

시뮬레이션 기반 함정의 신뢰도와 보전도 설정

한영진¹ · 윤원영^{1*} · 유재우² · 최충현³ · 김희욱⁴

¹부산대학교 산업공학과 / ²국방과학연구소, 6본부 소나체계단 /

³국방과학연구소, R&D 품질혁신실 / ⁴LIG 넥스원 ILS 연구센터

Simulation-based Reliability and Maintainability Design of a Warship

Young Jin Han¹ · Won Young Yun¹ · Jea Woo You² · Chung Hyun Choi³ · Hee Wook Kim⁴

¹Department of Industrial Engineering, Pusan National University

²The 6th R&D institute Sonar Systems PMO, Agency for Defense Development

³R&D Quality Reform Division, Agency for Defense Development

⁴ILS, LIG Nex1

In this paper, we deal with a simulation-based reliability and maintainability design problem of a warship and want to determine the optimal values of MTBF and MTTR of all units and ALDT of the warship. The system availability and life cycle cost are used as optimization criteria and estimated by simulation. A hybrid genetic algorithm with a heuristic method is proposed to find near-optimal solutions and numerical examples are also studied to investigate the effect of model parameters to the optimal solutions and compare with a general genetic algorithm.

Keywords: Warship, Reliability, Availability, Maintainability, Simulation, Genetic Algorithm

1. 서론

RAM(Reliability, Availability and Maintainability)은 신뢰도, 가용도 그리고 보전도를 일컫는 용어로 군에서는 무기체계의 고장빈도, 전투준비태세 및 보전업무량 등을 측정하는 척도로 활용된다. 즉, 무기체계의 RAM 분석을 통하여 결함발생을 예측하고, 보전도 분석 업무를 통해서 고장 발생 시 복구성을 평가하며, 가용도 분석을 통해 전투준비태세를 평가하게 된다. RAM 요소 중에서 무기체계에 요구되는 성능과 운용성을 평가하는 중요한 계량적 요소는 가용도로, 신뢰도와 보전도를 기반으로 산출되는 척도이다. 군에서는 운용부대의 전투준비태세를 평가하는 경우에도 사용되고 있기 때문에 보다 정확하게 무기체계의 가용도를 산출하는 것이 중요하다. 이에 지금

까지 무기체계의 가용도 산출식과 RAM 목표값 설정에 대해 많은 연구가 이루어졌는데 최근에는 기존의 가용도 산출식에 무기체계의 신뢰도와 보전도 특성, 운용개념을 상세하게 고려한 가용도 산출식도 제안되었다. Choi *et al.*(2009)은 무기체계의 운용형태종합 및 임무유형(OMS/MP : Operational mode summary/mission profile)과 운용 데이터를 이용한 기존의 가용도 산출식에 보전간 평균시간(MTBM : Mean time between maintenances)과 평균 비가동시간(MDT : Mean down time)을 적용한 가용도 산출식의 사용을 제안하였으며, Kim *et al.*(2009)은 무기체계의 신뢰도 특성에 따라 발생하는 운영손실뿐만 아니라 교전을 통해 발생하는 전투손실을 고려한 가용도 산출식을 제안하였다. Lee and Choi(2000)는 OMS/MP와 운용 데이터를 바탕으로 한 전차의 RAM 목표값 설정에 대해 연구하였는

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(NO.2010-0025084).

이 논문은 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD100007DD).

* 연락저자 : 윤원영 교수, 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산30, Tel : 051-510-2421, Fax : 051-512-7603, E-mail : wonyun@pusan.ac.kr
2013년 6월 30일 접수; 2013년 8월 5일 수정본 접수; 2013년 9월 26일 게재 확정.

데, 의사결정나무(Decision tree)를 이용하여 전차의 행정 및 군수지연시간(ALDT : Administrative and logistics delay time)을 산출하였다. Kim and Bae(2009)은 이항분포식을 통해 주어진 전투준비태세확률을 만족하는 무기체계의 목표 운용가용도를 설정한 후 목표 운용가용도를 만족하는 무기체계의 목표 신뢰도와 보전도를 설정하였다. 그리고 Kwon and Lee(2007)는 함정의 유도무기 획득시 RAM 목표값 설정의 기초자료로 활용되는 OMS/MP를 정량화시키고 이를 바탕으로 유도무기의 RAM 목표값을 설정하는 프로세스를 제시하였다. 이와 같이 무기체계의 RAM 목표값 설정에 대한 연구가 많이 이루어졌음에도 함정의 RAM 목표값 설정에 대한 연구는 부족한데 함정은 육군의 전차와 공군의 항공기와 달리 수백 개의 무기체계가 함정에 탑재되고 이들이 서로 유기적으로 연동되면서 임무를 수행하는 무기체계로 함정의 OMS/MP와 야전 운용제원 분석에 많은 제한사항이 존재하기 때문이다. 최근에는 함정을 대상으로 RAM 목표값 설정 및 분석 연구가 이루어졌는데 Ha and Kook(2012)은 국내외 무기체계의 OMS/MP 작성과 관련된 사례를 조사하고 이를 바탕으로 함정의 OMS/MP 설정 절차를 제시하였다. Sohn *et al.*(2012)은 해군장비보전정보체계(DELIS/N)를 통해 함정과 탑재장비의 운용 및 보전자료를 바탕으로 함정의 신뢰도와 보전도, 가용도를 분석하였으며, Ha and Kim(2012)는 유사함정들의 운용 데이터를 수집하여 함정의 가동시간과 비가동시간을 산출하고 이를 바탕으로 함정의 목표 운용가용도를 설정하였다. 그리고 Lee and Kwon(2012)은 함정과 함정에 탑재된 무기체계를 하나의 복합 시스템으로 정의하고 함정뿐만 아니라 탑재된 무기체계의 가동과 불가동 상태를 고려한 함정의 OMS/MP 작성 방법을 제안하였다.

그러나 무기체계를 구성하는 부품의 정밀화 및 지원체계의 복잡성 증가 등으로 인하여 과거에 사용되었던 무기체계의 RAM 분석 및 목표값 설정 방법을 그대로 적용하기에는 적합하지 않은 점이 많다. 이러한 한계를 극복하고 무기체계의 RAM 성능을 보다 정확하게 분석하기 위해 최근에는 복잡한 무기체계의 운용환경을 현실상황에 가깝게 묘사할 수 있는 시뮬레이션 기법이 많이 활용되고 있다. Chung and Park(2008)은 기존에 개발되어 사용되고 있는 BlockSim, Simlox, RAMsim 등 상용 RAM 시뮬레이션 S/W의 기능을 비교 분석하였으며, Yun *et al.*(2008)은 무기체계와 같은 다기능 복합 시스템의 RAM 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션 모형을 제안하였다. 그리고 Chung and Yun(2008)은 동일한 수준의 보급부대간 수리부속 보급(Lateral transshipment)이 이루어지는 다계단 보전/보급지원체계하에서 무기체계의 RAM 성능을 분석하는 시뮬레이션을 설계하였다. Kim *et al.*(2009)은 범용 시뮬레이션인 SIMSCRIPT를 이용하여 장기간 저장 상태로 유지되다가 임무를 한번 수행하고 폐기가 되는 미사일과 같은 One-shot system의 저장 신뢰도를 구하였다. Kim and Choi(2010)은 무기체계의 소요 기획과 선행연구 단계별로 RAM 분석 목적과 가용한 자료에 따라 무기체계의 RAM 성능을 분석할 수 있는 시뮬레이션 모

형을 제안하였으며, Kim *et al.*(2011)은 다수의 무기체계로 구성된 복합 무기체계의 운용환경하에서 RAM 분석을 위한 이산사건 시뮬레이션을 개발하였다. Yun *et al.*(2011)은 상용 RAM 시뮬레이션 S/W인 AvSim을 이용하여 적을 탐지하는 기능을 수행하는 탐지체계의 운용가용도와 수명주기비용을 추정하는 절차를 제안하였으며, Yun *et al.*(2012)은 이산사건 시뮬레이션을 이용하여 One-shot system의 검사간 구간 가용도를 추정하였다. 그러나 시뮬레이션은 무기체계와 같은 복합 시스템의 RAM 성능을 평가하기 위해 사용되는 방법으로 현실적으로 가용성이 높은 함정을 개발하기 위해서는 설계단계에서 현재 개발기술의 수준과 비용제약을 고려해서 함정을 설계할 수 있도록 적절한 RAM 목표값 대안을 제시할 수 있는 최적화기술이 필요하다. Han *et al.*(2012)은 시뮬레이션과 휴리스틱 기법을 이용하여 최하위 부품의 고장간 평균시간(MTBF : Mean time between failures)과 평균수리시간(MTTR : Mean time to repair)을 결정하는 연구를 수행하였지만 제시된 대안에 대한 비교 대상이 부재하였다. Yun *et al.*(2012)은 시뮬레이션과 유전자 알고리즘을 이용하여 탐지체계의 목표 운용가용도를 만족하면서 수명주기비용을 최소화하는 부품의 최적 신뢰도와 보전도 설정에 대해 연구하였다.

