

박사학위논문

저장신뢰도 기반의 유도탄

품질보증모델 연구

- ○○, △△유도탄 실 고장사례 분석-

2018년

한성대학교 일반대학원

산업경영공학과

모델링&시뮬레이션 전공

정 상 훈

박사학위논문  
지도교수 이상복

# 저장신뢰도 기반의 유도탄 품질보증모델 연구

- ○○, △△유도탄 실 고장사례 분석-

A Study on Warranty and Quality Assurance Model  
for Guided Missiles Based on Storage Reliability

2017년 12월 일

한성대학교 일반대학원

산업경영공학과

모델링&시뮬레이션 전공

정 상 훈

박사학위논문  
지도교수 이상복

# 저장신뢰도 기반의 유도탄 품질보증모델 연구

- ○○, △△유도탄 실 고장사례 분석-

A Study on Warranty and Quality Assurance Model  
for Guided Missiles Based on Storage Reliability

위 논문을 산업공학 박사학위 논문으로 제출함

2017년 12월 일

한성대학교 일반대학원

산업경영공학과

모델링&시뮬레이션 전공

정 상 훈

정상훈의 산업공학 박사학위 논문을 인준함

2017년 12월 일

심사위원장 \_\_\_\_\_(인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_(인)

# 국 문 초 록

## 저장신뢰도 기반의 유도탄 품질보증모델 연구

한 성 대 학 교   일 반 대 학 원  
산 업 경 영 공 학 과  
모 델 링 & 시 물 레 이 션 전 공  
정                    상                    훈

전쟁의 양상이 영토점령과 대량파괴에 의한 소모전에서 선별적 타격을 위한 최소전력운영을 통한 최대효과달성으로 변하면서 무기체계 중 유도무기(유도탄)의 효과성과 신뢰성은 매우 중요한 요소로 인식되고 있다.

유도탄과 같이 오랫동안 저장되다가 단 한 번의 사용(발사)을 통해 수명이 종료되는 무기체계(일명 One-shot System)는 발사 시 신뢰도 보다 저장신뢰도가 더욱 중요하며 이는 유도탄 품질의 가장 중요한 요소이다. 따라서 유도탄 개발 시 신뢰도 분석은 저장신뢰도 중심으로 실시되며, 연구개발의 결과로 특정년도까지의 저장신뢰도를 확률적 정의로 제시하고 있다. 이렇게 개발결과로 제시되는 확률적 분석값은 공학적 예측값 임에도 불구하고, 우리나라 유도탄 저장관리 실태를 살펴보면 개발시 예측값을 기준으로 저장관리를 하고 있으며 실제 저장 년차별 신뢰도를 알려는 노력이 다소 부족하다.

방위사업청 행정규칙인 방위사업관리규정을 보면 “탄약, 유도탄, 방독면, 제독제류 등과 같이 장기저장을 요구하는 품목의 경우에는 정상적인 저장기간을 고려하여 품질보증기간을 설정하여야 한다.”고 되어 있으나 실질적으로

저장기간을 고려하여 품질보증기간을 선정한 계약사례는 드물다.

이에 여러 문헌을 통해 저장신뢰도 측면에서 유도탄 개발개념을 정리하였으며, 야전에서 10년 이상 저장하고 있는 ○○, △△유도탄의 고장 데이터를 수집하여 실제 저장신뢰도를 분석하였다. 분석 시 사용된 데이터는 실제 현장(Field) 데이터이지만 저장기간 계산을 위해 납품일 및 고장 발생일에 대한 가정을 사용하였으며, 고장데이터를 수집한 시점(관측중단)에서 고장 없이 정상적으로 생존해 있는 유도탄이 많았으므로 우측관측중단기법을 적용하였다.

