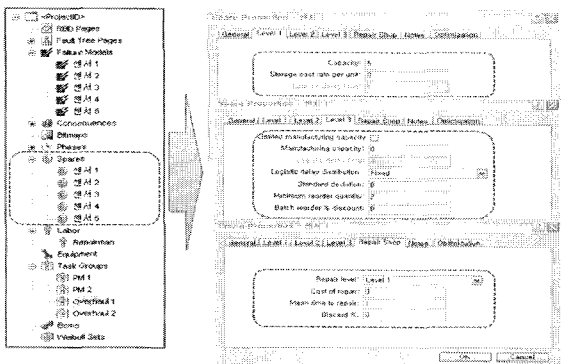
<그림 8> 예방보전과 그룹보전 설정



(1) 탐지체계 건시 운영시나리오



(2) 탐지체계 정시 운영시나리오



<그림 9> 예비품(Spare part) 설정

<그림 12> 탐지체계의 Fault tree diagram

4. 예제실험

본 절에서는 제안된 시뮬레이션을 이용한 탐지체계

RAM 성능 분석 절차를 활용하여 탐지체계의 전/평시 운용 시나리오를 입력하여 AvSim으로 탐지체계 가용도 계산 및 다양한 통계량 산출을 통해 탐지체계의 성능을 분석하는 실험을 수행한다.

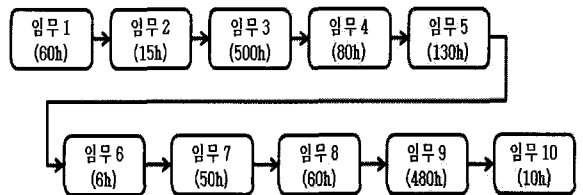
4.1 실험 기본 정보

<표 3>은 구성품의 고장 및 보전 데이터와 예비품 입력 데이터를 나타낸다. 구성품의 고장분포와 교환분포는 와이블분포와 지수분포를 사용하였으며, 수리시간은 상수로 가정하였다. 예비품 재고정책은 부대에서는 (S-1, S), 야전에서는 (s, S) 재고정책을 사용하며, 부대의 재고량은 (S-1, S) 재고정책의 S가 된다. 그리고 유지보수계단간의 운송시간은 부대와 야전간은 150시간, 야전과 창간은 250시간이 소요된다.

<표 4>는 탐지체계 예방보전에 대해 수행주기, 수행시간, 예방보전 효과 그리고 소요되는 유지보수 자원의 입력정보를 나타낸다. 탐지체계의 전/평시 운용시나리오 오는 각각 <그림 13>, <그림 14>와 같으며, 시뮬레이션 수행 동안 탐지체계는 전시 → 평시 → 전시 → 평시의 순서로 순차적으로 반복 수행한다.

<표 5>는 전/평시별로 탐지체계의 임무와 임무별포 포함된 필수기능 그리고 필수기능이 수행되기 위해 작

동되어야 하는 최하위 구성품을 나타낸다. 시뮬레이션 반복횟수는 100회, 탐지체계의 운용시간은 350,400시간(40년)으로 설정하였다. 예제실험을 위해 <표 3>의 구성품의 고장/보전/예비품과 <표 4>의 예방보전 정보는 가상 데이터를 사용하였다.



<그림 13> 탐지체계 전시 운용시나리오



<그림 14> 탐지체계 평시 운용시나리오

4.2 예제실험 결과

<그림 15>은 AvSim으로 시뮬레이션을 수행한 결과로 탐지체계의 수명주기 동안 (i) 체계의 불가용도 변화와 (ii) 임무수행에 영향을 미치는 보전 발생빈도를 나

<표 3> 구성품의 고장/보전/예비품 가상 데이터(단위: 시간, 개)