본 연구는 함정의 개발단계에서 획득이 가능한 유사장비의 운용 데이터와 함정의 운용환경을 바탕으로 설계된 시뮬레이션을 기반으로 한 함정의 RAM 목표값 설정에 대한 연구를 수행한다. 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장은 함정의 운용환경에 적합한 시뮬레이션 모형을 설계하기 위해 함정의 운용형태와 보전형태에 대해 분석하고, RAM 목표값 설정 사례를 실험을 통해 설명한다. 제 3장에서는 함정의 목표 운용가용도를 만족하면서 수명주기비용을 최소화하는 부품의 MTBF와 MTTR, 함정의 ALDT의 최적 대안을 생성하는 하이브리드 유전자 알고리즘에 대해서 설명한다. 그리고 제안된 하이브리드 유전자 알고리즘과 시뮬레이션을 이용하여 함정의 RAM 목표값 설정 실험을 수행하고 결과를 분석한다. 마지막으로 제 4장에서는 본 논문에 대한 결론을 설명한다.

2. 시뮬레이션 기반 함정의 RAM 목표값 설정 사례 분석

<Figure 1>은 시뮬레이션을 이용한 함정의 RAM 목표값 분석 절차로 함정에 적합한 시뮬레이션 모형을 만들기 위해 먼저 함정의 전/평시 운용형태와 물리적 구조를 분석한다. 그 다음 전/평시에 주어진 임무를 수행하기 위해 필요한 기능과 각 기능이 수행되기 위해 작동되는 부품을 연결한다. 그리고 함정의 예방보전의 종류와 ALDT를 분석한 다음 부품의 기준 MTBF와 MTTR, 함정의 운용시나리오를 입력하고 시뮬레이션 수행을 통해 현재 함정의 운용가용도를 구한다. 만약 목표 운용가용도를 만족하지 않는다면 이를 만족할 때까지 부품의

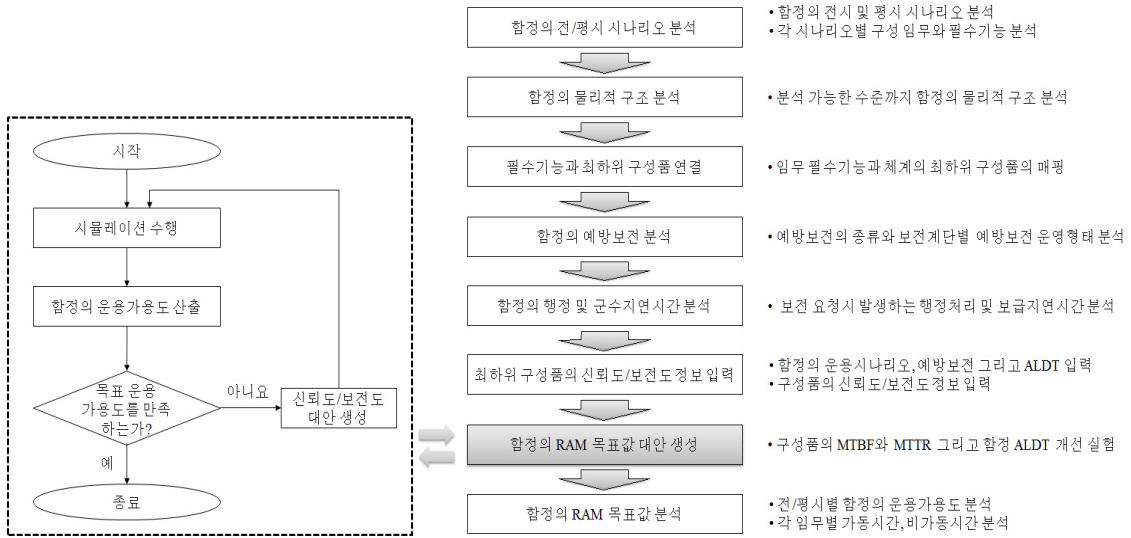


Figure 1. The simulation-based procedure for RAM analysis of a warship

MTBF와 MTTR, 함정의 ALDT를 단계적으로 개선시킨다.

2.1 함정의 운용시나리오/물리적 구조 분석

함정은 전시와 평시에 서로 다른 운용시나리오를 수행하는데 전시의 전투 시나리오 경우 작전의 형태, 일정 그리고 기능에 따라 상세하게 작성되어 있다. 함정의 전투 시나리오는 식별된 표적을 타격, 특수전 지원, 해상 보호 등 운용목적에 기준으로 <Figure 2>와 같이 5개의 전투 시나리오로 나눌 수 있으며, 각 전투 시나리오를 구성하는 임무들은 대공전, 대함전, 대잠전, 대지전과 같은 특수한 목적을 가지는 성분작전과 출항, 대기과 같은 일반임무로 구성되어 있다(Ha and Kook, 2012). 반면, 평시 운용 시나리오의 경우 함정은 교육, 훈련, 감시 등과 같이 교육을 목적으로 한 임무들을 주로 수행하는데 전투 시나리오와 달리 상세하게 명시되어 있지 않아 정량적으로 분석하기에는 어려움이 있다. 따라서 군에서는 함정의 평시 운용 시나리오를 구성하는 임무와 운용개념을 파악하기 위해 함의 운용실적을 분석하여 이를 정량화한다.

함정의 전/평시 임무를 수행하기 위해서는 임무별로 요구되는 기능들이 필수적으로 수행되어야 하기 때문에 임무 수행을 위해 요구되는 필수기능을 분석하였으며, <Table 1>은 함정이 수행하는 필수기능 중 5가지 필수기능에 대해 예로 설명한다.

Table 1. The essential functions of a warship

순번	기능	설명
1	방수 기능	◦ 함정의 내부로 해수의 침입을 막는 기능
2	추진 기능	◦ 항해를 위하여 추진력을 발생시키는 기능
3	항해 기능	◦ 항해를 위하여 방향, 속도, 위치 측정 및 확인을 하는 기능
4	탐지 기능	◦ 표적을 탐지하고 식별하기 위한 기능
5	전력 발전기능	◦ 추진을 제외한 함정의 내부 전원을 발생시키는 기능

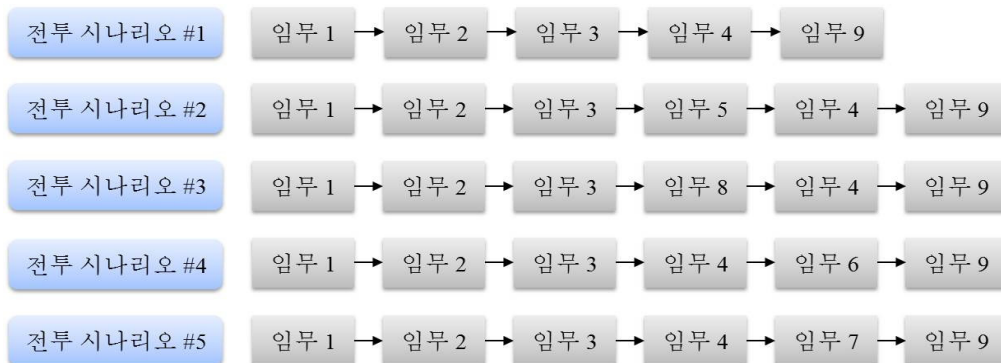


Figure 2. The operational scenarios with missions for a warship

함정의 필수기능들은 해당 임무의 수행시간동안 작동이 되며 해당 기능들의 고장만이 현재 임무의 수행에 영향을 미친다. 예를 들어, <Figure 3>은 함정이 수행하는 전투 시나리오 #1에서 임무 1을 수행하기 위해 필요한 기능들을 보여주는데 함정이 정상적으로 임무 1을 수행하기 위해서는 12개의 필수기능이 필요하고, 나머지 기능들은 함정이 임무 1을 수행하는 동안 수행되지 않거나 기능의 고장이 발생해도 임무 1의 수행에 영향을 미치지 않는다.