분석방법은 모수적 접근방법을 사용하였으며, 분석 Tool은 미니탭을 사용하였다. 분석결과 유도탄들의 저장신뢰도는 개발 시 예측값과 상당한 차이를 보이고 있어 이에 대한 조치가 필요하다고 판단이 된 바, 저장 간 정확한 저장신뢰도를 확인하는 방법과 이를 기반으로 하는 품질하자 보증모델을 제시하였다. 제시된 모델은 군의 실 사격 결과와 생산업체 주관 주기적인 샘플링 신뢰도 검사를 기반으로 저장 년차별 신뢰도를 지속적으로 확인하고 관리하며, 확인된 저장신뢰도를 품질하자보증 기준으로 삼아야 한다는 것이다. 나아가 주기적인 신뢰도 검사 간 발견되는 취약 구성품에 대한 형상변경을 통해 유도탄 전체 신뢰도를 향상시킬 수도 있다. 지금까지 장기저장이라는 유도탄의 특성과 품질보증을 연관하여 연구한 사례는 없었으며 본 연구를 통해 유도탄 분야에서는 저장신뢰도가 품질을 측정하는 핵심척도로서 정착되기를 기대한다.

Keyword : 유도탄, 저장신뢰도, 품질보증, 관측중단

# 목 차

I. 서 론 .....	1
1.1 연구의 배경 .....	1
1.2 연구의 목적 .....	4
1.3 연구의 범위와 방법 .....	5
II. 이론적 배경 및 연구사례 .....	7
2.1 품질보증과 품질하자보증, 신뢰도 .....	7
2.2 유도탄의 특성 및 구조 .....	9
2.3 종합군수지원과 유도탄 품질보증 .....	13
2.4 보증탄과 저장신뢰도 .....	19
2.5 유도탄 품질하자 보증의 문제점 .....	28
2.5.1 유도탄과 품질하자 보증 .....	28
2.5.2 유도탄 품질하자보증과 ASRP 및 주기검사의 한계 .....	29
2.5.3 유도탄의 보증정책 .....	31
2.5.4 유도탄 품질하자 보증의 중요성 .....	33
2.6 선행연구사례 .....	34
2.6.1 최적 품질하자보증정책 결정 알고리즘 .....	34
2.6.2 국방장비의 보증기간 설정에 대한 연구 .....	45
2.6.3 제품 보증기간내의 고장데이터를 이용한 트럭크레인의 고장 및 수명분석 ·	52
2.6.4 One-shot System 신뢰성 관련 연구 .....	58
III. 연구설계 .....	60
3.1 개발간 저장신뢰도 목표값 산정 .....	60
3.2 데이터 수집 및 분석 방법론 .....	65
3.2.1 데이터 수집 및 가정 .....	66

3.2.2 유도탄 저장기간 계산(관측중단) .....	68
3.2.3 분석 방법론(모수적 접근방법) .....	71
<b>IV. 연구결과</b> .....	<b>75</b>
4.1 유도탄 저장신뢰도 분석과 신뢰도 분포 확인 .....	75
4.1.1 입력 데이터(○○유도탄) .....	75
4.1.2 데이터 분석(모수적 접근방법) .....	77
4.1.3 입력 데이터(△△유도탄) .....	84
4.1.4 데이터 분석(모수적 접근방법) .....	86
4.2 유도탄 품질보증(A/S) 비용분석 .....	92
4.2.1 비용분석 방법 .....	93
4.2.2 정비비용 비교 .....	95
4.3 유도탄 저장신뢰도 설정방법 연구 .....	97
4.3.1 Newsvendor 모델 .....	97
4.3.2 신뢰도 설정방법 .....	98
4.4 유도탄 품질하자 보증방안 .....	100
4.4.1 저장신뢰도 예측값과 분석값의 차이 .....	100
4.4.2 유도탄 품질하자 보증모델 .....	103
4.4.3 유도탄 저장신뢰도 향상방안 .....	110
<b>V. 결 론</b> .....	<b>111</b>
<b>참 고 문 헌</b> .....	<b>113</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>118</b>

