

함정 전투체계 고가용도 모델 적용에 관한 연구

이경행* · 한동수

A Study on the Application Model of High Availability of shipboard Combat Systems

Kyoung-Haing Lee · Dong-Soo Han

ABSTRACT

This research has conducted high availability system modeling to assure the reliability of shipboard combat systems. Shipboard combat system is a way for efficient execution of duty and a crucial battlefield management system that determines the outcome of battle in the modern war. Especially in regard to a network-centric operational environment in the future, even 1% of malfunction can lead to fatal consequences for the outcome of war. So combat system should be designed by high availability system which is a "always-on" service. In this point of view, This work describes an architecture-based various high availability model and proposed alternative high available systems that can achieve more than 99.9999% accuracy at a minimum. This paper also provides an applicable model with which system engineers analyze out system failure and recovery process by employing computerized tools.

Key words : Combat Systems, High Availability

요약

본 연구에서는 함정 전투체계의 신뢰성을 보장하기 위한 고가용도 시스템 모델링을 수행하였다. 함정의 전투체계는 전투원의 효율적인 임무수행의 수단이며, 현대전에 있어서 승패를 좌우하는 중요한 전장관리체계이다. 특히, 미래의 네트워크중심전 장환경에서는 시간관점에서 전투수행시간의 단 1%의 고장도 전투결과에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 함정의 전투체계는 지속적으로 서비스가 제공되어야 하는 고가용도 시스템으로 설계되어야 한다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 아키텍처 기반의 다양한 고가용도 모델을 기술하고 최소한 99.9999%이상을 달성할 수 있는 고가용도 모델의 대안을 제시하였다. 또한 전산도구를 활용하여 시스템엔지니어가 시스템고장 및 고장복구 프로세스를 모델링할 때 직관적으로 적용 가능한 모델을 제시하였다.

주요어 : 전투체계, 고가용도

1. 서론

1.1 연구배경

미래의 전장환경은 정보우위를 통한 네트워크중심 전장환경(NCOE: Network Centric Operational Environment)이 일반화되고 다양한 플랫폼들이 네트워크에 의해 연결

되어 한 전구 내에서 단일 플랫폼이 마치 전체 시스템을 위한 하나의 요소로서 그 임무와 기능을 수행하는 네트워크 기반 복합시스템화가 될 것이다. 이는 플랫폼들이 네트워크에 의해 형성된 각각의 격자(grid)를 기반으로 위협을 평가하고 무장을 통제하는 전장관리체계의 획기적인 발전과 역할의 증대를 통해 나타낼 수 있다. 네트워크중심 전장환경은 정보의 흐름면에서 센서격자(sensor grid)와 슈터격자(shooter grid)로 구성되는 정보격자(information grid)를 통한 센서와 슈터의 정보프로세스에 기반을 두고 있다. 이러한 네트워크를 통해 얻어진 압도적인 전장인지에 의한 신속우위는 시간적으로 적을 압도하여, 전력의

Received: 2 November 2015, **Revised:** 20 November 2015,
Accepted: 27 November 2015

*Corresponding Author: Kyoung-Haing Lee
E-mail: onego778888@gmail.com
Naval Academy, Weapon Systems Engineering