전투시나리오 분석을 통해 임무의 종류와 각 임무별로 필요한 기능을 파악하였지만 임무 수행에 요구되는 필수기능을 위해 함정을 구성하는 모든 부체계가 같이 작동한다고 판단하기는 어렵다. 즉, 기능의 특성에 따라 작동되는 함정의 부품이 다를 수 있기 때문에 함정의 물리적 구조 분석을 통해 필수기능별로 작동되는 최하위 부품을 파악해야 한다. 함정을 구성하는 부체계는 크게 선체, 추진설비, 전기계통, 지휘탐지계통, 보기계통, 의장계통, 무장계통이 있으며, 각 부체계는 다시 많은 하위 부체계들과 부품으로 이루어져 있다. 함정의 물리적 구조를 Level 6까지 분석하였을 때 예비품을 포함하여 300여 개

이상의 부품들로 구성되어 있는 것으로 파악되었다.

2.2 함정의 필수기능과 최하위 부품 연결

성공적으로 임무가 수행되기 위해 필요한 기능이 정상적으로 작동되어야 하는데 기능의 작동 상태는 기능 수행에 필요한 부품들의 신뢰도와 보전도에 의존된다. 따라서 각 필수기능별로 필요한 부품들을 파악하는 것이 중요하며 <Table 2>는 함정의 Level 3에 위치해 있는 부체계와 함정의 14개의 필수기능을 연결시킨 것을 예로 보여준다. <Figure 3>에서 함정이 임무 1을 수행하기 위해서는 여러 기능들 중에서 기능 1도 수행되어야 하며 기능 1은 선체의 부체계 1이 작동이 되어야 정상적으로 수행될 수 있다. 한편, 기능 5는 추진설비 부체계인 부체계 2, 3, 4, 5가 작동이 되어야만 정상적으로 수행되기 때문에 기능 5의 고장은 추진설비의 부체계 2, 3, 4, 5와의 신뢰성 구조에 따라 발생하게 된다. 본 연구에서는 함정의 5개의 전투 시나리오 중에서 가장 최악의 조건을 가지는 전투 시나리오를 대상으로 구성하고 있는 임무와 필수기능 그리고 최하위 부품



Figure 3. An example of mapping between missions and functions

Table 2. An example of mapping between the functions and units

Level 1	Level 2	Level 3	기능 1	기능 2	기능 3	기능 4	기능 5	기능 6	기능 7	기능 8	기능 9	기능 10	기능 11	기능 12	기능 13	기능 14
함정	선체	부체계 1	○	○	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		부체계 2	X	X	X	X	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	추진설비	부체계 3	X	X	X	X	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		부체계 4	X	X	X	X	○	○	X	X	X	X	X	X	X	X
		부체계 5	X	X	X	X	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		부체계 6	X	X	X	○	X	X	X	○	X	X	X	X	X	X
	전기계통	부체계 7	X	X	X	○	X	X	X	○	○	X	X	X	X	X
		부체계 8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X	X
	지휘탐지계통	부체계 9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	○	X	X	X
		부체계 10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	○	X	X
		부체계 11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	○	X
		부체계 12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X	○
		부체계 13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X	X
		부체계 14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X	X

들을 <Table 2>와 같은 형태로 연결하였다.

2.3 함정의 예방보전 개념과 종류 분석

함정의 보전은 크게 고장난 상태에서 작동상태로 복원시키는 고장보전과 고장이 나지 않은 상태에서 함정의 상태를 개선하는 예방보전으로 구분할 수 있는데, 함정의 보전을 위해 함정을 상가시켜야 할 때도 있기 때문에 보전이 수행되는 장소는 보전의 정도에 따라 다르다. 함정의 예방보전은 보전의 정도와 장소에 따라 크게 부대보전, 야전보전, 창보전으로 구분할 수 있으며 <Table 3>은 보전계단별 보전개념을 보여준다. 여기서 상가보전이란 함정의 선체 및 관통구의 검사수리를 위하여 선거시설을 구비한 보전지원부대 또는 민간업체에 의뢰하여 실시하는 보전으로 정기상가, 임시상가 및 긴급상가가 있다.

2.4 함정의 행정 및 군수지원시간 분석

함정의 보전을 지원하기 위해 비대칭 다계단 보전/보급지원 체계가 운영되고 있으며 각 보전/보급계단별로 보전에 필요한 유지보수자원을 보관 및 운용하고 있다. 유지보수자원은 크게 보전요원, 보전지원장비, 수리부속으로 구분할 수 있는데 요구되는 유지보수자원이 모두 가용해야 복구를 위한 보전을 수행할 수 있다. 또한 고장발견시 고장판단 및 보고 그리고 보전 요청에 따른 행정처리가 신속하게 이루어져야 지연시간을 최소화하고 빠른 시간에 보전을 시작할 수 있다. 이와 같이 함정

Table 3. Three preventive maintenance levels of a warship

구분	세부 구분	보전 주체	보전업무
부대 보전	운용시	운용 요원	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 주기적인 예방보전 업무 수행 ◦ BIT 이용 고장진단 ◦ S/W 재설치
	정박시	운용 요원	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 주기적인 예방보전 업무 수행 ◦ 단순 부품 교환
야전 보전	수시 보전	보전창 요원	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 장비 작동상태 검사 및 조정 ◦ 부품 교환 및 수리
	정기 수리		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 장비 작동상태 검사 및 조정 ◦ 상가시 정기상가에 준하는 보전 수행
	정기 상가		<ul style="list-style-type: none"> ◦ 상가보전 ◦ 장비 작동상태 검사 및 조정
창보전	일반	보전창 요원	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 상가보전/취외보전 ◦ 창 보전 필수 교환품목 교환
	개조	조선소 요원	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 선체분야 분해 보전(조선소) ◦ 탑재장비 분해 보전(보전창)
	외주 보전	보전업체 요원	◦ 보전창의 보전능력을 초과하는 보전

의 운용가용도는 유지보수자원의 가용성과 행정 처리시간에도 영향을 받기 때문에 함정의 ALDT 분석이 수행되어야 한다. <Figure 4>는 전/평시별 함정의 보전 준비 절차로 전시상황에서는 보다 빠른 시간에 함정이 복구가 되어야 하기 때문에 수

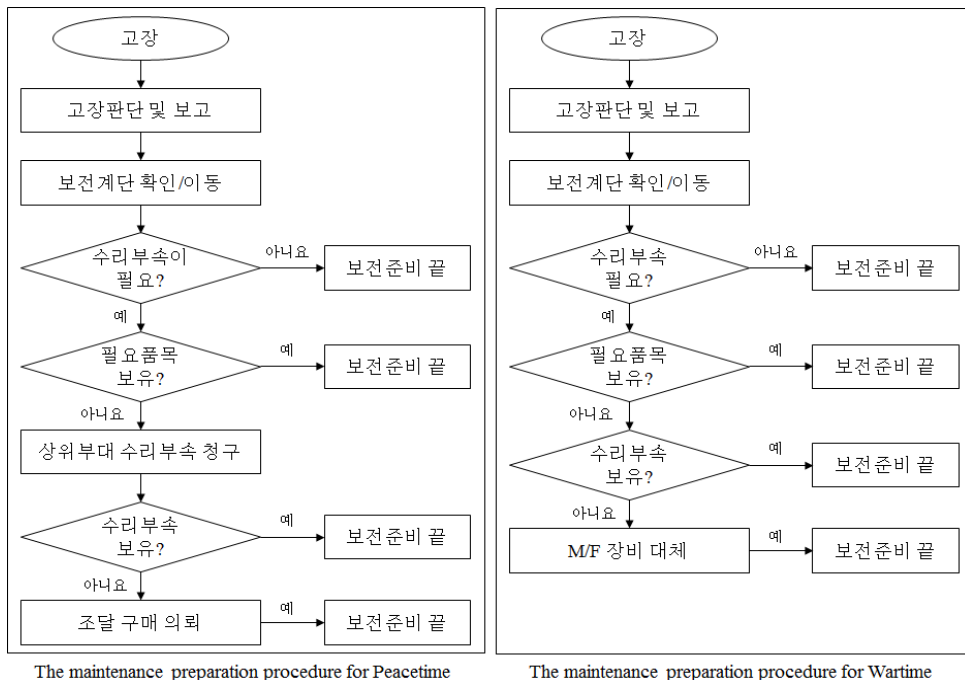


Figure 4. The maintenance preparation procedure for War/Peacetime of a warship

리부속 청구 및 조달 구매 의뢰와 같은 행정 절차가 간소화된 다(Lee and Choi, 2000).