구성품	고장시간	교환시간	수리시간	수리수준	부대	야전	
					재고량	재고량	재고정책
탐지기 1	Wei(980, 1.2)	Exp(5)	80	부대	2	3	(1, 3)
탐지기 2	Wei(1020, 1.2)	Exp(6)	70	야전	1	4	(2, 4)
탐지기 3	Wei(1300, 1.1)	Exp(4)	30	야전	2	2	(1, 2)
탐지기 4	Wei(1600, 1.3)	Exp(5)	50	부대	2	3	(1, 3)
탐지기 5	Wei(1200, 1.2)	Exp(4)	30	야전	1	4	(2, 4)

<표 4> 예방보전 가상 데이터(단위: 시간, 개, 명)

종류	수행주기	수행시간	예방보전효과	유지보수자원	
				예비품	정비원
PM 1	3,240	1,080	개선수리(0.6)	X	1
PM 2	20,160	2,880	개선수리(0.8)	1	1
Overhaul 1	70,080	5,760	완전수리	1	1
Overhaul 2	140,160	8,760	완전수리	1	2

<표 5> 탐지체계 임무와 기능 입력정보

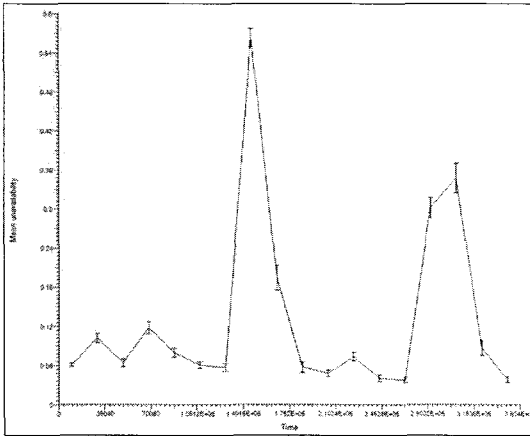
전시			평시		
임무 (수행시간)	기능	구성품	임무 (수행시간)	기능	구성품
임무 3 (500h)	탐지 기능 1	탐지기 1	임무 11 (100h)	탐지 기능 4	탐지기 1
		탐지기 2			탐지기 3
임무 4 (80h)	탐지 기능 1	탐지기 1	임무 12 (50h)	탐지 기능 2	탐지기 1
		탐지기 2			탐지기 4
임무 5 (130h)	탐지 기능 2	탐지기 1		탐지 기능 5	탐지기 4
		탐지기 4			탐지기 5
	탐지 기능 3	탐지기 2	임무 13 (20h)	탐지 기능 1	탐지기 1
		탐지기 5			탐지기 2
임무 7 (50h)	탐지 기능 4	탐지기 1		탐지 기능 5	탐지기 4
		탐지기 3			탐지기 5
	탐지 기능 5	탐지기 4	임무 14 (50h) 수정	탐지 기능 1	탐지기 1
		탐지기 5			탐지기 2
임무 8 (60h)	탐지 기능 4	탐지기 1		탐지 기능 3	탐지기 2
		탐지기 3			탐지기 5
	탐지 기능 5	탐지기 4			
		탐지기 5			

타낸다. 결과를 통해서 수명주기 동안 탐지체계의 불가용도가 0.12 이하를 유지하는 것을 알 수 있다. 불가용도가 최대 0.5를 나타내는 지점은 Overhaul 2를 수행하는 시점으로 수행시간이 8760시간(1년)으로 보전시간이 길기 때문에 비가동시간이 커져 체계의 불가용도가 증가하였다. Overhaul 2가 두 번째 수행되는 시점에서의 불가용도가 첫 번째 Overhaul 1보다 작은 것은 (ii) 임무수행이 불가능한 보전발생 빈도를 통해서 Overhaul 1시점에서 보다 많은 보전이 발생하였기 때문이라는 것을 알 수 있다.

