

# 계약사항을 고려한 보증 유도탄 시물레이션 기법 연구

이계신<sup>1</sup> · 이연호<sup>1†</sup> · 조용석<sup>2</sup> · 김효창<sup>2</sup> · 김상문<sup>1</sup>

## Study of Simulation Method for Certified Missile Rounds Concepts with Constraints

Kye-shin Lee · Youn-ho Lee · Yong-seok Cho · Hyo-chang Kim · Sang-moon Kim

### ABSTRACT

Certified Missile Round Concepts that is one-shot device use the periodic inspection policy to improve the continuously deteriorated reliability. In this paper, we suggest dormant reliability prediction model by simulation with real operational environment. The suggested prediction model is based on optimal inspection period decision model and additionally considers various constraints; moving, inspection or repair service time. The simulation results show the constraints affect dormant reliability and missile availability. Lastly, we suggest building up a depot to resolve the above problems by the suggested simulation model.

**Key words** : Certified Missile Rounds Concepts, M&S, Dormant Reliability, Simulation

### 요약

장시간 저장 후 짧은 시간 동안 운용되는 특성을 갖는 보증 유도탄은 지속적인 신뢰도 저하를 개선하기 위해 주기적인 검사 정책을 사용한다. 본 연구에서는 유도탄의 저장 신뢰도 유지를 위해 주기적 검사 개념을 기초로 검사장비의 불완전성에 따라 유도탄 구성품을 정비계단에 맞추어 분류하고, 검사 시 발생하는 손상확률과 정비과정의 불완전성에 의해 손상되는 확률을 고려하여 최적의 검사주기 산출과정을 제시한 기존 연구를 검토한다. 또한 검토된 기존 연구를 바탕으로 주기검사 과정에서 유도탄이 손상되는 확률과 유도탄의 운용 형태 및 정비 형태를 고려한 제약사항을 포함하는 시물레이션 모델을 설정하고, 시물레이션 전용 패키지를 활용하여 분석함으로써 실제 운용 환경에서 최적의 보증유도탄 검사주기, 주기검사소, 정비창을 설정함으로써 유사 유도탄체계에서 활용이 가능한 시물레이션모델을 제안한다.

**주요어** : 보증유도탄, 시물레이션, 저장신뢰도, 시물레이션

## 1. 서론

### 1.1 개요

장기간 저장 상태를 지속하다가 짧은 시간 운용되는 유도탄은 고가의 장비임에도 불구하고 정확한 신뢰도를 알 수 없는 특성을 갖는다. 이러한 유도탄의 문제점 해결을 위해 철저한 품질 보증업무를 통해 목표신뢰도를 확보

하고 야전에서의 검사 및 수리를 배제하여 적정 신뢰도 보증과 비용절감을 위해 탄생한 것이 보증 유도탄(Certified Missile Round Concepts, 이하 보증탄)이다. 보증탄은 미 유도탄 전문업체인 레이시온사에서 최초로 태동되었다. 최초의 Basic HAWK 유도탄은 일반적인 지상 장비와 같이 부대와 야전 수준에서의 정비와 수리가 수행되는 시스템으로 개발되었다. 다양한 환경조건에서의 점검, 수리에 따라 유도탄의 In-Flight Reliability는 65%로 떨어졌고, 이러한 낮아진 신뢰도를 개선하기 위해 태동된 것이 보증탄이다. Basic HAWK 유도탄을 개량하는 과정에서 낮아진 유도탄의 신뢰도 보장을 위해 정비 업무에 대해 새롭게 정의된 개념인 보증탄은 유도탄의 저장기간 동안 부대 및 야전에서의 유도탄 검사 및 수리 업무를 제한하고 안정된

접수일(2011년 10월 5일), 심사일(1차 : 2011년 11월 23일),

게재 확정일(2011년 11월 30일)

<sup>1)</sup> LIG넥스원 ILS연구센터

<sup>2)</sup> 국방과학연구소

주 저 자 : 이계신

교신저자 : 이연호

E-mail: younho.lee@lignex1.com

설비와 시설이 갖춰진 공간과 환경에서 정비 및 수리를 수 것이다(Homer 등, 1980) 그러나 완벽히 정비와 수리를 배제하기 위해서는 유도탄 자체의 설계 신뢰도를 대폭 강화해야함으로 인해 설계와 비용 측면에서 많은 제약사항이 발생하기 때문에 주기적 검사를 통해 지속적인 신뢰도 향상과 모니터링 프로그램이 수반되고 있다. 이렇게 정립된 보증탄은 몇 가지 중요한 요소로 설정된다. 첫 번째는 설계 및 생산단계에서 품질 개선을 통해 유도탄의 내제된 신뢰도를 향상시키고, 두 번째는 전자부품 류 등의 점검 가능한 품목에 대해 주기적인 검사에 의해 신뢰도를 개선 및 모니터링 하고, 세 번째는 화학약품 및 일정 시한을 갖는 품목에 대해 개발 확인된 시한에 의해 주기적인 교체와 ASRP 등에 의해 신뢰도를 보증한다. 과거 대부분의 유도탄을 외국에서 구매하여 배치되던 현실에서 벗어나 점차 국내 개발 유도탄이 많아지고 있는 상황에 발맞추어 이러한 보증 유도탄의 검사주기를 최적화하여 최소 비용으로 유도탄의 적정 신뢰도를 유지하기 위한 연구가 진행되고 있다. 그러나 이러한 연구들의 대부분은 보증 유도탄의 내제 신뢰도만을 고려한 적정 신뢰도 유지 방안을 수리적으로 분석하고 있으며, 실제 운용 상황에서 고려될 수 있는 제약사항이 보증 유도탄에 미치는 영향에 대해서는 고려하지 않고 있다. 하지만 실제 보증탄의 운용 시 발생하는 주기검사 및 정비에는 많은 제약사항이 존재하며, 보다 정확한 신뢰도 예측을 위해서는 이들 제약사항의 고려는 필수적이다. 우리는 보증탄의 검사주기 결정모델을 기반으로 검사와 관련된 이동시간, 검사시간, 정비시간 그리고 검사소 및 정비창 수용능력을 고려하여 검사주기 및 제약사항에 따른 보증탄의 신뢰도 예측 시뮬레이션 모델을 개발하고자 한다. 또한, 보증탄의 운용 환경에 따른 제약사항 고려 시 발생할 수 있는 문제점을 분석하여 이에 따른 대안을 도출함으로써 실제 보증탄 운용 시 활용이 가능한 시뮬레이터를 개발하고자 한다.

## 1.2 국내 보증탄 연구

최초의 국내 보증탄은 국방과학연구소에서 개발하고 LIG넥스원(당시 LG정밀)에서 생산한 단거리 지대공 유도무기 AA로 10년 보증탄으로 개발되었으며, 최초 개발 유도탄으로 보증탄의 주기 검사 개념 없이 일정 수량의 물량을 검사 후 10년 이후 보증개념을 설정하였다. 두 번째 보증탄은 역시 국방과학연구소에서 개발하고 LIG넥스원(당시 LG이노텍)에서 생산한 휴대용 지대공 유도무기 BB로 보증탄 개발 시 보증방안을 최초로 개발하였다. BB 유도탄은 저장 신뢰도로 유도탄 자체의 신뢰도를 예측하고 80%

이하로 신뢰도가 낮아지는 시점을 고려하여 생산 이후 4년째에 전수 검사를 수행한다. 이후 개발된 보증탄은 국방과학연구소에서 개발하고 LIG넥스원에서 생산할 예정인 중거리 지대공 유도무기 CC로 CC유도탄은 10년 동안의 보증기한을 설정하고 80% 이상의 정상 작동 확률을 확보하기 위해 생산 이후 5년째부터 일정 수량을 샘플링 하여 검사하는 모니터링 프로그램을 구축할 예정이다. 이를 위해 국과연은 CC 유도탄의 저장신뢰도를 예측하고 일정 수량의 검사를 통한 신뢰도 개선 효과와 신뢰도 보증 프로세스를 통해 보증을 수행할 예정이다.