## 표 목 차

[표 1] 방위사업청 예규 방위사업관리규정 관련 조항 .....	2
[표 2] 보증관련 방위사업관련 규정 .....	18
[표 3] 유도탄과 일반무기체계의 설계개념 차이 .....	28
[표 4] 유도탄의 품질정책 .....	31
[표 5] 민수시장과 방산시장의 환경차이 .....	35
[표 6] 트럭 크레인의 보증기간내의 고장 데이터 .....	53
[표 7] 유도탄 신뢰도 관련 연구들 .....	58
[표 8] 유도탄 저장신뢰성 예측값 .....	63
[표 9] △△유도탄 구성품별 고장률 및 고장간 평균시간(PCM) .....	63
[표 10] 관측중단 개념의 유도탄 저장기간 계산 .....	69
[표 11] ○○유도탄 사격시험 결과 .....	76
[표 12] 사격시험 고장유도탄 저장기간 .....	76
[표 13] ○○유도탄 분포별 AD통계값 및 상관계수 비교 .....	78
[표 14] ○○유도탄 신뢰도 백분율 표 .....	82
[표 15] ○○유도탄 신뢰도 비교 .....	83
[표 16] △△유도탄 검사 결과 .....	85
[표 17] 고장유도탄 저장기간 .....	85
[표 18] △△유도탄 분포별 AD통계값 및 상관계수 비교 .....	87
[표 19] △△유도탄 신뢰도 백분율 표 .....	90
[표 20] △△유도탄 신뢰도 비교 .....	91
[표 21] ○○유도탄 및 발사장비 계약금액과 발사장비 정비비 .....	95
[표 22] ○○유도탄 정비비 .....	96

## 그림 목 차

[그림 1] 유도탄의 구조 .....	10
[그림 2] 무기체계 수명주기 비용 .....	13
[그림 3] 일반적인 신뢰도 저하 곡선 .....	21
[그림 4] $\Delta\Delta$ 유도탄 신뢰도 예측 곡선 .....	25
[그림 5] 미국 유도탄 수명연장 .....	26
[그림 6] 유도탄 수명주기와 품질보증 활동 .....	30
[그림 7] 트럭 크레인 수명 데이터의 분포 개관 .....	54
[그림 8] 개발 간 PCA, PSA 적용 .....	62
[그림 9] 연구 모형 .....	65
[그림 10] 발사탄 저장기간 변환 개념 .....	69
[그림 11] $\circ\circ$ 유도탄 각 분포별 확률도(우측관측중단, 최대우도법) .....	79
[그림 12] $\circ\circ$ 유도탄 와이블 분포의 각 함수 개관 그림 .....	80
[그림 13] $\circ\circ$ 유도탄 신뢰도 척도 함수 .....	81
[그림 14] $\circ\circ$ 유도탄 신뢰도 비교 .....	83
[그림 15] $\Delta\Delta$ 유도탄 각 분포별 확률도(우측관측중단, 최대우도법) .....	87
[그림 16] $\Delta\Delta$ 유도탄 와이블 분포의 각 함수 개관 그림 .....	88
[그림 17] $\Delta\Delta$ 유도탄 신뢰도 척도 함수 .....	89
[그림 18] $\Delta\Delta$ 유도탄 신뢰도 비교 .....	91
[그림 19] 유도탄 품질하자 보증모델 .....	108

# I. 서 론

## 1.1 연구의 배경

군에서 사용하는 여러 장비 중 무기체계로 분류되는 전차, 장갑차, 탄약 등은 첨단 과학기술이 집합된 결정체로서 매우 높은 신뢰도를 요구한다. 특히, 탄약은 모든 무기체계의 공격력 발휘의 기반이며 세상의 모든 전쟁은 탄약 한발로 시작하여 탄약 한발로 끝나듯이 전쟁의 시작과 끝을 좌우하는 핵심요소이다.

탄약은 크게 재래식 탄약과 특수 탄약으로 구분되는데 재래식 탄약은 직사포, 곡사포, 박격포 등에 적용되는 탄약이며, 특수 탄약은 유도탄, 로켓, 지능탄, GBU(Guide Bomb Units)등이 포함되는데 대부분의 특수 탄약들이 점점 유도화 되어 PGM(Precision Guided Munition 정밀유도탄약)이라는 새로운 무기체계 영역으로 발전하고 있다.

