

신뢰도 분석모델을 이용한 대함유도탄 검사주기 결정에 관한 연구

(A Study on Determining the periodic inspection for Anti-Ship Missile by using Reliability Analysis Model)

김 대 익(Dae-Ik Kim)* 전 건 옥(Geon-Wook Jeon)**

초 록

무기체계는 최근 고도의 신기술과 막대한 비용이 투자되어 첨단화, 정밀화, 장사정화, 은밀화, 복합 기능화의 특징을 가진 고비용 무기체계로 변화하고 있다. 이에 따라 유도무기체계의 경우도 경제적인 운용과 사용자의 안전성을 보장하는 측면에서 고도의 신뢰성이 보장되어야 한다. 따라서 유도무기체계를 개발하고 생산하는 단계에서의 신뢰도 평가뿐만 아니라 주어진 저장 환경조건이나 운용환경에서의 일정한 저장 신뢰도의 유지를 위한 기준이 제시되고 이를 유지하기 위한 최적화된 검사주기가 필요하다고 할 수 있다.

본 연구는 현재 해군에서 운용중인 대함 유도탄(Harpoon Block 1)을 대상으로 검사주기 간 고장건수 및 정비현황을 기초로 수학적 기법과 신뢰도 분석 S/W를 활용하여 저장고장률과 MTBF를 도출하고 이를 바탕으로 체계 운용유지를 위한 최적 검사주기를 결정하여 향후 대함 유도무기체계 신뢰도 예측 및 평가를 통한 검사주기 개선방안을 제시하였다.

Abstact

The main purpose of this study is to determine the optimal periodic inspection for Anti-Ship-Missile(Harpoon Block 1) fielding on Korea Navy Ship. In order to perform this study, the data from the Korea Navy (Harpoon maintenance & storage reliability) were collected from 1984 to 2004. Storage failure rate & MTBF for Harpoon block 1 were analysed by using mathematical model & reliability analysis software(Relex) and finally determined optimal periodic inspection. The suggested methodology will be used to determine and reevaluate the periodic inspection of Anti-Ship-Missiles for the Korea Navy.

KeyWords: 검사주기 (periodic inspection), 저장 신뢰도(storage reliability), 대함 유도탄 (Anti-Ship-Missile)

* 해군본부

** 국방대학교 운영분석학과

1. 서론

무기체계는 과거 단순 기능의 저비용 무기 체계에서 최근 고도의 신기술과 막대한 비용이 투자되어 첨단화, 정밀화, 장사정화, 은밀화, 복합 기능화의 특징을 가진 고비용 무기체계로 변화하고 있다. 이에 따라 신뢰도가 높은 무기 체계를 획득하고 운용하는 것은 경제적인 군 운용과 사용자의 안전성을 보장하는 측면에서 중요한 요소이다. 특히 유도무기체계의 경우 미래의 전장 환경에서 아군의 피해를 최소화하고 적군에 대한 타격을 최대화하기 위해서는 고도의 신뢰성이 보장되어야 한다. 따라서 유도무기체계를 개발하고 생산하는 단계에서의 신뢰도 평가뿐만 아니라 주어진 저장 환경조건이나 운용환경에서의 일정한 저장 신뢰도의 유지를 위한 기준이 제시되고 이를 유지하기 위한 최적화된 검사주기가 필요하다고 할 수 있다. 유도탄은 주어진 임무를 오직 한번만 수행하게 되는 “One-Shot” 시스템으로서 전원이 인가되어 임무를 수행하기 까지 오랜 시간동안 저장되는 것이 특징이다. 특히 발사될 때나 비행할 때의 극심한 환경조건에서 성공적으로 임무를 수행해야 할 뿐만 아니라 발사 대기상태 및 장기간의 함정 탑재나 육상 저장시설에서의 저장환경에서도 요구되는 저장 신뢰도¹⁾ 수준

을 유지해야 한다. 또한, 유도탄과 같이 장기간 저장 상태로 있다가 필요한 시기에 임무를 수행하는 장비는 저장 신뢰도의 유지가 특히 중요한 문제이다. 그 이유는 저장시간이 유도탄 생애의 대부분을 차지하므로 유도탄의 저장신뢰도가 임무신뢰도에 가장 많은 영향을 미치기 때문이다. 이러한 특성을 갖는 유도탄에 대해 사용군으로 부터 저장 신뢰도 요구값이 제시되는데, 시간의 경과에 따라 저장 신뢰도가 저하되는 특성으로 인해 이러한 요구사항을 만족시키지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

본 연구는 현재 해군에서 운용중인 대함 유도탄(HARPOON BLOCK 1)²⁾의 운용 자료를 바탕으로 요구되는 대함 유도탄의 저장 신뢰도를 고려하여 신뢰도 분석 모델을 이용한 최적의 검사주기를 결정하고 향후 대함 유도무기 신뢰도 예측 및 평가를 통한 검사주기 개선 방안을 제시하고자 하는데 목적이 있다. 대함 유도탄의 신뢰도 예측 및 검사주기 결정을 위한 연구방법은 다음과 같다. 첫째, 기존 문헌 연구를 통한 접근방법을 고찰한다. 둘째, 신뢰도 이론 및 검사/정비 정책과 검사주기 결정을 위한 기준을 제시한다. 셋째, 현재 운용중인 대함 유도탄의 고장자료를 수집하여 신뢰도 수학적 모형에 의한 고장분포의 추정, 고장률 산출, 적합도 검정을 통한 신뢰도를 추정한다. 넷째, 신뢰도 분석 모델 및 검사주기 결정 모델을 이

1) 저장신뢰도: 일정한 저장 기간 후 시스템이 정상적으로 작동할 확률값.

2) HARPOON BLOCK 1: 현 해군에서 운용중인 함대함 유도탄.

용하여 시스템의 신뢰도 예측 및 적정 검사주기를 산출한다. 다섯째, 이러한 연구결과 자료를 종합하여 기존의 대함 유도탄의 검사주기와 비교 분석 후 최적의 검사주기를 결정하고 향후 차기 유도무기체계 도입시 적용 가능한 검사/정비정책 의사결정 방향을 제시한다.

2. 기존 연구문헌 고찰

2.1 기존 연구 검토

기존의 연구들은 대부분 비용과 고장률을 고려하여 정비주기 및 수명/교체주기를 결정하였다. 정비주기에 관한 연구로는 최소비용 및 고장률을 고려한 예방정비주기 및 교체정비주기에 대한 타당성을 판단하고 이를 최소화 할 수 있는 정비모형을 제시하였다. 특히, 전치혁, 송홍준[7]은 시간에 따라 증가하는 고장률을 갖는 설비의 고장률 함수를 와이블로 가정하여 고장률을 추정하고 평균비용을 최소화하는 예방정비 주기와 횟수를 수치해석 방법을 이용하여 최적의 정비주기를 산출하였다.

수명 및 교체주기에 관한 연구로는 최소비용을 고려한 최적의 교체 주기를 결정하고 특히, 수리횟수 및 고장횟수에 대한 자료를 토대로 교체정책에 관한 연구가 주로 이루어졌다. Barlow & Hunter[11]는 체계의 교체시까지 최소수리를 하는 단기적 교체모형으로 교체 및 최소수리의 단위시간당 기대비용을 최소화하는

주기적 교체모형을 사용하였고, 김용필[3]은 수리 횟수에 의한 장비교환정책을 제시하였다. 하형호[8]는 장비의 누적주행거리와 운영연수를 동시에 고려하여 장비의 고장분포의 특성을 분석하여 고장분포함수를 결정하였고, 이를 이용하여 장비의 운용가용도 및 부대 가용도를 산출하여 군이 요구하는 작전운용 성능에 적합한지를 분석하고 장비의 최대수명(유효수명)을 결정하였다. 또한, K-511 군용차량의 경제수명에 대해 연구한 이해영[5], 하형호 등의 논문을 비교해보면 경제수명이 11.4~19년으로 약 8년의 차이가 발생하였으며, 지형에 의한 경제수명의 차이에서 이해영은 11.4년/16.3년(강원도/경기도)으로 약 5년의 차이가 발생하였다. 이러한 결과는 비용이나 운용 고장률 고려시 동일한 기준과 방법을 적용해도 적용자의 고려요소나 자료의 종류에 따라 그 결과가 상이함을 보여준다.