## 1.3 기존의 연구

저장 중의 주기적인 검사와 관련된 기존의 연구는, Wood (1985)가 장기간 저장되는 유도탄 로트(Lot)에 대한 저장 신뢰도 유지모형과 Martinez(1984)가 장기간 저장되는 전자장비에 대해 매 번의 검사에서 발견된 고장난 부품이 모두 수리되어 신제품과 같아진다는 가정 하에 보전 후 저장신뢰도를 계산하였고, Ito와 Nakagawa(1992, 1995, 2000)는 장비를 고장의 발견 가능성 여부에 따라 두 종류의 구성요소로 구분하여, 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. 김효창, 조용석(2005)은 조용석(2001)의 연구에 유도탄의 구성품을 주기적 기능 검사 가능여부와 저장 상태에서의 검사 여부를 포함하는 3가지 유형의 구성품으로 분류하고, 각 정비단계별 검사장비에 의한 오류확률, 주기검사 시 손상확률 등을 포함하여 최적 검사주기를 설정할 수 있는 모델을 개발하였다. 상기 논문들은 대부분 수리모형에 의해 최적 검사 주기만을 설정한 연구이며, 실제 상황을 고려한 많은 제약사항을 수리모형에 포함하기에는 어려움 따른다. 예를 들면 특정 부대의 유도탄을 검사를 위한 야전 및 창급 부대로 이송하기 위해서는 반드시 이동 및 군수지연시간이 포함되어야 하며, 검사를 위한 야전 및 창급 부대에서는 검사 시 소요되는 시간과 검사 중 발견된 고장유도탄에 대해서는 정비 및 수리에 시간(행정 및 군수지연시간 포함)이 소요된다. 주기검사를 위한 이동시간과 주기검사 소요시간 및 고장정비 시간 등의 현상을 모두 수리적으로 분석할 수 없으며, 수리적으로 가정하기 위해서는 각 현상을 모델링

하여 상호간에 간섭을 제거한 단일 모델이 요구된다. 그러나 이러한 단일 모델을 만들기 위해서는 상당한 경험제원이 포함되어야 하며 우리는 이와 같은 한계를 극복하기 위해 시뮬레이션 기법을 이용하여 실제 상황의 제약사항을 고려하고자 한다.

### 1.4 연구의 구성

본 논문에서는 김효창, 조용석(2005)의 유도탄(보증탄) 신뢰도 보증을 위한 검사주기 결정모델을 시뮬레이션 기법으로 모델링하고 주기검사과정에서 소요되는 이동, 검사 및 정비시간을 포함하여 시뮬레이션 프로그램으로 최적 검사주기를 설정할 수 있는 시뮬레이터를 제안한다. 2장은 유도탄(보증탄) 신뢰도 보증을 위한 검사주기 결정모델을 세부적으로 설명하고, 이 모델을 시뮬레이션적으로 해석하여 모델링한 방법과 실제 프로그램에서 구현한 내용을 설명할 것이다. 3장은 2장의 모델을 기반으로 제약사항을 추가 모델링한 부분과 최종 전체 시뮬레이션 프로그램을 설명하고, 2장의 모델에 의한 수리적인 결과값과 시뮬레이션 결과값 및 제약사항을 고려한 시뮬레이션 결과값을 비교 분석하여 저장신뢰도 및 주기검사소, 정비장의 용량을 도출하고, 4장은 결론과 향후 발전방향을 제시할 것이다.

## 2. 유도탄 검사주기 결정모델

### 2.1 유도탄의 주기적 검사과정

유도탄의 저장신뢰도 유지를 위한 검사주기 결정모델 개발을 위해 유도탄의 주기적 검사과정과 정비개념에 따른 유도탄 구성품의 특성을 정의 할 필요가 있다. 그림 1은 유도탄 저장단계의 주기적인 검사과정에서 발생할 수 있는 몇 가지 사항을 보여준다.

탄약고에 장기간 저장되어 있던 유도탄은 검사주기가 도래하면 주기검사를 수행하여 고장으로 판정될 경우 정비가 이루어지는 제한된 시설(창)로 옮겨서 정비를 하게

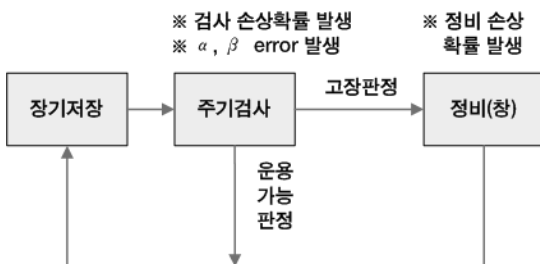


그림 1. 유도탄 주기적 검사과정

된다. 이후 정비된 유도탄은 다시 탄약고로 옮겨져서 저장된다. 하지만 여기서 주기검사가 탄약고가 아닌 창에서 이루어지는 특수한 경우를 고려할 필요가 있다. 이는 현재 한국에 배치된 Improved HAWK 유도탄의 검사 방식으로 향후 HAWK 후속대체 무기체계로 국내개발 중인 CC 유도탄에도 적용될 가능성이 있다. 이러한 경우에는 검사주기가 도래한 모든 유도탄을 일단 창으로 옮겨서 주기적 검사를 수행하게 된다.

주기적인 검사는 검사 장비를 활용하여 수행되는데, 일반적으로 주기검사 장비는 실제 운용조건을 적절히 모의할 수 있는 검사절차의 부재 등의 이유로 완전하지 못하며 검사 오류확률 즉, 유도탄이 고장이 아닐 때 검사결과 고장으로 판정할 확률(type I ;  $\alpha$  error)과 유도탄이 고장일 때 검사결과 고장이 아닌 것으로 판정할 확률(type II ;  $\beta$  error)을 가진다. 따라서  $\beta$  확률로 인해 저장 상태에서의 주기적 기능검사가 불가능한 품목이 있으며, 이러한 품목들은 창에서 기능검사가 가능한 품목과 창에서의 기능검사조차 불가능하여 일정기간 이후에 무조건 교체되는 품목으로 구분된다. 따라서 주기적 검사 가능 여부에 따라 유도탄의 구성품을 다음과 같이 분류할 수 있다.

