

개발단계에서 무기체계 운영유지비 예측을 위한 비교분석 연구

정준*, 이기원, 차종한, 최동현, 박경덕
LIG넥스원 ILS연구소

A Study on Comparison Analysis for Calculating of Weapon System Operation Cost at the Development Stage

Jun Jeong*, Ki-Won Lee, Jong-Han Cha, Dong-Hyun Choi, Kyoung-Deok Park
LIG Nex1 ILS R&D Lab.

요 약 최근 무기체계 개발 시 총수명주기체계관리(TLCSM) 및 전체 순기 간 비용 관리의 중요성이 점차 커지고 있다. 비용 관리 시 사업초기 개발단계부터 비용 예측이 중요하지만 개발단계에서 총수명주기비용을 예측하는 것은 어렵다. 총수명주기 비용은 연구/개발비, 획득투자비, 운영유지비 및 폐기비 등으로 구성되어 있는데, 운영유지비(폐기비 포함)가 가장 큰 부분을 차지하고 있기 때문에, 총수명주기비용 예측 시 운영유지비에 대한 정확한 예측이 필요하다. 본 연구에서는 CAIV 기법을 활용, 운영유지비를 예측하기 위해 상용 비용분석 도구인 PRICE-HL 모델과 RAM 기반 무기체계 운영유지비 예측 도구인 NemoSIM 간의 비교 분석을 통하여, 무기체계 개발단계에서 효율적인 운영유지비 예측 방안 및 분석 결과값을 보급, 정비 관련 ILS 요소 개발 시 활용할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 또한, 본 연구를 통해 도출된 결과를 바탕으로, 후속 연구에서는 PRICE-HL 모델과 NemoSIM 입력값/결과값에 대한 심층적 추가 분석을 수행하고 그 결과로 NemoSIM에서 고려하지 않은 비용 항목 및 발전 방향을 도출하여 개발초기 단계에서, 보다 정확한 무기체계 운영유지비용을 산출하는 방안과 NemoSIM의 결과를 ILS 요소개발에 활용 할 수 있는 방안을 구체적으로 제시 할 예정이다.

Abstract Recently, the importance of Total Life Cycle System Management (TLCSM) and LIFE-CYCLE COSTS management is increasing in the development of weapon systems. In cost management, cost forecasting is important from the initial development stage, but it is difficult to predict the total life cycle cost at the development stage. In this study, we propose efficient management cost calculation and management at the development stage of the weapon system by comparison analysis between the PRICE-HL model and NemoSIM to calculate the maintenance cost under the CAIV concept. Based on the study results, further in-depth analyzes of the PRICE-HL model and NemoSIM input values / results are performed. In addition, we provide a more accurate method of calculating the cost of maintaining and operating the weapon system and a plan to utilize the result of NemoSIM in the ILS element development.

Keywords : TLCSM, CAIV, PRICE-HL, NemoSIM, LIFE-CYCLE COSTS

1. 서론

최근 무기체계 총수명주기체계관리(TLCSM) 및 전체 순기간 비용 분석/관리의 중요성이 점차 커지고 있는 추세이다. 사업초기 예산 분석/만영 등 효과적인 비용 관리

를 위해 개발단계부터 총수명주기비용을 예측하는 것이 중요하지만[1], 개발단계에서 총수명주기 비용을 예측하는 것은 매우 어렵다.

총수명주기비용은 Fig. 1과 같이 연구/개발비, 획득투자비, 운영유지비 및 폐기비로 구성되어있다[2].

*Corresponding Author : Jun Jeong(LIG Nex1)

Tel: +82-10-9877-3935 email: jeongjun@lignex1.com

Received December 3, 2018

Accepted February 1, 2019

Revised (1st December 31, 2018, 2nd January 17, 2019)

Published February 28, 2019

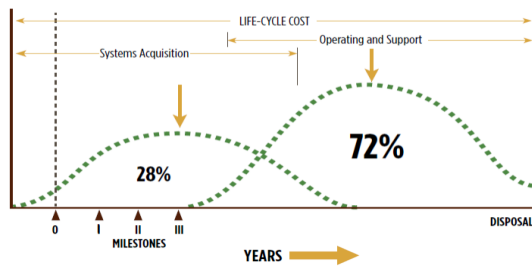


Fig. 1. NOMINAL LIFE-CYCLE COSTS

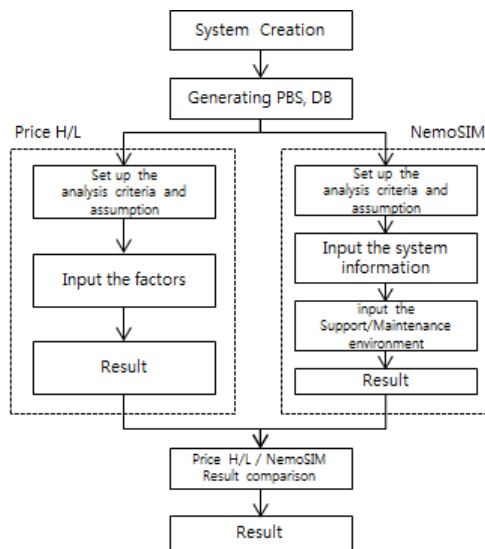


Fig. 2. Research Process

이 중 운영유지비(폐기비 포함)가 일반적으로 약 72%에 이르는 것으로 알려져 있기 때문에[2]. 총수명주기비용 예측 시 운영유지비에 대한 정확한 예측이 필요하다.

본 연구에서는 사업기간 3년 이상의 무기체계 연구개발 사업에 적용하게 되어있는 [방위사업관리규정, 방위사업청] CAIV 기법을 활용하여 운영유지비를 예측하기 위해 상용 비용분석 도구인 PRICE-HL 모델과 RAM 기반 무기체계 운영유지비 예측 도구인 NemoSIM 간의 비교 분석을 통하여 보완 요소를 찾아내고, 무기체계 개발 단계에서 효율적인 운영유지비 예측 및 관리방안을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 연구절차에 대해 설명, 3장에서는 본 논문에서 사용되는 이론적 배경 설명, 4장에서 운영유지비 예측에 대한 비교분석 결과를 제시, 5장에서 결론으로 마무리한다.

2. 연구절차

본 연구를 위해서 먼저 유사무기체계를 활용하여 비교분석용 무기체계 DB를 생성하였다. 분석 대상 무기체계가 특정임무를 수행할 수 있도록 PBS(Product Breakdown Structure)를 설정하였다. PBS 설정 후 무기체계의 운영유지비용을 비교분석 하기 위해 분석기준 및 가정을 설정하였으며, 기준에 따라 입력 값들을 입력하고 결과를 도출하였다. 결과 도출 후 각 도구들에 의해 도출된 운영유지비를 비교 분석하였다.

