

M&S를 활용한 유도탄 검사주기 및 수량 설정 방안

김병수¹ · 이계신^{2*} · 김동석¹ · 문기성²

Certified Missile Rounds Concepts Using Modeling and Simulation

Byung-Soo Kim · Kye-Shin Lee · Dong-Seok Kim · Ki-Sung Moon

ABSTRACT

In this study, we presented the periodic inspection method of the Certified Missile Round Concepts using M&S (Modeling and Simulation) techniques. Firstly, We drew up the scenario from the application concepts and the predicted dormant reliability Secondly, we performed the modeling for a simulation program based on the scenario. Lastly we embodied the simulation program. After comparing and examining the difference between the simulation results and the theoretical estimates, we present the best periodic inspection plan for achieving the probability of success.

Key words : Certified missile Rounds concepts, M&S, Dormant reliability

요 약

본 연구에서는 M&S(Modeling and Simulation) 기법을 통하여 보증 유도탄의 주기적 검사방법을 제시하였다. 유도탄 운용 개념과 예측된 저장신뢰도로부터 시나리오를 작성, 이를 기반으로 모의시험을 위한 모델링을 수행하고 시물레이션 프로그램으로 구현하였다. 그리고, 시물레이션 결과와 이론적인 추정치를 비교 검토하고, 목표로 하는 정상작동확률을 달성할 수 있는 최적의 주기점검 방안을 제시한다.

주요어 : 보증유도탄, 시물레이션, 저장신뢰도

1. 서 론

1.1 개요

유도탄과 같이 장기간의 저장 상태로 유지된 후 단, 한번의 운용을 통해 임무를 완료하게 되는 장비는 운용 중 일 때보다 저장 중의 신뢰도가 더욱 중요하다. 고가의 장비이면서 해당 장비의 정확한 신뢰도를 알 수 없는 유도탄의 낮은 신뢰도 문제점 해결을 위해 철저한 품질 보증 업무를 통해 목표신뢰도를 확보하고 야전에서 검사 및 수리를 배제하여 적정 신뢰도 보증과 비용절감을 위해 탄생한 것이 보증 유도탄(Certified Missile Round Concepts, 이하 보증탄)이다. 과거에는 외국 무기체계를 국내 도입

하여 사용하던 상황을 벗어나, 현재는 점차 국내에서 자체 개발되는 유도탄이 많아지고 있다. 신규 개발되는 국내 개발유도탄은 대부분 보증탄으로 개발되고 있다. 보증탄은 기본적으로 사용자로부터 유도탄의 보증신뢰도 요구값이 제시된다. 개발자들은 요구값 달성을 위해, 개발단계에서는 부품개선 또는 이중화설계 등을 통해 저장신뢰도 자체를 향상시키려는 노력과 제조시 품질보증에 노력을 기울이며, 운용 유지 시에는 저장 중 신뢰도 확인 및 점검을 위한 주기점검을 수행하도록 품질 점검 프로그램을 개발한다. 실제 사용자들은 제품의 설계에 대한 완결성은 시험평가를 통해 확인 가능하나, 점검 및 신뢰도 유지를 위한 보증 절차는 실제 검사시 폭발물 취급이 가능한 시설과 장비 및 점검에 소요되는 비용이 큰 문제로 인해 최소한의 수량을 통해 적절한 보증이 가능한 방안을 요구한다.

1.2 기존의 연구

저장 중의 주기적인 검사와 관련된 기존의 연구는,

2009년 9월 3일 접수, 2009년 11월 17일 채택

¹⁾ 국방과학연구소 전술유도무기 체계개발단

²⁾ LIG텍스원 ILS연구센터

주 저 자 : 김병수

교신저자 : 이계신

E-mail: kslee4495@lignex1.com

Wood(1985)가 장기간 저장되는 유도탄 로트(Lot)에 대한 저장신뢰도 유지모형^[1]과 Martinez(1984)가 장기간 저장되는 전자장비에 대해 매 번의 검사에서 발견된 고장난 부품이 모두 수리되어 신제품과 같아진다는 가정 하에 보전 후 저장신뢰도를 계산하였고^[2], Ito와 Nakagawa(1992, 1995a, 2000)는 장비를 고장의 발견 가능성 여부에 따라 두 종류의 구성요소로 구분하여^[3], 고장을 발견할 수 있는 첫 번째 구성요소는 주기적인 검사 및 보전 후에 신제품과 같아진다고 가정하고, 고장을 발견할 수 없는 두 번째 구성요소는 검사 및 보전을 하지 않는다고 가정하여 보전 후 저장신뢰도를 계산하였다. 국내 연구로는 조용석(2001)이 2단계 주기적 검사정책 결정 모형을 장기간 저장된 유도탄에 적용하여 비용을 고려한 최적 검사정책을 도출하였다^[4]. 선행된 논문들은 저장시 신뢰도를 유지하기 위한 장비의 최적 검사주기 및 검사 수량 결정에 공헌하였고, 정비단계에 따른 검사장비의 유효성 측면을 고려하여 검사정책을 설정하는데 이바지 하였다. 그러나, 실제 보증을 위한 검사를 위해서는 여러 가지 제약 조건이 따른다. 가령, 검사 시 특정 부대의 장비를 검사 공장으로 가져오기 위해서는 해당 부대의 대상 장비는 유휴 상태이어야 하며, 검사공장 또한 유휴한 대상 장비를 들여와 검사할 수 있는 상태를 유지하고 있어야 한다. 또한, 모든 군 규정은 주말, 휴일시 긴급 상황을 제외하고 장비의 점검 및 수리를 위한 이동 등에 제한을 두고 있으며, 점검 및 수리를 위한 이송시 실제 이동시간이 발생하며, 점검된 대상 장비가 고장 시에는 수리 부속 조달을 위한 시간 등이 추가로 소요된다. 상기 논문들은 현재 군 여건상 여러 제약사항들을 모두 거의 없거나, 최소화하여 가정한 상태로 수학적 논리를 전개하였다. 이는 수학적, 확률적으로 일어날 수 있는 많은 다중 다양한 변수들을 실제로 반영한 수식으로 증명하기 어렵기 때문이다. 그렇다면 실제 일어날 수 있는 다양한 변수들을 고려한 대안을 마련할 수는 없는 것일까? 이에 대한 대안은 실제 변수들을 컴퓨터 프로그램에 직접 입력할 수 있는 모델로 구성하고, 컴퓨터 모델링으로 구현 가능한 범위까지 실제 상황을 묘사할 수 있는 M&S 기법을 활용 하는 것이다.