이러한 유도탄은 생산 후 장기 저장되다가, 1회 사용 후 수명이 종료되는 One-shot System의 특성을 지니고 있기 때문에 일반적인 장비체계에서 적용되는 마모인자(Usage Factor)가 고려되지 않으며, 장기간 저장과 1회 발사의 특수성 때문에 유도탄의 수명 및 신뢰도에 대한 예측은 사고방지와 운용비용 절감 등의 측면에서 중요하게 대두되고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 이유로 유도탄의 신뢰도 분석은 운용 신뢰도(Operating Reliability) 보다는 저장 신뢰도(Storage Reliability)로 접근한다. 또한 실제 사용될 시점을 정확하게 알 수 없으며, 장기 저장된다는 특성으로 인해 발사될 때 정확한 성공률을 얼마나 가지고 있느냐에 대한 값이 신뢰도 척도로 선정되는데, 신뢰도 척도는 MTBF<sup>2)</sup>나 MTTF<sup>3)</sup>와 같은 시간으로 표현되는 것이 아니라 확률값(Probability of Mission Success)으로 제시된다.<sup>4)</sup>

1) 김종천, 이동욱. (2010). 「효율적인 유도탄 수명주기를 위한 신뢰도 분석」. 국방과학연구소, p.1.

2) Mean Time Between Failure : 평균고장간 시간

3) Mean Time To Failure : 수리 불가능한 시스템의 평균 고장 시간

4) 김종천, 이동욱, 전계서, p.3.

따라서 대부분의 유도탄은 개발 시부터 소요군으로부터 “10년 저장기간 동안 저장신뢰도 80%이상”을 요구받으며, 요구된 신뢰도값을 보장하는 성능보증탄(Certification Munition)개념으로 개발되고 있다. 또한, 저장수명기간이 도래되는 시점에서 해당 유도탄의 신뢰도 수준을 측정하여 수명기간을 연장시키는 “저장탄약 신뢰성 평가(Ammunition Stockpile Reliability Program 이하 ASRP)”가 국방기술품질원(이하 기품원) 주관으로 진행되고 있다.

이러한 유도탄의 특성을 반영하여 방위사업청의 행정규칙인 방위사업관리규정에서는 유도탄의 경우 “정상적인 저장기간”을 고려하여 계약 간 품질(하자)보증기간을 설정하도록 되어 있으나 실질적으로 저장기간을 고려하여 계약한 사례는 드물다.

[표 1] 방위사업청 예규 방위사업관리규정 관련 조항

<p><b>제632조(품질보증)</b></p> <p>④ 계약담당공무원은 3년의 품질보증기간을 설정하는 것을 원칙으로 한다. 단, 품목의 특성을 고려하여 IPT, 기품원 등 관련부서와 협의 후 3년 이하의 품질보증기간을 설정할 수 있다.</p> <p>⑤ 위 4항의 품질보증기간을 적용시 탄약, 유도탄, 방독면, 제독제류 등과 같이 장기저장을 요구하는 품목의 경우에는 <u>정상적인 저장기간을 고려하여 품질보증기간을 설정하여야 한다.</u></p>
--

대부분의 유도탄들은 1~3년의 품질하자 보증기간을 적용하고 있는데 그 이유는 유도탄과 함께 주 장비, ILS요소(주 장비에 대한)가 일괄로 계약되면서 유도탄의 특성이 제대로 반영되지 않고 하나의 계약으로 동일한 품질하자 보증기간을 적용하기 때문이다. 이러한 현실은 유도탄 납품 후 저장되는 과정에서 품질하자 보증기간이 종료되어 통상적으로 표현하는 A/S기간(정확히 품질하자 보증기간)으로 의미가 없어지는 경우를 발생시키고 있다.

이러한 문제제기에 개발주관기관은 저장신뢰도와 품질하자 보증기간은 일치되는 개념이 아니기 때문에 실제 생산업체와 협의를 통해 정해야 한다고

하며, 생산업체는 품질하자 보증기간의 연장은 비용의 증가로 이어지므로 보증기간 연장에 따른 원가 상승을 인정해주기를 원하고 있어 협의에 어려움이 있다. 유도탄의 짧은 보증기간 설정으로 저장 후 발사 시 불발(고장)이 발생하면 제조업체는 책임을 감수하지 않아도 되고, 이에 따른 정비는 비용이 지불되는 유상정비로 진행 될 수 있기에 유도탄의 장기저장 특성을 고려한 보증기간 설정은 매우 중요하다.