3. 이론적 배경

3.1 CAIV

3.1.1 CAIV 개요

목표비용관리(CAIV : Cost As an Independent Variable)는 계획 및 예산단계에서 적극적이며 현실적인 목표비용(개발비 및 생산비, 운영유지비를 말한다.)을 설정하고 집행 중에 주기적으로 비용을 추정하여 기 설정된 목표비용과의 편차를 분석하고 관리하는 것을 말한다.[방위사업관리규정, 방위사업청]

미국의 경우 1970년대 이후 무기체계 획득비용이 급격히 증가함에 따라 비용통제의 필요성을 인식하여 효율적인 비용관리를 위한 제도와 정책을 추진하기 시작하였다. 1996년에는 신규 무기체계 획득 의사결정 시 비용을 최우선으로 고려하는 CAIV기법을 도입하여, 무기체계의 개발비 및 획득비를 예측할 뿐만 아니라 현재 배치/운영 중인 무기체계를 대상으로 비용관리 활동을 활발하게 수행하고 있다.

이필중(2014)등은 전력지원체계 연구개발사업에 CAIV 적용방안에 관한 연구를 하였다[3]. 이 연구에서는 기존 무기체계 연구개발사업에서 적용되고 있는 CAIV를 전력지원체계 분야의 비용관리실태를 분석하여 연구개발 사업에 적용을 위해 제도 및 시스템 구축과 기반조성 측면에서 개선방안을 제시하였다. 그러나 제시된 개선방안을 위해 관련 법령 및 규정 등의 정비작업이 선행되어야 하는 조건이 있다.

이승만(2017)등은 유도무기체계 연구개발을 위한 활동원가 기반의 목표비용관리 방안에 관한 연구를 하였다[4]. 유도무기체계 연구개발사업의 목표비용을 추정하기

위해서는 정부 자체의 방대한 개발 및 시제의 원가자료를 활용해야 하나 신규 개발사업에 활용할 자료와 그 타당성을 검증하기 위한 방안도 부족한 면이 있다. 그래서 사업 초기에 연구개발사업의 적정 목표비용을 추정하고 그 타당성을 검증할 수 있는 활동원가 기반의 비용분석 방안을 제시하고, 공학적 추정 및 전산모델의 상호 매핑과 비교분석을 통한 소요 예산의 타당성을 비교 검증하는 방안을 제시하였다.

변형균(2011)등은 KHP 총소유비용의 민감도 분석에 관한 연구를 하였다[5]. 미래에 발생할 총소유비용(TOC : Total Ownership Cost)를 예측하고 결과에 대한 주요 비용결정 요소인 신뢰도(Reliability), 정비도(Maintainability), 가용도(Availability), 예방정비율(SMF : Scheduled Maintenance Fraction), 정비개념 및 모듈/부품 고유형상수 요소에 대한 민감도분석을 실시하고 CAIV 적용결과를 분석하여, 획득 및 운영유지단계에서 TOC 및 운영유지비 절감방안과 차후 타사업에 활용 가능한 TOC 절감방향을 제시하였다. 그래서 MTBF 향상 등의 비용과 성능의 최적화를 통하여 TOC 절감의 노력이 필요함을 알 수 있다.

CAIV 적용을 통한 사업 관리는 객관적이고 가시적인 성과측정이 용이하여, 성과와 비용을 동시에 고려한 사업관리가 가능하고, 비용 증가를 미연에 방지할 수 있다. 또한, 사업 소요비용에 대해 보다 투명하고 체계적인 업무 수행이 가능하다[6].

연구개발 사업에서 수명주기비용 중 연구개발 비용 대비 양산 및 운영유지비가 절반 이상의 비중을 차지하는데 목표비용 추정은 국방예산의 효율적이고 합리적인 활용측면에서 매우 중요하다[7]. 이러한 목표비용관리를 위한 비용추정기법은 공학적 분석 방법과 모수추정 분석 방법을 사용하여 관리한다.

3.1.2 공학적 분석 방법

공학적 분석은 무기체계 획득사업이 구체화되었을 경우 세부 작업 계단별로 상세한 비용 추정을 통해서 전체 비용을 산출하는 방법을 말한다. 작업분할구조(WBS)에 따라 체계의 각 부분과 관련 상세자료를 기준으로 개별 비용을 합산하여 총 비용을 추정하는 Bottom-Up 방식이다.

공학적 분석을 위한 세부 비용으로는 재료비, 직/간접 노동비, 직/간접경비, 제조원가 등이 있으며 이 모든 비

용을 합산하여 총 비용을 추정할 수 있으며, 직접설계나 생산에 필요한 비용도 산출할 수 있는 장점을 가지고 있다. 공학적 분석 비용추정 절차 및 업무는 Fig. 3과 같다.

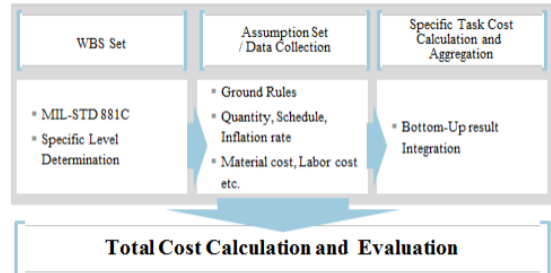


Fig. 3. Engineering Cost Estimating Method Process

3.1.3 모수추정 분석 방법

모수추정방법은 매개변수에 의한 비용 추정방법(PCE : Parametric Cost Estimating)으로 통계적인 개념을 도입해서 우리가 얻고자 하는 무기체계 비용을 종속변수로 두고 비용산정에 결정적인 영향을 준다고 생각되는 요소를 독립변수로 하여 비용추정관계식(CER : Cost Estimation Relationship)을 도출해 내는 방법이다.

이 방법은 실적 자료를 분석하여 통계적인 처리를 거친 후, 비용관계 함수를 정립하는 것이기 때문에 기존 자료의 확보와 이를 구축하는 작업이 제일 중요하다. 만일 충분한 자료가 가용한 경우 이를 모형으로 구축한다면 비용 추정 시 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 모수추정 상용전산모델인 PRICE 모델을 활용하였다.

PRICE 모델은 Top-down 접근 방법을 사용하여 전체 체계를 상위 체계로부터 모듈, 부품 등의 분해가 가능한 하부구조로 분해한 후 과거의 경험 자료를 바탕으로 구성된 비용관계식(CER)에 따라 비용을 추정하도록 되어 있다.

이러한 PRICE 모델은 분석대상에 따라 개발/생산비용을 추정하는 PRICE-H 모델, 수명주기 기간 동안 발생하는 운영유지비용을 추정하는 PRICE-HL 모델, 소프트웨어의 수명 주기동안 발생하는 비용과 일정을 추정하는 PRICE-S 모델, 전자모듈이나 마이크로서킷 같은 전자제품의 개발/생산비용을 추정하는 PRICE-M 모델의 4가지 종류로 특성화되어 있다.