RAM 분석기법을 이용한 연구에서는 여러 가지 RAM 분석 연구사례와 고장 및 운용데이터를 수집하여 일반적으로 사용되는 수학적 모델과 RAM 분석용 모델을 활용하여 RAM 값을 산출하고 이를 가용도, 신뢰도, 정비도 측면에서 검토/분석하여 시스템의 교체시기 및 수명주기 등을 판단하였다. 허동구[9]는 K-55 자주포를 대상으로 고장 및 운용 데이터를 수집하여 일반적으로 사용되는 수학적 모델과 국방과학연구소에서 개발한 RAM 분석용 소프트웨어

어를 이용하여 RAM 값을 산출하고, 이를 활용하여 가용도, 신뢰도, 정비도 측면에서 검토, 분석하였다.

신뢰도 분석 S/W를 이용한 연구에서는 ORACLE, RELEX 등 신뢰도 분석용 S/W를 활용하여 운용 중 발생한 고장률에 대한 Field Data를 분석하고 부품의 고장분포를 추정하였으며, 시스템의 검사 및 교환주기의 적정성을 평가하여 기존의 검사 및 교환주기와 비교검토를 통한 신뢰성 향상 방안을 제시하였다. 특히, 주대용[6]은 체계적인 관리 및 분석이 이루어지지 않았던 K-55 자주포 엔진에 대하여 전체 고장률 자료를 종합하여 재분석한 후, 신뢰도 분석 모델인 수학적 방법과 RELEX를 활용하여 최적의 정비주기를 결정하였다.

2.2 기존 연구 분석

과거에는 비용만을 고려하여 주기를 선정하였으나 시간이 지남에 따라 고장률과 비용을 동시에 고려하여 주기를 선정하였다. 그러나 예방을 위한 정비 및 교체와 고장발생으로 인한 경우 비용의 차이가 발생하며, 장비의 체계와 환경조건을 고려할 수 없다. 예산 제약 하에서 주요 전투장비는 신장비로의 교체가 제한되기 때문에 운영유지비가 증가하더라도 전략적 측면에서 전투력을 유지하기 위해서는 장비의 성능이 보장되는 범위 내에서 계속 운용해야 한다. 또한, 주요 전투장비로서 경제수명을

지난 장비라고 해서 그 장비를 바로 폐기할 수는 없다. 그러므로 예산 제약 하에서 군의 전투력 발휘에 필요한 장비의 가용도를 보장하기 위해서는 신뢰도를 바탕으로 한 정비주기를 설정해야 할 필요가 있다.

따라서, 본 연구 대상인 대함유도탄(HARPOON)의 경우도 미래전에서 중요한 공격용 무기체제로 없어서는 안 될 국방자산이며 전략적 측면에서 전투력을 유지하기 위해서는 장비성능 유지를 위한 검사/정비 정책이 뒷받침되어야 한다. 이를 위해 운용 고장자료를 분석하고 신뢰도 분석모델을 이용하여 고장분포 함수를 추정하여 저장 간 고장률 및 MTBF를 산출하고 최적의 검사주기를 산출하여 대함 유도탄의 경제수명을 고려한 최적의 검사주기를 결정하였다.

3. 신뢰도 이론 및 검사/정비정책

3.1 신뢰도 예측

신뢰도 예측은 어떠한 시스템의 초기 개념 형성단계부터 개발, 제조에 이르기까지 그 시스템 설계를 평가하는 방법이다. 신뢰도 예측은 개념의 선택, 부품 품질 수준의 변경, 감쇠 요소의 적절한 적용, 최신의 방법 사용 또는 입증된 방법의 사용 등 설계를 결정하기 위한 합리적인 기본 자료를 제공한다.

3.1.1 신뢰도 예측 방법

신뢰도 예측의 방법에는 정보 수집시기와 수집정보의 필요성에 따른 분류와 대상 장비의 유형이나 설계의 상태에 따라 분류할 수 있다.

가. 정보의 수집시기와 필요성에 따른 방법

- (1) 유사장비/회로 신뢰도 예측
- (2) AEG(active element group method) 예측
- (3) 부품수를 이용한 신뢰도 예측
- (4) 부품 스트레스 분석

나. 대상 장비 유형 및 설계 상태에 따른 방법

- (1) MIL-HDBK-217
 - part stress analysis
 - part count analysis
- (2) NPRD-95
- (3) Bellcore(현 Telcordia)
- (4) PRISM

3.2 신뢰도 분석기법

3.2.1 수학적 모델을 이용한 산출

수학적 모델을 이용하는 방법은 무기체계의 시험평가지 산출된 시험자료나 운용시 산출된 야전운용데이터를 이용하여 신뢰도를 산출하는 것이다.

가. 자료 수집: 시험평가 및 야전 운용 자료를 통해 시스템 구성품의 고장데이터를 수집하는 단계

나. 적합도 검증: 수집된 고장시간 자료가 가정

한 모집단의 분포에 적합한가를 검정하는 단계

다. 부품 및 구성품의 신뢰도 계산: 고장률이 어떤 분포를 따르는지 적합도 검증을 한 후 구성품의 MTBF 및 신뢰도를 산출하는 단계

라. 신뢰도 모델분석 및 계산: 시스템을 구성하는 부품이 상호 어떤 모델로 구성되어 있는가를 분석하는 단계

3.2.2 신뢰도분석 프로그램을 이용한 산출

현재 주로 사용되고 있는 신뢰도 전문 예측 프로그램³⁾은 다음 표와 같다.

<표 1> 신뢰도 전문 분석용 S/W

구 분	내 용
LDAS (Life Data Analysis System)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국방과학연구소에서 개발한 신뢰도 산출모델 ○ 시험 운용 시 발생하는 자료에서 신뢰도와 정비도 산출 ○ 기술 및 운용시험 평가, 야전 운용시 획득되는 자료 중 고장시점의 장비 운용시간과 정비작업에 필요한 정비 인시 등 가장 기본적인 고장 및 정비 자료에 통계적인 방법을 이용하여 MTBF를 계산하고 신뢰도 예측
RPP (Reliability Prediction Program)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신뢰도 분석규격 중 'MIL-HDBK-217'를 적용하여 분석할 수 있도록 개발 ○ 주로 군사용 장비의 신뢰도 분석을 위하여 개발되었으나 새로운 프로그램의 개발로 사용 실적 저조

3) 일반적으로 사용되는 신뢰도 전문 S/W를 요약 정리한 내용임.

Reliability Workben ch 8	<ul style="list-style-type: none"> ○ Isograph사에서 개발한 신뢰성 분석을 위한 프로그램으로 'Bellcore', 'MIL-HDBK-217' 적용 ○ RPP보다 더 세분화된 군사용 장비 및 상용 장비의 신뢰도 분석용 프로그램
Relax (Reliability Excellence)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전기, 전자 기계 및 전기/기계적 장치의 신뢰성 예측 및 분석을 수행 ○ 다양한 신뢰성 분석기법을 소프트웨어로 구현하여 시스템의 수명과 신뢰도, 가용도, FMEA, 고장계통 분석(FTA), 정비도 예측 및 수명 주기 비용분석의 설계 및 처리 능력 제공

3.3 대함 유도탄 검사/정비 정책

3.3.1 검사/정비 개요

대함 유도탄 검사종류는 정기검사, 임시검사로 구분하고 있으며 정비종류는 계획정비 및 임시정비로 분류되어 있다.

가. 정기검사

유도탄의 성능을 보장할 수 있는 기간을 고려하여 주기적으로 검사하는 것을 말하며, 제작사 권고에 따른 유형별 검사주기⁴⁾는 다음 표와 같이 설정되어 있다.

<표 2> HARPOON 유형별 검사주기

검사/정비부대	유형	주기
해군 군수사령부 병기/탄약창	함대함 H/P	4년
	지대함 H/P	4년
	공대함 H/P	6년

4) 해군 군수사령부 병기/탄약창 검사/정비 규정('04.8.1).

나. 임시검사

운용중 발생한 고장탄이나 고장 예상탄에 대한 검사로서 대상탄은 다음과 같다.