1.3 M&S 기법

근래 국방 획득 사업에 가장 다양한 방법으로 시도되는 것이 M&S 기법이다. 과거 국방 획득 사업시 체계 개발 및 통합시에만 적용되었던 M&S 기법은 현재 최초 소요제기 단계부터 운용/폐기의 전과정에 대해 적용되고 있으며, SBA(Simulation Based Acquisition) 제도 정착을

위한 노력을 경주하고 있는 실정이다. 이런 추세에서 국방과학연구소(이하 국과연)는 지상장비에 대해 무기체계의 다양한 운용환경에서 RAM(Reliability, Availability, Maintainability) 특성 판단을 위해 이산사건 모델을 개발하였다.(김도형 등 2006)^[5] 이 모델은 이산 집합론에 근거한 DEVS 형식론을 이용해 모델링되었다. 무기시스템의 정비/보급구조를 수리부속수량, 정비요원, 정비지원장비, 부대별 운용 대수의 관점에서 비대칭 구조로 모델링하여 현실에 가까운 모델을 제공한다. 더불어 개발된 무기시스템 RAM 분석용 이산사건 모델을 객체지향 언어로 구현하여 간단하게 RAM 특성값을 산출할 수 있는 도구(RAMSim)를 제공한다. 그러나, 상기 모델에는 지상장비를 주 대상으로 하고 있으며, 지상장비의 주요 팩터인 가용도 측면을 고려하여 모델이 개발되어, 본 논문에서 제시할 유도탄의 보증방안에 적용할 수 없다.

1.4 연구의 구성

본 논문에서는 유도탄의 적정 검사 주기 및 수량을 산출하기 위한 접근법을 토대로 실제 운용환경의 다양한 변화 양상과 제약조건을 모델에 직접 도입하여 여러 제약조건과 환경에 의해 실제 보증방안이 변화되는 것을 보여주며, 이러한 환경 속에서 보증을 위한 적정 검사 주기와 수량을 결정할 수 있는 시뮬레이션 모델을 구현하고자 한다. 본 논문 2장에서는 현재 유도무기 체계 중 보증탄의 개념과 유사장비의 보증방안을 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션 모델로 구현된 여러 요소를 종합하여 적정 검사 주기와 수량을 결정하는 모델에 대한 설명과 적절한 검사 주기와 수량을 제시하고, 4장에서는 결론과 향후 발전방향을 제시하였다.

2. M&S를 활용한 보증방안

2.1 운용 시나리오

과거 국내 기술능력의 부족과 경험의 부족으로 인해 해외에서 검증된 유도탄을 도입하여 사용하던 시절이 지나고, 국내에서 개발되는 유도무기체계가 점점 많아지고 있는 추세에서, 과거 개발된 여러 유도무기체계가 갖는 보증방안이 갖는 단점을 보완하여 향후 국산 유도탄이 내세울 보증방안이 절실한 시점이다. 이를 위해 몇 가지 개선이 필요하다.

먼저 국외에서 도입된 유도탄은 국내 사용자의 입장을 대변하지 못하는 단점이 있다. 국외 도입무기는 국내 사용군이 가지고 있는 유도탄의 운용개념을 기반으로 구축

되지 않았다. 다만, 외국군과 개발사의 입장에서 국외 수출된 장비의 최소한의 보증을 위해 제시된 것으로, 국내 사용 환경을 반영한 보증체계라고 볼 수 없다. 국내에서 개발된 몇몇 보증탄의 경우 저장신뢰도에 의해 정상작동 확률을 산출하고, 산출된 정상작동확률에 의해 품질보증을 수행하여 적정 확률을 유지할 것으로 예상되나 실제 사용부대가 갖는 운용개념과 다양한 운용시간 및 수리/회송시간을 고려하지 않고 확률관점으로 기간을 설정함으로써 실제 운용상의 고려사항을 반영하지 못하고 있다. 이러한 단점을 뛰어넘기 위해서는 실제 유도탄의 운용 시나리오에 입각해 시물레이션 모델을 구성하고 이를 모의 시험 하는 것이 필수적이다. M&S를 통해 유도탄의 보증 방안을 구성하기 위해서는 M&S로 구현할 시나리오가 필요하다. 이를 위해 유도탄의 일반적인 운용 시나리오를 아래와 같이 구성하였다.

유도탄은 X 년부터 $X+4$ 년까지 생산 예정으로 연간 $\frac{N}{5}$ 대가 생산되어 총 B_n 개 운용부대에 순서대로 배치될 것이다. 해당 유도탄은 전국에 걸쳐 N 발이 배치될 예정이다. 모든 유도탄의 생산은 생산 이후 바로 배치되는 것이 아니라, 단일 부대를 기준으로 단일 부대에 배치될 유도탄이 모두 생산될 때 까지 대기하다가 단일 부대에 배치될 유도탄이 모두 생산되면 묶음으로 배치된다. 유도탄은 생산 이후 신뢰성 유지를 위해 창에서 $X+5$ 년부터 n 개를 샘플링하여 유도탄의 검사를 수행한다.

검사 첫해에는 1번 로트에 대해 n 개를 실시하며, 검사 두번째 해에는 1번 로트 n 개 2번 로트 n 개 결국 검사 이후 5년째부터는 전 로트에 대해 $5n$ 의 검사를 실시한다. 검사를 수행시에는 각 부대에 있는 유도탄에 대해 샘플링을 수행하여 균등하게 검사대상을 선정하여 창으로 보내게 될 것이다. 1개 유도탄을 점검 및 고장 수리하는데 고장나지 않은 유도탄은 TE_{min} 의 검사시간만 소요되며, 고장난 유도탄은 TE_{min} 부터 TE_{mx} 의 추가 수리시간이 소요된다. 유도탄은 신뢰성 유지를 위한 샘플링 검사와 병행하여 내부의 시한성 품목 교환을 위해 창으로 입고된다. 시한성 품목의 교환시기가 되면 해당 유도탄은 창으로 이동하여 시한성 품목을 교환한다. 통상 시한성 품목을 교환시에도 주기검사와 동일한 검사를 수행한다.