이중 PRICE-HL(Hardware Life Cycle Cost) 모델을

활용한 운영유지비 추정은, 다음의 세부 입력 항목(부품들의 비용, 규격, 중량, 모듈, 외주정비 비용, 시험장비, 운송비용, 부품 평균 고장시간, 부품 평균 정비시간 등)들을 입력하고 PRICE-H 모델과의 연동을 통해 비용추정이 가능하다. 모수추정 분석방법(전산모델)의 비용추정 절차 및 업무는 Fig. 4와 같다.

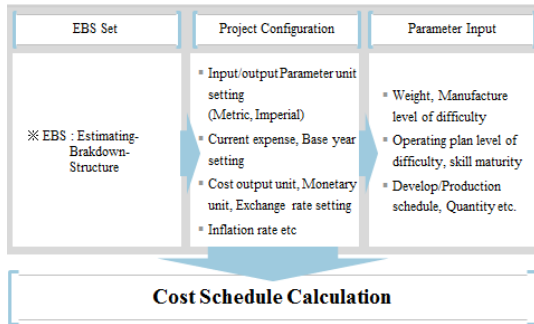


Fig. 4. Parametric Cost Estimating Method Process

3.2 PRICE-HL

3.2.1 PRICE-HL 개요

수명주기 기간 동안 발생하는 운영유지비용을 추정하기 위해 활용한 PRICE-HL(Hardware Life Cycle Cost) 모델은 수명주기 동안 발생하는 하드웨어의 비용요소를 추정하도록 개발된 다 기능 도구이다. 이 모델의 특징은 빠른 실행시간, 다양한 보고서 및 차트의 활용 가능성, 대화식 입출력 방식 등을 들 수 있으며, 특히 PRICE-H 모델에 입력된 비용입력요소를 이용하여 수명주기비용 관련식을 산출함으로써 기존에 수명주기 비용을 추정하기 위해 방대한 양의 실적자료와 개별적인 비용 입력요소를 구해야했던 어려움을 해결하는 것을 주요 특징으로 들 수 있다.

PRICE-HL 모델의 특성 및 장점은 다음과 같다.

첫째, 모든 하드웨어 관련 입력 파라미터를 빠르게 생성하기 위하여 PRICE-H 모델을 사용한다.

둘째, 기본적인 적용에 있어 28개의 정비개념 중 가장 비용 효과적인 접근방법이 선택가능하다. 28개의 비용 대 효과는 순서별로 출력되며 정비개념, 비용, 비용 대 효과 및 준비태세에 따라 정렬될 수도 있다.

셋째, 변화하는 운용 및 유지조건을 반영하기 위하여 빠른 맞춤능력을 구비하고 있다.

이러한 특징들로 인해 PRICE-HL 모델은 장비 배치와 관련된 자료만을 입력한다면 비용결정에 영향을 주는 비용변수(부품들의 비용, 규격, 중량, 모듈, 외주정비 비용, 시험장비, 운송비용, 정비인원 및 정비율, 부품 평균 고장시간, 부품 평균 정비시간, 재고수준 및 지원수준, 안전 재고, 정비간 마모율, 정비 손실계수 등)들을 PRICE-H 모델과 연동하여 비용추정을 할 수 있다. 이를 활용한 비용 추정 시 경제 현실에 근접한 운영유지비용 값을 획득 할 수 있다.

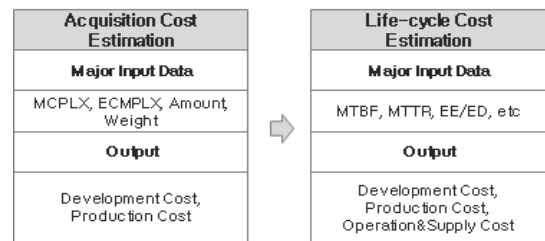


Fig. 5. PRICE Model Life-Cycle Cost Analysis System

3.3 RAM

3.3.1 RAM 개요

RAM은 신뢰도(Reliability), 가용도(Availability), 정비도(Maintainability)의 총칭으로 체계 가용도를 증대하고 수명주기 비용을 절감하는 것을 목표로 하는 종합군수지원의 기초이자 핵심이 되는 내용이다[8].

3.3. 신뢰도(Reliability)

신뢰도는 “시스템 등이 주어진 상황 하에서 작동할 때 특정한 시간간격 동안 적절하게 작동할 확률”로 정의된다. 신뢰도란 이와 같이 주어진 시간 t 까지 시스템이 고장나지 않을 확률로서 시스템의 수명 T 가 주어진 시간 t 보다 클 확률이다. 신뢰도 $R(t)$ 는 다음의 식과 같다.

$$R(t) = P\{T \geq t\}, t \geq 0$$

어떤 기간 $[t, t+\Delta t]$ 에서 발생할 고장률을 그 구간에 서의 고장률(Failure Rate)라고 하며, 고장률과 평균 작동시간(MTBF : Mean Time Between Failure)의 관계는 다음의 식과 같다.

$$MTBF = \frac{OT+ST+AT}{OT+ST+AT+TCM+TPM+TALDT}$$

$$R(t)dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda t)dt = \frac{1}{\lambda}$$

3.3.2 정비도(Maintainability)

정비도란 장비 고장 발생 시 규정된 정비요원이 가용한 절차 및 자원을 이용하여 주어진 조건 하에서 주어진 시간 내에 정비하여 그 성능을 규정된 상태로 원상복구할 수 있는 확률로 정의된다. 가용도 산출을 위하여 주로 사용되는 개념인 평균수리시간(MTTR : Mean Time To Repair)는 장비의 고장발생 시 수리 및 복구를 하기 위해서 소요되는 일련의 시간들의 평균 값이며 수식은 아래와 같다.

$$MTTR = \frac{\text{총고장정비시간}}{\text{총고장정비횟수}}$$

3.3.3 가용도(Availability)

시스템의 가용도는 “시스템이 임의의 어느 시점에서 만족하게 작동할 확률”로 정의되고, 일반적으로 가용도는 다음과 같이 구분하게 된다.

고유가용도(A_i : Inherent Availability)는 장비가 이상적인 지원환경에서 예방정비 없이 규정된 조건 하에서 가동될 확률을 말한다.

$$A_i = \frac{\text{운용시간}}{\text{운용시간} + \text{총수리정비시간}} = \frac{OT}{OT + TCM}$$

성취가용도(A_a : Achieved Availability)는 고유가용도에 예방정비시간(TPM)을 추가로 고려한 개념이다.

$$A_i = \frac{\text{총가동시간}}{\text{총가동시간} + \text{총수리정비시간} + \text{총예방정비시간}} = \frac{TUT}{TUT + TCM + TPM}$$

운용가용도(A_o : Operational Availability)는 장비가 실제의 운용환경과 조건에서 사용될 때 만족스럽게 작동할 확률로 정의되며, 행정지연시간(TADT), 군수지연시간(TLDT) 등을 고려한다.

$$A_o = \frac{\text{총가동시간}}{\text{총가동시간} + \text{총불가동시간}} = \frac{OT + ST + AT}{OT + ST + AT + TCM + TPM + TALDT}$$

가용도 산출을 위한 RAM 특성값의 시간 요소는 Fig. 6과 같다[8].