- 1) 함정/차량 BIT(Built In Test) 결과 불량탄
 - 2) 캐니스터에 심한 외부 충격을 받은 탄
 - 3) 함정/차량 적재 중 fuel oil 누유 탄
 - 4) 함상/차량 장비와 탄간의 Interface 불량탄
- 다. 계획정비

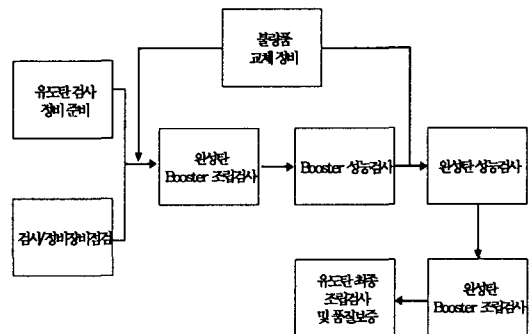
정기검사와 연계하여 실시하는 정비로서 주기는 정기검사와 동일하다.

라. 임시정비

임시검사와 연계하여 실시하는 정비로서 실시 시기는 임시검사와 동일하다.

3.3.2 검사/정비 절차

유도탄 검사/정비 절차는 다음 그림과 같다.



<그림 1> 대함 유도탄 검사/정비 절차

4. 신뢰도 분석모형의 적용

4.1 자료획득 및 분석

4.1.1 자료 획득

현재 해군에서 운용중인 대함 유도탄(HARPOON)은 1971년 미국 Mcdonell Douglas사에서 개발하여 1976년 미 해군 함대함 유도탄으로 운용되기 시작하였으며, 1979년 우리 해군에 최초 도입되기 시작하여 이후 지대함, 공대함, 잠대함 용으로 도입 운용되고 있다. HARPOON 유도탄의 검사/정비는 해군 군수사령부 병기/탄약창에서 실시하고 있으며, 검사/정비간 발생하는 검사/정비 이력 자료를 지속적으로 추적 관리하고 있다. 본 연구에서 필요한 고장 분석 자료 또한 이러한 검사주기 간 고장/정비자료를 근거로 수집하였다.

HARPOON 유도탄의 고장자료는 운용 형태 중 BLOCK 1 에 대한 자료를 수집하였고 현재 우리 해군에서 도입 운용/저장중인 유도탄을 대상으로 하였으며 검사주기 결정을 위한 자료 수집내용은 다음과 같다.

- 가. 대상 장비: HARPOON BLOCK 1
- 나. 각 형태별 운용기간: 1978. 6. ~ 계속
- 다. 수집부서: 군수사령부 병기/탄약창
- 라. 수집된 자료 내용
 - 1) 각 운용형태별 검사주기 간 고장 자료 및 신뢰도 예측 자료
 - 2) 검사주기간 주요 부품별 고장 자료

4.1.2 자료 처리

저장 간 신뢰도를 고려한 검사주기를 산출하기 위해서는 수집된 자료에서 시스템의 임무 수행 기능을 상실 또는 저하시키거나 영향을 미치지 않는 모든 가능한 고장내용을 전부 파악해야 한다. 그러나 실제로 세부적인 모든 고장을 파악한다는 것은 매우 어려운 실정이며, 만약 파악하더라도 그대로 적용하기에는 여러 가지 불합리한 경우가 있을 것이다. 그러므로 본 연구에서는 고장률, MTBF 및 신뢰도 산출에 대한 완벽한 기초자료의 수집 및 분석이 제한됨으로서 최적의 저장간 고장률, MTBF 및 신뢰도를 산출하기 위한 가정사항을 다음과 같이 설정하였다.

가. 고장/정비자료는 검사기간 중의 자료를 근거로 산출하였다. 대함유도탄(HARPOON)은 검사주기 도래시 검사/정비 절차에 의거 유도탄의 각 기능별 검사를 실시하여 고장 및 각 부품 성능 측정결과 기준치 이하 시 교체 정비를 실시하거나 검사기간 미 도래의 경우도 함정 탑재 중 BIT(Build In Test)결과 불량탄으로 판정될 경우 정비공장으로 이송 검사 실시후 교체 정비를 실시한다. 그러나 BIT 결과에 의한 교체 정비에 대한 정비기록의 구분이 모호하여 자료처리가 어려운 실정을 감안하여 검사주기 도래시 고장발생에 대한 자료만을 근거로 산출하였다.

나. 대함유도탄(HARPOON)은 일정고장률(CFR: Constant Failure Rate)를 따른다고 가정하였다. 일정고장률은 많은 부분품으로 이루어진 무기체계에서 볼 수 있는 형태로, 순간 고장률이 일정한 경우로서 고장은 우발적으로 고장이 발생하며 고장시간은 지수분포를 따른다. 따라서, HARPOON의 경우도 복잡한 부품으로 구성되어 있으며 정밀 전자 부품형태를 가지므로 일정고장률을 따르며 지수분포를 따른다고 가정하였다.

다. 대함유도탄(HARPOON)의 운용 형태 중 HARPOON BLOCK 1에 대한 연간 고장 발생자료만을 정리하여 저장간 고장률 및 MTBF 산출을 위한 고장분포 함수를 추정하였다.

라. 고장자료의 수집기간은 검사장비 도입후 자체검사를 시작한 1984년 이후부터 2004년까지로 한다.

Kolmogorov-Smirnov test(이하 K-S test)로 적합성 여부를 검정하였으나, 본 연구에서는 검사기간중 수집된 고장자료의 확률분포를 추정하기 위해 Weibull Analysis Module(Relex Software)를 이용하였으며, 분포의 모수를 추정하기 위하여 다음 <표 3>의 고장자료를 활용하였다.

<표 3> HARPOON BLOCK 1 고장자료

검사년도	검사탄수 / 고장탄수*	검사년도	검사탄수 / 고장탄수
'84년도	25 / 00	'95년도	58 / 00
'85년도	18 / 00	'96년도	48 / 00
'86년도	37 / 00	'97년도	30 / 00
'87년도	38 / 00	'98년도	47 / 00
'88년도	38 / 00	'99년도	40 / 00
'89년도	40 / 00	'00년도	38 / 00
'90년도	37 / 00	'01년도	24 / 00
'91년도	31 / 00	'02년도	23 / 00
'92년도	51 / 00	'03년도	36 / 00
'93년도	49 / 00	'04년도	30 / 00
'94년도	18 / 00	계	756 / 00

* 고장탄수는 실제 data 적용하였으나 본 <표 5>에서는 0 처리하였음.

4.2 고장 자료 분석

4.2.1 고장률 분석

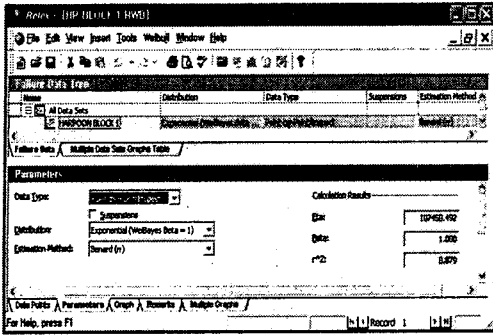
가. 고장시간분포 추정

고장자료를 근거로 신뢰도 값을 산출하기 위해서는 고장률을 산출하고 고장시간분포 함수를 추정하여야 한다. 신뢰도 산출 관련 기존 연구에서는 고장분포를 지수분포 또는 와이블 분포로 가정하고 수학적 모수추정 방법에 의해 모수추정 후 χ^2 test와

고장자료 입력화면 및 분석을 위한 파라미터는 다음 <그림 2>, <그림 3>와 같다.

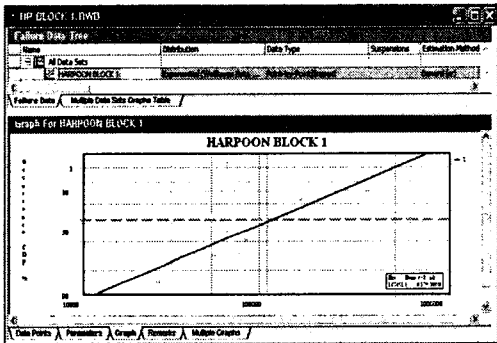
Duration	Number Failed
25280.000000	44.000000
32960.000000	44.000000
78840.000000	39.000000
105120.000000	47.000000
131400.000000	35.000000
157680.000000	47.000000
183960.000000	53.000000
	1.000000

<그림 2> 고장자료 입력화면



<그림 3> 입력 변수 화면

고장분포 함수의 모수 산출 결과는 다음 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 고장분포함수의 모수 산출결과

고장분포 함수의 모수 산출 결과를 기초로 하는 고장 분포함수 $f(t)$ 는 다음 식(1)와 같다.

$$f(t) = \left(\frac{1}{107450.492} \right) e^{-\left(\frac{t}{107450.492} \right)} \quad (1)$$

나. 적합도 검증

관측값들이 어떠한 이론적 모형을 따르는가를 판단하는 것, 다시 말해서 추출된 자료가 모집단의 분포에 적합한가를 검증하는 것을 적

합도 검증(goodness of fit test)이라고 한다. 그리고 적합도 검증에 많이 사용되고 있는 방법에는 χ^2 test와 K-S test등이 있다. 본 연구에서는 K-S test를 이용하여 분포함수의 적합도 검정을 실시하였다.