- Unit 1 : 저장 상태에서의 주기적 기능검사 가능
- Unit 2 : 저장 상태에서의 주기적 기능검사는 불가능하지만 창에서의 기능검사는 가능
- Unit 3 : 기능검사 불가(일정기간 이후 교체 품목)

Unit 1 품목들은 주기적 검사를 통해 고장 확인이 가능하며 Unit 2 품목들은 주기적 검사를 통해 창으로 입고되는 경우에 한해서 고장 확인이 된다. 한편 Unit 3 품목의 고장에 대해서는 검사가 불가능하다. 따라서 주기적 검사 방법을 적용하더라도 Unit 3 품목들과 창으로 입고되지

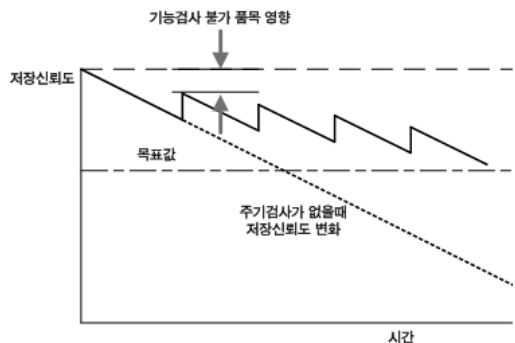


그림 2. 주기검사를 통한 저장신뢰도 변환

않아서 기능검사가 불가능한 Unit 2의 일부 품목 때문에 그림 2와 같이 저장신뢰도를 초기 수준으로 완전히 회복시키지 못하게 된다.

Unit 2 품목 가운데 주기 검사를 통해 고장 확인이 가능한 확률은 유도탄이 주기 검사결과 고장으로 판정되어 창으로 입고되는 확률과 동일하며, 이는 Unit 1에 대한 주기적 기능검사 시 유도탄이 고장일 때 검사결과 고장으로 판정하는 경우와 고장이 아님에도 불구하고 검사결과 고장으로 판정하는 경우에 해당한다. 따라서 Unit 2 품목의 고장에 대한 검사 가능 확률을 아래와 같이  $\alpha, \beta$  error를 통해 정의할 수 있다.

· Unit 2 품목 고장의 검사 가능 확률( $P$ )

$$P = \frac{\text{Unit 1 품목이 고장일 때 검사결과 고장일 확률} + \text{Unit 1 품목이 정상일 때 검사결과 고장일 확률}}{(1-\beta) + \frac{\alpha(1-\beta)}{1-\alpha}} = \frac{1-\beta}{1-\alpha}$$

## 2.2 가정사항 및 기호

유도탄 검사주기 결정모델 개발을 위해 추가적으로 필요한 가정 사항 및 기호는 다음과 같다.

- 저장된 유도탄의 상태는 운용가능(functioning) 및 고장(failure)의 두 가지로 구분한다.
- 저장된 유도탄의 고장시간은 지수분포(exponential distribution)를 따른다.
- 수송시의 신뢰도 저하를 고려하여 최초 저장 시작시점에서의 신뢰도를  $P_0(0 < P_0 \leq 1)$ 로 정한다.
- 주기검사 장비는 불완전하며, 고장시간에 의존하지 않는 다음의 오류확률을 가진다.
  - 제1종의 오류확률( $\alpha$  error) : 저장중인 유도탄이 고장이 아님에도 불구하고 검사결과 고장으로 판정할 확률( $0 \leq \alpha < 1$ )
  - 제2종의 오류확률( $\beta$  error) : 저장중인 유도탄이 고장일 때 검사결과 고장이 아닌 것으로 판정할 확률( $0 \leq \beta < 1$ ), 단  $\beta \geq \alpha$
- 유도탄은 주기적 검사 시 취급 부주의 등의 이유로 인해  $d(0 \leq d < 1)$ 의 확률로 손상을 입는다.
- 유도탄은 주기적 검사를 통한 정비 시 정비과정의 불완전성으로 인해  $r(0 < r \leq 1)$ 의 확률로 수리된다.
- $F_i$  : 한 번의 검사주기 동안의 Unit  $i$  기대고장 횟수
- $\lambda_i$  : 저장 기간 동안의 Unit  $i$  고장률
- $F_{ja}$  :  $j$ 번째 주기검사 직전의 기대고장 횟수
- $F_{jb}$  :  $j$ 번째 주기검사 직후의 기대고장 횟수

- $R_{ja}$  :  $j$ 번째 주기검사 직전의 저장신뢰도
- $R_{jb}$  :  $j$ 번째 주기검사 직후의 기대고장 횟수

## 2.3 검사주기 결정모델

유도탄 저장신뢰도 유지를 위한 검사주기 결정모델은 정해진 저장기간 동안 지속적으로 검사결과가 반영된 저장신뢰도를 소요군이 요구하는 값보다 높게 하는 모든 검사주기 중에서 가장 긴 값을 결정하는 것으로 정의할 수 있다. 정의된 모델에 따라 검사주기를 결정하기 위해서는 저장상태의 유도탄이 처하게 되는 각 시점(저장시작, 검사 직전/직후)에서 검사장비의 영향을 고려한 저장신뢰도를 계산할 수 있어야 한다.

다음은 각 시점에서의 기대고장 횟수 계산을 통한 저장신뢰도 계산 과정을 보여 준다.

· 최초 저장 시작시점에서의 기대고장 횟수( $F_0$ )

$$F_0 = -\ln(P_0)$$

· 최초 저장 시작시점에서의 저장신뢰도( $P_0$ )

$$P_0 = \exp(-F_0)$$

· 한 번의 검사주기( $T$ ) 동안의 고장 가운데 주기검사에서 발견되지 않는 기대고장 횟수( $F_p$ )

$$F_p = (1-r)F_1 + \left(\frac{\beta-\alpha}{1-\alpha}\right) \times F_2 + (1-r) \left(\frac{1-\beta}{1-\alpha}\right) \times F_2 + F_3 - \ln(1-d)$$

· 첫 번째 주기검사 직전의 기대고장 횟수( $F_{1a}$ )

$$F_{1a} = \text{최초 저장시작시점에서의 기대고장 횟수} + \text{저장기간 동안의 기대고장 횟수} = F_0 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \times T = F_0 + (F_1 + F_2 + F_3)$$

· 첫 번째 주기검사 직후의 기대고장 횟수( $F_{1b}$ )

$$F_{1b} = \text{최초 저장시작시점에서의 기대고장 횟수} + \text{첫 번째 주기검사에서 발견되지 않은 기대고장 횟수} = F_0 + F_p$$

· 두 번째 주기검사 직전의 기대고장 횟수( $F_{2a}$ )

$$F_{2a} = \text{최초 저장시작시점에서의 기대고장 횟수} + \text{첫 번째 주기검사에서 발견되지 않은 기대고장 횟수} + \text{주기검사사이의 저장기간 동안의 기대고장 횟수} = F_0 + F_p + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \times T = F_0 + F_p + (F_1 + F_2 + F_3)$$

· 두 번째 주기검사 직후의 기대고장 횟수( $F_{2b}$ )

$$F_{2b} = \text{최초 저장시작시점에서의 기대고장 횟수} + \text{첫 번째 주기검사에서 발견되지 않은 기대고장 횟수} + \text{두 번째 주기검사에서 발견되지 않은 기대고장 횟수} = F_0 + 2 \times F_p$$

- $N$  번째 주기검사 직전의 기대고장 횟수( $F_{Na}$ )
 
$$F_{Na} = \text{최초 저장 시작시점에서의 기대고장 횟수} + \text{첫 번째 주기검사에서 발견되지 않은 기대고장 횟수} + \dots + (N-1)\text{번째 주기검사에서 발견되지 않은 기대고장 횟수} + \text{주기검사 사이의 저장기간 동안의 기대고장 횟수}$$

$$= F_0 + (N-1) \times F_p + (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \times T$$

$$= F_0 + (N-1) \times F_p + (F_1 + F_2 + F_3)$$
- $N$  번째 주기검사 직후의 기대고장 횟수( $F_{Nb}$ )
 
$$F_{Nb} = \text{최초 저장 시작시점에서의 기대고장 횟수} + \text{첫 번째 주기검사에서 발견되지 않은 기대고장 횟수} + \dots + N\text{번째 주기검사에서 발견되지 않은 기대고장 횟수}$$

$$= F_0 + N \times F_p$$
- $N$  번째 주기검사 직전의 저장신뢰도( $R_{Na}$ )
 
$$R_{Na} = \exp[-\{F_0 + (N-1) \times F_p + (F_1 + F_2 + F_3)\}]$$
- $N$  번째 주기검사 직후의 저장신뢰도( $R_{Nb}$ )
 
$$R_{Nb} = \exp[-\{F_0 + N \times F_p\}]$$

유도탄 저장신뢰도 유지를 위한 검사주기는  $N$  번째 주기검사 직전의 저장신뢰도( $R_{Na}$ )와  $N$  번째 주기검사 직후의 저장신뢰도( $R_{Nb}$ ), 그리고 저장신뢰도에 대한 목표값을 서로 비교하여 요구사항을 만족하는 최대의  $T$  값으로 결정한다.