2.2 모델링

2.2.1 생산공장

생산 공장은 5년 동안 균등하게 N 대를 생산하여 배치 함으로 생산 공장은 매년 초에 그 해 생산될 물량을 확인

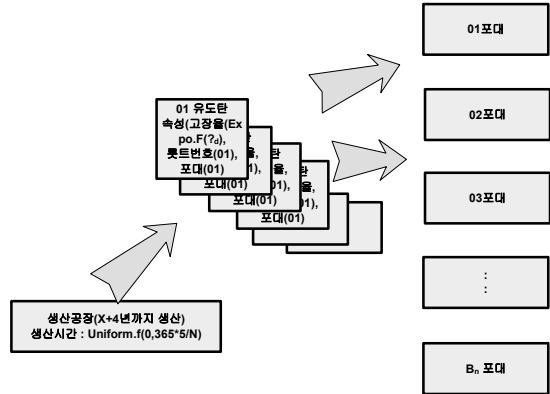


그림 1. 생산공장 모델

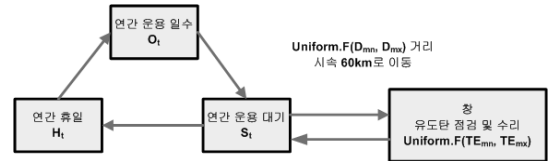


그림 2. 운용부대 모델

하고, 해당 물량을 365일중 균등하게 생산하기 위해 당해 물량 $\frac{N}{5}$ 대를 365일로 나누어 생산 시간을 할당한다. 각 유도탄이 생산될 때에는 4가지 속성을 가져야 한다. 개별 유도탄은 저장신뢰도인 $Exponential.F(\lambda_i)$, 생산된 년도의 로트번호와 배치된 부대와 점검여부라는 속성을 갖는다. 상기 속성이 필요한 이유와 쓰임은 실제 프로그램 구현에 설명하도록 한다. 생산된 유도탄은 내부의 배치 부대라는 속성을 확인하여 개별 부대에 배치된다. 생산시 단일 부대에 배치될 유도탄이 다 생산되면 단, 01 로트의 유도탄은 01부대로부터 순서대로 배치된다.

2.2.2 운용부대

개별 운용부대는 각자의 훈련 및 운용 일정으로 연간 000일을 운용해야 한다. 연간 000일에는 휴일이 제외되어야 하며 연간 O_t 시간과 휴일인 H_t 을 제외한 시간에 운용 중 대기를 수행한다. 생산된 유도탄은 내부의 속성인 배치 부대에 따라 총 B_n 개 부대에 순서대로 균등하게 배치된다. 각 부대는 연간 365일에 대해 운용, 운용 중 대기와 휴일의 세가지 모드로 설정되어 있으며, 개별 부대는 서로 다른 운용일과 대기일을 갖는다. 모든 부대가 동일한 날에 운용하고 동일한 날에 운용중 대기를 수행하지 않는다. 단, 동일 부대에 배치된 유도탄은 운용일과 대기

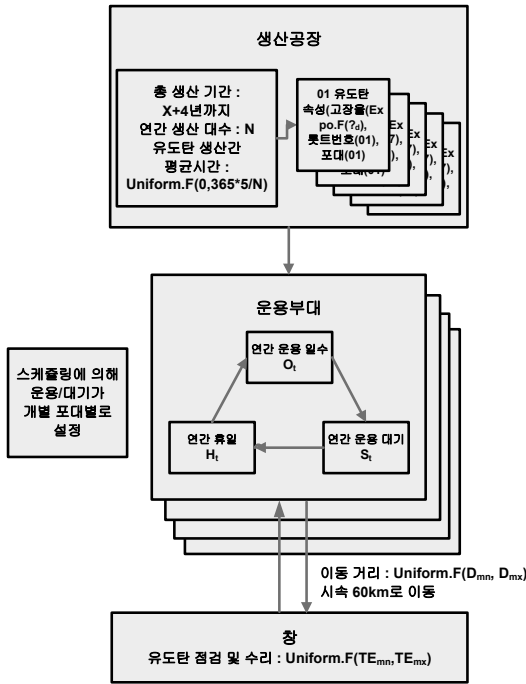


그림 3. 유도탄 모델

를 거쳐 창으로 이송됨으로 거리는 최소와 최대를 통합하여 $Uniform.F(D_{min}, D_{max})$ 의 거리를 평균 속도 60km/h로 이동하여 창으로 이동하며, 창에서는 정상 유도탄에 대해서는 TE_{min} 시간동의 점검을 수행하며, 고장난 유도탄에 대해서는 $Uniform.F(TE_{min}, TE_{max})$ 의 시간동안 점검 및 수리를 통해 유도탄에 대해 조치를 취한다. 조치가 완료된 유도탄은 동일한 부대로 동일한 거리와 속도로 복귀한다. 신뢰성 유지를 위한 검사와 동일하게 시한성 품목 교환시에도 동일한 검사를 동일 방법으로 수행한다. 운용부대의 모델은 그림 3과 같다.

2.2.3 창

창은 X+4년간의 생산동안에 대기상태를 유지하고 있으며, 생산이후 X+5년째부터 개별 로트에 대해 매년 n만큼 샘플링을 통해 검사를 수행할 예정이다. 창은 X+5년째부터 X년째 생산된 로트에 대해 검사를 시작하며, X+6년째에는 X년에 생산된 로트 및 X+1년에 생산된 로트에 대해 검사를 수행하며, X+9년째부터 전체 물량에 대해 검사를 수행한다. 그림 3은 앞서 기술한 생산공장과 운용부대 및 창 전체 모델을 나타내고 있다.

2.3 시뮬레이션

2.3.1 개요

2.2 모델을 기준으로 본 논문에서는 범용 시뮬레이션 패키지인 SIMSCRIPT II.5를 사용하여 시뮬레이션 모델을 구현하였다. SIMSCRIPT는 현재 주로 많이 사용되는 ARENA와 같은 객체지향적인 범용 시뮬레이션 소프트웨어 패키지와 비교하여 그래픽적인 면이나 사용상의 편의상은 떨어지나, Entity 또는 모듈 자체를 세부적으로 직접 프로그래밍하고 조절 하는데 있어서는 객체지향적인 소프트웨어 패키지에 비해 장점이 있어 본 소프트웨어를 사용하였다. 실제 시뮬레이션 프로그램내에서는 두가지 가정사항을 부여하였다. 가정사항은 다음과 같다.