양적 수준에 관계없이 전장상황을 빠른 속도로 주도하게 된다. 따라서 미래전의 수행은 육·해·공의 다양한 플랫폼을 지닌 요격체제와 다양한 조기경보·감시체계로부터 획득된 정보의 실시간적 공유를 기반으로 위협평가, 센서관리, 표적할당, 무기할당 및 교전통제 임무를 완벽히 수행할 수 있는 전장관리(BM/C4I)를 통해서만 가능하다. 이러한 관점에서 미래 전투환경에서 전장관리체계로서 주도적인 역할을 수행하는 함정의 전투체계에 대한 신뢰성과 가용성을 높이기 위한 노력은 무기체계를 획득하는 관점에서 핵심 이슈이다. 일반 산업계에서도 고가용도 시스템구축을 위한 노력이 리눅스 데이터시스템, 자바시스템 응용서버, 이동통신시스템 및 각종 네트워크 관리시스템 등에서도 나타나고 있다. 고가용도는 시스템의 고장이 발생했을 때 중단 없는 서비스를 제공할 수 있는 능력을 말하며, 흔히 “Five-9's” 시스템은 99.999%의 가용도를 의미한다^[1]. 기존의 연구에서는 단순 시스템의 가용도 모델을 적용하였으며,^[2-3] 안정성(safety)이 설계의 핵심인 철도분야에서는 하드웨어 리던던시(redundancy)와 빠른 소프트웨어 복구 메커니즘을 적용하였으나^[4] 다양한 고장에 따른 다양한 수리방법(manual, automatic switchover) 및 시간 등이 적용되지 않아 함정 전투체계의 직접적인 적용에는 어려움이 있다. 이러한 관점에서 본 논문은 다양한 시스템 특성에 따라 적용될 수 있는 고가용도 모델링의 방법론을 제시하고 UML(Universal Modeling Language) 상태전이 다이어그램을 활용하여 시스템 인터페이스와 추적성을 보장하였다.

1.2 연구 내용 개괄

본 논문에서 제시한 전투체계 고가용도 모델은 함정 전투체계 설계과정에서 운용자 중심의 요구사항을 검증할 수 있는 통합 아키텍처(architecture) 모델이 될 수 있다. 적용 가능한 시스템 가용도 방법을 적용하여 고가용도 시스템 설계를 위한 개념적 모델을 제시하였으며, 다양한 가용도 모델 분석을 통해 적용 가능한 전투체계 고가용도 모델을 도출하였다. 도출된 모델을 기반으로 전투체계 고가용성 설계를 수행하였다.

1.3 논문의 구성

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 고가용도 모델 도출을 위한 이론적 배경을 고찰하고, 3장에서는 공학 전산도구인 UML을 사용하여 다양한 고가용도 모델링을 수행하였다. 4장에서는 전투체계 고가용성 설계를 수행하였고, 마지막 5장에서는 본 연구의 내용을 요약하고,

결론 및 향후 연구 계획에 대해서 기술한다.

2. 이론적 배경

2.1 가용도(availability)

일반적인 함정시스템의 획득과정은 Fig. 1과 같이 소요기획, 선행연구, 탐색개발, 체계개발 및 양산/전력화로 이루어진다^[5]. 개념설계 단계에서는 시스템 가용도 요구사항이 설정되며, 이를 만족하는 시스템 아키텍처와 적당한 신뢰도 기술이 선택되어 진다. 이를 기반으로 정량적인 시스템 성능특성과 실현가능성을 보증하는 가용도 모델링을 실시한다. 모델링을 통해 산출된 가용도는 기본/상세설계, 개발 및 시험과정을 통해 업데이트되며, 양산 후 확인(validation)과 운용자료 분석과정을 통해 설정된 요구사항과의 갭(gaps)을 식별한다. 갭이 존재하면 가용도와 신뢰도를 개선하기 위한 로드맵핑 및 투자 등을 고려해야 한다^[1]. 시스템 가용도는 시스템이 주어진 시간동안 요구된 기능을 정상적으로 수행할 확률로써 정의되며^[1], Table 1과 같이 규격, 목적 및 관련분야에 따라 다양한 가용도 모델이 사용된다. 전투체계시스템에 적용되어야 할 고가용도 시스템은 자동적으로 고장을 감지, 경보, 분리 및 복구하는(일부품목에 대한 스위칭, 자동고장복구 등) 기능을 보유하고 있으며, 일부의 능력손실에도 주기능성(primary functionality)을 유지할 수 있어야 한다. 따라서 함정 전투체계는 요소(element) 뿐만 아니라 서비스관점의 가용도가 더 중점적으로 고려되어야한다. 그러나 지금까지 해군무기체계에 적용되었던 가용도 표준은 IEC62278 및 MIL-HDBK-338B 등을 적용함으로써 고가용도를 직접적으로 다루지 않았다.