참고로 이 결정모델에 있어서 다음과 같이 정비개념이나 창 시설에서의 정비능력이 따른 두 가지의 Special Case 를 고려할 수 있다.

· **Special Case I**

만약 주기검사가 탄약고가 아닌 창에서 이루어지는 특수한 경우에는 Unit 2에 해당하는 모든 품목에 대한 기능검사가 가능하다. 따라서 한 번의 검사주기( $T$ ) 동안의 고장 가운데 주기검사에서 발견되지 않는 기대고장 횟수  $F_p$ 는 다음과 같이 새롭게 정의된다.

$$F'_p = (1-r)F_1 + (1-r)F_2 + F_3 - \ln(1-d)$$

· **Special Case II**

또 다른 특수한 경우로서 창에서의 정비가 완전하여 모든 검사 가능한 고장에 대한 수리가 완전하게 이루어진다면 위 모델에서의  $r$ 값이 1이 되므로  $F_p$  및 Special Case I의  $F'_p$  산출 식은 각각 다음과 같이 된다.

$$(r = 1 \text{ 일 때의 } F_p); F''_p = \left(\frac{\beta - \alpha}{1 - \alpha}\right) \times F_2 + F_3 - \ln(1-d)$$

$$(r = 1 \text{ 일 때의 } F'_p); F'''_p = F_3 - \ln(1-d)$$

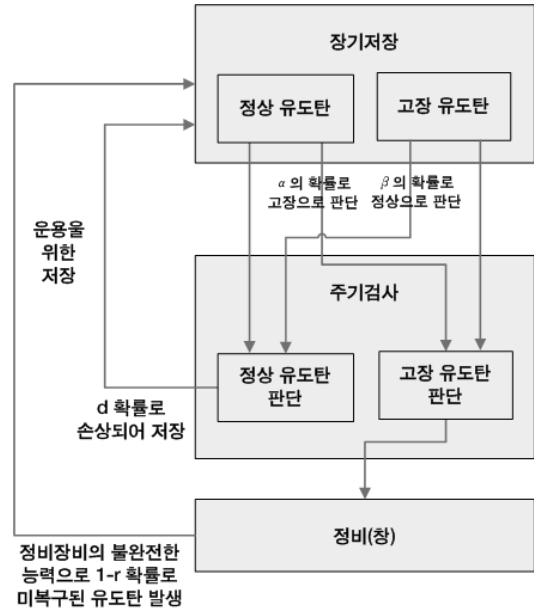


그림 3. 유도탄 검사주기 결정모형

2.4 시뮬레이션 모델

2.4.1 개요

2.3절의 유도탄 검사 주기 모델을 실제 시뮬레이션 모델에 적용하기 위해서는 다음 특징을 모델링해야 한다.

첫 번째, 유도탄 검사 장비의 불완전성으로 인해 고장난 유도탄을 정상으로 판단할 수 있으며, 정상 유도탄을 고장으로 판단할 수 있다.

두 번째, 유도탄의 주기검사 시 검사자의 부주의 및 장비사용 미숙으로 인해 유도탄에 손상을 발생시킬 수 있다.

세 번째, 유도탄 검사결과 고장으로 판정된 유도탄의 정비 시 정비자 및 정비장비의 오류로 인해 불완전하게 정비될 수 있다.

상기와 같은 특징을 고려하여 전체 흐름을 도식화 하면 그림 3 유도탄 검사주기 결정모형과 같다. 본 모델을 시뮬레이션 프로그램으로 모의하기 위해 전체 유도탄의 생산으로부터 배치, 주기검사소로의 입고 및 정비를 아래와 같이 모델링하였다.

2.4.2 생산공장 모델

그림 4는 생산공장 모델을 도식화한 것으로써 유도탄 생산으로부터 부대배치까지의 과정을 나타내고 있다.

생산 공장은 매년 균등하게  $N$ 를 생산하여 배치해야 함으로 매년 초에 생산 공장은 그 해 생산될 물량 8760시간

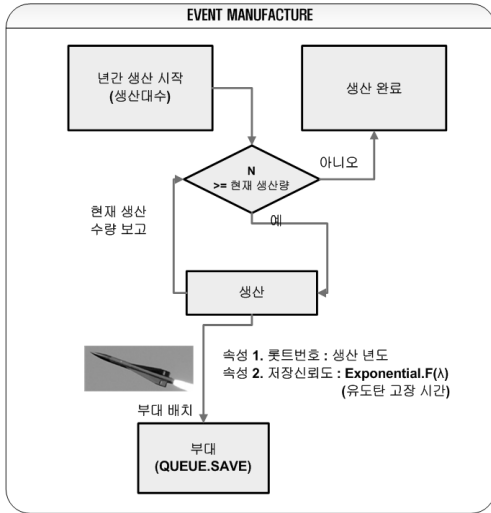


그림 4. 생산공장 모델

에 대해 균등하게 분배하여 생산시간을 할당한다. 생산된 유도탄은 2가지 속성을 갖는다. 첫 번째는 해당 유도탄의 롯데번호이며, 두 번째는 유도탄의 저장신뢰도이다. 롯데 번호는 편의상 생산 년수를 기준으로 부여하며, 저장신뢰도는 Exponential.F( $\lambda$ )인 난수로 생성된 고장 예약시간을 할당 받는다. 두 속성을 갖는 유도탄은 부대(QUEUE.SAVE)에 배치된다. 생산공장 모델은 시뮬레이션 프로그램 내에서 EVENT MANUFACTURE 함수에 프로그래밍 되었다.

### 2.4.3 주기검사소 모델

부대에 배치된 유도탄은 일정 시점에 주기검사소로 보내어지고, 주기검사소는 유도탄을 검사하여 고장으로 판정된 유도탄은 정비장으로 입고되고, 정상으로 판정된 유도탄은 다시 부대로 배치된다. 유도탄 검사주기 결정모델에 맞춰 다음과 같은 가정 사항을 기준으로 모델링하였다.