함정의 보전 준비 절차를 바탕으로 의사결정나무 기법을 이용하여 함정의 ALDT를 산출할 수 있는데, 이 기법은 1개의 고장에 대하여 발생 가능한 모든 경로를 구하여 각 경로에 대한 지연시간과 발생 확률을 예측하고 모든 경로에서 지연시간과 발생확률을 곱한 후 합을 구하는 방법이다. <Figure 5>의 전/평시 의사결정나무에서 함정의 보전 준비절차와 마찬가지로 전시 ALDT를 산출하는 경로 수가 평시 보다 적은 것을 알 수 있다.

2.5 함정 RAM 시뮬레이션 모형 설계

많은 부품들이 복잡한 구조로 구성되어 있는 함정은 여러 가지 다양한 임무를 수행하며, 임무를 수행하기 위해 다양한 기능들이 수행되는 다기능 복합구조 시스템이다. 그러므로 함정의 고장과 이에 따른 보전행위 등을 사건(Event)로 구분하여 이산사건으로 시뮬레이션을 모델링하는 방법을 활용하여 함정 RAM 시뮬레이션을 설계하는 것이 적합하다(Yun et al., 2008).

(1) 함정 RAM 시뮬레이션 가정 사항

함정 RAM 시뮬레이션의 모형을 설계하기 위한 가정 사항은 다음과 같다.

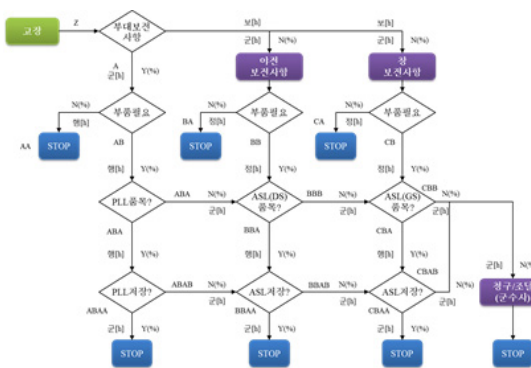
- 함정의 구성요소 중에서 실제 보전이 수행되는 단위는 최하위 부품으로 최하위 부품의 보전은 고장보전과 예방보전을 고려한다.
- 부품간의 고장은 독립적이며 고장은 수리 가능한 고장과 수리 불가능한 고장이 있다. 수리 불가능한 고장의 경우 수리부속으로 교체한 후 고장 난 부품은 폐기한다.
- 부품의 수명은 부품의 실제 사용시간에 의존하며, 보전

수행 후 부품의 수명은 수명감소인자를 통해 다음과 같이 개선된다.

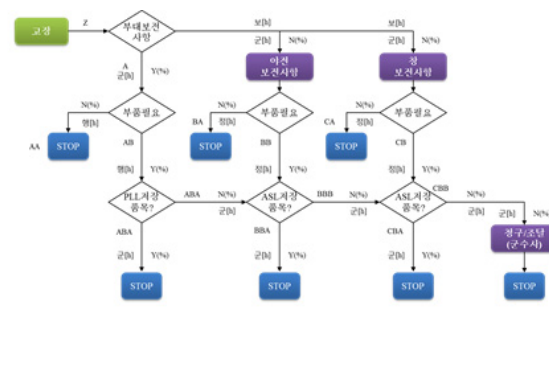
$$\text{개선된 부품의 수명} = (1 - \text{수명감소인자}) \times \text{현재 부품의 수명}$$

- 수명감소인자 값은 수리효과의 정도에 따라 달라지는데 완전수리는 '1', 최소수리는 '0' 그리고 불완전 수리인 경우 '0'과 '1' 사이의 값을 가진다.
- 수리부속 보급은 함정이 작전을 수행한 후 운용부대로 복귀하였을 때에만 가능하며, 임무 수행 중 수리부속이 모두 소모가 되면 현재 수행 중인 작전이 완료되어 함정이 부대로 복귀 할 때까지 해당 부품의 고장상태는 지속된다.
- 함정은 처음 시작할 때 정해진 시간동안만 해당 임무를 수행하고, 정해진 시간이 지나면 함정은 다음 임무를 수행한다. 즉, 임무 수행 중 함정의 고장으로 인해 발생하는 시간 연장은 고려하지 않는다.

함정의 RAM 시뮬레이션 흐름은 시뮬레이션이 시작되면 먼저 함정의 작전수행을 요청한다. 함정은 작전을 구성하고 있는 임무를 수행하는데 해당 임무를 수행하기 위해 필요한 기능의 상태를 확인하고, 기능은 다시 하위 부품들의 작동을 요구한다. 만약 필요한 부품들이 정상적으로 작동된다면 함정은 임무 수행을 시작하고, 고장난 부품들로 인해 기능이 정상적으로 수행되지 않는다면 고장난 부품들이 복구될 때까지 임무 수행이 불가능하게 된다. 고장난 부품의 보전이 완료된 후 상위 기능으로 복구가 되었음을 알리면 기능은 다시 임무에게 기능의 상태 변화를 전달한다. 그러면 임무는 현재 수행이 가능한가를 확인하기 위해 다른 기능들의 상태를 파악하고 필요한 기능들이 정상적으로 수행이 가능한 경우 함정은 다시 임



Decision tree for ALDT analysis of peacetime



Decision tree for ALDT analysis of wartime

- 보전지원 부대는 고장 품목 수리부속 보관시 선 보급 후 입고 보전
- ASL: Authorized storage list (인가 저장 품목)
- 군[]: 군수조달(왕복수송) 시간
- 정[]: 직접지원이상 보전행위는 ALDT 해당
- PLL: Prescribed load list (규정 휴대 품목)
- 보[]: 고장현상 및 보전계단 판단 보고시간
- 행[]: 행정 소요시간

Figure 5. The decision tree for ALDT analysis of War/Peacetime of a warship

무 수행을 시작한다. 그리고 모든 임무를 수행하고 나면 함정은 운용부대로 복귀하고 함정의 예방보전을 수행한다. 예방보전 수행이 완료되면 다시 함정은 다음 작전을 수행하는데 주어진 시뮬레이션 시간에 도달할 때까지 위의 흐름이 반복적으로 이루어진다.

2.6 시뮬레이션을 이용한 함정의 RAM 목표값 분석 실험 사례

다음은 함정의 전투 시나리오 중에서 최악의 조건인 전투 시나리오 #3을 고려하였을 때 함정 RAM 시뮬레이션을 이용하여 함정의 RAM 목표값 분석한 실험 사례를 설명한다. 부품들의 기준 MTBF와 MTTR의 기준값은 유사 함정의 운용데이터 분석을 통해 얻게 된 결과를 활용하였으며, 모든 부품의 고장시간은 지수분포를 따른다고 가정하였다. 그리고 함정의 ALDT는 <Figure 5>의 의사결정나무를 통해 산출된 결과를 적용하였으며, 예방보전은 야전 보전부대에서 수행되는 정기수리와 정기상가를 고려하였다. 그러나 부품의 고장분포로 지수분포를 고려하였으므로 예방보전을 통한 부품의 신뢰도 개선 효과는 없으며, 예방보전이 수행되는 동안 함정은 비가동상태로 있기 때문에 함정의 비가동시간은 증가한다. 시뮬레이션 수행시간은 40년(350,400시간)으로 반복횟수는 100회로 하였다. 함정의 RAM 목표값 분석 실험에서는 함정의 운용가용도가 함정의 목표 운용가용도, 0.85를 만족할 때까지 부품의 MTBF와 MTTR, 함정의 ALDT를 독립적으로 개선시키며, 개선시킬 때에는 모든 부품을 일괄 개선시키는 실험을 수행하였다. <Table 4>는 함정의 ALDT를 기준값으로 고정하고 부품의 MTBF와 MTTR을 20%, 40%, 60% 개선시켰을 때 함정의 운용가용도 변화로 부품의 MTBF와 MTTR 개선에 따라 부품의 고장이 줄어들고 보다 빨리 복구가 되기 때문에 함정의 운용가용도가 향상되는 것을 알 수 있다. 그러나 아직까지 함정의 목표 운용가용도, 0.85를 만족하지 못하는 것을 알 수 있다.