Fig. 1. Application of System Availability

Table 1. Availability Definition

Categories	Availability
MIL-HDBK-338B	<ul style="list-style-type: none"> $A(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} A(t) dt$ $A_m(t_2 - t_1) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A(t) dt$ $A_s = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t)$ $A_a = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime}$ $A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
EN50126	<ul style="list-style-type: none"> $A = \frac{TUT}{TUT + TDT} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
IEC62278	<ul style="list-style-type: none"> $A_o = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime}$ $A_a = \frac{TUT}{TUT + TDT_{PM} + TDT_{CM}}$ $A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$
DoD RAM-C Report Manual	<ul style="list-style-type: none"> $A_m = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$ $A_o = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime}$
TL 9000's QMSH	<ul style="list-style-type: none"> Service Availability - Classical View $A = \frac{TUT}{TUT + TDT} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$ - Customer View $A = \frac{Service\ time - \sum_{Outage\ events} Outage \times Loss}{Service\ time}$

2.2 고가용도 시스템 설계를 위한 개념적 모델

고가용도 시스템은 고장 탐지센서에 의해 잠재적인 고장, 제품속성(하드웨어/소프트웨어) 및 비제품속성(절차상의 실수, 운용자에 의한 오작동 및 화재 등) 고장 등이 자동적으로 탐지되어야 한다. Fig. 2^[4]와 같이 고장이 탐지되면 시스템 로직(system logic)에 의해 고장을 진단 및

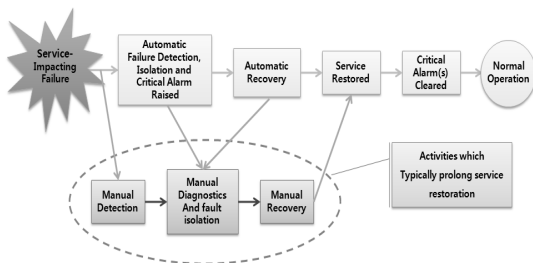


Fig. 2. Model of high-availability systems

분리하고 하드웨어/소프트웨어 메커니즘에 의해 적합한 복구활동을 실시한다. 자동적인 복구가 실패할 경우 운용자의 매뉴얼 복구활동을 실시한다.

2.3 마코브 모델

전투체계 고가용성을 이미 달성한 미국에서는 2009년 발표된 미 국방부의 RAM-C Report Manual^[6]에서는 복잡시스템의 가용도를 산정하는데 있어서 마코브(Markov) 적 접근방법을 적극 권장하고 있다. 그러나, RAM-C Report Manual에서는 Table 1과 같이 이전의 모델을 장비(materiel)와 운용의 관점으로만 기술할 뿐 구체적인 마코브 모델링의 방법론은 언급되어 있지 않다. 마코브 모델은 스토캐스틱(stochastic) 프로세스의 적용으로 시간과 공간에 관하여 이산적으로 혹은 연속적으로 시스템을 모델링하는 것이다. 가용도를 모델링하는 방법에는 RBD (Reliability Block Diagram), 마코브 모델, Fault tree 모델, Minimal cut-set method, Petri-net, Monte Carlo simulation 등이 있으며, 이중 마코브 모델은 시스템엔지니어나 설계자가 직관적으로 시스템고장 및 고장복구 프로세스를 모델링할 때 적용할 수 있는 좋은 방법 중의 하나이다. 마코브 모델은 마코브 체인 이론을 기초로 하며 상향식(bottom-up)으로 시스템, 하부시스템 및 구성품(component)의 부분고장, 능력손실(capacity loss) 및 수리전략을 세부적으로 수립할 수 있는 장점이 있다. 따라서 여기서는 시스템의 구성요소 및 상태의 순서와 기능에 대한 모델링이 가능하고 시스템아키텍처의 연관성 및 추적성을 보장하는 UML(Unified Modeling language)의 상태전이 다이어그램을 사용하여 마코브 모델링을 수행하였으며, 이를 기반으로 시스템 가용도를 도출하였다.

3. 고가용도 모델

3.1 활성 모델

활성(Active-Active) 모델은 한 유닛(unit)이 다운(down) 되었을 때 다른 유닛으로 작동이 전환될 때까지 50%의 능력손실이 발생하는 이중의(duplex) 시스템에 적용이 가능하다.