가정사항

- 유도탄의 고장율은 지수분포를 따르며, 망각성질을 적용 받는다.(시간에 따라 변화하지 않음.)
- 창에서의 검사는 유도탄의 모든 고장을 탐지할 수 있으며, 모든 고장에 대해 수리가 가능하다.(정비후 신뢰성 100%로 회복.)

2.3.2 생산공장 이벤트

유도탄 생산 공장은 그림 4와 같은 순서도에 의해 공정이 구현되었다. 생산을 관할하는 이벤트 함수인 EVENT

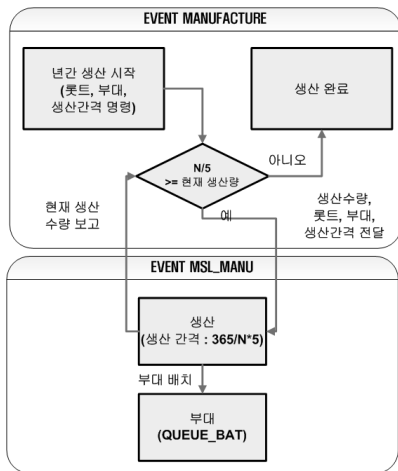


그림 4. 생산공장 EVENT

일이 동일하다. 결국 창에서 부대에 대해 유도탄 검사를 수행하기 위해서는, 해당 부대가 현재 대기시간인지 확인한다. 또한 검사가 시행되면 해당 부대가 정상적인 운용을 수행할 수 없으므로, 창에서 유도탄을 점검 및 수리 후 유도탄을 해당 부대에 복귀 시킬 때 까지, 해당 부대 전체는 대기 상태를 유지해야 한다. 창에서는 선정된 유도탄에 대해 부대로부터 창으로 이송되며, 부대에서 대

표 1. 생산공장 입력변수

항목	값
년간 생산대수	$\frac{N}{5}$
유도탄 생산간 평균시간	Constant $\frac{N}{5*365}$ (Days)
유도탄 저장신뢰도	Exponential. $F(\lambda_d)$ (Days)

생산을 수행하여 현재의 생산 수량과 연간 생산 수량을 비교하여 연간 생산 수량에 맞추어 생산을 수행한다. 그림 4는 생산공장 이벤트를 나타낸 순서도이며, 표 1은 입력변수이다.

2.3.3 부대와 창 이벤트

실제 시물레이션 상에서는 보증을 위한 신뢰도 검사와 시한성 품목 교환시 검사는 별도로 구현하지 않고 시물레이션 프로그램상에서 스케줄링시 시한성 품목 교환을 위한 수량만 추가하여 구현하였다. 연간 점검 시작 시간이 되면 부대와 창 점검 수행을 관할하는 EVENT MSL_TEST라는 이벤트 함수는 연간 점검 수량과 롯트, 부대를 결정하여 배열에 저장한다. 실제 유도탄 점검을 시작할 EVENT START_OF_TEST라는 이벤트 함수는 배열을 읽어들인 후, QUEUE_BAT 대기행렬에 있는 유도탄을 불러들인다. 해당 유도탄을 검색하여 원하는 유도탄이 선정되면 유도탄이 배치된 부대의 대기 여부를 확인한다.

만약, 부대가 운용중일 경우 EVENT START_OF_TEST는 1일 대기를 수행하며, 대기 중 일 경우 유도탄의 점검을 수행한다. EVENT START_OF_TEST는 이동을 위해 D_{min} 시간에서 D_{max} 시간까지의 UNIFORM함수로 왕복하고, 유도탄의 고장 여부를 판단하여 고장이 났을 경우 TE_{min} 시간에서 TE_{max} 시간의 UNIFORM함수에 의해 점검 및 수리를 수행한다. 만약, 왕복 이동시간과 점검 및 수리 시간에 토, 일요일이 포함될 경우 해당 시간을 추가로 합하여 점검 완료 이벤트인 EVENT END_OF_TEST를 호출한다. EVENT END_OF_TEST는 점검 및 수리가 완료된 유도탄을 QUEUE_BAT 대기행렬에 재 배치하고, 해당 유도탄의 일련번호를 확인하여 고장정보가 포함된 배열에 고장날 시간을 새로 예약한다. EVENT END_OF_TEST는 현재까지의 점검수량과 연간 점검 수량을 비교하여 점검이 완료되지 않았으면, 대기를 수행하고 점검이 완료되면 즉시 EVENT START_OF_TEST를 호출하여 점검을 실행한다. 그림 5는 부대와 창 점검 이벤트의 순서도이다. 부대 및 창 점검 및 수리 이벤트에 포함된 입력변수는 표 2와 같다.

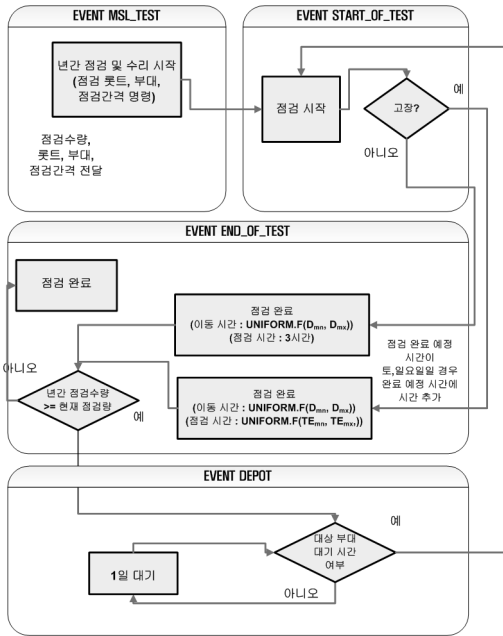


그림 5. 부대와 창 점검 EVENT

MANUFACTURE는 연간 $\frac{N}{5}$ 개의 유도탄의 생산 명령과 해당 년도에 맞는 롯트 및 부대 정보를 실제 유도탄을 생산하는 이벤트 함수인 EVENT MSL_MANU에 전달한다. EVENT MSL_MANU 이벤트는 전달받은 간격에 맞추어 유도탄을 생산하고 QUEUE_BAT이라는 부대 대기행렬에 유도탄을 배치한다. EVENT MSL_MANU는 생산되는 유도탄에게 생산번호, 롯트, 부대, 점검여부라는 4가지 속성을 부여한다. 부대 대기행렬은 점검이 시작될 때 까지 유도탄을 저장한다.