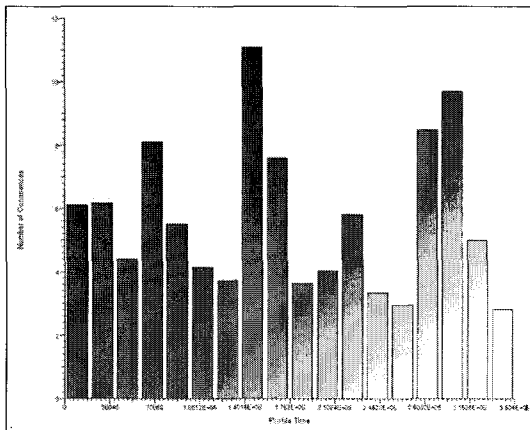
다음은 입력 요소들의 변화에 따른 탐지체계의 운용가용도 변화를 분석하였다. <그림 16>은 고장분포인 와이ابل 분포의 척도모수를 20%, 40%, 60% 감소시켰을 경우에 대한 탐지체계의 운용가용도(i)와 정비원의 고장보전시간(ii)의 변화를 나타낸다. 척도모수가 감소함에 따라 운용가용도가 감소하는데 이는 탐지기들의

고장시간의 증가로 체계의 비가동시간이 늘어났기 때문이다.

정비원에 대한 영향을 분석하기 위해 유지보수체계에서 운용하는 정비원의 수가 3, 5, 7, 10명인 경우 대해 실험하였다. <그림 17>에서 정비원이 증가함에 따라 체계의 운용가용도가 향상되고, 탐지체계의 총 비가동시간은 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 보전을 수행하는 정비원의 수가 증가할수록 정비원 부족으로 인해 발생하는 보전지연시간이 감소하였기 때문에 운용가용도가 향상되는 것이다. 그러나 정비원의 수가 7명에서 10명 사이에서 체계 운용가용도의 변화 폭이 작은 것은 7명 이상의 정비원의 운용은 보전지연시간 감소에 크게 효과적이지 못하기 때문이다. 따라서 운용비용과 운용가용도를 고려하여 적정수준의 정비원을 운용하는 것이 중요하다.