적용가능한 대표적인 장비로는 허브 및 라우터 등이 있다. Fig. 3은 UML을 활용하여 모델링 한 것으로 유닛의 고장 시 자동적으로 탐지되었을 경우 State 4로 전이되며, 고장복구에 성공 시에는 State 2로, 실패 시에는 State 5로 전이된다. 이때 수동적인 복구과정이 시작되어 성공 시 State 2로 전이되어 수리과정이 시작되고, 실패 시

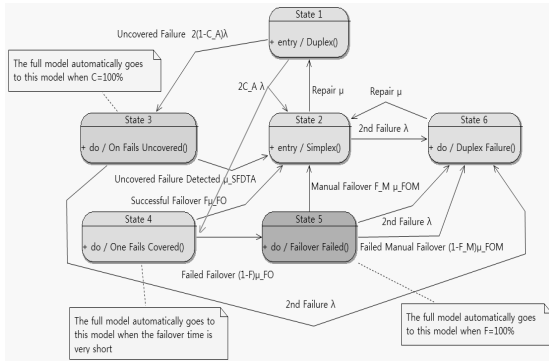


Fig. 3. Active-Active Model

State 6으로 전이되어 모든 유닛이 고장상태가 된다. 한 유닛의 고장이 자동적으로 탐지되지 않았을 경우 탐지될 때 까지 State 3으로 전이되며, 탐지된 이후에는 같은 절차가 반복된다. 완전 결함복구(failover), 순간 결함복구 및 모든 고장이 탐지된 순간 결함복구를 포함한 이러한 과정을 활성모델이라 한다. Fig. 3에서 λ , μ , C 는 각각 고장률, 수리율, 결함복구인자(coverage factor)를 나타낸다.

Fig. 3에서 완전 결함복구는 자동적으로 결함이 완전 복구되는 것으로 결함복구 성공확률 F (Failover Success Probability)값이 1(100%)이 되며, State 5는 생략된다. 순간 결함복구는 결함복구 시간이 매우 짧게 발생하는 것으로 State 4, 5가 생략된다. 모든 고장이 탐지된 순간 결함복구는 C 값이 1(100%)이 되며, State 4, 5 및 6이 생략된다.

3.2 활성준비 모델

활성준비(Active-Standby) 모델은 한 유닛이 서비스를 제공하는 동안 보조유닛이 대기상태(standby)에 있는 이중의 형상품목에 사용된다. 대표적인 시스템의 유형으로 데이터베이스 서버를 들 수 있다.

활성준비 모델은 활성모델에서 Fig. 4와 같이 State 3이 추가된 것으로 작동 중인 유닛에 대한 고장 시에는 활성모델 과정과 동일하며, 대기상태에 있는 유닛의 고장이 자동적으로 탐지되면 State 2로, 자동적으로 탐지되지 않으면 State 3으로 전이된다. 작동상태 유닛의 수동복구 실패와 대기상태 유닛의 탐지가 실패할 경우 State 6으로 전이되어 모든 유닛이 고장상태가 된다. 즉, 활성준비 모델에서는 첫 번째 데이터베이스 서버가 고장 시 대기상태에 있는 서버로 재지정이 이루어져 서비스가 시작되는 시스템에 사용된다. 이를 UML2.0을 사용하여 모델링 한 것