동일한 해 생산된 유도탄에 대해서는 모두 동일한 롯트를 부여하며, 생산번호는 생산된 순서에 의한 일련번호를 부여하였다. 유도탄의 고장 시간 예약은 생산공장에서 이루어지나, 모든 이벤트 함수에서 특정 유도탄의 고장 여부를 확인할 수 있도록 하기 위해 유도탄 일련번호와 연계된 별도의 배열을 선언하였다. EVENT MSL_MANU는

2.3.4 시물레이션 실행

시물레이션 프로그램을 표 3과 같은 기준으로 실행하였다.

2.3.5 이론과 시물레이션 결과 비교

시물레이션과 이론적인 결과를 비교하기 위해 목표로 설정된 5년 이후 몇 %를 수행할지 확실적인 검토를 수행

표 2. 이동 및 운용 입력 변수

항목	값
부대 - 창 이동시간	$Uniform.F(D_{mn}, D_{mx})$ (Days)
연간 운용시간	Constant O_t (Days)
연간 대기시간	Constant S_t (Days)
연간 휴일	Constant H_t (Days)
정상유도탄 점검 시간	Constant TE_{mn} (Days)
고장유도탄 점검 및 수리시간	$Uniform.F(TE_{mn}, TE_{mx})$ (Days)
유도탄 저장신뢰도	$Exponential.F(TE_{mn}, TE_{mx})$ (Days)

표 3. 실행 조건

항목	입력 기준	비고
총 실행 횟수	100,000	-
1회 실행 시간	10,950	30년 운용으로 가정
시간단위	Days	-
시한성 품목 교환 시간	10년	10년주기 교환
주기적 검사 수량	-	목표 보증신뢰도에 부합하는 최소 수량을 찾기 위해 변동 시킴.

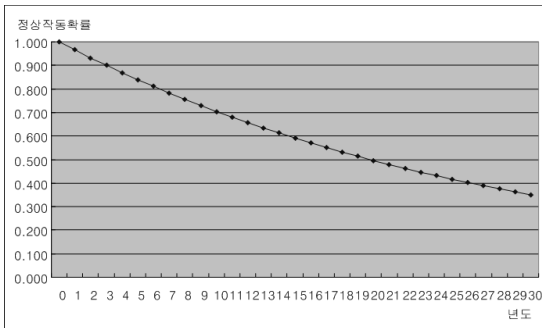


그림 6. 유도탄의 30년간 정상작동확률

해 보자. 개별 유도탄의 k년도 검사 시 유도탄의 정상작동 확률(q_k)은 다음 (1)과 같다.

$$q_k = e^{-\frac{\lambda \times 24 \times 365 \times k}{1000000}} \quad (1)$$

단일 유도탄의 저장신뢰도 λ_d 를 100만 시간 기준 4로 가정할 때, 30년 동안 고장 수리 없이 정상작동확률(q_k)를 계산하면 그림 6과 같이 지수적으로 하락한다.

단일 유도탄의 정상작동 확률이 지수적으로 하락하고, 이를 방지하기 위해 만약 일정 시기에 일부 수량의 점검을 수행한다고 할 때, 유도탄 로트의 신뢰도를 보증신뢰도 (P_k)라고 하자. 보증신뢰도(P_k)는 Wood(1985)의 공식과 같이 아래 구조에 의해 설명된다. 전체 유도탄의 수량이 100기라고 가정하고 생산이후 5년째부터 10%의 수량의 검사를 수행한다고 가정하자. 5년째 검사를 수행한 이후 해당 유도탄의 보증신뢰도 100%를 회복한 10기와 5년동안 신뢰도가 떨어진 90기의 평균일 것이다.

$$P_5 = \frac{10 + 90 \times q_5}{100} \quad (2)$$

다음 6년째 검사를 수행한 이후 해당 유도탄의 보증신뢰도 100%를 회복한 10기와 6년 동안 신뢰도가 하락한 80기, 5년차에 검사 이후 1년이라는 시간을 보낸 10기로 구성될 것이다.

$$P_6 = \frac{10 + 80 \times q_6 + 10 \times q_1}{100} \quad (3)$$

다음 7년째 검사를 수행한 이후 해당 유도탄의 보증신뢰도 100%를 회복한 10기와 7년동안 신뢰도가 하락한 70기, 6년차 검사이후 1년이라는 시간을 보낸 10기 5년차 검사이후 2년이라는 시간을 보낸 10기의 평균일 것이다.

$$P_7 = \frac{10 + 70 \times q_7 + 10 \times q_1 + 10 \times q_2}{100} \quad (4)$$

상기의 계산 수식을 일반화 하면 수식 (5)로 나타낼 것이다.

$$P_k = \frac{n + n \sum_{i=1}^{k-j} q_i + (N - n(k - j + 1)) q_k}{N} \quad (5)$$

$(j > 1, j < k < \frac{N}{n} + j)$

N : 로트의 크기 , n : 추출량
 K : 해당 년도 , j : 검사 시작 년도
 q_k : 유도탄 1기의 k년도 정상 동작 확률

상기의 보증신뢰도 P_k 는 유도탄 전체 수명주기에 대한 신뢰도가 아니다. 전체 로트가 1회 검사를 수행하게 되면 수식이 바뀌어야 한다. 1회 검사가 모두 수행되면 수식 (6)이 될 것이다.