HARPOON BLOCK 1의 누적 고장시간분포함수가 어떤 분포함수를 따르는 지 검증하기 위해 먼저 Relx Weibull Module로 추정된 와이블 분포함수를 이용하여 K-S test를 실시한 결과 $D=0.119$ 로 산출되었고 허용치(Dc)는 0.0927이므로 $D_{MAX} < D_c$ 조건을 만족하지 않아 와이블 분포를 따른다고 할 수 없다. 이에 따라 Relx Weibull Module로 추정된 지수분포에서 구한 고장 누적분포함수를 이용하여 K-S test를 실시한 결과 $D=0.0889$ 로 산출되었고 허용치(Dc)는 0.0927이므로 $D_{MAX} < D_c$ 조건을 만족하므로 지수분포를 따른다고 할 수 있다.

<표 4> K-S test 검증결과

구분	고장분포	K-S 검증통계량	허용치 (Dc)	검정결과
HARPOON BLOCK 1	지수	0.0889	0.0927	적합

4.3 대함 유도탄 검사/정비 정책 결정

4.3.1 저장 신뢰도 산출 결과

HARPOON BLOCK 1의 고장자료를 활용한 고장률을 산출한 결과는 9.306×10^{-6} 이며, 저장 신뢰도는 MTBF 기준으로 107450.492 시

간으로 산출되었다. Relx Weibull Module에 의해 계산된 저장 신뢰도를 이용하여 현 시점(2004년 말 기준)에서의 10년 저장후의 정상 작동 확률을 계산해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{10년 저장 후 정상작동 확률} \\ & = \exp(-0.000009306 \times 87600) = 0.4425 \end{aligned}$$

따라서, 현재 해군에서 운용하는 HARPOON BLOCK 1의 향후 2015년까지 주기적인 점검을 실시하지 않은 경우 10년 저장 후 정상작동 확률은 44.25%로 예상된다. 즉 해군에서 요구하는 수준(10년 저장 간 0.7이상)에 미치지 못하는 수준이므로 군 요구 수준을 만족시키기 위해서는 최적의 검사주기 결정을 통한 주기적인 점검이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 앞서 분석한 고장자료를 근거로 산출된 고장률을 가지고 Matinez[14]에 의해 제시된 주기적 검사 모델을 기본 모델로 저장 신뢰도를 고려한 최적의 검사주기를 산출하였다.

4.3.2 검사주기 결정 모델 적용

가. Martinez 검사주기 결정 모델

Martinez가 제시한 모델의 특성을 정리하면 다음과 같다.

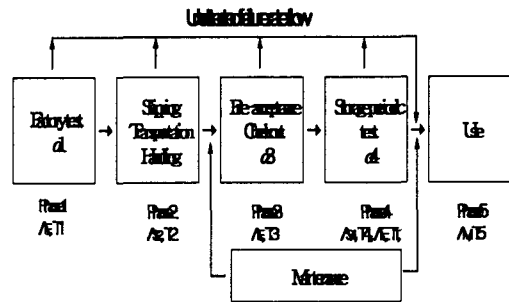
- 1) 미리 정해진 일정기간 저장후의 목표 신뢰도 값을 만족시키기 위해 주기적인 점검을 수행한다.
- 2) Storage 최초시점에서 initial failure를 갖

는다. (test damage, transportation)

- 3) 점검 장비의 성능에 따라 발견할 수 있는 고장과 발견할 수 없는 고장으로 구분되며, 주기점검 후에는 발견할 수 있는 모든 고장이 제거된 고장률을 갖는다.(발견할 수 없는 고장률은 계속 누적됨)
- 4) 주기 점검 시 damage를 입는다.
- 5) 고장이 발견되면 정비하여 복구한다.

(정비시간동안의 장비 ageing 무시)

Martinez가 제시한 검사주기 모델의 검사과정은 다음 <그림 5>과 같다.



* λ: 고장률, T: 저장시간, α: 검사효율성

<그림 5> Martinez 검사주기 모델 검사과정

Martinez가 제시한 모델의 유도과정은 다음과 같다.

△ Phase3에서의 기대고장횟수

(탐지되지 않은 기대고장횟수)

$$F_3 = (1 - \alpha_1)\lambda_E T_1 + (1 - \alpha_3)(\lambda_{SE} T_2 + \lambda_E T_3) \quad (2)$$

△ Storage 시작시점에서의 신뢰도

(지수분포 가정)

$$R = \exp(-F_3) \quad (3)$$

△ 1번의 점검주기 동안의 기대고장 횟수

$$F_P = \text{storage 기간 동안의 기대고장횟수} \\ + \text{점검동안의 기대고장 횟수 Power} \\ \text{on-off 횟수에 의한 기대고장 횟수} \\ = \lambda_{s4}T_4 + \lambda_E T_T + \lambda_C C \quad (4)$$

△ 1번째의 주기점검 직전의 기대고장 횟수

$$F(1a) = \text{Phase3에서의 기대고장횟수} + \\ \text{주기점검사이의 storage 기간 동안의} \\ \text{기대고장} \\ = F_3 + T_4 \lambda_{s4} \quad (5)$$

△ 1번째 주기점검 직후의 기대고장 횟수

$$F(1b) = \text{Phase3에서의 기대고장횟수} + \\ \text{1번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장} \\ \text{횟수} \\ = F_3 + (1 - \alpha_4)F_P \quad (6)$$

△ 2번째 주기점검 직전의 기대고장 횟수

$$F(2a) = \text{Phase3에서의 기대고장횟수} + \\ \text{1번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장} \\ \text{횟수} + \text{주기점검사이의 storage 기간 동} \\ \text{안의 기대고장} \\ = F_3 + (1 - \alpha_4)F_P + T_4 \lambda_{s4} \quad (7)$$

△ 2번째 주기점검 직후의 기대고장 횟수

$$F(2b) = \text{Phase3에서의 기대고장횟수} + \\ \text{1번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장} \\ \text{횟수} + \text{2번째 주기점검에서 발견되지 않} \\ \text{은 고장횟수} \\ = F_3 + (1 - \alpha_4)F_P + (1 - \alpha_4)F_P$$

$$= F_3 + 2(1 - \alpha_4)F_P \quad (8)$$

△ N번째 주기점검 직전의 기대고장 횟수

$$F(Na) = \text{Phase3에서의 기대고장횟수} + \\ \text{1번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장} \\ \text{횟수} + \dots + \text{(N-1)번째 주기점검에서 발} \\ \text{견되지 않은 고장횟수} + \text{주기점검사이의} \\ \text{storage 기간 동안의 기대고장} \\ = F_3 + (1 - \alpha_4)F_P + \dots + \\ (1 - \alpha_4)F_P + T_4 \lambda_{s4} \\ = F_3 + (N-1)(1 - \alpha_4)F_P + T_4 \lambda_{s4} \quad (9)$$

△ N번째 주기점검 직후의 기대고장 횟수

$$F(Nb) = \text{Phase3에서의 기대고장횟수} + \\ \text{1번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장} \\ \text{횟수} + \dots + \text{N번째 주기점검에서 발견되} \\ \text{지 않은 고장횟수} \\ = F_3 + (1 - \alpha_4)F_P + \dots + \\ (1 - \alpha_4)F_P \\ = F_3 + N(1 - \alpha_4)F_P \quad (10)$$