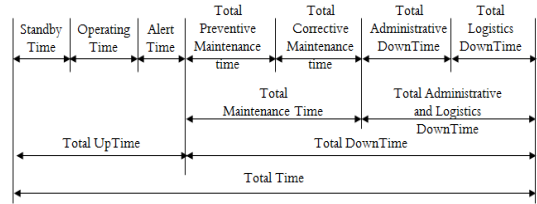


Fig. 6. System Time Table

한석윤(2015) 등은 RAM을 고려한 도시철도시스템의 수명주기비용 분석에 관한 연구를 하였다[9]. 이 연구에서는 수명주기비용과 관련된 국제규격인 IEC 60300-3-3을 기반으로 하여 수명주기비용을 설명한 후, 이를 도시철도 차량시스템에 적용하여 이를 분석하므로써 운용비용 절감의 방안으로 신뢰성(신뢰도) 향상을 제시하였다.

김석호(2016) 등은 신뢰성 기반의 철도차량 수명주기비용 분석 방안에 관한 연구를 하였다[10]. 이 연구에서는 철도차량 시스템에서 RAM과 수명주기비용, 운영유지비간의 관계 및 RAM기반의 수명주기관리비용의 중요성을 제시하였다.

3.4 NemoSIM

3.4.1 NemoSIM 개요

신규 무기체계에 대한 운영유지비 산출을 위한 도구로써 RAM 기반 Simulation 상용 도구인 NemoSIM을 활용하였다.

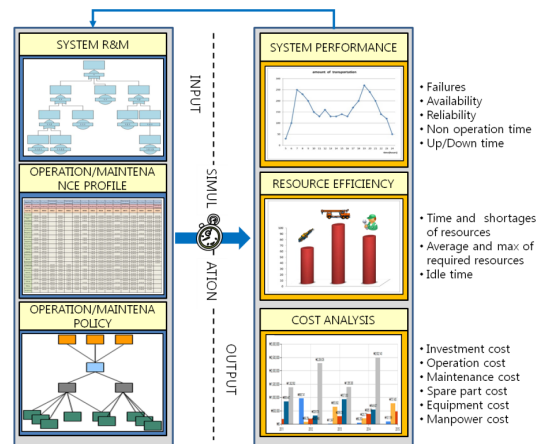


Fig. 7. NemoSIM concept

NemoSIM은 Fig. 7과 같이 일반적인 운용 환경에서 발생하는 시스템의 구성요소, 고장, 정비, 보급 등 일련의 상황을 입력하고, 이산 사건 기반의 시뮬레이션을 이용하여 RAM 분석 및 비용 등의 결과를 산출하는 시뮬레이션 도구이다.

NemoSIM의 특성 및 장점은 다음과 같다.

첫째, 시스템 운용 및 유지보수 환경의 상세 묘사가 가능하다. 시스템의 운용, 대기, 임무지연 등 일련의 운용 시나리오 구현이 가능하며, 정비 및 보급 등의 다단계 유지보수체계를 포함한 군수 지원 체계 구현이 가능하다.

둘째, 시스템 신뢰성 및 유지보수성 성능 묘사가 가능하다. FTA에 의한 시스템 안전성/임무 신뢰성 구조 구현 가능하며, 다양한 고장/유지보수 프로세스 모델링이 가능하다.

셋째, 시스템, 군수지원체계의 품질 및 성능 시뮬레이션 결과를 제공한다. 몬테칼로(Monte Carlo) 기법을 바탕으로 한 이산 사건 기반의 시뮬레이션 구현하여 임무 신뢰성, 가용성, 안전성을 예측하며, 유지보수 자원 활용도 및 비용을 예측한다.

시스템 RAM 분석 및 군수지원 관련 비용 분석에 특화되어 있는 NemoSIM은 시스템 개발 및 공급 단계에서 중장기 운용, 시스템 가용성능 평가, RAM 목표값 산정, 유지보수 계획에 대한 적합성 평가도구로써 활용 가능하다. 또한 수리부속 소요량 산정, 자원 배치 결정, 시스템 가용성/비용을 고려한 유지보수 정책의 적합성을 검토함으로써 운용단계에서 예상되는 병목 현상을 파악하고 자원을 재배치하여 시스템 운용의 효율성 극대화를 기대할 수 있다.

3.4.2 비용 산출

본 논문에서는 신규 무기체계에 대한 운영유지비 분석에 중점을 두고 NemoSIM을 활용하였다. NemoSIM에서는 Table 1과 같이 시스템 운용 환경을 구성하는 시스템, 수리부속, 운영기지, 정비기지, 보급기지, 정비자원, 임무손실에 대한 다양한 비용을 고려한다.

Table 1과 같이 입력된 비용요소를 기준으로 시뮬레이션을 수행하여 산출되는 결과는 총 초기투자비용(TIC, Total Investment Cost), 총 임무손실비용(TLC, Total Loss Cost), 총 운영관리비용(TMC, Total Management Cost)이 있다.

Table 1. Costs of NemoSIM

Type		Cost
System		- Investment Cost
		- Annual Management Cost
		- Disposal Cost
Item		- Item Price
		- Annual Management Cost
		- Disposal Cost
Operation Base		- Investment Cost
		- Annual Management Cost
Maintenance Base		- Investment Cost
		- Annual Management Cost
Supply Base		- Investment Cost
		- Annual Management Cost
Maintenance Resource	Man	- Annual Man Cost
	Equipment	- Equipment Price
		- Annual Management Cost
		- Disposal Cost
	Consumables	- Consumables Price
		- Annual Management Cost
Mission		- Mission Lost Cost (Base on mission delay time or number of mission delay)

총 초기투자비용(TIC)은 시스템, 운영기지, 정비기지, 보급기지의 운용 시간(Y, 년 단위) 수를 고려한 초기투자비용(IC)의 합으로 산출되며, 총 임무손실비용(TLC)은 시스템이 운용되는 시간동안 발생한 임무지연시간(FT, Failure time) 또는 횟수(FN, Failure Number)에 대해 발생하는 단위 손실비용(LC)으로 산출된다. 마지막으로 총 운영관리비용(TMC)은 시스템 또는 아이템에 대한 계획정비(PM, Preventive Maintenance) 및 비계획정비(CM, Corrective Maintenance)가 발생함에 따라 소요되는 수리부속(IP, Item Price), 소모품(CP, Consumables Price) 관련 비용과 인건비(MC, Man Cost), 지원장비(EP, Equipment Price) 비용을 포함하고, 시스템, 수리부속, 운영기지, 정비기지, 보급기지, 정비자원의 연간운영관리비용(OC, Operation Cost) 및 폐기비용(DC, Disposal Cost)의 합으로 산출된다.