표 4. 보증신뢰도(연간 7.7%)

년도	롯트 1	롯트 2	롯트 3	롯트 4	롯트 5	평균
X+5년	0.851					0.851
X+6년	0.836	0.851				0.844
X+7년	0.824	0.836	0.851			0.837
X+8년	0.814	0.824	0.836	0.851		0.831
X+9년	0.806	0.814	0.824	0.836	0.853	0.827
X+10년	0.800	0.806	0.814	0.824	0.840	0.817
X+11년	0.797	0.800	0.806	0.814	0.830	0.809
X+12년	0.795	0.797	0.800	0.806	0.822	0.804
X+13년	0.795	0.795	0.797	0.800	0.817	0.801
X+14년	0.797	0.795	0.795	0.797	0.814	0.800
X+15년	0.800	0.797	0.795	0.795	0.814	0.800
X+16년	0.805	0.800	0.797	0.795	0.815	0.802
X+17년	0.811	0.805	0.800	0.797	0.819	0.806
X+18년	0.813	0.811	0.805	0.800	0.824	0.810
X+19년	0.813	0.813	0.811	0.805	0.831	0.814
X+20년	0.813	0.813	0.813	0.811	0.835	0.817
X+21년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+22년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+23년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+24년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+25년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+26년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+27년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+28년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+29년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817
X+30년	0.813	0.813	0.813	0.813	0.835	0.817

※ 30년 동안의 보증신뢰도에 대해 조건 및 제약이 없을 경우의 이론적인 보증신뢰도 임.

$$P_k = \frac{n \sum_{i=1}^t q_i + (N \bmod n) q_{t+1}}{N}, \left(t = \left\lceil \frac{N}{n} \right\rceil \right) \quad (6)$$

상기 수식으로 10년 이후 보증신뢰도 80%를 달성하기 위해 5년 이후 검사를 기준으로 N을 1000기로 가정시 n을 설정하며, 연간 검사 수량은 77기이며 이를 토대로 30년 운용시 보증신뢰도를 계산하면, 표 4와 같이 생산이후 약 14년차에 가장 작은 보증신뢰도가 산출되는 것으로 나타나고, 모든 롯트에 검사가 1회 이상 수행된 생산이후 20년차 부터는 모든 롯트의 검사결과가 동일하게 나타나

표 5. 연간 검사수량

년도	검사수량	년도	검사수량	년도	검사수량
X+5년	15	X+14년	77	X+22년	77
X+6년	31	X+15년	77	X+23년	77
X+7년	46	X+16년	77	X+24년	77
X+8년	62	X+17년	77	X+25년	77
X+9년	77	X+18년	77	X+26년	77
X+10년	77	X+18년	77	X+27년	77
X+11년	77	X+19년	77	X+28년	77
X+12년	77	X+20년	77	X+29년	77
X+13년	77	X+21년	77		

표 6. 시뮬레이션 보증신뢰도(연간 7.7% 추출)

년도	보증신뢰도	년도	보증신뢰도
X+5년	91.19	X+13년	80.26
X+6년	90.33	X+14년	79.78
X+7년	87.87	X+15년	79.45
X+8년	85.90	X+16년	79.40
X+9년	84.22	X+17년	79.54
X+10년	82.85	X+18년	79.72
X+11년	81.75	X+19년	79.70
X+12년	80.93	X+20년	79.52

는 현상이 발생한다.

상기 수식에 의해 산출된 77기를 기준으로 시뮬레이션 프로그램에 적용하기 위해 입력 변수로 77기를 입력하면 표 5와 같이 검사가 진행된다. 롯트별 7.7%를 적용하였으므로 X+5년부터 X+8년 까지는 77기 보다 작은 수량이 검사된다.

수학적 방법으로 산출된 7.7%를 시뮬레이션 프로그램에 적용하여 수행하면 목표 보증신뢰도를 충족하지 못하는 표 6과 같은 결과가 도출된다. 수량을 변경하여 산출 시에도 일정 년도가 수행되면 동일하게 반복될 것으로 편의상 X+5년부터 X+20년 까지만 나타내었다.

그럼, 최적해를 찾기 위해 유도탄 연간 검사수량을 늘려가면서 보증신뢰도를 확인해 보자. 아래의 표는 유도탄 검사수량을 1기씩 추가하면서 수행한 시뮬레이션 결과이다. 실제 시뮬레이션 결과에 의해 최적 수량은 약 8.1%임을 알 수 있다.

앞에서 제시된 수식에 의해 보증신뢰도를 계산하면 현재 시뮬레이션 결과와는 달리 80% 이상을 상회하고 있

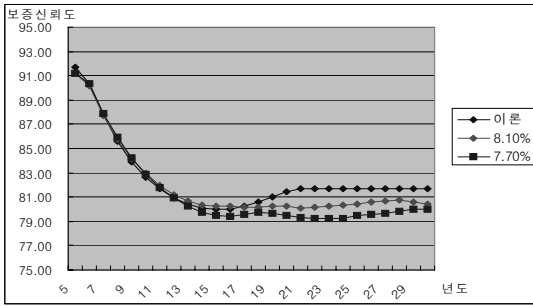


그림 7. 이론과 시뮬레이션 결과값

유도탄 번호	포대	생산일자	1차 검사	2차 검사
01 유도탄	1	1년 1월	6년 1월	16년 1월
02 유도탄	1	1년 3월	6년 3월	16년 3월
03 유도탄	1	1년 6월	6년 6월	16년 6월
04 유도탄	1	1년 9월	1년 9월	16년 9월

그림 8. 이론적인 보증프로그램의 예

유도탄 번호	포대	생산일자	1차 검사	2차 검사
001 유도탄	1	1년 1월	6년 1월	16년 1월
002 유도탄	1	1년 3월	7년 2월	17년 6월
003 유도탄	1	1년 6월	8년 2월	18년 45월
004 유도탄	1	1년 9월	9년 1월	19년 151월

그림 9. 시뮬레이션에 의한 보증프로그램의 예

나, 계산수식은 조건 및 제약사항이 없을 경우로 실제 조건 및 제약이 있는 현 상황에서는 적절치 못하나 가장 근사한 검사 시작 년도와 검사수량을 개략적으로 알 수 있다. 그렇다면, 현재의 시뮬레이션 상에 포함된 통상 유도탄의 운용개념과 시나리오들이 확률에 미치는 영향을 검토해 보자. 보증신뢰도(P_k)의 수식은 k년도 도래되는 시점에 바로 점검하여 수리하는 것을 기준으로 한다. 즉, k년도에 도래하면 상시 대기 중인 점검 장비가 즉시 점검을 통해 해당 장비의 신뢰성을 바로 회복시키는 것을 기

준으로 한다. 그러나, 실제 소요군에서는 한해에 검사될 대상 수량, 검사 수량은 정해져 있으나, 여러 부대에 있는 다양한 환경 조건을 고려하여 여러 부대에서 순차적으로 실제 검사 대상을 선정함으로 상기 수식과는 상이한 시간을 갖게 된다. 다시 말해서 실제 여건에서는 상기의 k가 달라지게 된다.