△ N번째 주기점검 직전의 신뢰도

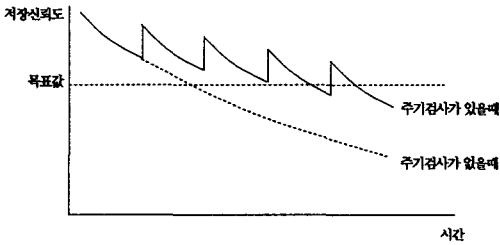
$$R_{N(MIN)} = \exp(-[(N-1)(1 - \alpha_4)F_P + F_3]) \\ \times \exp(-\lambda_{s4}T_4) \quad (11)$$

△ N번째 주기점검 직후의 신뢰도

$$R_{N(MAX)} = \exp(-[N(1 - \alpha_4)F_P + F_3]) \quad (12)$$

위의 검사주기 결정모델에서는 <그림 6>에
서의 유도탄 주기적 검사과정 전반에 걸친 기
대고장 횟수와 각 단계별 검사효율성(Test
Effectiveness)을 적용하였으며, 유도탄 저장 신
뢰도 유지를 위한 검사주기 결정은 유도탄 N

번째 주기검사 직전의 저장신뢰도 $R_{N(MIN)}$ 및 N번째 주기검사 직후의 저장신뢰도 $R_{N(MAX)}$ 와 저장 신뢰도 요구값을 상호 비교하여 균 요구사항을 만족시키는 최대의 T(검사주기)를 계산하여 결정한다.



<그림 6> Martinez 모델 저장신뢰도 변화

나. 대함유도탄 검사주기 결정 모델 적용
위 Martinez의 유도탄 주기적 검사과정을 고려한 검사주기 결정 모델을 HARPOON BLOCK 1에 적용하기 위해서는 다양한 고장률 및 변경요인과 유도탄 주기적 검사과정의 변경 및 가정사항 적용이 필요하므로 본 연구에서는 다음과 같이 두 가지 경우를 설정하여 Martinez 검사주기 모델을 현실태에 맞게 변경하여 최적의 검사주기를 결정하였다.

1) Case 1

모델의 간략화를 위해 Martinez 검사주기 모델에 다음과 같은 가정사항을 추가 적용하였다.

- 가정 사항

-Storage최초시점에서의 신뢰도는1.00이다.

(initial failure를 가지지 않음)

- 모든 고장은 점검 장비로 발견 가능하다.

- 주기점검 시 damage를 입지 않는다.

△ N번째 주기점검 직전의 신뢰도

$$R_{N(MIN)} = \exp(-\lambda_{s4} T_4) \quad (13)$$

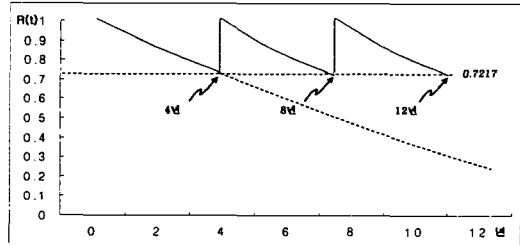
△ N번째 주기점검 직후의 신뢰도

$$R_{N(MAX)} = 1.00 \quad (14)$$

위 식 (13), (14)을 이용하여 HARPOON BLOCK 1의 검사주기를 산출하기 위해 저장간 고장률 9.306×10^{-6} 및 MTBF 값 107450.492 hr을 적용한 검사주기 산출한 결과는 <표 5> 와 같다.

<표 5> case 1적용 검사주기간 저장신뢰도

검사 주기	1		2		3		•		N	
	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후
2년	0.8496	1.00	0.8496	1.00	0.8496	1.00	•	•	0.8496	1.00
3년	0.7830	1.00	0.7830	1.00	0.7830	1.00	•	•	0.7830	1.00
4년	0.7217	1.00	0.7217	1.00	0.7217	1.00	•	•	0.7217	1.00



<그림 7> case 1적용 검사주기(4년) 간 저장 신뢰도 변화

최초 함정탑재 시 신뢰도가 1.00이라고 하고 검사장비와 주기검사가 완전하게 이루어지고 고장발생에 대한 정비가 완전하게 수행될 경우의 검사주기 간 신뢰도의 변화는 <그림 7>과 같이 일정함을 알 수 있다. 그러나 이러한 검사주기 간 신뢰도 변화는 현 운용환경에서의 여러 가지 저장신뢰도 변경요인을 완전히 배제한 결과라고 할 수 있다.

2) Case II

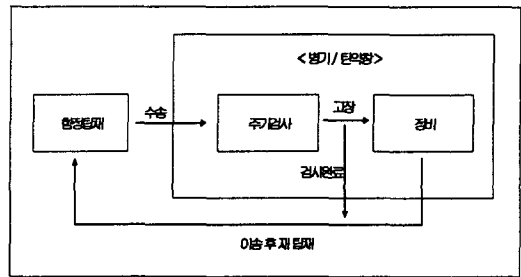
제한된 운용환경조건하에서의 검사주기 간 저장 신뢰도 값을 산출하기 위해 저장 시간 및 검사횟수, 검사간격, 고장률, 검사 효율성 등을 고려하여 Martinez 검사주기 모델을 변경하여 적용하였다.

○ 가정 사항

- 유도탄의 상태는 운용가능 및 고장의 두 가지로 구분한다.
- 유도탄의 고장시간은 지수분포 (Exponential distribution)를 따른다.
- 최초 탑재 시작 시점에서의 신뢰도는 1.00 이다.
- 제한된 환경(해군 군수사령부 병기/탄약창)에서만 유도탄 검사 및 정비수리를 수행할 수 있다.
- 주기검사 장비는 불완전하며, 검사효율성 (test effectiveness)를 가진다.
- 유도탄 하역 및 수송시 취급 부주의 등의 이유로 인해 발생하는 손상확률은 고

려하지 않는다.

- 창에서는 검사 장비를 통한 모든 품목에 대한 기능 검사가 가능하며 주기검사에 의해 고장난 WRA(Weapon Replaceable Assembly) 부품에 대해 창에서 완전교체 정비가 이루어진다.



<그림 8> H/P BLOCK1 주기적 검사과정

<그림 5>에 적용된 주기적 검사과정을 현 해군 검사/정비 환경에 적합하게 간략화 하면 위 <그림 8>과 같다.

H/P BLOCK1 검사과정을 고려 저장기간 동안의 기대고장 횟수를 고려한 변경된 검사주기 모델의 저장신뢰도 계산과정은 다음과 같다.

△ Storage 시작시점에서의 신뢰도 (지수분포 가정)

$$R = 1.00 \quad (t=0일 \text{ 때}) \quad (15)$$

△ 1번의 점검주기 동안의 기대고장 횟수 $F_p = \text{storage 기간 동안의 기대고장횟수} = \lambda_s T_s \quad (16)$

△ 1번째의 주기점검 직전의 기대고장 횟수 $F(1a) = \text{주기점검사이의 storage 기간}$

동안의 기대고장
 $= \lambda_S T_S$ (17)

△ 1번째 주기점검 직후의 기대고장 횟수
 $F(1b) = 1$ 번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장횟수
 $= (1 - \alpha) F_P$ (18)

△ 2번째 주기점검 직전의 기대고장 횟수
 $F(2a) = 1$ 번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장횟수 + 주기점검사이의 storage 기간 동안의 기대고장
 $= (1 - \alpha) F_P + T_S \lambda_S$ (19)

△ 2번째 주기점검 직후의 기대고장 횟수
 $F(2b) = 1$ 번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장횟수 + 2번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장횟수
 $= (1 - \alpha) F_P + (1 - \alpha) F_P$
 $= 2(1 - \alpha) F_P$ (20)

△ N번째 주기점검 직전의 기대고장 횟수
 $F(Na) = 1$ 번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장횟수 + ... + (N-1)번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장횟수 + 주기 점검사이의 storage 기간 동안의 기대고장
 $= (1 - \alpha) F_P + \dots + (1 - \alpha) F_P + T_S \lambda_S$
 $= (N - 1)(1 - \alpha) F_P + T_S \lambda_S$ (21)

△ N번째 주기점검 직후의 기대고장 횟수
 $F(Nb) = 1$ 번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장횟수 + ... + N번째 주기점검에서 발견되지 않은 고장횟수
 $= (1 - \alpha) F_P + \dots + (1 - \alpha) F_P$
 $= N(1 - \alpha) F_P$ (22)

△ N번째 주기점검 직전의 신뢰도
 $R_{N(MIN)} = \exp(-[(N-1)(1-\alpha)F_P]) \times \exp(-\lambda_S T_S)$ (23)

△ N번째 주기점검 직후의 신뢰도
 $R_{N(MAX)} = \exp(-[N(1-\alpha)F_P])$ (24)

HARPOON BLOCK 1 저장고장률 9.306×10^{-6} 및 저장 MTBF 107450.492 hr 를 이용하여 검사장비의 검사효율성(Test Effectiveness) α 값 변화에 따른 저장신뢰도 결과는 다음 <표 6>, <표 7>, <표 8>과 같다.