Table 4. The operational availability with the standard ALDT of a warship

		부품의 MTTR			
		기준	20%	40%	60%
부품의 MTBF	기준	0.7261	0.7437	0.7538	0.7662
	20%	0.7602	0.7713	0.7840	0.7965
	40%	0.7851	0.7951	0.8087	0.8318
	60%	0.8063	0.8157	0.8275	0.8367

<Table 5>는 함정의 ALDT를 30% 개선시키고 부품의 MTBF와 MTTR을 각각 20%, 40%, 60% 개선시켰을 때 함정의 운용가용도 변화로 최소한 부품의 MTBF를 60%, MTTR을 20% 개선시켰을 때부터 목표 운용가용도, 0.85를 만족하는 것을 알 수 있다.

Table 5. The operational availability with the improved ALDT of a warship by 30%

		부품의 MTTR			
		기준	20%	40%	60%
부품의 MTBF	기준	0.7656	0.7883	0.7975	0.8119
	20%	0.8107	0.8222	0.8244	0.8486
	40%	0.8237	0.8298	0.8445	0.8560
	60%	0.8365	0.8507	0.8602	0.8804

<Table 6>은 함정의 ALDT를 60% 개선시키고 부품의 MTBF와 MTTR을 각각 20%, 40%, 60% 개선시켰을 때 함정의 운용가용도 변화로 이전 실험보다 함정의 ALDT가 더 많이 개선되었기 때문에 부품의 MTBF와 MTTR를 적게 개선시켜도 목표 운용가용도, 0.85를 만족할 수 있다.

Table 6. The operational availability with the improved ALDT of a warship by 60%

		부품의 MTTR			
		기준	20%	40%	60%
부품의 MTBF	기준	0.8116	0.8272	0.8474	0.8641
	20%	0.8370	0.8506	0.8686	0.8829
	40%	0.8606	0.8687	0.8839	0.8972
	60%	0.8828	0.8818	0.8963	0.9081

본 실험에서는 부품의 MTBF와 MTTR, 함정의 ALDT를 일괄적으로 개선시켜가면서 함정의 운용가용도 변화를 분석하였기 때문에 실험결과가 최적의 대안이라고 판단할 수 없다. 왜냐하면 함정의 목표 운용가용도를 만족하는 부품의 신뢰도와 보전도 목표값을 설정하기 위해서는 개발환경과 개발기술 그리고 비용 등 다양한 제약사항들을 고려해야 하기 때문이다. 그리고 함정이 수행하는 전/평시 시나리오에 따라 부품별로 사용되는 시간이 서로 다를 것이며 이에 주어진 시간동안 정상적으로 작동하기 위해 요구되는 각 부품의 신뢰도와 보전도 역시 다를 것이다. 하지만 300여 개가 넘는 부품의 MTBF와 MTTR, 함정의 ALDT를 개별적으로 변화시켜가면서 함정의 목표 운용가용도를 만족하는 대안을 찾으려고 한다면 많은 계산시간이 소요될 것이다. 따라서 제 3장에서는 함정의 목표 운용가용도 제약하에서 함정의 수명주기비용을 최소화하는 부품의 MTBF와 MTTR, 함정의 ALDT의 최적 대안을 생성하는 최적화 기법에 대해 설명한다.

3. 함정의 신뢰도와 보전도 설정 최적화 기법 연구

제 3장에서는 시뮬레이션을 기반으로 함정에 요구되는 목표 운용가용도를 만족하고 수명주기비용을 최소화하는 부품의

MTBF와 MTTR, 합정의 ALDT의 최적 대안을 결정하는 최적화 기법으로 하이브리드 유전자 알고리즘을 제안한다. 본 연구에서는 부품의 고장시간과 수리시간이 따르는 확률분포를 지수분포와 와이블 분포로 고려해서 합정의 목표가용도를 만족하면서 수명주기비용을 최소화하는 합정을 구성하는 모든 부품의 고장분포와 수리분포의 최적의 척도모수 값을 하이브리드 유전자 알고리즘으로 결정한다.

3.1 유전자 알고리즘을 이용한 합정의 RAM 목표값 설정 절차

시뮬레이션 기반으로 합정의 목표 운용가용도를 만족하면서 합정의 수명주기비용을 최소화하는 최하위 부품의 MTBF와 MTTR, 합정의 ALDT를 결정하는 절차는 <Figure 6>과 같다. 먼저 필요한 정보를 시뮬레이션에 입력하고 합정의 목표 운용가용도를 설정한다. 그리고 하이브리드 유전자 알고리즘을 통해 대안을 생성하고 휴리스틱 기법을 이용해 생성된 대안을 개선한다. 그 다음 시뮬레이션을 이용해 합정의 운용가용도와 수명주기비용을 구한다. 만약 현재 대안이 합정의 목표 운용가용도를 만족한다면 절차를 종료하고, 그렇지 않다면 목표 운용가용도를 만족하는 대안이 선택될 때까지 위의 절차를 반복한다.

3.2 하이브리드 유전자 알고리즘(Hybrid genetic algorithm)

많은 부품들이 복잡한 구조로 구성되어 있는 복합 시스템의 신뢰도와 보전도를 설계하는 문제는 구조적, 논리적 복잡성으로 인해 해석적 방법으로 풀기에는 어려움이 있다. 지금까지 유전자 알고리즘, 진화 프로그래밍, 진화 전략 등 성능이 좋은 다양한 확률론적 최적화 기술들이 제안되었으며, 이 중에서 유전자 알고리즘이 복잡한 문제들을 위한 최적화 기법으로 많은 관심을 받고 있다. 유전자 알고리즘은 생물의 진화과정 즉, 자연선택과 유전법칙을 모방한 확률적 탐색기법으로 그 개념과 이론이 단순하고 해의 탐색능력이 우수해서 실제 신뢰도와 보전도의 최적화 설계를 위한 문제의 해법 도구로 많이 사용되고 있다(Kuo *et al.*, 2001). 유전자 알고리즘의 특징은 여러 개의 해들을 이용해서 동시에 집단적으로 탐색해 나가는 것으로, 지역 최적해, 즉 최적으로 제안되는 해가 그 부근의 해 중 최적일 뿐 전체 해집합에서는 최적이지 않은 경우의 문제 해결에도 많은 도움이 된다. 이에 본 논문에서는 합정의 목표가용도를 만족하면서 수명주기비용을 최소화하는 부품의 MTBF, MTTR 그리고 합정의 ALDT 대안을 탐색하기 위해 유전자 알고리즘을 제안한다.

(1) 해 표현(Solution representation)