· 가정 사항

- ① 주기검사소는 Unit1 품목에 대해서만 검사
- ② 주기검사소는 정상유도탄 중  $\alpha$  확률만큼 고장유도탄으로 판단하여 정비장으로 입고
- ③ 주기검사소는 고장유도탄 중  $\beta$  확률만큼 정상유도탄으로 판단하여 부대로 배치
- ④ 주기검사소는 취급부주의로 정상으로 판단된 유도탄 중  $d$  확률만큼 고장이 발생하여 부대로 배치

가정 사항①은 주기검사소가 Unit1 품목에 대해서만 검사하는 것으로 주기검사소로 이송된 유도탄은 속성으

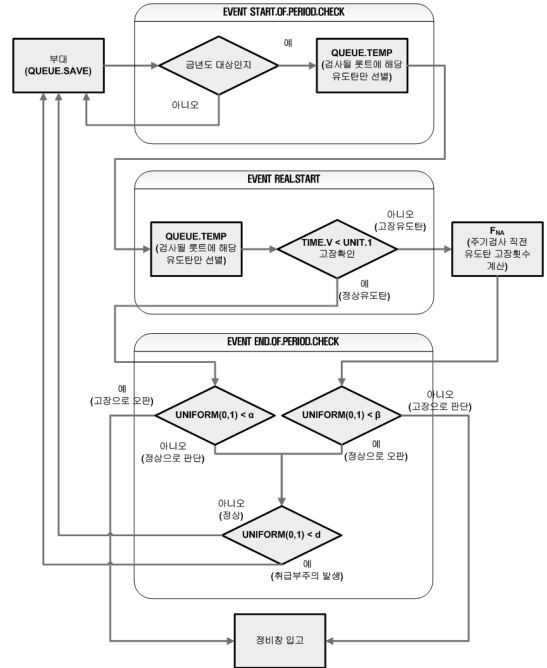


그림 5. 주기검사소 모델

로 가진 저장신뢰도인 고장예약시간 중 Unit1 품목에 대한 시간과 현재 시간을 비교하여 고장예약시간이 현재시간보다 작을 경우 고장으로 판단한다.

가정 사항②는 주기검사소가 정상으로 판단한 유도탄 중  $\alpha$  확률만큼 고장으로 판단하게 하기 위해, 가정 사항①로 정상으로 판단한 유도탄이 부대로 이송될 때, Uniform.F(0,1)의 난수를 발생하여 해당 난수가  $\alpha$ 보다 작을 경우 고장으로 판단하여 정비장으로 입고하도록 하였다.

가정 사항③은 주기검사소가 고장으로 판단한 유도탄 중  $\beta$  확률만큼 고장으로 판단하게 하기 위해, 가정 사항①로 고장으로 판단한 유도탄이 정비장으로 이송될 때, Uniform.F(0,1)의 난수를 발생하여 해당 난수가  $\beta$ 보다 작을 경우 정상으로 판단하여 부대로 배치하도록 하였다.

가정 사항④는 정상인 유도탄이 주기검사소에서 취급부주의로 인해  $d$  확률로 발생하는 고장을 구현하기 위해, 가정 사항①, ③으로 정상으로 판단한 유도탄이 부대로 이송될 때, Uniform.F(0,1)의 난수를 발생하여 해당 난수가  $d$ 보다 작을 경우 고장을 유발하여 부대로 배치하도록 하였다. 고장을 유발하는 부분은 시뮬레이션 상에서 고장예약시간을 현재 시간보다 이전으로 설정하여, 다음 검사시 이미 고장인 것으로 판단하게 하였다.

상기의 가정 사항을 포함한 주기검사소의 모델은 그림 5

주기검사소 모델과 같다.

주기검사 시점으로 설정된 시간이 되면 주기검사소는 부대(Queue.SAVE)에 있는 유도탄 중 검사 대상 로트의 유도탄을 임시저장소(Queue.TEMP)에 저장한다. 임시저장소(Queue.TEMP)의 유도탄을 순차적으로 빼내어 현재시간과 UNIT1 품목의 고장예약시간(UNIT1)을 비교하여 고장예약시간이 현재시간보다 작을 경우 고장으로 판단하여  $F_{NA}$ (주기검사 직전 유도탄 고장횟수)를 1 증가시키고, 고장 난 유도탄은 한 개의 난수를 발생시켜  $\beta$ 와 비교하여  $\beta$ 보다 클 경우 고장으로 판단하여 정비창으로 입고하고,  $\beta$ 보다 작을 경우 정상으로 오판단하여 부대로 이송된다. 단, 정상으로 판단된 경우 취급부주의 발생 여부를 확인을 위해 한 개의 난수를 발생시켜  $d$ 와 비교하여  $d$ 보다 작을 경우 고장을 발생시켜 부대로 이송하고  $d$ 보다 클 경우 바로 부대로 이송한다. 임시저장소(Queue.TEMP)의 유도탄을 순차적으로 빼내어 현재시간과 UNIT1 품목의 고장예약시간(UNIT1)을 비교하여 고장예약시간이 현재시간보다 클 경우에는 정상으로 판단하고, 정상인 유도탄은 한 개의 난수를 발생시켜  $\alpha$ 와 비교하여  $\alpha$ 보다 작을 경우 고장으로 오판하여 정비창으로 입고하고,  $\alpha$ 보다 클 경우 정상으로 판단하여 부대로 이송된다. 역시, 정상으로 판단된 경우에는 취급부주의의 발생 여부를 확인을 위해 한 개의 난수를 발생시켜  $d$ 와 비교하여  $d$ 보다 작을 경우 고장을 발생시켜 부대로 이송하고  $d$ 보다 클 경우 바로 부대로 이송한다.

주기검사소 모델은 시뮬레이션 프로그램 내에서 EVENT START.OF.PERIOD.CHECK, EVENT REAL.START, EVENT END.OF.PERIOD.CHECK 함수에 프로그래밍 되었다.

### 2.4.4 정비창 모델

정비창은 주기검사소에서 보낸 고장유도탄에 대해 UNIT1 과 UNIT2에 대해 검사하고 고장정비를 수행한다. 그러나, 정비창은 정비과정의 불완전성으로 인해  $r$ 확률로 고장 복구되고  $1-r$  확률만큼 고장복구에 실패한다. 정비창 모델을 그림 6으로 도식화 하였다.

주기검사소로부터 입고된 유도탄은 정비창에서 한 개의 난수를 발생하여  $1-r$ 과 비교하여  $1-r$ 보다 작을 경우 고장복구가 미완료된 것으로 판단하고,  $1-r$ 보다 클 경우 고장복구가 완료된 것으로 판단한다. 고장복구가 완료되면 유도탄의 저장신뢰도가 회복되도록 하기위해 유도탄의 속성인 고장예약시간을 EXPONENTIAL.F( $\lambda$ )의 난수를 한 개 생성하여 새로 설정한다.

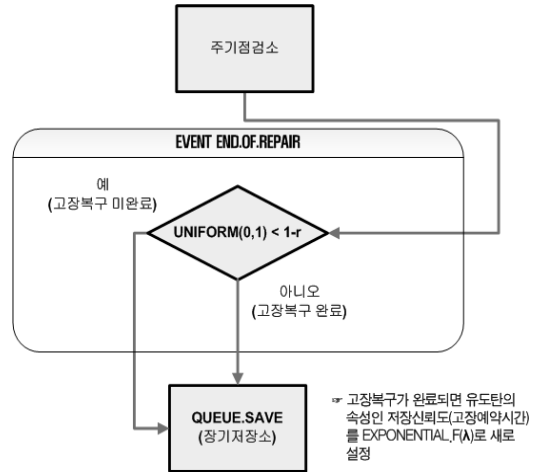


그림 6. 정비창 모델

표 1. 입력변수

구분	설명
NUM.OF.REP	총 시행횟수
TIME.TO.STOP.SIM	1회 시행에 소요되는 시간 정의
MS.MTBF	유도탄 고장율(10 <sup>6</sup> 시간 기준)
SIZE.OF.LOT	단일 로트의 유도탄 수량
NUM.OF.LOT	로트의 수
TIME.TO.TEST	검사 주기
RATE.UNIT1	유도탄 UNIT1 비율
RATE.UNIT2	유도탄 UNIT2 비율
RATE.UNIT3	유도탄 UNIT3 비율
TEST.EQUIP.PERFORM	정비장비로 복구 성공 확률
RATE.OF.CHECK.FAIL	주기 검사시 손실확률
RATE.OF.A	$\alpha$ 오류 확률
RATE.OF.B	$\beta$ 오류 확률

정비창 모델은 시뮬레이션 프로그램 내에서 EVENT END.OF.REPAIR 함수에 프로그래밍 되었다.