<표 6> 검사주기 간 신뢰도 ($\alpha = 0.7$)

횟수 \ 검사 주기	1		2		3		4		5	
	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후
2년	0.8496	0.9523	0.8090	0.9071	0.7704	0.8635	0.7365	0.8223	0.6986	0.7830
3년	0.7830	0.9293	0.7276	0.8635	0.6762	0.8024	0.6283	0.7457	0.5838	0.6829
4년	0.7217	0.9068	0.6545	0.8223	0.5924	0.7457	0.5382	0.6762	0.4880	0.6131

<표 7> 검사주기 간 신뢰도 ($\alpha = 0.8$)

횟수 \ 검사 주기	1		2		3		4		5	
	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후
2년	0.8496	0.9679	0.8223	0.9369	0.7960	0.9068	0.7703	0.8777	0.7457	0.8586
3년	0.7830	0.9523	0.7579	0.9068	0.7091	0.8635	0.6761	0.8223	0.6431	0.7830
4년	0.7217	0.9368	0.6761	0.8777	0.6335	0.8223	0.5934	0.7704	0.5560	0.7217

<표 8> 검사주기 간 신뢰도 ($\alpha = 0.9$)

횟수 \ 검사 주기	1		2		3		4		5	
	전	후	전	후	전	후	전	후	전	후
2년	0.8496	0.9838	0.8358	0.9676	0.8223	0.9523	0.8090	0.9368	0.7969	0.9217
3년	0.7830	0.9758	0.7641	0.9522	0.7436	0.9293	0.7276	0.9068	0.7101	0.8849
4년	0.7217	0.9547	0.6985	0.9369	0.6762	0.9068	0.6545	0.8777	0.6335	0.8486

4.3.3 HARPOON BLOCK 1 검사주기 결정

유도탄 저장 신뢰도 유지를 위한 검사주기 결정 모델은 주어진 저장기간 동안 지속적으로 검사결과가 반영된 저장 신뢰도를 사용군이 요구하는 값보다 높게 하는 모든 검사주기 중에서 비용 대 효과를 고려하여 가장 긴 값을 결정하는 것이 효율적이라 판단된다. 대함 유도탄(HARPOON)에 대한 운용 자료를 근거로 수집한 고장자료를 이용하여 MTBF, 고장률 등의 신뢰도 값을 예측하여 각 형태별 검사주기 간 신뢰도 값을 산출하였다. 앞서 신뢰도를 예측하는 기초자료인 MTBF, 고장률을 산출하는 궁극적인 목적은 대함 유도탄의 저장간 신뢰도 예측을 통해 최적의 검사주기를 결정하고 가용한 능력의 극대화와 수명주기 비용의 최적화에 있다. 따라서 산출된 각 형태별 검사주기에 따라 변화하는 신뢰도 값을 분석하여 최적의 검사주기를 결정할 수 있다. HARPOON BLOCK 1은 1979년 도입시 미 제작사 측에서 제공하는 검사/정비정책에 따라 검사주기를 설정하여 1984년 검사장비 도입이후 20년 이상 검사/정비 규정에 의거하여 주기적인 검사를 실시하여 일정한 저장 신뢰도를 유지하고 있다. 한국 해군의 HARPOON BLOCK 1의 검사주기는 도입시부터 1998년 까지 3년으로 적용하였으나, 1998년 이후 미 해군에서 자체 운용 자료를 근거로 분석한 신뢰도 값을 근거로 제시한 검사주기를 적용하여 규정상 4년으로 변경 설정하

였으나, 현 정비환경과 맞지 않아 실질적인 검사주기는 3년으로 계속 실시하고 있다. 이후 미 해군에서 2004년 자체 운용 자료를 근거로 신뢰도 값을 분석하여 검사주기를 4년에서 3년으로 변경할 것을 권고하였다. 그러나 미 해군 및 제작사에서 제시한 검사주기는 우리 해군에서 보유중인 유도탄에 대한 고장자료를 근거로 한 고장률 분석이나 저장 신뢰도 산출결과가 반영된 것이 아니기 때문에 한국 해군의 운용 환경을 고려한 최적의 검사주기라 할 수 없다.

가. 저장 신뢰도 비교

미 해군에서 제시한 HARPOON BLOCK 1의 저장기간에 따른 저장 신뢰도 값은 다음 표와 같다.

<표 9> US NAVY H/P BLOCK 1 저장기간에 따른 신뢰도

Storage time (month)	24	30	36	42	48
R(t)	79.40%	74.53%	70.27%	66.25%	62.47%

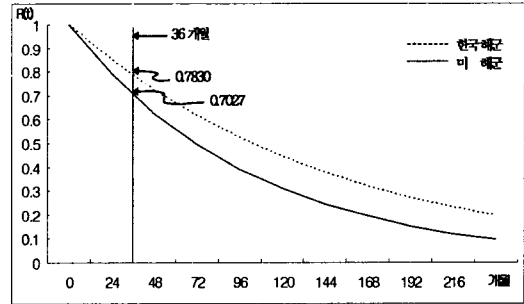
미 해군은 제작사와 자체 분석팀과의 고장 자료 분석을 통해 저장신뢰도를 산출하였으며 위 표에서와 같이 저장기간이 36개월 이상 초과시 저장신뢰도 값이 70%이하로 나타남을 알 수 있다. 본 연구에서는 한국 해군의 HARPOON BLOCK 1의 신뢰도 척도를 산출하기 위해 수집된 실제 운용데이터를 가지고

수학적 모형과 Relx Software를 이용하였으며, 신뢰도 척도는 저장 간 MTBF로써 산출결과는 107450.49hr 이며, 이를 근거로 저장기간에 따른 저장신뢰도 값을 산출한 결과는 다음 <표 10>과 같다.

<표 10> 한국 해군 H/P BLOCK 1 저장기간에 따른 신뢰도

Storage time (month)	24	30	36	42	48
R(t)	84.95%	81.56%	78.30%	75.17%	72.17%

<표 10>에서 한국 해군 HARPOON BLOCK 1의 저장기간에 따른 신뢰도 산출 결과 저장기간 48개월 이상 초과시 저장신뢰도 값이 70%이하로 나타남을 알 수 있다. 또한 위 표에서와 아래 그림에서의 결과 값을 비교 분석해 보면 미 해군 운용 환경에서의 HARPOON BLOCK 1의 경우 검사주기를 36개월 설정시 저장 간 신뢰도 70.27%를 유지할 수 있고, 한국 해군 운용 환경에서는 검사주기를 36개월 설정 시 신뢰도 값이 78.30%를 유지할 수 있으며, 48개월까지 검사주기를 증가시켜도 저장 간 신뢰도 값을 72.17%를 유지할 수 있어 미 해군의 운용환경 보다 높은 저장 신뢰도 값을 나타낸다.



<그림 9> H/P BLOCK 1 신뢰도 비교

나. 검사주기 결정 모델 적용 결과 분석

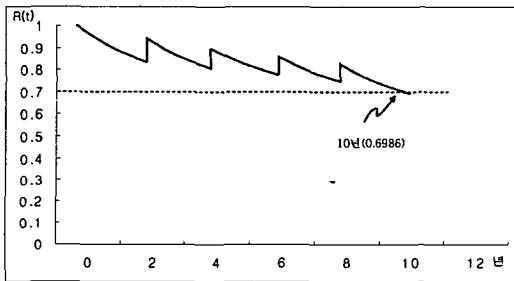
HARPOON BLOCK 1의 검사주기 결정 모델 적용 결과 분석시 검사주기 결정 기준을 본 논문에서는 H/P BLOCK 1의 탄도수명을 고려 향후 10년 운용간 군 요구 저장신뢰도 0.7이상 유지함을 기준으로 설정하여 분석해 보았다.