결정하고자 하는 각 부품의 MTBF와 MTTR, 합정의 ALDT

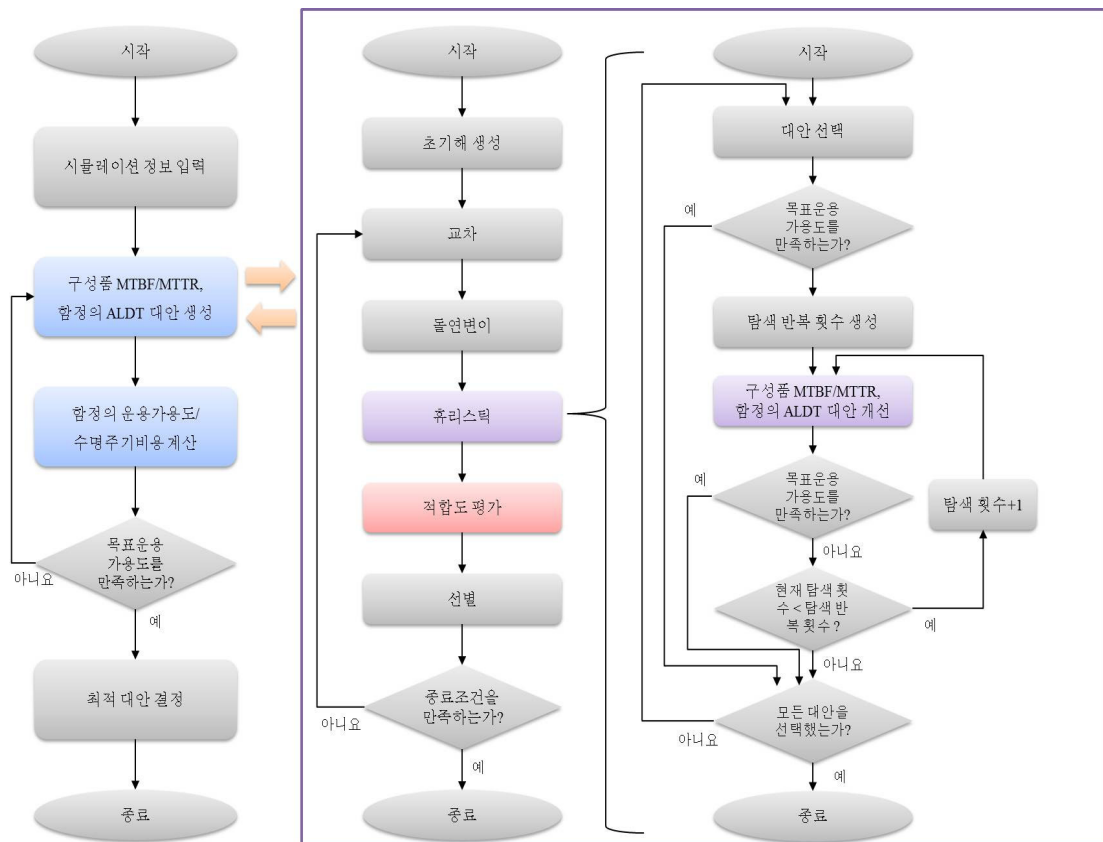


Figure 6. The simulation-based optimization procedure with a hybrid genetic algorithm

를 유전적 표현, 즉 개체로 표현해야 하는데 해 표현은 개체의 적합도 평가와 유전연산자 등에 영향을 주기 때문에 문제의 특성을 잘 반영할 수 있어야 한다. 이에, 합정을 구성하는 부품의 MTBF와 MTTR, 합정의 ALDT에 대한 해의 표현은 문자열(String)로 표현하며, 실제 값으로 표현한다(Yun *et al.*, 2010).

(2) 초기해 생성(Generation of initial solutions)

유전자 알고리즘은 개체들로 구성된 모집단을 운영하므로 초기 대안을 생성해야 하는데 본 연구에서 휴리스틱 기법에 기초하여 초기 대안을 다음 절차에 따라 생성한다(Park, 2013).

Step 1 : 부품의 MTBF, MTTR, 합정의 ALDT 기준값을 입력한다.

Step 2 : 초기 대안이 생성되지 않은 부품 또는 합정 ALDT 중 하나를 임의로 선택한다.

2.1 0과 1사이 난수를 생성하고 부품의 MTBF와 MTTR 또는 합정의 ALDT 초기값에서 생성된 난수만큼 개선시킨다.

2.2 시뮬레이션을 이용해 합정의 운용가용도를 구한다.

2.3 만약 현재 대안의 합정의 운용가용도가 목표 운용가용도 보다 크다면, 현재 대안을 초기대안으로 설정하고 절차를 종료한다. 그렇지 않다면, Step 3로 이동한다.

Step 3 : 모든 부품 MTBF와 MTTR, 합정의 ALDT에 대해 초기 대안이 생성되었다면 절차를 종료한다. 그렇지 않다면, Step 2로 이동한다.

(3)교차(Crossover)

교차(Crossover)는 2개의 개체간에 염색체를 부분적으로 서로 바꾸어 새로운 2개의 개체를 생성하는 것으로 두 개의 해를 임의로 선택하고 해의 문자열에서 임의의 한 점을 기준으로 서로 교환하는 일점교차(One-cut point)를 적용한다.

(4) 돌연변이(Mutation)

돌연변이(Mutation)는 염색체의 일부 유전자가 변화하는 것으로, 한 개체에서 유전자를 임의로 변화시키는 과정으로 다음의 절차에 따라 돌연변이 연산이 수행된다.

Step 1 : 개체 집단에서 하나의 개체를 임의로 선택한다.

Step 2 : 선택되지 않은 부품 또는 합정 ALDT 중 하나를 임의로 선택하고 난수를 생성한다.

2.1 만약 생성된 난수가 돌연변이 확률보다 작거나 같다면 Step 3으로 이동하고, 그렇지 않다면, Step 4로 이동한다.

Step 3 : 시뮬레이션으로 운용가용도를 구하고, 목표 운용가용도를 만족하는지 확인한다.

3.1 만약 운용가용도가 목표 운용가용도를 만족하면 Step 4로 이동한다.

3.2 만약 운용가용도가 목표 운용가용도 보다 작다면 현재 부품의 MTBF와 MTTR 그리고 합정의 ALDT 값에서 (1-생성된 난수)만큼 개선시키고 Step 4로 이동한다.

3.3 만약 운용가용도가 목표 운용가용도 보다 크다면, 현재 부품의 MTBF를 생성된 난수만큼 감소시키고, 부품의 MTTR과 합정의 ALDT를 생성된 난수만큼 증가시킨다. 그리고 Step 4로 이동한다.

Step 4 : 모든 부품과 합정의 ALDT에 대해 탐색을 마쳤다면 절차를 종료하고, 아니면 Step 2로 이동한다.

돌연변이 연산에서 파라미터 적용 기법 중 하나인 Deterministic adaptation 기법을 적용하여 세대가 흐름에 따라 돌연변이 확률이 변하도록 한다(Gen *et al.*, 2008). 여기서 t 는 현재 세대수, $MaxGen$ 은 최대 세대수를 의미한다.

$$P_M = 0.5 - 0.3 \frac{t}{MaxGen} \quad (10)$$

(5) 선별(Selection)

유전자 알고리즘에서 선별 연산자는 적응을 잘하는 개체는 살아남고 적응하지 못한 개체들은 도태되도록 유도하는 자연 선택 현상을 모델링한 것이다. 즉, 이 연산자는 재생산을 위하여 개체집단에서 염색체들을 선택하는 더 적합한 개체일수록 더 많이 선택되어 재생산되는 경향이 있다. 본 연구에서는 적합도가 가장 높은 개체들을 다음 세대로 생존시키는 엘리트 선별법을 사용하여 실험한다.

(6) 적합도 함수(Fitness function)

합정의 목표 운용가용도를 만족하는 최하위 부품의 신뢰도와 보전도 설정에 있어 현실적인 제약사항을 고려해서 결정해야 한다. 먼저 부품의 신뢰도 개선을 위해서는 기술개발에 소요되는 비용인 개발 비용과 보다 많은 유지보수자원의 확보를 통해 보전시간을 줄여야 하므로 이를 위해 소요되는 투자비용을 고려해야 한다. 또한 부품의 신뢰도 향상에 따른 부품의 고가화로 인해 수리단가가 높아지기 때문에 부품의 수리비용 역시 고려해야 한다. 따라서 시뮬레이션을 통해 산출되는 합정의 기대 수명주기비용은 각 부품의 개발비용과 투자비용, 수리비용으로 구성되어 있다. 그리고 대안의 적합도 평가 후 합정의 목표 운용가용도를 만족하지 못하는 대안에 대해 페널티 비용을 계산한 후 수명주기비용에 더한다. 페널티 비용은 합정의 수명주기비용에 합정의 운용가용도와 목표 운용가용도 차이를 곱하고 여기에 가중치로 현재 세대수를 다시 곱해서 구한다.

3.3 휴리스틱 기법(Heuristic method)

많은 부품들이 복잡한 구조로 구성이 되어 있는 합정은 다양한 기능들을 수행하며, 각 기능은 최하위 부품들이 정상적

으로 작동됨으로써 수행이 된다. 그리고 각 부품마다 작동시간이 서로 다르기 때문에 요구되는 신뢰도와 보전도가 다르다. 또한 부품별로 신뢰도와 보전도 개선에 따라 소요되는 비용 역시 다르기 때문에 부품별 비용 대비 합정의 가용도 개선 효과를 분석해서 효과가 높은 부품들을 우선적으로 개선시키는 방식으로 대안을 탐색하는 것이 필요하다. 그러나 유전자 알고리즘은 유전 연산자인 교차, 돌연변이, 선별을 통해서 대안이 탐색되는 확률론적 탐색 기법이기 때문에 경험적 판단에 따라 대안을 탐색하는 휴리스틱 기법을 사용한다. 따라서 본 논문에서는 유전자 알고리즘의 유전연산자를 통해서 생성된 부품의 MTBF와 MTTR, 합정의 ALDT 대안을 휴리스틱 기법으로 개선하며 절차는 다음과 같다.