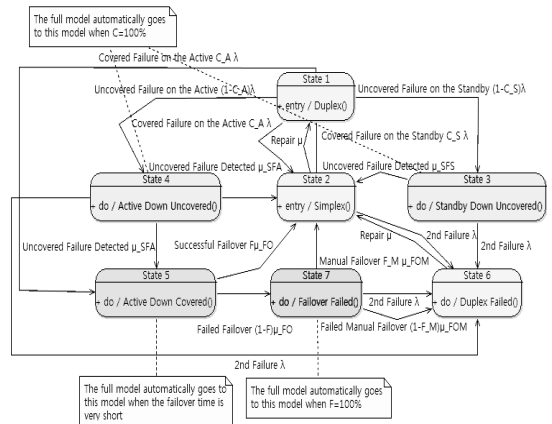


Fig. 4. Active-Standby model

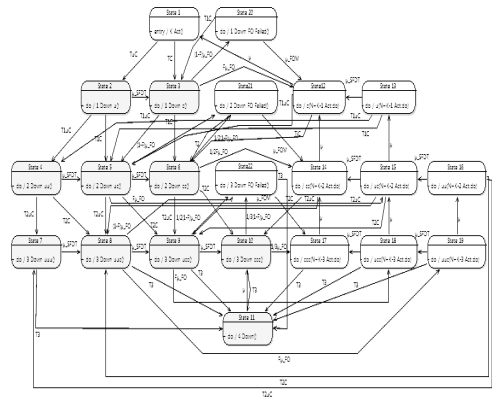


Fig. 5. N+K Redundancy Model

을 Fig. 5에 나타냈다.

Active-Active Model과 마찬가지로 완전 결함복구는 F 값이 1(100%)이 되며, State 7는 생략된다. 순간 결함복구는 결함복구 시간이 매우 짧게 발생하는 것으로 State 5, 7이 생략된다. 모든 고장이 탐지된 순간 결함복구는 C 값이 1(100%)이 되며, State 3, 4, 5 및 7이 생략된다.

3.3 가외성 모델

가외성(Redundancy) 모델은 N 개의 유닛이 서비스를 제공하는 동안 K 개의 유닛이 보조상태(spare)에 있는 시스템의 경우 해당된다. 이는 서비스 중인 N 개의 유닛 중 1개의 유닛이 고장 날 때 까지 K 개의 유닛은 작동하지 않는 것으로 시스템에 필요한 능력이 N 개라는 것을 의미한다. 대표적인 시스템은 네트워크화 되어있는 보조시스템을 포함하며 서버가 클러스터링(clustering)되는 대용량

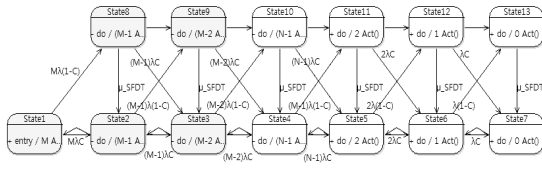


Fig. 6. N-out-of-M Redundancy Model

서버, 많은 사용자에게 동시에 서비스를 제공해야 하는 웹사이트 등이 해당된다.

Fig. 5는 서버의 하중이 유한의 임의 시간으로 재분배되는 N+K 가외성 모델을 UML을 사용하여 모델링한 것이다. N개의 유닛 중 1개가 고장 시 시스템이 다운되지만, K개의 유닛 중 1개가 고장 시에는 시스템이 정상작동된다. Fig. 5는 능력손실을 고려하여 활성준비 모델을 확장한 것으로 상태 2~11은 N개의 유닛 중 고장이 발생하여 시스템이 다운된 것이며, 상태 12~19는 K개의 유닛 중 고장이 발생하였지만 시스템의 다운에는 영향을 없는 것을 나타낸다. 수동 결합복구에 대한 요구가 발생할 때 시스템엔지니어는 시스템에서 자동적으로 탐지하지 못한 모든 고장(uncovered fault)을 찾는다.

다른 관점에서 M개의 구성품(component) 중 N개가 운용 중인 시스템을 생각해볼 수 있다. 이러한 시스템을 N-out-of-M 시스템이라고 한다. 유도무기체계에서 일반적으로 사용되고 있는 액체추진시스템의 전원공급단, 팬터그래프, 전동기 및 냉각기 등이 해당된다. 냉각기의 경우 하나의 팬(fan)이 고장 시 다른 팬이 더 고속으로 작동하여 냉각시스템을 유지해야 한다. RBDs (Reliability Block Diagrams) 모델은 이항분포를 기반으로 시스템의 신뢰도를 계산한다⁷⁾. 그러나 RBDs는 마코브 모델과 비교 시 고장탐지 확률과 고장복구 프로세스가 고려되지 않으므로 N-out-of-M 시스템을 모델링하는 데는 부적합하다. N-out-of-M 가외성 모델은 N+K 가외성 모델과는 달리 고장복구가 즉시 일어난다. Fig. 6에서 작동 중인 N을 제외한 M개의 구성품 중 1개가 고장 시 자동탐지 되면 State 2로, 자동탐지 되지 않으면 State 8로 전이된다. State 8에서 1개의 구성품이 더 고장 시 자동탐지 되면 State 3으로, 자동탐지 되지 않으면 State 9로 전이된다.