3.5 도구 간 기능 비교

모수추정비법을 활용한 PRICE-HL 모델과 RAM 기반 시뮬레이션 도구인 NemoSIM의 기능 비교(산출 항목)는 Table 2와 같다.

Table 2. PRICE-HL - NemoSIM Function Comparison

PRICE-HL	NemoSIM
Result Below	Result Below
• Ao : Operational Availability	• Ao : Operational Availability
• Total Initial Investment/Operation Mission Failure/ Cost	• Supply Cost
• Total Cost	• Supply Admin Cost
• System RAM Performance	• Labor Cost
- Service/Idle/Failure Time	• Contractor Cost
- No. of failures	• Total Cost
- MTBF/MTTR	• Field Support Cost
- Human Resource	• Field Test Cost
- Spare part	• S/W Cost
• Etc.	• Labor Hrs
	• Program Cost
	• Manufacturing Cost
	• MTBF
	• Etc.

4. 운영유지비 산출 비교분석 결과

4.1 분석 기준 설정

PRICE-HL 모델과 NemoSIM을 활용한 산출 결과를 비교하기 위한 분석 기준으로 일반적인 해군 무기체계 목표운용 가용도 및 운영기간을 참고하여 분석대상 무기체계의 목표 운용 가용도 값을 90%, 운영기간을 20년으로 설정하였다. 또한, 결과값 비교를 위해 PRICE-HL 모델과 NemoSIM에서는 가능한 동일한 입력값을 활용하였으며, 비용에 영향을 주는 것으로 예상되는 주요 입력값에 대한 내용은 Table 3과 같다.

Table 3. Input Factor Comparison

Input factor	PRICE-HL	NemoSIM
System	Same System information - Combat Simulation System - Structure, Cost, MTBF, MTTR, etc.	
Operation Hours	2,000h/Year	
Maintenance manpower	same skill, same cost	
Operation Period	20years	
Etc.	Simulation Repeat Number : 20	

첫째, 동일한 System 구조를 입력하였다. 동일수준으로 System 구조를 형성하였으며, 각 품목에 대해서는 동일 RAM값, 단가를 입력하였다. PRICE-HL 모델과

NemoSIM에서 품목의 MTBF가 낮고, MTTR이 높을수록 가용도가 낮아지게 되며, 단가가 높을수록 폐기 시 획득비용 등이 증가하여 운영유지비가 증가하게 된다. Simulation 대상 시스템의 구조는 Fig. 8과 같다. Breakdown한 총 구성품 수는 45종이며, 보안상의 이유로 요약 및 품명을 일반화하여 도식화하였다.

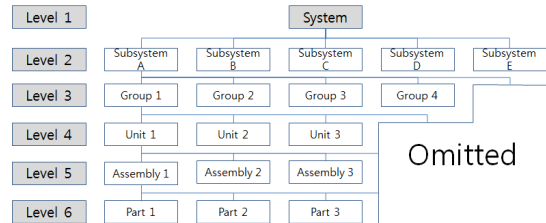


Fig. 8. Application System Structure

둘째, 연간운용시간은 일일 8시간, 연간 250일 운용을 가정하여 2,000시간으로 설정하였다.

NemoSIM에서는 Fig. 9와 같이 운용시간을 직접 기입하게 되어있으며, 실제 운용시간을 기준으로 Simulation 및 결과값 도출이 이루어진다.

셋째, 동일수준의 인력을 설정하였다. 시스템 정비개념에 따라 부대정비요원과 창정비요원을 설정하였으며, 각 정비개단별 인건비를 동일하게 책정하였다.

넷째, 총운용기간은 일반적인 해군 무기체계 운용기간을 고려하여 PRICE-HL 모델과 NemoSIM에서 20년으로 동일하게 설정하였다.

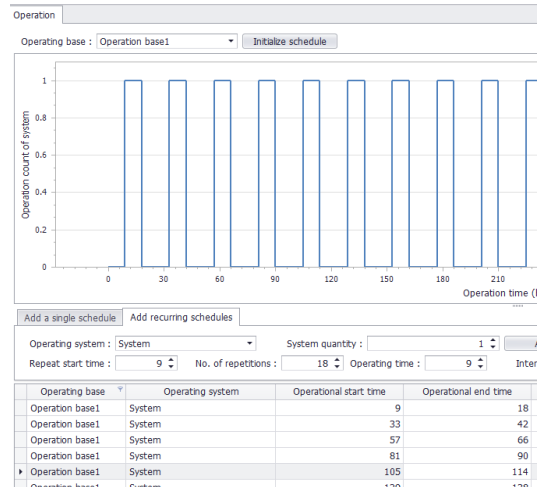


Fig. 9. Set Operation Time

4.2 PRICE-HL 모델 산출 결과

PRICE-HL 모델을 사용한 운영유지비 산출 결과는 95.46억이며 세부내용은 Table 4와 같다.

Table 4. PRICE-HL model Operation&Support Cost Result

Division	Cost (million KR won)
Supply	2,785
Supply Administration	1,855
Labor	3,597
Contractor	1,306
Other	3
Sum	9,546

Fig. 10의 그림과 같이 운용가용도는 90.25%로 도출되었다. 결과값 중 Supply는 고장난 LRU, 모듈 및 부품을 교환하기 위해 필요한 수리부속을 획득하는데 소요되는 비용, Supply Administration는 배치기간 동안 목록화된 LRU, 모듈 및 부품을 관리하기 위한 비용, Labor는 부대, 야전, 창에서 고장난 LRU, 모듈 및 부품을 정비하는데 소요되는 정비요원의 인건비, 외주수리로 발생되는 비용으로 설명할 수 있다.

Program Cost	Development	Production	Support	Total
Mission Equip.	0.0	0.0	-	0.0
Support Equip	-	-	0.0	0.0
Supply:	-	11138.8	2785.2	13924.1
Supply Admin:	-	0.0	1855.4	1855.4
Labor:	-	-	3596.8	3596.8
Contractor:	-	-	1305.9	1305.9
Other:	0.0	-	3.1	3.1
Total	0.0	11138.8	9546.4	20685.3

Thruput Costs	Development	Production	Support	Total
Field Support	0.00	0.00	0.00	0.00
Field Test	0.00	0.00	0.00	0.00
Software	0.00	0.00	0.00	0.00
Other	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	0.00	0.00	0.00	0.00

Grand Total	0.00	11138.84	9546.45	20685.29
-------------	------	----------	---------	----------

MTBF	70.986	Availability	0.9025	Readiness	0.9025	Reliability	0.9976
------	--------	--------------	--------	-----------	--------	-------------	--------

Fig. 10. PRICE-HL Result

4.3 NemoSIM 산출 결과

NemoSIM을 사용한 운영유지비 산출 결과는 93.26억이며 세부내용은 Table 5와 같다.