## 1.2 연구의 목적

장기간 저장되는 탄약(특히 유도탄)은 선입선출(先入先出)의 개념으로 사용되므로 사용(발사)전까지는 저장기간을 명확히 알 수 없다.

방위사업청은 유도탄 계약 시 1~3년의 보증기간(무상)을 적용하고 있는데, 그 이유는 유도탄이 주장비(발사장비)와 같이 계약되면서 주장비에 적용되는 일반적인 보증기간을 동일하게 적용하기 때문이다. 유도탄의 장기저장 특성을 고려하여 보증기간을 길게 설정하려는 협상은 제조사 측면에서는 받아들이기 어려운 제안인데 이는 보증기간을 길게 하는 것은 제조원가 상승의 원인이 된다는 일반적인 인식이 매우 강하기 때문이다. 대부분의 장비들은 교육 및 훈련간 지속적으로 사용하기 때문에 사용기간에 따라 (마모)고장이 증가하고, 이런 이유로 보증기간(무상)을 길게 하면 판매비용이 올라간다는 논리는 타당하다. 하지만 설계 시 부터 저장신뢰도를 높이기 위해 고 신뢰도 부품을 사용하고 발사 전까지는 탄약고나 장비에 장착되어 저장 및 임무대기하는 유도탄은 보통의 장비와 다른 접근이 필요하다. 또한 유도탄에 사용되는 부품들은 고 신뢰도를 가지고 있어 가격도 고가이며, 고가의 부품을 사용하기 때문에 유도탄의 제조비용 또한 높아지게 된다. 결국 높은 품질수준을 가지고 있는 유도탄을 높은 가격으로 구매하면서 무상보증은 일반장비와 동일하게 적용하고 있는 것이다.

이에 유도탄 실제 고장데이터를 수집하여 저장신뢰도를 분석하고, 개발 간 예측된 신뢰도값 과의 차이를 바탕으로 실질적인 유도탄 고장 유형을 파악하여, 이에 알맞은 실질적인 저장신뢰도 관리방법과 유도탄 계약 간 적용 가능한 합리적인 품질하자 보증모델을 제시하고자 한다.

### 1.3 연구의 범위와 방법

현재 우리 군이 운용하고 있는 국내개발 유도탄은 신궁, 천마, 해성, 홍상어, 청상어 등이 있으며 본 논문에서는 이 중 가장 많이 보유하고 있고 납품 후 저장기간이 10년을 넘어가고 있는 ○○, △△유도탄을 중심으로 내용을 전개하고자 한다.<sup>5)</sup>

본 연구는 ○○, △△유도탄의 설계 시 예측된 신뢰도를 토대로 야전운용 간 실제 발생한 고장데이터 수집을 통해 예측된 신뢰도를 검증하고 검증결과를 통해 신뢰도 분석 및 적합한 품질하자 보증모델을 제시해 보고자 하였다. 이에

첫째, ○○, △△유도탄을 개발한 개발주관기관의 자료를 통해 최초 요구된 수명기간과 설계 시 예측된 수명값(저장신뢰도 확률값)을 확인한다.

둘째, ○○, △△유도탄 저장 간 발생한 실제 고장 데이터를 수집, 분석하여 실제 저장신뢰도를 산출하고 개발간 제시된 예측값을 검증해 본다.

셋째, 개발 시 예측값과 실제 분석값의 차이를 통해 실질적인 유도탄 고장유형을 파악한다.

넷째, 현재 업체에서 지불하고 있는 품질하자 보증비용(일명 A/S비용)을 분석하여 유도탄 품질하자 보증기간 증가에 따른 업체의 부담은 얼마나 증가하는지를 유추해 본다.

다섯째, 실제 고장 데이터 분석결과를 통해 저장 간 신뢰도 관리의 중요성을 증명하며 현재 적용중인 유도탄 점검주기 등 저장 관리지침에 대한 수정사항을 도출한다.

다섯째, 위에서 제시된 내용을 토대로 저장 간 정확한 신뢰도를 확인 할 수 있는 방법과 이를 기초로 유도탄 품질하자 보증모델을 제시하여 향후 유도탄 개발 및 계약 간 참고할 수 있도록 한다.