### 2.4.5 입출력변수

시뮬레이션 프로그램에 포함된 입력변수는 표 1 입력 변수와 같다.

시뮬레이션 실행 후 시뮬레이션 결과값을 도출하기위한 출력변수는 다음 표 2와 같다.

상기의 표 1의 입력변수에 대해 유도탄 주기검사 모델 계산을 위한 MATLAB 계산식과 시뮬레이션 모델에 표 3과 같이 적용하였다.

표 2. 출력변수

구분	설명
TOTAL.NUM.OF.CHECK.MS	총 유도탄 검사 횟수
TOTAL.NUM.OF.BE.FAIL	총 유도탄 주기검사 직전 고장수
TOTAL.NUM.OF.AF.FAIL	총 유도탄 주기검사 직후 고장수
AVE.REL(1)	유도탄 주기검사 직전 저장신뢰도
AVE.REL(2)	유도탄 주기검사 직후 저장신뢰도
AVERAGE.NUM.OF.YEAR.FAIL	연간 유도탄 고장 수
YEAR.AVE.REL	연간 유도탄 가용 확률

표 3. 주요 입력변수 정의

구분	입력값
NUM.OF.REP	10,000
TIME.TO.STOP.SIM	87600(10년)
MS.MTBF	4
SIZE.OF.LOT	200
NUM.OF.LOT	4
TIME.TO.TEST	4.3
RATE.UNIT1	0.95
RATE.UNIT2	0.04
RATE.UNIT3	0.01
TEST.EQUIP.PERFORM	1
RATE.OF.CHECK.FAIL	0.01
RATE.OF.A	0.02
RATE.OF.B	0.05

### 2.5 유도탄 주기점검 모델 시뮬레이션 결과

수리적인 모델인 유도탄 주기검사 모델과 시뮬레이션으로 구성된 모델 비교를 통해 시뮬레이션 모델이 주기검사 모델의 수리적인 해석치를 제대로 구현하는지 입증 및 검증하였다. 보충탄에 대한 요구사항을 10년, 저장기간 동안 정상작동확률 85% 이상으로 정의하자. 이때 유도탄의 저장신뢰도 기준의 MTBF를 250,000시간으로 가정할 경우, 10년 저장 후 70% 정도의 정상작동 확률을 나타내 소요군의 요구사항을 만족하지 못할 것이다. 소요군 요구사항을 만족시키기 위해 최적 주기검사 기간을 산출하여 보자. 표 3을 기준으로 MATLAB을 활용하여 상기 수식의

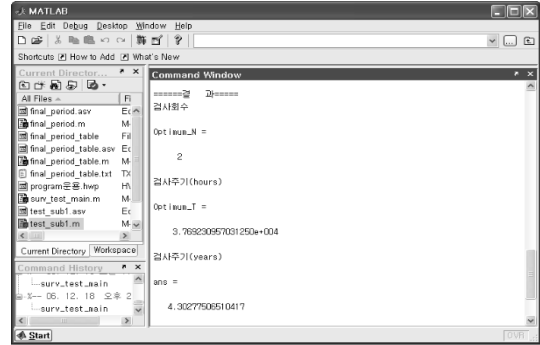


그림 7. MATLAB를 활용한 최적해 결과

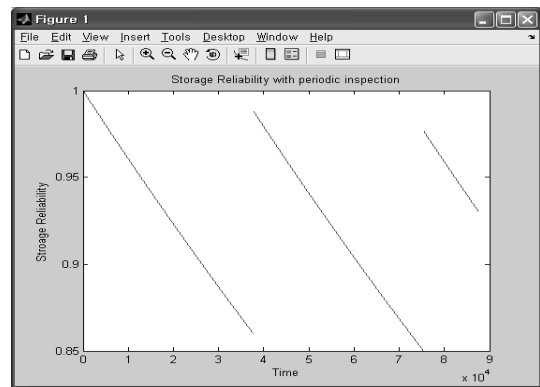


그림 8. 검사주기 결정모델 실행결과 그래프

표 4. 시뮬레이션 결과값

구분	1회	2회
주기 검사 직전 저장신뢰도	86.02%	85.15%
주기 검사 직후 저장신뢰도	99.00%	98.86%

최적 해를 찾으면 그림 7. MATLAB를 활용한 최적해 결과와 같이 4.3년이 나타난다. 4.3년을 기준으로 검사주기 결정모델에 대한 그래프를 그리면 그림 8과 같다.

그림 8의 결과와 같이 4.3년을 기준으로 주기검사를 실행하면 수학적으로 2번째 검사 시 85%를 나타낸다. 이를 기준으로 시뮬레이션 상에서 4.3년 기준으로 주기검사를 수행하여 보았다. 시뮬레이션 프로그램으로 수행한 주기검사 결과는 표 4 시뮬레이션 결과값과 같다.

그림 8과 표 4를 비교하면 1회 검사시 약 86%의 주기검사 직전 저장신뢰도가 산출되고 2회 검사시 약 85%의 주기검사 직전 저장신뢰도가 산출됨을 알 수 있으며, 이를 통해 현재의 시뮬레이션 모델이 유도탄 주기점검 모델에 근사하게 구현하고 있음을 알 수 있다.



### 3. 제약사항을 고려한 검사주기 결정모델

#### 3.1 고려 사항

소요군에서 유도탄 보증을 위한 주기검사소 및 정비장 입고를 위해서는 추가적인 업무와 시간이 고려되어야 하며 보증탄의 주기검사 및 정비를 보다 현실적으로 모델링 하기 위해서는 주기검사와 정비 사이에 발생 가능한 소요 시간과 주기검사소 및 정비장의 수용능력이 고려되어야 한다. 또한, 실제 군이 보증유도탄을 운용, 정비하는 동안에 운용시간과 휴일 등이 고려되어야 한다. 가령, 소요군은 CC 유도탄을 훈련, 운용 등의 여러 시간을 고려하여 기본적인 연간운용시간을 배정하며, 휴일 등의 시간에는 해당 유도탄을 주기점검소로 보내지 않는다. 이러한 업무와 시간이 고려되면 유도탄 자체의 저장신뢰도가 주기점검에 의해 개선되는 시간은 우리가 예상했던 시간보다 늦춰질 것으로 예상되며, 이에 따른 추가 소요시간이 실제 저장신뢰도에 어느 정도 영향을 미치는지에 대해 예측되어야 할 것이다. 또한 앞서 언급한 제약사항들이 유도탄의 저장신뢰도와 운용 유지 측면에서 고려되어야 할 대안을 분석하여 보자.