Table 5. NemoSIM Operation&Support Cost Result

Division	Cost (million KR won)
Operation base Supply	779
Operation base Maintenance	3,552
System Administration	2,085
Depot Supply	990
Depot Maintenance	1,920
Sum	9,326

NemoSIM에서는 정비 계단별로 비용이 도출이 되며, PRICE-HL 모델과의 비교를 위해 초기투자비용을 제외한 운영관리비용만을 합산하였다.

Fig. 11, 12는 NemoSIM 결과 화면이다.

Result summary	System RAM performance	PM information	Human resource	Maint. equipment	Spare parts	Consumables	Cost
Result number							186
Result name							Result_186
Execution information							
Execution date							2018-10-14 10:29:19
Simulation start date							1/1/2018
Simulation end date							12/31/2037
Number of repetition							20
Service/System information							
Operating system availability							90.1342 %
Cost							
Total initial investment cost							10,400,000,000
Total operation cost							9,326,073,725
Total mission failure cost							0
Total cost							19,726,073,725

Fig. 11. NemoSIM Result-1

Result summary	System RAM performance	PM information	Human resource	Maint.
Display Filter Fields View				
Type	Parameter	1	2	3
Operation base Supply	Initial investm...	100,000,000.00	0.00	0.00
	Operation cost	3,273,482.00	3,272,944.00	3,272,981.00
	Mission failure ...	0.00	0.00	0.00
Operation base Maintenance	Initial investm...	100,000,000.00	0.00	0.00
	Operation cost	14,800,000.00	14,800,000.00	14,800,000.00
	Mission failure ...	0.00	0.00	0.00
System	Initial investm...	8,333,333.00	8,333,333.00	8,333,333.00
	Operation cost	8,333,333.00	8,333,333.00	8,333,333.00
	Mission failure ...	0.00	0.00	0.00
Depot Supply	Initial investm...	0.00	0.00	0.00
	Operation cost	3,738,078.00	3,738,075.00	3,738,078.00
	Mission failure ...	0.00	0.00	0.00
Depot Maintenance	Initial investm...	0.00	0.00	0.00
	Operation cost	8,000,000.00	8,000,000.00	8,000,000.00
	Mission failure ...	0.00	0.00	0.00
Grand Total	Initial investm...	200,000,000.00	0.00	0.00
	Operation cost	38,144,893.00	38,144,352.00	38,144,392.00
	Mission failure ...	0.00	0.00	0.00

12	Grand Total
100,000,000.00	200,000,000.00
3,231,739.00	779,361,625.00
0.00	0.00
100,000,000.00	200,000,000.00
14,800,000.00	3,552,000,000.00
0.00	0.00
93,333,333.00	10,000,000,000.00
8,333,333.00	2,084,999,920.00
0.00	0.00
0.00	0.00
3,736,536.00	989,712,180.00
0.00	0.00
0.00	0.00
8,000,000.00	1,920,000,000.00
0.00	0.00
0.00	0.00
200,000,000.00	10,400,000,000.00
123,101,608.00	9,326,073,725.00
0.00	0.00

Fig. 12. NemoSIM Result-2

4.3.1 운영관리비용

NemoSIM에서의 운영관리비용은 Simulation에서 행해지는 고장발생과는 관련 없이 system수준에서 기입한 연간운영유지비의 합으로 이루어진다.

4.3.2 보급 관련 비용

NemoSIM에서의 보급 관련 비용은 정비계단별 결과를 도출한다. 각 구성품에 입력된 MTBF 정보를 바탕으로 고장을 발생시키고 고장 발생 시 수리, 또는 폐기/신

품구입 절차를 수행하게 되는데, 이때 비용의 합이 보급 비용으로 산출된다. NemoSIM에서는 재고수준을 사용자가 설정하게 되어있으며, 재고수준에 따라서 산출되는 가용도 값이 달라지게 된다.

상대적으로 고장이 잦은(MTBF가 낮은) 품목의 재고를 적게 설정할 경우 품목을 수리/구입하는데 소요되는 시간이 가용도에 반영되어 시스템의 가용도가 낮아지게 된다. Fig. 13은 부대 보급창고 수리부속 A의 재고 현황을 보여준다. 고장발생 시점으로 추정되는 부분에서 평균 재고가 줄어드는 현상을 볼 수 있다.

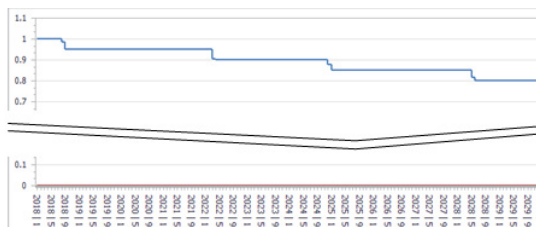


Fig. 13. NemoSIM Supply Status - A part

다수의 수리부속을 재고로 설정할 경우 가용도는 높아지나 운영유지비용이 높아지게 된다. Fig. 14는 부대 보급창고 수리부속 A의 재고정책 설정에 따른 가용도/운영유지비 결과를 보여준다.

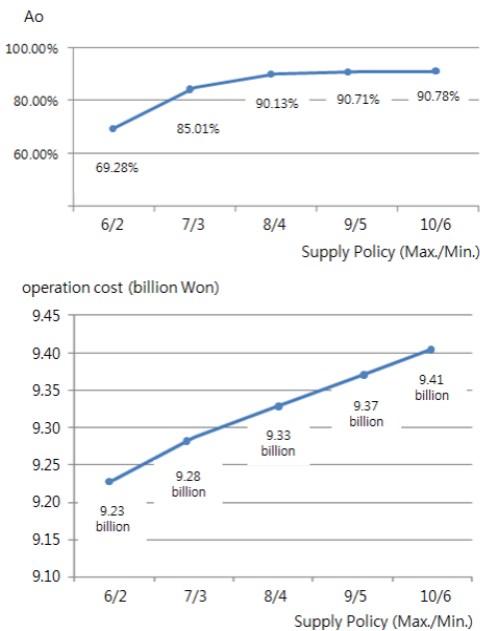


Fig. 14. Ao, Operation Cost by Supply Policies

전체 운영유지비용을 고려하여 목표 운용가용도를 맞출 수 있는 재고정책을 설정함으로써, 근거있는 운영유지비용을 산출할 수 있다.