이론적인 P_k 는 그림 8과 같이 매년 정해진 시간에 정해진 날짜에 정확하게 점검 및 수리를 수행한다. 그러나, 현 시스템에서는 그림 8과 같이 유도탄 일련번호에 따라 생산일자를 고려하여 정확한 시간에 점검 및 수리를 통한 유도탄 신뢰도 보증 프로그램을 진행할 수 없다.

실제 시스템에서는 그림 9 시뮬레이션에 의한 보증 프로그램처럼 1차 검사와 2차 검사는 유도적이며 실제 예측한 것에 비해 수량도 변경될 수 있다. 그림 9 시뮬레이션에 의한 보증 프로그램의 예는 실제 시뮬레이션 프로그램 수행을 임의로 1회 수행하여 유도탄의 검사 및 수리 시행 시간을 도출한 결과이다.

2.3.5 시한성 품목 검사

보증 유도탄이 창에 입고되는 시기는 앞서 언급한 보증신뢰도 유지를 위한 주기적인 검사를 위한 입고와 비전자부품 중 일정 시한이 경과하면 교환을 해야 하는 시한성 품목 교환을 위한 입고가 있다. 앞에서는 시한성 품목 교환과 관련된 부분은 포함하지 않고, 보증신뢰도 유지를 위한 일정 수량만을 제시하였으나, 본 절에서는 시한성 품목 교환 시 보증 신뢰도 유지를 위한 검사를 동시에 수행한다고 가정하여 결과를 도출하여 보았다.

통상 유도탄의 시한성 품목의 교환시기는 10년에서 길게는 20~30년을 상회하는 경우도 있다. 그러나, 개발 초기에는 정확한 수명주기를 도출기 어려움으로 10년으로 가정하고 개발이 완료되고, 10년째부터 ASRP(Ammunition Surveillance Reliability Program)를 통해 입증 및 수명 주기 연장을 검토한다. 본 절에서는 10년째에 시한성 품목 교환을 입고되는 모든 유도탄에 대해 보증신뢰도 검사를 동시에 진행한다고 가정하여 대안을 도출하여 보았다.

수식 (5)를 시나리오에 맞게 구성하면, 로트의 수는 5, 로트의 유도탄 수량 N 을 1000대로 단일 로트를 200기로 가정할 때 $n > 5.821$ 임을 알 수 있다. 2.3.4절에서는 전체 물량중 일정 수량을 동일하게 검사하는 반면, 본 절에서는 시한성 품목과 보증신뢰도 검사를 위한 주기 검사 수량으로 인해 창으로 입고되는 물량은 불규칙적이며, 전체 수량을 1000기로 단일 로트를 200기로 가정시 표 7과 같이 검사가 수행된다. X+11년부터 X+14년까지는 X+10

표 7. 연간 검사 수량(시한성 교환 대상 포함)

년도	검사수량	비고	년도	검사수량	비고
X+5년	6		X+18년	6	
X+6년	6		X+18년	6	
X+7년	6		X+19년	6	
X+8년	6		X+20년	200	*
X+9년	6		X+21년	-	*
X+10년	200	*	X+22년	-	*
X+11년	-	*	X+23년	-	*
X+12년	-	*	X+24년	-	*
X+13년	-	*	X+25년	6	
X+14년	-	*	X+26년	6	
X+15년	6		X+27년	6	
X+16년	6		X+28년	6	
X+17년	6		X+29년	6	

※ “*” 표시가 있는 년도는 시한성 품목 교환을 위해 해당 로트의 전체 물량이 입고됨을 의미함.

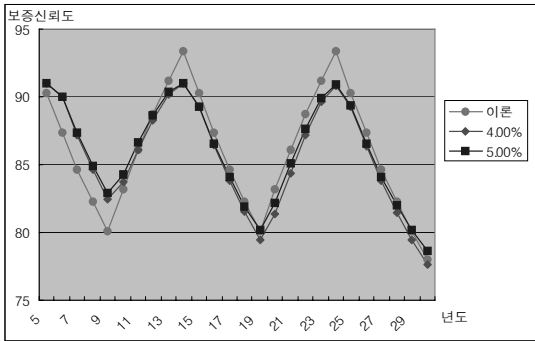


그림 10. 이론과 시뮬레이션 결과값 비교(시한성 포함)

표 8. 시뮬레이션 결과

순번	조건	결과
1	시한성 품목 교환시 검사 미수행	5년 이후 약 8.1% 추출. 검사와 관계 없이 운용 및 대기 수행
2	시한성 품목 교환시 검사 수행	5년 이후 로트별 5.0% 추출, 10년째 로트에 대해 전수 검사, 전수 검사이후 4년 동안 검사 미수행 후, 다시 5년째부터 5.0% 추출. 전수 검사시에는 검사 대상 부대에 한해 사전 설정된 검사 시기에 비운용 및 대기 수행.

년째에 전수검사를 수행함으로 4년동안 검사를 수행하지 않는다.

1000기 가정시 8기인 4%를 기준으로 전체 30년간의 보증신뢰도를 구하고, 2.3.4절과 동일하게 시뮬레이션 결과와 비교하면 그림 10과 같다.

이론적으로 도출된 4%는 사용자가 요구한 연간 80%의 보증신뢰도를 달성하지 못하며, 5% 이상이 되어야 적정 보증신뢰도를 달성하는 것을 알 수 있다. 단, 시한성 품목의 검사시에는 검사 수량이 많음으로 창에서 스케줄을 먼저 잡고 해당 운용 부대는 이를 배제한 상태에서 운용 일을 잡도록 구성되어야 할 것이다.

2.3.6 시뮬레이션에 의한 결과

앞서 시험한 두가지 시뮬레이션 결과를 기준으로 시한성 품목 검사 시기를 보증 신뢰도에 포함하느냐에 따라 유도탄 보증시 표 8과 같은 두가지 결과를 도출 할 수 있다.

상기 2가지 결과에 대해 비용대 효과적인 측면을 고려하여 나온 대안을 도출하기 위해서는 다음과 같은 정보가 필요하다.