4. 함정 전투체계 고가용성 적용

함정 전투체계는 탐재 센서를 비롯, 무장 및 기타 장비들을 통합해 이들로부터 획득되는 정보를 종합적으로 분

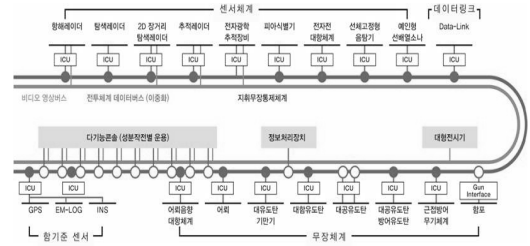


Fig. 7. Warship Combat System

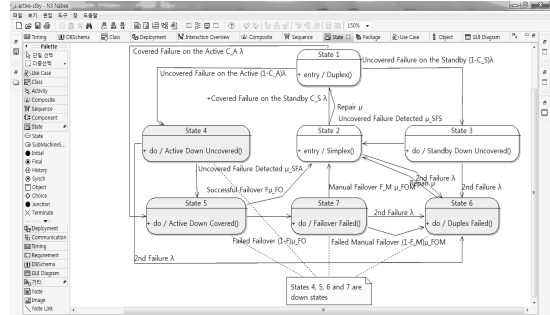


Fig. 8. Active-Standby Markov Model

석 및 활용함으로써 대함전, 대공전, 대잠전 및 대유도탄 전 등 복합전에 필요한 전술 및 교전계획 수립, 지휘권고 및 무장 할당 등 표적 탐지에서 교전에 이르기까지의 전 과정을 수행하는 함정의 핵심 장치이다. 함정 전투체계 시뮬레이터는 이러한 구성 요소들을 통합 및 연동하는 소프트웨어로서 시뮬레이션 목적에 따라 다양한 통신 수단을 제공해야 한다. 탐지(search), 추적(tracking), 통제(control), 무장할당(weapon assignment), 교전(combat) 및 평가(evaluation) 모듈(module)이 정확한 신호를 계산하고 이러한 신호정보를 인터페이스카드를 통해 함정 전투체계 전반에 전달이 되어야 한다⁸⁾. 따라서 함정 전투체계는 Fig. 7⁹⁾과 같이 중단 없는 서비스를 제공하기 위해 듀얼(dual) 신호처리 프로토콜(protocol) 데이터(data) 버스(bus)를 구성하고 있다. 따라서 전투체계 아키텍처는 고가용도 및 신뢰도 측면에서 매우 중요하다. 이러한 관점에서 함정 전투체계의 경우 활성준비 모델을 활용할 경우 고가용성 설계가 가능해진다. 아키텍처는 컴포넌트의 구조, 그들의 관계 및 설계를 관리하는 원리와 지침으로¹⁰⁾ 마코브(Markov) 프로세스를 활성준비 모델에 적용하면 Fig. 8과 같은 정교한 아키텍처 구현이 가능하다.

Fig. 8의 각 State에서 Input과 Output은 같고 모든 확률의 합은 1이므로 다음과 같은 방정식을 세울 수 있다.

State 1: $(1 - C_A)\lambda P_1 + C_A\lambda P_1 + C_S\lambda P_1 + (1 - C_S)\lambda P_1 = P_2\mu$ (1)

State 2: $(\mu + \lambda)P_2 = C_S\lambda P_1 + F\mu_{FO}P_2 + F_M\mu_{FOM}P_7 + \mu P_6 + \mu_{SFS}P_3$ (2)

State 3: $(1 - C_S)\lambda P_1 = \mu_{SFS}P_3 + \lambda P_3$ (3)

State 4: $(1 - C_A)\lambda P_1 = \mu_{SFA}P_4 + \lambda P_4$ (4)

State 5: $\mu_{SFA}P_4 + C_A\lambda P_1 = F\mu_{FO}P_5 + (1 - F)\mu_{FO}P_5$ (5)