4.3.3 정비 관련 비용

NemoSIM에서의 정비 관련 비용은 운영유지기간 동안 설정한 정비인원의 인건비의 합으로 이루어진다. 보급비용과 마찬가지로 정비인원을 수를 조절하면서 목표 운용가용도 값을 얻을 수 있는 인원을 예측할 수 있다. Fig. 15는 창정비 인원현황을 보여준다. 고장발생 시점으로 추정되는 부분에서 평균 가용 인원이 감소하는 현상을 볼 수 있다.

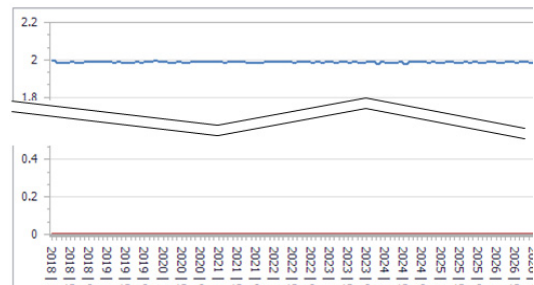


Fig. 15. NemoSIM Human Resource Status

다수의 정비인원을 설정할 경우 가용도는 높아지나 운영유지비용이 높아지게 된다.

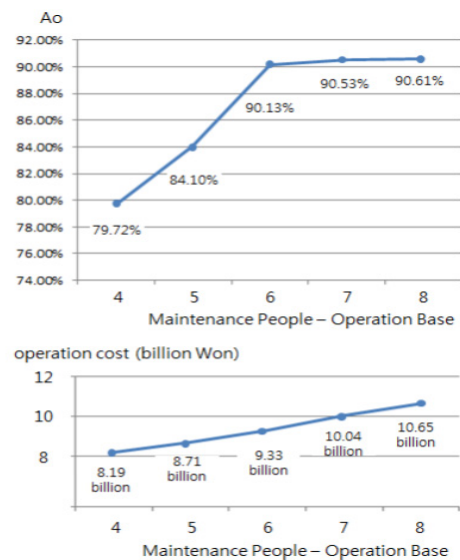


Fig. 16. Ao, Operation Cost by Maintenance People

Fig. 16는 부대정비인원 설정에 따른 가용도/운영유지비 결과를 보여준다.

4.4 운영유지비 결과 비교분석

PRICE-HL 모델과 NemoSIM의 결과값 비교는 Table 6과 같다.

Table 6. Result comparison

구분	PRICE-HL	NemoSIM
System Cost	10.01 billion	10 billion
Operation cost	9.55 billion	9.33 billion
Ao	90.25%	90.13%

도출된 결과값에 대한 분류가 다르기 때문에 결과 간 직접 비교는 불가능하지만, 동일하게 입력한 입력값과 Fig. 17처럼 결과값 간 상관관계를 고려해보면 현재 범용으로 사용되고 있는 PRICE-HL 모델 대비 NemoSIM에서도 충분히 유의미한 값을 도출한다고 볼 수 있다.

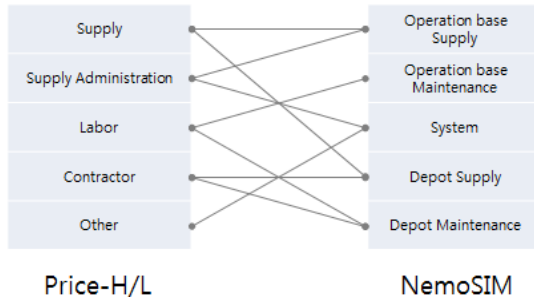


Fig. 17. Relation of Result Category

첫째, PRICE-HL 모델의 Supply 값은 고장난 LRU, 모듈 및 부품을 교환하기 위해 필요한 수리부속을 획득하는데 소요되는 비용으로 정의되며, 이는 NemoSIM에서 부대수준(운영부대), 창수준의 보급비용과 같다.

둘째, PRICE-HL 모델의 Supply Administration은 보급행정 및 목록화 소요비용으로써 NemoSIM의 시스템 비용과 유사하다.

셋째, PRICE-HL 모델의 Labor는 인건비로써 NemoSIM의 정비수준별 인건비의 합에 해당한다.

넷째, Contract는 외주정비비로써 창정비시 소요되는 비용에 해당한다.

위와 같이 PRICE-HL 모델과 NemoSIM 결과를 비교해 볼 때 각 결과값을 구성하는 항목과 그 항목들의 의미가 상당부분 겹치는 것으로 볼 수 있다.

4.5 효율적인 운영유지비 산출 방안

PRICE-HL의 품목별 MTBF를 활용한 시뮬레이션을 통해 확인한 민감도 분석 결과는 Fig. 18과 같다.

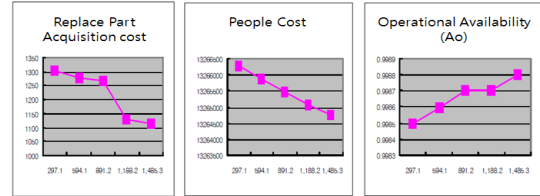


Fig. 18. Example - Result Sensitivity Analysis

MTBF를 증가시키면 고장횟수가 감소함에 따라 정비를 수행하기 위한 시험장비, 수리부속, 정비 인력에 대한 소요가 감소한다. 따라서 시험장비 획득비 및 유지비, 초도 및 보충 수리부속 획득비, 인력 유지비, 수리부속품의 수송 및 저장에 소요되는 기타 유지비가 감소한다. 그러나 고장횟수의 감소로 인한 운용가용도 및 운용준비태세는 증가하게 됨을 알 수 있다.

NemoSIM의 결과는 품목별 MTBF, MTTR 입력값에 기인하는 고장발생·수리/폐기 절차 및 그에 따른 비용을 Fig. 19처럼 기간별로 보여주기에 때문에 운영유지비에 대한 정량적인 설명자료로 활용할 수 있다. 또한, 진행 중 운영유지비가 증가하는 부분에서 구성품의 고장으로 인한 수리/또는 폐기가 발생함을 알 수 있다.

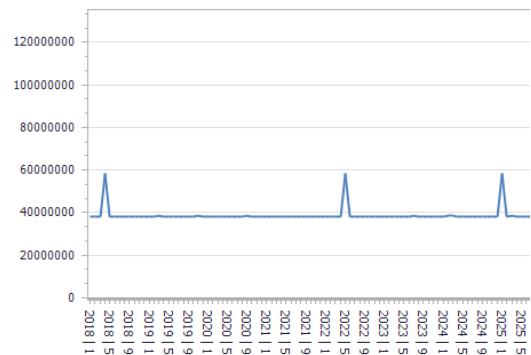


Fig. 19. Graph - Operation Cost per month

개발자는 비용효율성을 고려하며, 정비수준 별 재고 수준과 인력을 조정하면서 Fig. 20, Fig. 21처럼 적정 재고수준 및 인력을 설정한다.