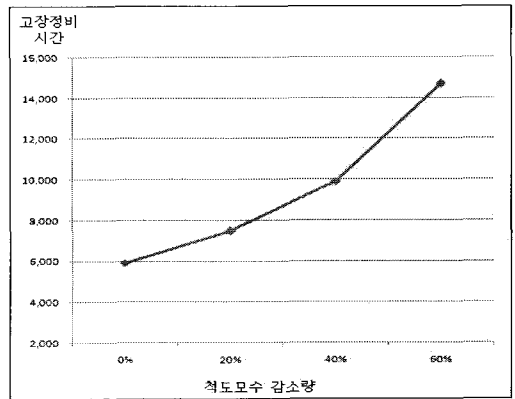


(i) 탐지체계 불가용도



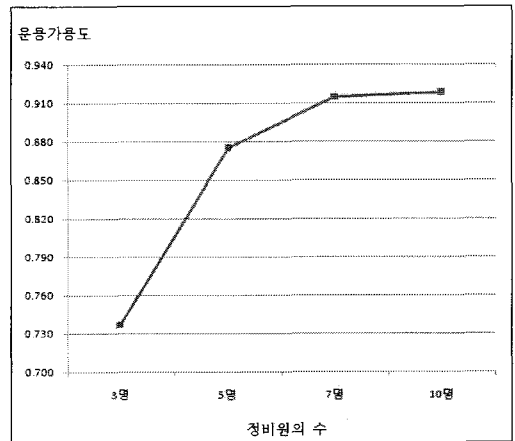
(ii) 임무수행 불가능한 정비발생

<그림 15> AvSim 실행 결과

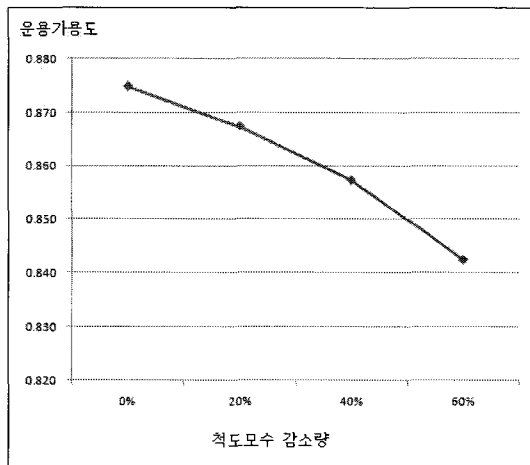


(ii) 고장정비시간 변화

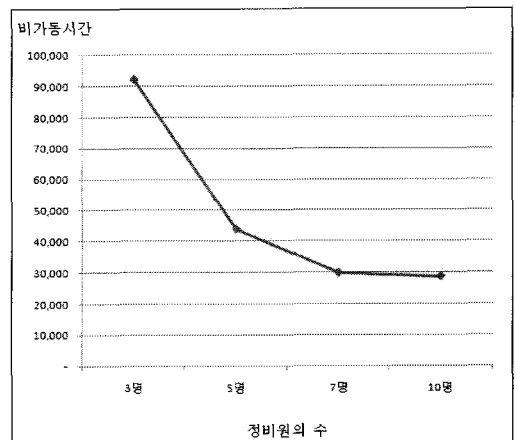
<그림 16> 적도모수 감소에 따른 운용가용도/고장보전시간 변화



(i) 운용가용도 변화



(i) 운용가용도 변화



(ii) 총 비가동시간의 변화

<그림 17> 정비원의 수에 따른 운용가용도/총 비가동시간 변화

5. 결 론

참고문헌

본 논문에서는 탐지체계의 RAM 분석을 위한 시뮬레이션 모델링에 대해서 다루었다. RAM 시뮬레이션은 수리적 분석으로 어려운 체계의 복잡한 특성과 운용환경을 묘사할 수 있다. 시뮬레이션으로 보다 현실상황에 가깝게 모델링을 하기 위해 시뮬레이션 모델링 절차를 제시하였다. 먼저 탐지체계의 물리적 구조를 파악하고, 탐지체계의 운용시나리오와 임무 그리고 임무 수행을 위해 필요한 기능을 분석하여 물리적 고장이 발생하는 최하위 구성품과 연결을 한다. 그리고 시뮬레이션 수행을 위해 필요한 구성품의 고장과 보전, 체계의 예방보전과 유지보수체계의 정보를 입력한다. 제시한 절차를 상용 RAM 시뮬레이션인 AvSim을 이용하여 모델링하였으며, 입력 요소들의 변화에 따른 탐지체계의 운용가용도에 미치는 영향을 실험을 통해 분석하였다.

시뮬레이션 실험결과에서 먼저 구성품의 신뢰도가 저하됨에 따라 고장보전으로 인해 발생하는 비가동시간이 증가하고, 가동시간이 감소하여 결과적으로 운용가용도가 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 보유하고 있는 정비원의 수가 많아질수록 운용가용도가 향상되고 비가동시간이 줄어드는 것을 알 수 있다. 즉, 정비원 부족으로 인해 발생하는 유지보수의 지연시간이 줄어들었다. 반면에 유지보수자원을 적절하게 보유하는 것 또한 중요하다는 것을 정비원의 수 증가에 따른 운용가용도와 비가동시간의 변화량을 통해 알 수 있다. 이와 같이 운용가용도는 신뢰도 및 보전도 그리고 유지보수 자원에 영향을 받으며, 운용가용도의 변화는 신뢰도 및 보전도의 변화를 같이 반영하게 된다.

추후 제시한 시뮬레이션 모델링 방법을 바탕으로 탐지체계의 실제 야전데이터를 분석하여 탐지체계의 RAM 분석에 대한 연구가 필요하겠다. 그리고 실험을 통해 알 수 있듯이 적절한 유지보수자원을 보유하는 것이 비용과 운용측면에서 중요하다. 따라서 RAM 시뮬레이션과 메타 휴리스틱과 같은 최적화 기법을 활용하여 운용가용도 제약하에서 유지보수체계에 대한 다양한 최적화 문제에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD100007DD).