State 6: $\lambda P_3 + \lambda P_2 + \lambda P_7 + \lambda P_4 + (1 - F_M)\mu_{FOM}P_7 = \mu P_6$ (6)

State 7: $(1 - F)\mu_{FO}P_5 = F_M\mu_{FOM}P_7 + \lambda P_7 + (1 - F_M)\mu_{FOM}P_7$ (7)

(1)~(7)식을 $AP = R$ 형태의 Matrix로 표현하면 식 (8)과 같다.

$$\begin{pmatrix} 2\lambda & -\mu & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_S\lambda & -\mu - \lambda & \mu_{SFS} & 0 & F\mu_{FO} & \mu & F_M\mu_{FOM} \\ C_S\lambda - 1 & 0 & \mu_{SFS} + \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 - C_A\lambda & 0 & 0 & -\mu_{SFA} - \lambda & 0 & 0 & 0 \\ C_A\lambda & 0 & 0 & \mu_{SFA} & -1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & \lambda & \lambda & 0 & -\mu\lambda + (1 - F_M)\mu_{FOM} & P_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (1 - F)\mu_{FO} & 0 & -\lambda - 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \\ P_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Table 2는 기존에 발표된 논문에서 구해진 제어시스템의 고장자료를 활용한 가정값이며,^[11] 이 값은 해군이 보유하고 있는 야전운용자료와 전투체계를 구성하는 시스템 계층구조별 기술수준(TRL: Technical Readiness Level), 시스템엔지니어의 역할 및 활동영역에 따라 다양한 값이 적용될 수 있다. Table 2의 값을 식 (8)에 대입하여 각 상태에서의 확률을 계산하고 시간으로 환산하여 나타내면 Table 3과 같다. 불가동시간은 불가동 State 4, 5, 6 및 7의 시간을 합한 0.2393분이며, 1년이 525,960분이므로 불가용도(unavailability)는 0.2393/525,960이고 가용도는 99.9999545%가 된다. 이러한 방식으로 ‘Five-9’을 넘어선 ‘Six-9’ 이상의 초고가용성을 달성할 수 있다. 즉, 마코브 모델을 확장하여 함정 전투체계에 적합한 고가용도 모델링을 기반으로 각 State에서의 확률과 고장시간을 도출할 수 있다. 시스템엔지니어는 Table 2의 파라미터에 대한 민감도 분석(sensitivity analysis)을 통해 KPPs(Key Performance Parameter)를 선정하고 비용 대 효과를 고려한 최적의 시스템을 설계하여야 한다.

5. 결론 및 향후연구과제

본 연구는 현대의 복잡한 함정 전투체계에 적합한 고가용도 모델 적용을 위해 마코브적 접근방법을 통한 고가용도 시스템을 모델링하였고, 이를 기반으로 시스템엔지니어가 설계에 활용할 수 있는 실증적인 고가용도 모델을 제시하였다. 제시된 고가용도 모델은 기존의 고전적인 가용도 산출방법의 제한사항을 해결할 수 있으며, 도구의

Table 2. Assumed Parameter Value

Parameter	Symbol	Value	Units
Failure rate	λ	0.0000042	failures/hours
Coverage factor (active mode)	C_A	90.00	%
Coverage factor (standby mode)	C_S	90.00	%
Failover Success Probability	F	99.00	%
Failover duration	$1/\mu_{FO}$	0.1666667	minute
Manual failover success probability	F_M	99.00	%
Manual failover time	$1/\mu_{FOM}$	30	minute
Repair/reboot time	μ	240	minute
Uncovered failure detection time(active)	$1/\mu_{SFA}$	60	minute
Uncovered failure detection time(standby)	μ_{SFS}	60	minute

Table 3. Probability Solution and Downtime

State	Probability	Minutes/year
1	0.999956	525,938.44
2	3.3599E-05	17.6715
3	1.0079E-05	5.3009
4	4.2E-07	0.2209
5	1.16E-08	0.0061
6	2.5E-09	0.0013
7	2.09E-08	0.0110
Total Downtime		0.2393

활용을 통해 자료의 추적성을 보장할 수 있다. 또한 설계/운용자 및 시스템엔지니어가 시스템고장 및 고장복구 프로세스를 모델링할 때 쉽게 적용가능하다.