본 연구내용 중 제1장 서론은 연구의 배경, 목적 및 연구 범위 등을 제시하고, 제2장 이론적 배경 및 연구사례에서는 전반적인 유도탄의 특성 및 보증개념과 유도탄 품질하자 보증제도의 문제점을 제시하고, 관련 선행연구 사례

---

5) 정확한 유도탄의 명칭은 보안상 이유로 생략한다.

를 제시하는 것으로 구성하였다. 제3장은 연구를 위한 데이터 수집 및 분석 방법론을 제시하고, 제4장에서는 ○○, △△유도탄 실 고장 데이터를 활용한 저장신뢰도 분석과 검증결과 및 비용증가 영향성을 분석한다. 제5장은 유도탄 저장신뢰도 관리방법과 품질하자 보증모델을 제시하고 마지막으로 제6장 결론에서는 결과 요약 및 한계점, 그리고 향후 연구방향을 제시하였다.

본 연구는 현재 기품원 주관으로 실시되고 있는 ASRP와는 완전 다른 접근으로 ASRP는 유도탄의 수명 종료시점에서 시효성 품목의 수명연장을 관리하는 것이라면, 본 연구는 저장기간 동안의 제품 신뢰도 측면에서 접근한 것으로 유도탄 저장 중 품질관리와 직접적인 관련이 있으며 이러한 접근은 국내 최초로 할 수 있다.

## II. 이론적 배경 및 연구사례

### 2.1 품질보증과 품질하자보증, 신뢰도

본 연구에서 사용하게 될 용어 중 품질보증과 품질하자보증의 차이는 매우 중요하므로 정확한 정의부터 정리하고자 한다.

방위사업 용어사전<sup>6)</sup>에 의하면 품질관리(Quality Control : QC)란 “생산자가 수요자의 요구에 맞는 품질의 제품을 경제적으로 만들어내기 위한 모든 수단과 체계로서 제품결함을 예방 및 통제하는 관리기능”으로 정의되어 있으며, 품질보증(Quality Assurance : QA)이란 “품질 요구 사항이 충족될 것이라는 신뢰를 제공하는 데 중점을 둔 품질경영활동의 일부를 말하며, 유효기간 동안 자료의 무 결성과 정확도에 대한 신뢰도를 제공하고 유지하기 위한 목적으로 기업 내에서 성립된 정책, 절차 및 체계적인 행동들, 계획된 체계적인 활동들은 구성요소나 모듈 또는 시스템이 기존에 구축된 기술적 요구 사항에 부합됨을 보증할 수 있어야 한다.”고 정의하고 있다.

따라서 우리가 사용하는 품질보증기간이라는 용어를 위의 품질보증의 한 활동으로 “일정기간이상 수리를 무상으로 제공하며 생산자가 소비자에게 불량품을 양품으로 무료로 교환해 주는 기간”이란 의미로 사용한다면 품질하자보증기간(Warranty Period)으로 사용하는 것이 정확하다.

품질하자보증(Quality Warranty)은 “최소한의 품질하자 보증기간이 완료될 때까지 판매된 제품이 완벽하게 기능을 발휘할 수 있다는 것을 보증함과 동시에 만일 보증기간이 완료되기 전 제품에 하자 또는 고장이 발생한 경우 제품의 수리 또는 교체를 무상으로 제공하겠다는 생산자의 약속”이다.<sup>7)</sup> 일반적으로 제품 고장률이 높고, 품질하자에 대한 무상수리 보증기간이 길수록 제작업체의 품질하자 보증비용(Warranty Cost)은 증가하며, 이로 인해 제품 판매가격은 올라간다. 반면에 고장률이 낮고, 품질하자에 따른 수리 보증기간

6) 방위사업청. (2012). 「방위사업용어사전」.

7) 안해일. (2012). “보증분석을 위한 품질보증 기간 중 제품 교체율 추정 사례 연구”. 「한국산업시스템공학회지」, 35(2):71~79

(무상)이 길면 소비자로부터의 신뢰는 높아지고, 판매량 역시 증가한다.