현재 유도탄의 고장에 의한 시간이외에 실제 소요군의 여건상 다음과 같은 시간이 고려되어야 한다. 첫 번째는 주기검사를 위한 이동시간이 고려되어야 한다. 두 번째는 주기검사 자체에 소요되는 시간이 고려되어야 하고, 세 번째는 주기검사에 의해 고장으로 판정된 유도탄의 정비행위로 인해 발생하는 시간이 고려되어야 한다. 또한, 네 번째는 연간운용시간과 연간 휴일이 고려되어야 한다. 이러한 네 가지 유형의 추가 소요시간을 고려한 상태에서의 시뮬레이션 프로그램을 설명하고 추가 소요시간을 고려하지 않은 모델과 비교 분석을 수행하였다.

#### 3.2 주기검사소 및 정비장 모델링

각 부대는 주기검사소로 유도탄을 보내기 전에 자신의 현재 시간 상태를 확인하여 현 시간이 운용시간과 휴일시간인 경우 주기검사소로 유도탄을 보내지 않으며, 운용시간과 휴일시간을 제외한 시간인 경우에 주기검사소로 유도탄을 이송한다. 이를 위해 부대(Queue.SAVE)에서 현재 시간을 확인하기 위해 그림 9와 같은 추가 결정을 수행한다.

주기검사소는 각 부대에 배치된 유도탄이 주기검사소로 이동하는데 시간이 소요될 것이며, 주기검사 자체를 수행하는데 시간이 소요된다. 그림 9는 주기검사소의 추가 모델링을 나타낸다. 그림 9와 같이 부대(Queue.SAVE)

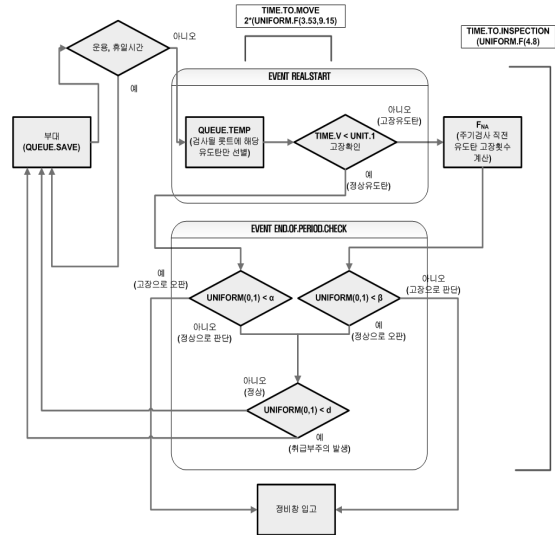


그림 9. 주기검사소 추가 모델링

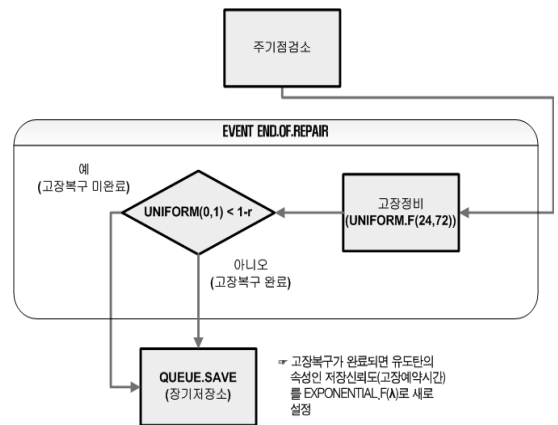


그림 10. 정비장 추가 모델링

에서 검사 대상을 선별하는 임시저장소(QUEUE.TEMP)로 보내진 유도탄이 실제 검사를 받는 고장 확인시 왕복 3.5시간-9.15시간이 소요되어  $2 * UNIFORM.F(3.5, 9.15)$ 의 추가시간으로 스케줄링되며, 주기검사를 받는데 소요되는 시간은 4시간에서 8시간으로 소요되어  $UNIFORM.F(4,8)$  시간으로 스케줄링된다.

정비장은 주기점검소에서 고장으로 판정된 유도탄을 정비하며, 이에 대한 소요시간이 추가된다. 정비장에서 정비시간은 1일에서 3일로 설정하였으며,  $UNIFORM.F(24, 72)$ 의 추가시간을 스케줄링하였다.

상기의 모델링 결과를 입력하는 변수는 표 5. 추가시간 입력변수와 같이 정의되었다.

**표 5. 추가시간 입력변수**

구분	설명	변수 입력
TIME.TO.MOVE	주기검사 이동 시간	2*UNIFORM.F(3.53,9.15)
TIME.TO.INSPECTION	주기검사 소요 시간	UNIFORM.F(4,8)
TIME.TO.REPAIR	정비 시간	UNIFORM.F(24,72)

주기검사소와 정비창의 모델에는 각각의 대기행렬을 추가하고, 검사소와 정비창의 용량을 증가시킬수 있도록 하여, 실행시 나타날 수 있는 문제점을 개선하고 대안을 도출 가능토록 구성하였다.

### 3.3 시뮬레이션 실행

부대의 운용시간 및 휴일시간을 고려하고, 주기검사로 이동하는 시간, 검사를 위한 소요시간과 정비창의 정비시간을 포함한 시뮬레이션을 수행하여, 기존 모델의 시뮬레이션 결과값과 비교하여 보자.

표 6은 제약사항이 있을 경우와 없을 경우를 비교한 표이다. 제약사항이 추가적으로 모델링된 시뮬레이션 결과값도 요구 저장신뢰도를 만족하고 있다. 단, 제약사항이 없을 경우에 비해 저장신뢰도가 하락하는 결과를 나타내고 있으며, 제약사항이 보증탄의 저장신뢰도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

상기와 같은 결과가 나타나는 이유를 검토하기 위해 주기검점소와 정비창의 대기행렬의 상태를 확인하여 보자. 제약사항이 없을 경우에는 저장중인 보증탄이 일괄적으로 검사/정비되기 때문에 대기행렬이 존재하지 않는다. 제약사항이 있을 경우에 주기검사와 정비를 위한 대기행렬의 결과 값은 다음과 같다.

표 7에는 시뮬레이션 결과 주기검사와 정비를 받기 위해 대기하는 평균 보증탄의 수와 각 보증탄들이 평균적으로 대기하는 시간이 나타나 있다. 먼저 주기검사소의 대기행렬에 대한 결과값을 보면 주기검사를 위해 대기하는 평균 보증탄의 수와 평균대기 시간이 크게 나타남을 볼 수 있다.

이러한 결과는 보증탄의 운용 중 주기검사를 위해 주기검사소로 입고되면 평균적으로 14대 이상의 대기 중인 유도탄이 발생하고, 630여 시간 만큼 대기 후 검사를 수행하는 상황이 발생하는 것이다. 두 번째 대기행렬인 정비창에서의 대기행렬에 대한 결과값에서는 평균 대기시간이 약 10시간이 소요되는 것으로 나타난다. 이러한 결과는 고장판단으로 인해 정비 업무를 필요로 하는 각 보증탄들은 정비를 받기위해 평균적으로 10시간동안 대기

**표 6. 추가 모델링 시뮬레이션 결과값 비교**

구분		1회	2회
제약사항이 없을 경우	주기 검사 직전 저장신뢰도	86.02%	85.15%
	주기 검사 직후 저장신뢰도	99.00%	98.86%
제약사항이 있을 경우	주기 검사 직전 저장신뢰도	85.58%	85.11%
	주기 검사 직후 저장신뢰도	98.98%	98.86%

**표 7. 대기행렬의 상태**

구분		유도탄 수 및 시간
주기검사소 대기행렬	평균 대기 유도탄 수	14.58
	평균 대기 시간	634.26
정비창 대기행렬	평균 대기 유도탄 수	0.04
	평균 대기 시간	10.99

**표 8. 대기행렬의 상태**

구분			대기 유도탄 수 및 대기시간
검사소 1 정비창 1	검사소	평균 대기 유도탄 수	14.58
		평균 대기 시간	634.26
	정비창	평균 대기 유도탄 수	0.04
		평균 대기 시간	10.99
검사소 2 정비창 1	검사소	평균 대기 유도탄 수	0.00
		평균 대기 시간	0.05
	정비창	평균 대기 유도탄 수	0.01
		평균 대기 시간	1.62
검사소 2 정비창 2	검사소	평균 대기 유도탄 수	0.00
		평균 대기 시간	0.00
	정비창	평균 대기 유도탄 수	0.00
		평균 대기 시간	0.13

하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 통해 유도탄 정비 시 대기시간 발생으로 인해 고장으로 판단된 유도탄의 정비가 지연되며, 따라서 일정 수준의 저장신뢰도 하락과, 가용 보증탄에 영향을 미칠 것이라 예상할 수 있다.