- Step 1 : 탐색하지 않은 한 개의 대안을 선택하고 하고, 모든 대안에 대해 탐색을 수행하였다면 탐색을 중단한다.
- Step 2 : 시뮬레이션으로 운용가용도를 구하고, 목표 운용가용도를 만족하는지 확인한다.
 - 2.1 만약 운용가용도가 목표 운용가용도를 만족하면, Step 1로 이동한다.
 - 2.2 만약 목표 운용가용도 보다 작다면 Step 3으로 이동하고, 아니라면 Step 4로 이동한다.
- Step 3 : 부품의 MTBF, MTTR, 합정의 ALDT 개선을 통해 현재 대안의 운용가용도를 높인다.
 - 3.1 각 부품의 MTBF, MTTR, 합정의 ALDT를 개선단위만큼 개선시켜, 개선에 따른 운용가용도와 수명주기비용의 변화량을 구한다.
 - 3.2 개선 변화량이 가장 큰 부품을 선택하고 개선단위만큼 증가시킨 후 Step 2로 이동한다.
- Step 4 : 부품의 MTBF 감소와 부품의 MTTR과 합정의 ALDT 증가를 통해 현재 대안의 합정의 운용가용도를 감소시킨다.
 - 4.1 각 부품의 MTBF를 개선단위만큼 감소시키고 MTTR과 ALDT는 개선단위만큼 증가시켜서 MTBF 증가와 MTTR과 ALDT 감소에 따른 운용가용도와 수명주기비용의 변화량을 구한다.
 - 4.2 개선 변화량이 가장 작은 부품을 선택하고 개선단위만큼 감소시킨 후 Step 2로 이동한다.

3.4 최적화 기법을 이용한 합정의 RAM 목표값 설정 예제실험

시뮬레이션과 하이브리드 유전자 알고리즘을 이용한 합정의 RAM 목표값 설정 실험은 제 2장에서 수행한 합정의 RAM 목표값 분석 실험과 동일한 입력 정보를 사용한다. 부품의 신뢰도 개선은 최대 60%, 부품의 MTTR과 합정의 ALDT 개선은 최대 40%로 가정한다. 그리고 부품의 MTBF, MTTR, 합정의 ALDT 개선에 따른 개발비용, 투자비용, 수리비용의 변화는 2

차 함수를 따른다고 가정한다(Alexander, 1988). 수치 실험 예제의 시뮬레이션 수행시간은 10년(87,600시간)이며 반복횟수는 10회로 설정하였다. 유전자 알고리즘에서 교차율은 0.7, 초기 돌연변이율은 0.5, 개체의 수는 50, 세대의 수는 100, 허용차는 0.01이며, 휴리스틱 기법에서 부품의 MTBF 개선단위는 20%, 부품의 MTTR과 합정의 ALDT 개선단위는 10%이다. 그리고 각 실험마다 하이브리드 유전자 알고리즘과 일반 유전자 알고리즘의 수명주기비용의 유의성 검정을 위해 Minitab 16으로 2 sample t-test를 수행하였으며 유의수준은 0.05이다.

예제실험에서 먼저 합정의 목표 운용가용도 변화에 따른 합정의 수명주기비용 변화를 분석하였다. <Figure 7>은 합정이 전시 상황의 임무로 이루어진 전투 시나리오를 수행하였을 때 합정의 목표 운용가용도가 증가함에 따른 수명주기비용이 증가하는 것을 보여준다. 합정의 목표 운용가용도가 증가함에 따라 부품의 MTBF와 MTTR 그리고 합정의 ALDT가 개선이 되어야 하며 이에 따라 개발비용, 투자비용, 수리 비용이 증가하기 때문에 수명주기비용이 증가한다. 그리고 2 sample t-test 결과 p-value가 0.000로 하이브리드 유전자 알고리즘이 일반 유전자 알고리즘 보다 더 나은 대안을 제시한 것을 알 수 있다.

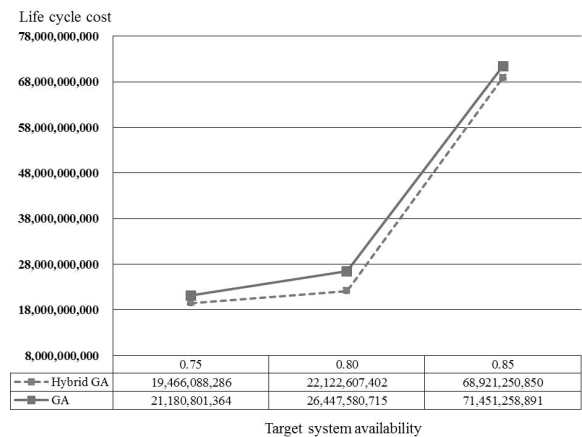


Figure 7. Life cycle cost for different target availability

다음은 합정을 구성하는 각 부품의 MTBF 기준값이 20%, 40%, 60% 증가하는 경우에 대해 목표 운용가용도, 0.85를 만족하면서 수명주기비용을 최소화하는 대안을 탐색한다. <Figure 8>은 합정의 부품의 MTBF가 증가함에 따른 수명주기비용의 변화를 보여주는데 실험결과에서 부품의 MTBF가 증가함에 따라 합정의 수명주기비용이 감소한다. 이것은 신뢰도가 높은 부품으로 합정이 구성되어 있어서 보다 부품의 적은 신뢰도 개선으로 목표 운용가용도를 만족시킬 수 있기 때문이다. 따라서 부품의 신뢰도 개선에 따라 증가하는 개발비용과 수리비용이 줄어들게 되어 수명주기비용이 감소하게 되었다. 그리고 2 sample t-test 결과 p-value가 0.000로 하이브리드 유전자 알고리즘이 일반 유전자 알고리즘 보다 더 나은 대안을 제시한 것을 알 수 있다.

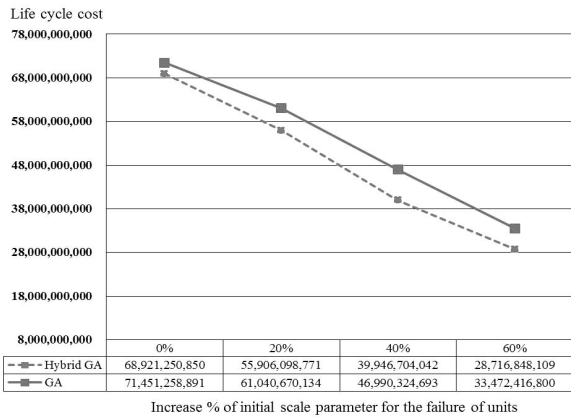


Figure 8. Life cycle cost for different initial MTBF scale parameter

다음은 부품의 MTTR을 20%, 40%, 60% 감소시켰을 때 목표 운용가용도, 0.85를 만족하면서 수명주기비용을 최소화하는 대안을 탐색한다. <Figure 9>는 부품의 MTTR이 감소함에 따른 수명주기비용의 변화를 보여주는데 부품의 MTTR이 감소함에 따라 수명주기비용도 감소함을 알 수 있다. 역시, 함정이 보전도가 보다 높은 부품으로 구성되어 있어서 부품의 적은 보전도 개선으로도 목표 운용가용도를 만족시킬 수 있기 때문에 부품의 보전도 개선을 위한 투자 비용이 줄어들어 수명주기비용이 감소하였다. 그리고 2 sample t-test 결과 p-value가 0.000로 하이브리드 유전자 알고리즘이 일반 유전자 알고리즘 보다 더 나은 대안을 제시한 것을 알 수 있다.

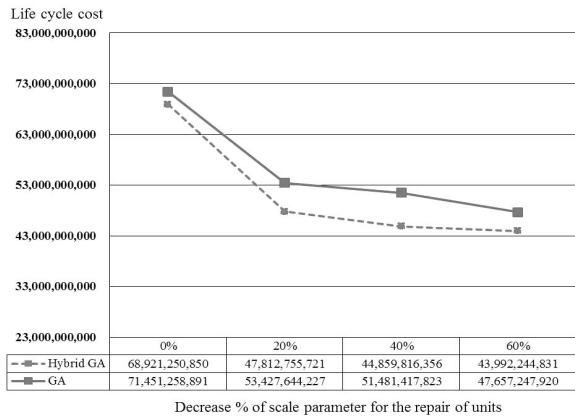


Figure 9. Life cycle cost for different initial MTTR scale parameter

마지막으로 함정의 ALDT가 20%, 40%, 60% 개선됨에 따른 수명주기비용 변화를 분석하였다. <Figure 10>은 함정의 ALDT가 감소함에 따른 수명주기비용이 감소하는 것을 보여주는데 부품의 MTTR 개선 실험과 마찬가지로 함정의 적은 ALDT 개선으로도 목표 운용가용도, 0.85를 만족시킬 수 있기 때문에 함정의 ALDT 개선에 따른 투자 비용이 감소하여 수명주기비용이 감소하였다. 그리고 2 sample t-test 결과 p-value가 0.000로 하이브리드 유전자 알고리즘이 일반 유전자 알고리즘

보다 더 나은 대안을 제시한 것을 알 수 있다.