본 연구의 제한사항으로 모델링에 적용한 파라미터에 대한 민감도 분석 등이 요구되어진다. 이는 본연구의 제한사항이며, 향후 연구과제이기도 하다. 기존의 고전적 가용도 모델은 하드웨어 리턴턴시와 빠른 소프트웨어 복구 메커니즘이 고려되지 않았으며, 다양한 고장에 따른 다양한 수리방법(manual, automatic switchover 등)과 시간 등을 반영하지 않아 대부분의 현대 고가용도 시스템에 적용하는데 어려움이 있다. 또한 장비대수를 기준으로 가용도를 산출하는 모델은 설계자/개발자 차원에서 조각이 가

능하며, 자료의 부정확성에 따라 실제 가용도와 다르게 산출될 우려가 있다. 시간을 기준으로 하는 가용도 산출 방식도 MTBF에 예방정비가 포함되지 않으므로 운용가용도 측면에서 개발업체와 운용자간 책임소재의 한계가 있다. 따라서, 고가용도 시스템의 목표를 달성하기 위해서는 본 연구에서 제시한 마코브 모델을 적용한 가용도 모델링이 바람직하다.

본 논문에서 설계한 모델을 기반으로 산출된 가용도는 합정 전투체계 전체로 확장될 수 있다. 구성품을 하드웨어와 소프트웨어를 분리하여 모델링하고, 이에 따른 계산 결과를 합산하면 전체시스템의 고장시간 및 가용도를 산출할 수 있다.

향후 우리 해군이 전장에서의 전승을 보장하고 충무공의 정신과 필승해군의 전통을 계승하기 위해서는 무기체계 연구개발 시 본 논문에서 제시한 고가용도 시스템을 반드시 적용해야 한다.

References

1. Eric Bauer, Xuemei Zhang, Douglas A. Kimber (2009), Practical System Reliability, IEEE.
2. In-Soo Chung, Kang-Won Lee (2008), "Study on Setting up the Quantitative RAM Goals for Rolling Stocks", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 11 No. 6, pp. 390-397.
3. Yong-Jun Seo and, Hee-Kap Yang (2008), "Service Availability of the Urban Maglev System in Korea" *Maglev* 2008, San Diego CA, USA.
4. Kyoung-Haing Lee, Yong-Soo Kwon (2011), "A Study on the Architecture-based Model of High Availability of Railway Control Systems", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 12 No. 2, pp. 87-93.
5. J.D. Lee, H.C. Kim and W.J. Jung (2014), "A Study on the Successful Acquisition of Ship Previous Studies (Conceptual Design) Phased Improvement Measures", *Defense Industry Policy*, pp. 73-74.
6. DoD, "Reliability, Availability, Maintainability and Cost Rationale Report Manual", DoD, 2009, pp. 5-70~5-87.
7. D.O. Shin, J.H. Lee (2006), "A Study on the Reliability Demonstration for Korea High Speed Train Control System", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 9 No. 4, pp. 419-424.
8. S.J. Yong, W.S. Hyouk (2014), "A Design Method of Communication Manager for Naval Combat Simulator Considering The Scalability of Simulation", *The Korean Institute of Communications and Information Sciences Conference*, pp. 1-4.
9. http://www.lignex1.com:8001/mobile/pr/solution_view.jsp?id=21&btype=&pg=1
10. IEEE STD 610.12 as extended in the C4ISR AF v.2.0.
11. K.W. Lee, I.S. Chung (2007), "Reliability Allocation Model for KTX-II High Speed Train", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 10 No. 3, pp. 319-326.



이 경 행 (onego778888@gmail.com)

2002 서울대학교 수학과 학사
 2007 국방대학교 무기체계 석사
 2014 국방대학교 무기체계 박사
 2015~현재 해군사관학교 무기체계공학과 교수

관심분야 : 유도무기체계, M&S, 시스템엔지니어링



한 동 수 (hands10385@gmail.com)

1993 해군사관학교 기계공학과 학사
 2012 경기대학교 국제정치학 석사
 2015~현재 사이버사령부 705대장

관심분야 : 전투체계, 정보보호, M&S