- 시한성 품목 교환시 검사 미수행
 - 1회 보증검사 비용
 - 1회 시한성 품목 교환 비용(보증검사 미수행 기준)
 - 1회 유도탄 왕복 운송 비용
- 시한성 품목 교환시 검사 수행
 - 1회 보증검사 비용
 - 1회 시한성 품목 교환 및 보증검사 비용
 - 1회 유도탄 왕복 운송 비용

그러나, 상기와 같은 정보를 활용하여 두 결과중 나온 대안을 도출하는 것은 본 논문의 주제인 적정 검사 수량을 도출하는 관점을 넘어서는 문제로, 해당 연구 과제는 군 내부의 정책적인 측면과 개발기관의 업무 권한을 고려하여 추후 배치된 이후 장정비 고려시점에 연구하도록 한다.

3. 결 론

국내 유도무기 개발 수준의 향상으로 점차 국산화된 유도무기가 증가하고 있는 상황에서 보증 유도탄의 적절한 보증 방안은 대단히 중요한 과제이다.

본 논문에서는 보증유도탄의 개념과 One-Shot Device 인 유도탄의 정비개념과 이러한 정비개념을 가질 수 밖에 없는 배경에 대해 살펴보았다. 그리고, 현 정비시스템 상황하에서 적절한 주기적 점검 수량과 년도를 확인할 수

있는 M&S 기법을 활용한 시뮬레이션 모형을 구축하여 현 제시된 점검 시작 년도와 수량이 적절함을 입증하였다. 이론적 제시수준에 비해 실제 제약사항과 한계들을 시스템에 반영할 경우 수학적 예측에 비해 보증 신뢰도가 저하된 수준으로 도출됨을 확인하였으며, 이를 극복하기 위해서는 수학적인 모델에서 제시된 수량에 비해 많은 수량의 검사와 정비가 필요하다는 것을 알게 되었다. 또한, 실제 사용자 입장에서 도출될 두가지 조건을 기준으로 적정 검사수량과 시작년도를 제시하였다. 본 논문에서 제시한 시뮬레이션 모델은 타 유도무기체계에도 동일하게 적용 가능하도록 구현한 일반 모델로서, 향후 개발되는 유도무기체계의 저장신뢰도를 본 모델에 적용하여 보증을 위한 검사 시작년도와 수량을 입력할 경우 모든 유도무기체계에 대해 확대 적용이 가능하다.

향후 본 논문에서 적용하지 못한 부분은 야전의 실제 데이터 수집과 유사 무기체계의 예측된 신뢰도와 실제 검사결과와의 비교분석 등을 통해 보완할 것이며, 대안 선택을 위한 비용대 효과 분석 등은 추후 연구를 통해 최대한 실 시스템을 반영한 모델로 보완할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김도형, 노효상, 정일환, 한상철 (2006), RAMSim-무기시스템 RAM 분석용 이산사건 시뮬레이터.
2. 조용석 (2001), 저장신뢰도 유지를 위한 최적 2단계 주기적 검사정책, 박사학위논문, 충남대학교.
3. Averill, M. L. and W. D. Kelton(1999), Simulation Modeling and Analysis. Third Edition.
4. Coit, D.W. and Priore, M. G.(1985), Impact of Nonoperating Periods on Equipment Reliability. RADC-TR-85-91(AD/A-158 843).
5. Cottrell, D. F.m Gagnier, T.R., Kimball, E. W., Kirejczyk, T. E. et al.(1974). Effects of Dormancy on Nonelectronic Components and Materials. RADC-TR-74-269(AD/A-002 838).
6. Etlz, J. M., Purenell, A.W. and Seman, R. M.(1988). Reliability/Maintainability/Testability Design for Dormancy, RADC-TR-88-110(AD/A-202 704)
7. Homer, L.H and Billy, R. S(1980). Improved Hawk Certified Round Mid-Life Status Report, U. S. Army Missile

Command.

8. Ito, K. and Nakagawa, T.(1992). Optimal inspection policies for a system in storage. Computers and Mathematics with Applications, Vol. 24, No. 1/2, 87-90.
9. Ito, K. and Nakagawa, T.(1995a). An optimal inspection policy for a storage system with high reliability. Microelectronics and Reliability, Vol. 36, 875-882.
10. Ito, K. and Nakagawa, T.(2000). Optimal inspection policies for a storage system with degradation at periodic tests. Mathematical and Computer Modeling, Vol. 31, 191-195.
11. Martinez, E. C.(1984). Storage reliability with periodic test. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 181-185.
12. Raytheon.(2003), Annual Reports(Raytheon).
13. Wood, B. B.(1985), Design of Surveillance Plans for Tactical Missiles in Long Term Storage. AD/A-156498.

기 호

- N : 전체 유도탄의 수량
- n : 전체 유도탄중 샘플링 수량
- P_k : k년도의 보증신뢰도
- Q_k : 단일 유도탄 k년도의 보증신뢰도
- k : 해당 년도
- j : 검사 시작 년도
- B_n : 운용 부대 수
- L_n : 료트 수
- O_t : 연간 운용 시간
- S_t : 연간 대기 시간
- H_t : 연간 휴일 시간
- D_{mm} : 최소 이동 거리
- D_{me} : 평균 이동 거리
- D_{mx} : 최대 이동 거리
- TE_{mm} : 최소 점검 및 수리 시간
- TE_{mx} : 최대 점검 및 수리 시간
- λ_d : 저장 신뢰도
- X : 유도탄 생산 시작 년도



김 병 수 (byung-soo_kim@add.mil.kr)
1995 조선대학교 제어계측공학과 학사
2007 창원대학교 전자공학과 석사
1995~2007 한국항공우주산업 UAV개발팀, 위성개발팀
2007~현재 국방과학연구소 전술유도무기체계개발단
관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 스케줄링



이 계 신 (kslee4495@lignex1.com)
2000 성균관대학교 산업공학과 학사
2004 성균관대학교 산업공학과 석사
2004~현재 LIG넥스원 ILS연구센터 재직
관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 대기행렬

김 동 석 (dongseok@add.re.kr)
1992 충남대학교 전자공학과 학사
1994 충남대학교 전자공학과 석사
1994~현재 국방과학연구소 전술유도무기체계개발단
관심분야 : 유도무기 신뢰도



문 기 성 (moonkisung@lignex1.com)
1993 부산대학교 기계공학과 학사
1993~2000 삼성테크윈 ILS연구실
2000~현재 LIG넥스원 ILS연구센터 재직
관심분야 : 유도무기 신뢰도