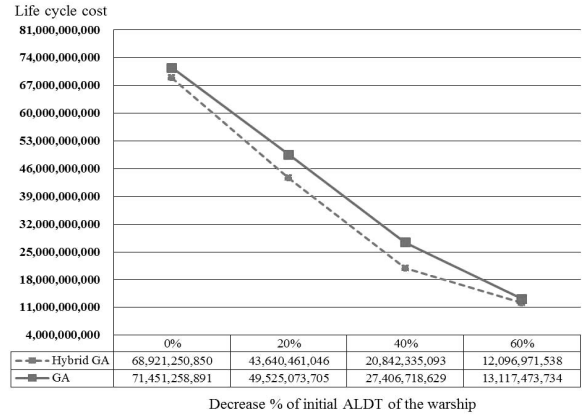


Figure 10. Life cycle cost for different initial ALDT of a warship

4. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션을 기반으로 함정의 RAM 목표값 분석 및 설정에 대해 연구를 하였다. 먼저 함정에 적합한 시뮬레이션 모형을 설계하기 위해 함정의 운용시나리오와 물리적 구조 분석, 필수기능과 최하위 구성품의 연결, 함정의 예방보전 종류 그리고 함정의 행정 및 군수지원시간을 분석하였다. 분석된 내용을 바탕으로 함정의 운용환경을 묘사할 수 있는 시뮬레이션을 설계하고 이를 이용해서 함정의 RAM 목표값 분석 실험을 수행하였다. 실험에서는 목표 운용가용도를 만족할 때까지 부품의 MTBF와 MTTR 그리고 함정의 ALDT를 일괄적으로 개선시켰다. 현실에서는 부품의 신뢰도와 보전도 개선에 따른 비용제약과 기술적인 한계를 고려해야 하는데 300여개 이상의 부품들의 신뢰도와 보전도를 개별적으로 변화시키면서 목표 운용가용도를 만족하는 최적 대안을 찾는 것은 시간적으로 어려움이 있다. 따라서 부품의 신뢰도와 보전도 개선에 따른 비용제약과 기술적 한계를 고려하여 함정의 목표 운용가용도를 만족하면서 수명주기비용을 최소화하는 최적 대안을 찾기 위해 하이브리드 유전자 알고리즘을 제안하였다. 예제실험을 통해서 목표 운용가용도를 만족하면서 수명주기비용을 최소화하는 대안을 탐색하였는데 목표 운용가용도가 증가함에 따라 보다 더 많은 개선이 필요하기 때문에 수명주기비용이 증가하는 것을 보았다. 반면 부품의 신뢰도와 보전도가 개선됨에 따라 수명주기비용이 감소하는 것을 알 수 있었는데 이는 적은 개선으로도 목표 운용가용도를 만족할 수 있기 때문에 개발 비용, 수리 비용 그리고 투자 비용이 줄어들어 수명주기비용이 감소한 것이다. 그리고 하이브리드 유전자 알고리즘이 일반 유전자 알고리즘 보다 더 나은 대안을 제시한 것을 알 수 있었다. 본 논문에서 제시된 방법은 함정과 같은 무기체계의 RAM 분석 업무에서 활용가치가 높을 것으로 기대가 된다.

참고문헌

- Alexander, A. J. (1988), *The Cost and Benefits of Reliability in Military Equipment*, The RAND Corporation, 16-26.
- Choi, C. H., Lee, B. K. and You, J. W. (2009), A Case Study on RAM Design of Weapon Systems, *Proceedings of the conference on Korea Institute of Military Science and Technology*, 83-86.
- Chung, I. H. and Park, S. J. (2008), Effect Analysis of Factors for Improving Accuracy of RAM Simulation in Weapon System, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **11**(6), 102-116.
- Chung, I. H. and Yun, W. Y. (2008), A Simulation Design for Multi Indenture Multi Echelon Systems with Lateral Transshipments, *IE Interfaces*, **21**(4), 354-364.
- Gen, M., Cheng, R., and Lin, L. (2008), *Network Models and Optimization : Multiobjective Genetic Algorithm Approach*, Springer.
- Ha, S. C. and Kim, K. Y. (2012), A Study on Target Operational Availability Setting for Warship based on OMS/MP and Similar Warship RAM Analysis, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **15**(5), 651-659.
- Ha, S. C. and Kook, J. H. (2012), A Wartime · Peacetime OMS/MP Analysis Model for a Naval Ship and Case Study, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **15**(5), 660-666.
- Han, Y. J., Kim, H. W., Yun, W. Y., and Kim, J. W. (2012), Heuristic Method for RAM Design of Multifunctional System, *Journal of Mechanical Science and Technology*, **36**(2), 157-164.
- Kim, K. Y. and Bae, S. J. (2009), Establishing Method of RAM Objective Considering Combat Readiness and Field Data of Similarity Equipment, *Journal of society of Korea industrial and systems engineering*, **32**(3), 127-134.
- Kim, H. L., Baek, S. H., and Choi, S. Y. (2009), A Study on an Operational Availability Computation Model for Weapon Systems, *Journal of the Military Operations Research Society of Korea*, **35**(3), 17-30.
- Kim, H. L. and Choi, S. Y. (2010), A Hierarchical RAM Simulation Model Framework, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **13**(1), 41-49.
- Kim, B. S., Lee, K. S., Kim, D. S., and Moon, K. S. (2009), Certified Missile Rounds Concepts Using Modeling and Simulation, *Journal of the Korea Society for Simulation*, **18**(4), 95-105.
- Kim, H. L., Kim, U. H. and Choi, S. Y. (2011), A Study on a Simulation Model to Analyze the Availability of a SoS, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **14**(6), 1049-1057.
- Kuo, W., Prasad, V. R., Tillman, F. A., and Hwang, C. L. (2001), *Optimal Reliability Design : Fundamentals and Applications*, Cambridge University Press, New York.
- Kwon, Y. S. and Lee, K. H. (2007), A Development of OMS/MP Template of Guided Weapons on Board Ship, *MORSK*, **33**(2), 17-29.
- Lee, H. G. and Choi, J. H. (2000), A Study on the RAM Object Values, *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **3**(1), 218-230.
- Lee, J. H. and Kwon, Y. S. (2012), Identification of Considerations of OMS/MP Development for the Shipboard Weapon Systems, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, **35**(2), 155-162.
- Park, G. (2013), A Simulation-based Reliability and Maintainability Design of a Searching System, *Master's thesis*, Pusan National University, Busan.
- Sohn, J. M., Chang, C. M., and Won, Y. D. (2012), A Case Study of RAM Analysis Using Field Data : Focusing on Korean Warship, *Journal of the Korea Contents Association*, **12**(12), 395-412.
- Yu, X. and Gen, M. (2010), *Introduction to Evolutionary Algorithms*, Springer, New York.
- Yun, W. Y., Han, Y. J., Park, G., Choi, C. H., and Jung, D. J. (2011), Simulation Modeling for RAM Analysis of a Searching system, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, **39**(3), 353-364.
- Yun, W. Y., Kim, H. W., and Han, Y. J. (2012), Simulation-based Inspection Policies for a One-shot System in Storage, *Proceedings of the 5th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling*, 621-628.
- Yun, W. Y., Kim, H. W., and Kim, J. W. (2010), A RAM Design of Multi-functional System, *Proceedings of the 4th Asia-Pacific International Symposium*, 812-819.
- Yun, W. Y., Moon, I. K., and Kim, G. R. (2008), Simulation-based Maintenance Support System for Multi-functional Complex Systems, *Production Planning and Control*, **19**(4), 365-378.
- Yun, W. Y., Park, G., and Han, Y. J. (2012), An Optimal Reliability and Maintainability Design of a Searching System, *Proceedings of the 5th Asia-Pacific International Symposium on Advanced Reliability and Maintenance Modeling*, 605-612.