- [1] 김경용, 배석주(2009), “전투준비태세 및 유사장비 운용자료를 활용한 RAM 목표값 설정방법에 관한 연구” 『산업경영시스템학회지』, 32권, 3호, pp. 127-134.
- [2] 김도형, 김성호(2010), “무인정찰기 신뢰성/가용도/정비성(RAM) 분석용 시뮬레이션 모델”, 『한국군사과학기술학회 학술대회 논문집』, pp. 1978-1981.
- [3] 김병수, 이계진, 김동석, 문기성(2009), “M&S를 활용한 유도탄 검사주기 및 수량 설정 방안”, 『한국시뮬레이션학회 논문지』, 18권, 4호, pp. 95-105.
- [4] 김혜령, 백순흠, 최상영(2009), “무기체계 운용가용도 산정 모델에 관한 연구”, 『한국국방경영분석학회지』, 35권, 3호, pp. 17-30.
- [5] 김혜령, 최상영(2010), “계층적 RAM 시뮬레이션 모델 프레임워크”, 『한국군사과학기술학회지』, 13권, 1호, pp. 41-49.
- [6] 서순근, 김호균, 권혁무, 차명수, 윤원영, 차지환(2010), 『신뢰성공학』, 교보문고.
- [7] 이한규, 최진희(2000), “RAM 요소설계 목표값 연구”, 『한국군사과학기술학회지』, 3권, 1호, pp. 218-230.
- [8] 정일한, 박삼준(2008), “무기체계 RAM 시뮬레이션의 정확도 향상을 위한 요소별 영향 분석”, 『한국군사과학기술학회지』, 11권, 6호, pp. 102-116.
- [9] 정일한, 윤원영(2008), “수명보급이 적용된 Multi Indenture Multi Echelon 시스템에 대한 시뮬레이션 설계”, 『산업공학』, 21권, 4호, pp. 354-364.
- [10] 최종현, 이봉기, 유재우(2009), “무기체계의 목표 운용가용도 설정 사례 연구”, 『한국군사과학기술학회 학술대회 논문집』, pp. 83-86.
- [11] Blichke, W. R. and Murthy, D. N. P.(2000), *Reliability Modeling, Prediction, and Optimization*, Wiley Interscience, New York.
- [12] Block, K. C. and Geitner, F. K.(1994), *An Introduction to Machinery Reliability Assessment*, Gulf Publishing Company, Houston.
- [13] Köchel, P., Nieländer, U.(2002), “Kanban Optimisation by Simulation and Evolution”, *Production Planning and Control*, Vol. 13, No. 8, pp. 725-734.
- [14] Landers, T. L., Taha, H. A. and King, C. L.(1991), “A Reliability Simulation Approach for Use in the Design Process”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 40, No. 2, pp. 177-181.
- [15] Law, A.M, Kelton, W.D(2000), *Simulation Modleing and Analysis*, McGraw-Hill, New York.
- [16] Marquez, A. C., Heguedas, A. S. and lung, B.(2005), “Monte Carlo-based Assessment of System Availa

- bility. A Case Study for Cogeneration Plants”, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 88, No. 3, pp. 273-289.
- [17] McGee, J. B., Rossetti, M. D. and Mason, S. J. (2004), “Simulating Transportation Practices in Multi-indenture Multi-echelon (MIME) Systems”, *Proceedings of the 2004 Winter Simulation*, pp. 974-981.
- [18] Rausand, M. and Hoyland, A.(2004), *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications: Second Edition*, Wiley Interscience, New York.
- [19] Rausand, M. and Reinertsen, R.(1996), “Failure Mechanisms and Life Models”, *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, Vol. 3, No. 2, pp. 137-152.
- [20] Shaikh, A, Mettas A.(2010), “Application of Reliability, Availability, and Maintainability Simulation to Process Industries: a Case Study” *Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Systems*, pp. 173-196, Springer, London.
- [21] Yun, W. Y., Moon, I. K. and Kim, K. R.(2008), “Simulation-based Maintenance Support System for Multi-functional Complex Systems”, *Production Planning and Control*, Vol. 19, No. 4, pp. 365-378.

2011년 6월 1일 접수, 2011년 7월 12일 수정, 2011년 8월 8일 채택