표 6과 7의 결과값을 통해서 제약사항을 고려하였을 경우 제약사항이 없는 보증탄에 비해 저장신뢰도가 낮게 나타나며, 정비 시 대기 시간이 발생함으로써 각 부대는 그만큼의 시간동안 정상적인 부대 운용을 하지 못하는 결과를 갖게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 주기검사소 및 정비창의 용량을 증설하였으며, 표 8에 각 대안들에 대한 시뮬레이션 결과가 나타나 있다.

표 8을 보면 주기검사소와 정비창이 1개인 경우에 평

표 9. 정비창이 2개인 경우의 저장신뢰도

구분	1회	2회
주기 검사 직전 저장신뢰도	85.99%	85.16%
주기 검사 직후 저장신뢰도	99.00%	98.86%

균 대기시간으로 인해 주기검사 및 정비 시 평균 소요시간이 증가하여 부대 운용에 어려움이 있으나, 주기검사소 및 정비창이 2개인 경우에는 이러한 문제를 상쇄시킬 수 있으며, 표 9에 나타나 있는 검사소 및 정비창이 2개인 경우의 저장신뢰도가 표 4의 수리적인 분석값에 근접해 짐을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 보증유도탄의 개념과 적정 저장신뢰도를 유지하는 최적 검사주기에 대하여 살펴보았다. 그리고, 현 보증탄 개념 하에서 최적 검사 주기 산출을 위한 최적해 도출과 최적 해에 부합하는 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 추가적으로 유도탄의 주기검사를 위해 발생할 수 있는 이동시간, 주기검사 시간, 정비 시간과 실제 소요군의 운용시간 및 휴일시간으로 인한 제약사항을 고려한 시뮬레이션 모델을 개발함으로써, 주기검사 및 정비로 인해 나타날 수 있는 상황을 모의 하였다. 우리는 상기 제약사항을 고려한 시뮬레이션 모델을 통해 시뮬레이션 수행 간 도출되는 다양한 데이터를 수집할 수 있었으며, 이를 통해 저장신뢰도 감소와 대기 유도탄 시간 및 유도탄 수에 미치는 영향을 예측함으로써, 부대의 정상적인 운용을 위한 대안으로 주기검사소 및 정비창의 용량이 증설되어야 함을 제시하였다.

본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 모델은 실제 유도탄이 배치되는 유도탄 운용 부대의 특성을 제약사항으로 적용가능하다. 더욱이, 시뮬레이션 수행 간 도출되는 대기 시간, 대기 수, 정비 시간 등 과 같이 다양한 데이터 수집을 통해 운용 부대에서 예상되는 여러 문제점 파악 및 원인 분석이 용이하다. 이와 같은 장점을 통해, 본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 모델은 다양한 부대에 기 배치 및 신규 개발되는 보증유도탄에 대한 활용도가 높을 것으로

예상한다. 먼저 기 배치되어 이미 유도탄 점검 프로세스가 갖춰진 보증유도탄의 경우 적용 중인 검사주기의 검증뿐만 아니라 점검 프로세스의 시뮬레이션을 통해 적용 중인 프로세스가 가지고 있는 가시적인 문제 외에 잠재적인 문제점 및 원인 파악이 가능하다. 또한, 신규 개발되는 유도탄에 대해서는 초기 예측 신뢰도를 활용하여 유도탄이 배치되는 부대의 특성을 반영한 최적 검사 주기와 적정 검사소 및 정비창을 설정하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

향후 시뮬레이션 모델의 확장을 통해 추가적인 요구사항과 현실을 반영하고, 실제 야전의 데이터를 수집 및 분석하여 다양한 대안 선택을 위한 비용대 효과 분석 등의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

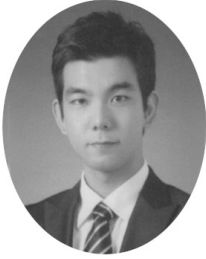
1. 조용석(2001), *저장신뢰도 유지를 위한 최적 2단계 주기적 검사정책*, 박사학위논문, 충남대학교.
2. 김효창, 조용석(2005), “유도탄(보증탄) 신뢰도 보증을 위한 검사주기 결정모델”, 제 13차 유도무기 학술대회, pp. 96-100.
3. Homer, L. H. and Billy, R. S. (1980), *Improved Hawk Certified Round Mid-Life Status Report*, Defense Technical Information Center.
4. Ito, K. and Nakagawa, T. (1992), “Optimal inspection policies for a system in storage”, *Computers and Mathematics with Applications*, Vol. 24, No. 1/2, pp. 87-90.
5. Ito, K. and Nakagawa, T. (1995), “An optimal inspection policy for a storage system with high reliability”, *Microelectronics and Reliability*, Vol. 36, pp. 875-882.
6. Ito, K. and Nakagawa, T. (2000). “Optimal inspection policies for a storage system with degradation at periodic tests”, *Mathematical and Computer Modeling*, Vol. 31, pp. 191-195.
7. Martinez, E. C. (1984), “Storage reliability with periodic test”, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 181-185.
8. Wood, B. B. (1985), *Design of Surveillance Plans for Tactical Missiles in Long Term Storage*. Defense Technical Information Center.



**이 계 신** (lks1538@lignex1.com)

2000 성균관대학교 산업공학과 학사  
2004 성균관대학교 산업공학과 석사  
2004~현재 LIG넥스원 ILS연구센터 재직

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 대기행렬



**이 연 호** (younho.lee@lignex1.com)

2008 성균관대학교 산업공학과 학사  
2010 성균관대학교 산업공학과 석사  
2010~현재 LIG넥스원 ILS연구센터 재직

관심분야 : 최적화, 모델링&시뮬레이션



**조 용 석** (cys8650@hananet.net)

2000 한양대학교 학사  
2002 한양대학교 산업공학과 석사  
2002 충남대학교 산업공학과 박사  
2002~현재 국방과학연구소, 전술유도무기 체계개발단

관심분야 : 최적화, 스케줄링, SCM, 모델링&시뮬레이션



**김 효 창** (plum1006@add.mil.kr)

2000 KAIST 학사  
2002 포항공과대학교 산업공학과 석사  
2002~현재 국방과학연구소, 전술유도무기 체계개발단

관심분야 : 최적화, 스케줄링, SCM, 모델링&시뮬레이션



**김 상 문** (sangmoon.kim@lignex1.com)

1995 성균관대학교 학사  
1995~현재 LIG넥스원 ILS연구센터 재직

관심분야 : 최적화, 모델링&시뮬레이션