Case I의 경우는 검사/정비 과정이 완벽하게 이루어지는 것을 가정하여 앞서 제시한 <표 5>를 참고하여 군 요구 성능을 만족하는 검사주기를 4년으로 결정할 수 있다. <표 9>에서와 같이 현재 미 해군에서 제시하는 검사주기 또한 Case I의 경우와 유사하게 저장기간 동안의 고장자료를 활용하여 저장 고장률을 산출하고 고장시간분포함수를 지수분포로 가정하여 저장간 MTBF를 산출하여 검사주기를 결정하였다. 그러나 Case I은 단순한 저장기간 동안의 고장자료만을 분석하여 저장고장률 및 저장 간 MTBF를 산출한 것이므로 현 운용환경과는 많은 차이점이 있다고 할 수 있다. 이를 보완하고 좀 더 현 운용환경에 맞게 검사주기

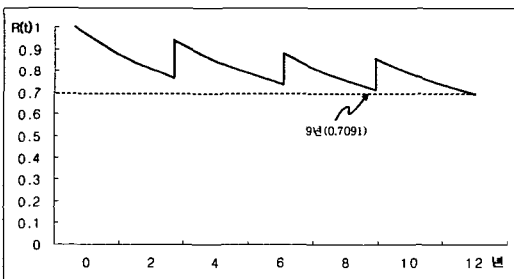
모델을 적용하기 위하여 CaseⅡ의 경우를 적용해 보았다.

CaseⅡ의 경우는 한국 해군 운용환경을 고려한 H/P BLOCK 1의 주기적 검사과정상의 검사장비의 검사 효율성(Test effectiveness)과 저장기간에 따른 기대고장 횟수를 활용하여 Case I 보다는 현 검사/정비 운용환경에 맞는 실질적인 저장 신뢰도 값을 산출하였다.

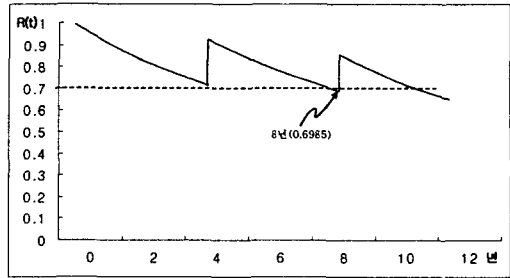
CaseⅡ의 저장 신뢰도 값을 분석해 보면 검사장비의 검사효율성(α 값) 변화에 따른 검사주기 간 신뢰도 값은 다음 그림과 같다.



<그림 10> CaseⅡ적용 $\alpha = 0.7$ 일 경우
검사주기(2년) 간 신뢰도 변화



<그림 11> CaseⅡ적용 $\alpha = 0.8$ 일 경우
검사주기(3년) 간 신뢰도 변화



<그림 12> CaseⅡ적용 $\alpha = 0.9$ 일 경우
검사주기(4년) 간 신뢰도 변화

위 그림에서 $\alpha = 0.7$ 일 경우 군 요구 성능을 만족하는 검사주기는 2년, $\alpha = 0.8$ 일 경우 3년, $\alpha = 0.9$ 일 경우 검사주기는 4년으로 산출되었다.

위의 자료를 검사주기 기준에 따라 결과를 분석해 보면 검사장비 노후도에 따라 검사 시 모든 고장을 발견할 수는 없다는 가정 하에 검사주기 기준을 2년으로 설정할 경우 α 값에 상관없이 군 요구 성능을 만족하나 검사주기 3년 적용시는 α 값이 0.8 이상의 경우에 군 요구 성능을 만족할 수 있고 검사주기 4년 적용시는 α 값이 0.9 이상의 경우 향후 10년 운용 간 군 요구 저장 신뢰도 0.7 이상을 유지할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.

4.4 유도탄 검사주기 재설정 방법론

4.4.1 검사주기 재설정 절차

본 연구에서 제시한 HARPOON BLOCK 1에 대한 저장신뢰도를 근거로 한 검사주기 재

설정 방법을 단계별로 정리하면 다음과 같으며 이를 활용하여 다양한 형태의 유도탄에 대한 검사주기를 검토하여 분석하면 실질적인 최적의 검사주기를 산출할 수 있을 것이다.

가. 1단계: 유도탄 선정 및 고장자료 수집

현재 군에서 보유중인 유도탄 중 장기간 (10년 이상) 운용하여 운용 환경에 대한 고장발생 패턴을 확인할 수 있는 유도탄을 대상으로 유도탄 형태별 고장자료를 수집하고 고장발생 빈도 분석후 중점적으로 고장발생 빈도가 높은 유도탄을 선정하여 저장 신뢰도 산출을 위한 검사주기간 고장발생건수 및 시간 등의 고장자료를 수집한다.

나. 2단계: 수학적 모델 및 소프트웨어를

활용한 저장신뢰도 분석

선정된 유도탄에 대한 고장자료 분석을 위하여 우선 고장자료를 입력 가능한 형태로 정리하고 고장시간분포추정을 위해 소프트웨어(Relex Weibull Module 등)에 고장자료를 입력하여 최적의 고장분포를 추정하고 검사주기 결정에 필요한 저장간 고장률 및 MTBF를 산출한다. 또한 산출된 저장 간 고장률 및 MTBF를 이용하여 저장 신뢰도 변화를 산출한다.

다. 3단계: 유도탄 탄도수명을 고려한 저장

신뢰도 재설정

1) 유도탄 탄도수명 결정

일반적으로 현재 운용되고 있는 유도탄의

경우 고도의 신뢰도가 보장되는 전자/전기 부품으로 구성되어 있어 고장률 패턴이 일정하고 비교적 낮은 형태를 나타내는 특성 (CFR: Constant Failure Rate)을 보인다. 그러므로 유도탄의 수명은 유도탄 탄도의 수명이 결정한다고 할 수 있다. 따라서 일정한 기간 운용되어 온 유도탄의 경우 유도탄 탄도 수명을 고려 향후 운용가능기간이 산출되므로 이 기간에 따른 저장신뢰도 유지를 위한 최적의 검사주기를 산출할 수 있을 것이다. 이는 저장신뢰도를 고려한 최적의 검사주기 산출 전에 유도탄 탄도수명을 고려한 유도탄의 운용 가능기간이 설정되어야 한다.

2) 저장 신뢰도 재설정

선정된 유도탄 탄도수명이 결정되면 향후 몇 년간 운용 가능한 기간이 설정되고 이를 근거로 저장 신뢰도(일정한 저장 기간 중 1회 발사시 정상적으로 발사될 확률)를 재설정할 수 있다. 그러나 저장신뢰도의 재설정 문제는 단순한 문제가 아니라 향후 차세대 무기체계 도입, 군 여건, 주변국 상황, 현 군사력 등 다양한 요소를 고려한 결정이 되어야 함으로 신중을 기해야 할 것이다.

라. 4단계: 검사주기 산출후 제작사 검사

주기와 비교분석

저장 간 고장률, MTBF 및 저장신뢰도 기준안을 근거로 유도탄의 검사주기를 분석한다. 검사주기 분석시 본 논문에서 제시한 다

양한 검사/정비 운용환경 요소를 고려할 수 있는 Martinez 검사주기 모델을 변경 적용한 유도탄 검사주기 결정모델을 활용하여 검사주기를 결정한다. 검사주기 결정후 제작사에서 권고하는 검사주기와 비교 분석 후 최적의 검사주기를 산출하여 검사주기를 변경한다.

마. 5단계: 검사/정비 규정 반영

현 운용중인 검사주기를 다양한 운용환경을 고려한 저장신뢰도 유지를 위한 최적의 검사주기 반영을 위해 검사/정비 규정에 적용토록 조치한다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

현 해군 운용환경에서의 유도무기체계에 대한 저장 신뢰도 분석 및 평가업무는 단순히 과거 유사장비 및 제작사에서 제시한 신뢰도 자료를 근거로 하여 진행되어 왔고, 운용기간중 독자적인 신뢰도 분석 및 평가업무를 통하여 유도무기체계의 신뢰도 유지를 통한 체계적인 검사/정비 정책의 개선 또한 상당히 미비한 실정이었다. 따라서 유도무기체계의 연구개발단계에서부터 획득시까지의 신뢰도 분석 업무만이 아니라 유도무기체계 도입이후 실질적인 운용환경에서의 체계적인 저장 신뢰도 분석 및 평가업무를 통한 유도무기체계의 신뢰도를 향상 및 유지시키려는 노력은 매우 중요하며 반

드시 필요하다고 할 수 있다.