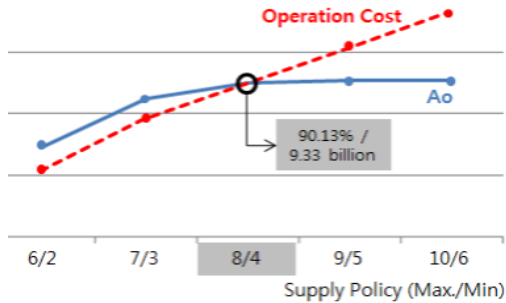


Fig. 20. Example - Set a Optimal Supply Policy

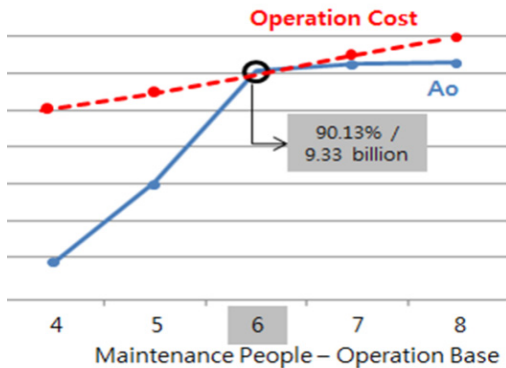


Fig. 21. Example - Set a Optimal People Policy

개발초기 RAM 기반 Simulation 도구인 NemoSIM과 모수추정법을 활용한 PRICE-HL 모델을 활용하여 운영유지비용을 한다. 개발이 진행됨에 따라 공학적 분석기법을 활용하여 운영유지비를 보완하고, 목표 비용이 달성 될 수 있도록 지속적으로 관리한다면 효율적인 비용관리를 수행 할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 RAM 기반 운영유지비 분석 도구인 NemoSIM을 활용하여 개발초기 단계 무기체계 운영유지비분석을 수행하였으며, NemoSIM을 활용한 결과를 검증하기 위해 상용 비용분석 도구인 PRICE-HL과 비교분석을 수행하였다. 각 카테고리 세부 분류하여 분석

한 결과, NemoSIM을 통해 도출된 운영유지비 분석 결과는 추후 유사연구개발 사업에 활용 가능성이 높음을 확인할 수 있었다. 이밖에, PRICE-HL 대비 NemoSIM에서는 정비계단별 재고 및 정비인원 수를 분석자가 설정 및 시뮬레이션을 통해 결과값을 도출 할 수 있고, 이를 통해 적정 또는 최적의 재고수준 및 정비인원에 대한 예측이 가능함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 보급지원, 군수인력운용 등의 ILS 요소 개발에도 활용 가능하다.

본 연구를 통해 도출된 결과를 바탕으로, 후속연구에서는 PRICE-HL 모델과 NemoSIM 입력값/결과값에 대한 심층적 추가 분석을 수행하고 그 결과로 NemoSIM에서 고려하지 않은 비용 항목 및 발전 방향을 도출하여 개발초기 단계에서, 보다 정확한 무기체계 운영유지비용을 산출하는 방안과 NemoSIM의 결과를 ILS 요소개발에 활용 할 수 있는 방안을 구체적으로 제시 할 예정이다.

References

- [1] Junghee Hwang, Suhwan Kim, "A study on method to improve cost estimation result of weapon system by using variable transformation", Journal of Korean Institute Of Industrial Engineers, pp. 1392-1398, 2014
Available From : <http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE0251265>
- [2] Capt. Gary Jones, USAF, Edward White, Lt Col Erin T. Ryan, USAF, and Lt Col Jonathan D. Ritschel, USAF, "Investigation into the Ratio of Operating and Support Costs to Life-Cycle Costs for DoD Weapon Systems", Defense ARJ, Vol. 21 No. 1 pp 443, A Publication of the Defense Acquisition University, 2014
Available From : <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA580758>
- [3] LEE Pil Jung, Choi Chi Won, "A Study on a Way of CAIV Application to the R&D Project for the Force Support System", Journal of Korea Association of Defense Industry Studies, Vol.21, No.2, pp. 51-68, 2014
Available From : http://www.kadis.or.kr/down.php?tbl_name=board_thesis&tbl_serial=202&no=1
- [4] Sung Man Rhee, Chan Sun Lee, Jongyoul-On "Cost Analysis Method for CAIV of Missile Defense R&D with Activity Based Costing", The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, pp. 533-534, 2017
Available From : <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE07367064>
- [5] Hyung-Kyun Byun, Sang-Woo Lee, Moon-Won Kwon, Joo-Kyun Kim, Young-Hwan Choi, "A Case Study on Sensitivity Analysis of KHP Total Ownership Cost", The Korean Reliability Society, pp. 187-212, 2011
Available From : <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE02202988>
- [6] Editor Part, "scientific business management technique (EVM/CAIV) application expansion", pp. 13-14, 2012

Available From :

<http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE02283362>

- [7] Acquisition Logistics Guide, 1997, DSMC(Defense System Management College)
Available From :
<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a332714.pdf>
- [8] Seo Mu Kyung, Ju Jin Chol, "Analysis of the effects of use of management on the battle readiness posture rating", Journal of Korean Institute Of Industrial Engineers, pp. 961-967, 2011
Available From :
<http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01960396>
- [9] Seok-Youn Han, Soon-Ki Hong, Chen-Soo Ha, "Analysis of Life-Cycle Cost for Urban Transit System using RAM", Journal of Korean Institute Of Industrial Engineers, pp. 477-484, 2005
Available From :
<http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01939433>
- [10] Suk Ho Kim, Soo Choong Park, Kwang Woo Jung, "Rollingstock life-cycle cost analysis based on the RAM", Journal of The Korean Society For Railway, pp. 803-808, 2016
Available From :
<http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06691529>

정 준(Jun Jeong)

[정회원]



- 2005년 2월 : 서울시립대학교 기계정보공학 (공학학사)
- 2009년 9월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

<관심분야>

TLCSM, 시뮬레이션, 시스템공학

이 기 원(Ki-Won Lee)

[정회원]



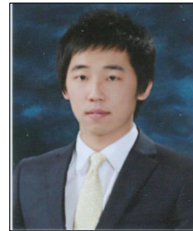
- 2001년 2월 : 성균관대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2001년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원

<관심분야>

시스템공학, 신뢰성공학, 인간공학

차 종 한(Jong-Han Cha)

[정회원]



- 2010년 2월 : 단국대학교 전자공학 (공학학사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

<관심분야>

신뢰성공학, 인간공학, 전자공학

최 동 현(Dong-Hyun Choi)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한양대학교 산업공학 (공학석사)
- 2008년 8월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

<관심분야>

신뢰성공학, TLCSM, LCC

박 경 덕(Kyoung-Deok Park)

[정회원]



- 2006년 2월 : 성균관대학교 시스템경영공학부 (공학학사)
- 2006년 11월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

<관심분야>

시스템공학, 신뢰성공학, 시뮬레이션