현재 해군에서 운용중인 HARPOON BLOCK 1은 1978년 도입되어 현재까지 운용되고 있고 비록 국내 개발된 신형 함대함 유도무기가 도입되었으나 앞으로도 유도탄 탄도 수명을 고려하여 2015년 이후까지 운용하는 것을 기본 계획으로 하고 있다.

HARPOON BLOCK 1의 검사주기는 도입시 부터 미 해군 및 제작사에서 제시한 검사주기를 반영하여 검사를 실시하고 있으나 이는 우리 해군에서 보유중인 유도탄에 대한 고장자료를 근거로 한 고장률 분석이나 저장 신뢰도 산출결과가 반영된 것이 아니기 때문에 한국 해군의 운용 환경을 고려한 최적의 검사주기라 할 수 없다.

본 연구에서는 현재까지 운용 자료를 활용한 체계적인 관리 및 분석이 이루어지지 않았던 HARPOON 유도탄에 대하여 과거 20년 이상의 고장자료를 활용하여 신뢰도 분석 모델인 수학적 방법과 Relx Software 및 저장 신뢰도 검사주기 모델을 활용하여 한국 해군의 운용환경에 맞는 최적의 검사주기를 결정하는 방법 및 유도탄 검사주기 결정 방법론을 제시하였다.

한국 해군 운용 환경에서의 HARPOON BLOCK 1 고장자료를 근거로 한 연구결과 첫째, 단순히 고장자료 분석을 통한 저장 고장률 및 MTBF를 활용하여 산출한 검사주기를 미

해군 운용 환경에서의 HARPOON BLOCK 1의 검사주기와 비교 분석해 보면 미 해군 운용 환경의 경우 저장 고장률이 0.0098로 검사주기 36개월 설정시 저장 간 신뢰도 70.27%를 유지할 수 있고, 한국 해군 운용 환경에서는 저장 고장률이 0.0068로 검사주기를 48개월 설정 시 신뢰도 값이 72.17%를 유지할 수 있는 것으로 분석되었으며 이는 한국 해군의 운용환경이 미 해군의 운용환경 보다 높은 저장 신뢰도 값을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 둘째, HARPOON BLOCK 1에 대해 주기적 검사과정을 정의하고 가정 사항을 설정하여 Martinez 검사주기 모델을 개선하고 향후 10년 운용 기간 중 신뢰도 0.7이상 유지함을 가정하고 검사효율성 변화에 따른 신뢰도 값을 산출한 최적의 검사주기는 α 값이 0.7 이상일 경우 2년, α 값이 0.8 이상일 경우는 3년, α 값이 0.9이상일 경우는 4년으로 분석되었다. HARPOON 유도탄의 주기적 검사를 위한 검사장비는 매 6개월마다 점검 및 오류확인을 실시함으로 검사효율성이 0.9이상을 유지할 것으로 판단된다. 결론적으로 한국 해군 운용환경에서 앞의 두 가지를 고려한 최적의 검사주기는 검사장비의 검사효율성 α 값이 0.9 이상일 경우로 가정할 때 4년으로 결정할 수 있다. 이를 통하여 HARPOON 유도탄의 향후 저장간 신뢰도 유지 및 검사/정비 정책 결정에 적용할 수 있을 것이라 기대된다.

유도탄은 그 수명주기가 길고 고장자료의

확보를 위한 기간이 상당히 오랜 기간을 필요로 하므로 고장자료 확보 및 분석이 용이하지 않은 단점이 있으나 미래전에서 중요한 공격용 무기체계로 없어서는 안 될 국방자산이므로 평시 설정한 운용 목표값을 유지하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 이를 위해 지속적인 고장자료 분석을 통해 최적의 저장간 MTBF 및 고장률에 따른 검사주기를 산출해야 할 것이다. 그러나 국외도입 무기체계를 운용함에 있어 운용자료를 근거로 한 고장률을 산출하여 이를 근거로 검사주기를 변경하는 것은 매우 까다로운 문제라 할 수 있다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서 제시한 유도탄 검사주기 결정 방법론에 따라 검사주기를 검토하여 변경함으로써 효율적인 적용이 가능하리라 판단된다.

본 연구에서는 검사주기 모델 적용시 다양한 검사과정상의 고장률 및 검사장비의 효율성을 적용함에 있어 현실적으로 측정하기 어려운 부분이 있어 여러 가지 가정사항을 두어 검사주기 모델을 간략화하여 신뢰도 값 및 검사주기를 산출하였으나, 향후 각 검사과정별 고장률 및 검사장비의 효율성에 대한 실질적인 연구결과를 적용하면 보다 최적의 검사주기를 결정할 수 있을 것이라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 강성진 외 5명, 군사OR 이론과 응용, 두남출판사, 2004.
- [2] 국방대학교, 무기체계 신뢰성 개론, 2000.
- [3] 김용필, 일반 수리회수에 의한 장비 교환정책, 한양대학교 석사학위논문, 1999.
- [4] 당병규, 항공기 부품검사 및 교환주기재설정 방법론 연구, 공군대학교 고급지휘관 특별과정 논문, 2002.
- [5] 이해영, 차량의 지형별 경제수명에 관한 연구, 성균관대학교, 1992.
- [6] 주대용, 신뢰도 분석모델을 이용한 K-55 자주포 엔진의 정비주기 결정에 관한 연구, 국방대학교 석사학위논문, 2004.
- [7] 전치혁, 송홍준, 여러 고장유형을 갖는 설비의 고장을 추정 및 최적 정비주기 산출, 포항공과대학교 산업공학과 / 광양제철소 설비기술부, 2002.
- [8] 하형호, 군 기동장비 가용도 분석을 통한 교체시기 결정에 관한 연구, 국방대학교 석사학위논문, 2003.
- [9] 허동구, 지상 무기체계 RAM 향상방안 연구, 국방대학교 석사학위논문, 2000.
- [10] 해군본부, 무기체계 시험평가 업무편람, 2002.
- [11] Barlow, R.E. and Hunter, L.C., "Optimal Preventive Maintenance Policies", *Operations Research*, Vol.8(1), 1960, pp.90-100.
- [12] Barringer, P., "Availability, Reliability, Maintainability and Capability", Barringer Associates, Inc. 1997.
- [13] Eugene C. Martinez, "Storage Reliability With Periodic Test", *Proceeding Annual Reliability and Maintainability Symposium*, 1984.
- [14] Kapur K. C. & Lamberson L. R. *Reliability in Engineering Design*, John Wiley & Sons, 1977.
- [15] Lie, C. H. and Chun, Y. H., "An Algorithm for Preventive Maintenance Policy", *IEEE Transaction on Reliability*, Vol.35, April, 1986, pp.71-75.
- [16] Nakagawa, T., "Modified Periodic Replacement with Minimal Repair at Failure", *IEEE Transactions on Reliability*, Vol.30(2), 1981, pp.165-168.
- [17] Stephen A. Maratta, "Predictive Reliability of Tactical Missile Using Health Monitoring Data And Probabilistic Engineering Analysis" *US Army, AMRDEC(Aviation and Missile Research Development and Engineering Center)*, 2006.
- [18] Subhash Mathew, "Optimal inspection frequency a tool for maintenance planning/forecasting" *Internal Journal of Quality & Reliability Management* vol.21. No.7. 2004.

저 자 소 개

김 대 익 (E-mail: kdi9353@hanmail.net)

1997 부경대학교 해양생산관리학과 졸업(학사)

2005 국방대학교 운영분석학과 석사과정

현재 해군본부

관심분야 시스템 신뢰도, RAM 분석기법

전 건 욱 (E-mail: gwjeon@kudu.ac.kr)

1984 공군사관학교 전자공학과 졸업(학사)

1993 고려대학교(산업공학 석사)

1999 미국 University of Louisville(산업공학 박사)

현재 국방대학교 운영분석학과 부교수

관심분야 최적화 기법응용, 일정계획, 신뢰도 분석, 셀형 제조시스템