추가로 본 연구에서 언급하는 신뢰도는 “시스템이 사용 연수와 규정된 운용 환경 및 부하 수준 하에서 의도된 기능을 만족스럽게 나타내면서 규정된 임무 기간 동안 고장 없이 작동할 조건부 확률을 주어진 신뢰수준에 따라 나타낸 값”으로 방위사업청 용어사전에 정의된 의미를 사용하는데 이를 식으로 표현하면 아래와 같은 시간의 함수로 정의된다.

$$R(t) = \frac{\text{일정기간동안 무고장대수(혹은 시간)}}{\text{총 운용 대수(혹은 시간)}}$$

## 2.2 유도탄의 특성 및 구조

탄약이란 “적의 병력, 장비 또는 군사시설에 피해를 가하기 위해 특별히 고안된 용기 내에 폭발물, 화학제, 세균 및 방사능 등을 충전한 것으로 총, 포로부터 발사되거나 매설, 투하, 유도 등의 방법에 의하여 사용되는 물자”이다. 이와 같은 탄약은 전쟁수행에 있어 필수적인 물자로서 큰 폭발력과 빠른 폭발시간, 그리고 높은 저장 안정성은 물론 충격과 마찰에는 둔감해야 한다. 탄약은 일반적으로 재래식 탄약과 특수탄약으로 구분되는데 재래식 탄약은 “총, 포로부터 발사되거나 매설, 투하, 투척되는 탄약 즉, 포 탄약, 수류탄, 소총기 탄약, 무반동총 탄약, 각종 지뢰” 등을 의미하며, 특수탄약은 “미사일, 유도탄과 같이 탄두에 특수한 폭발물이나 유도장치가 내장된 탄약”을 의미한다.<sup>8)</sup>

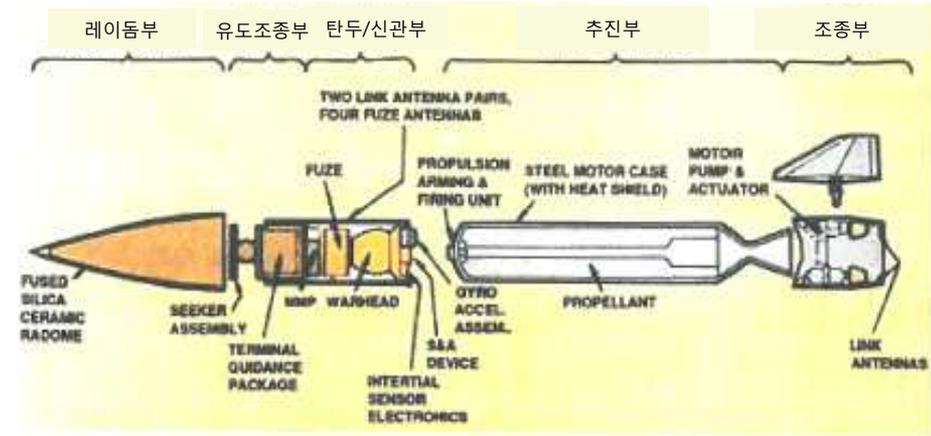
현대전장은 감시 및 정찰 수단의 발달로 전장이 가시화되고, 이로 인해 대량 학살이 아닌 정밀 탄약에 의한 최소한의 피해를 요구하고 있다. 따라서 선진국들은 1980년대 부터 소모전이라는 기존의 전투개념에서 벗어나 필요한 표적을 대상으로 정밀 타격이 가능하도록 탄약 지능화 및 정밀타격 기술에 대한 막대한 연구개발을 진행 하고 있다. 특히, 미국은 이라크전을 통해 가격이 비싼 유도 탄약이 다량의 재래식 탄약보다 경제적인 전투 수단이며, 효과 측면에서도 필요한 표적만을 선별적으로 타격하기 때문에 훨씬 효과적이라는 판단하였다. 따라서 기존의 무기체계들은 대부분 사용하는 탄약에 대해 혁신적인 성능개량을 추진하고 있는데<sup>9)</sup> 이러한 연구는 PGM (Precision Guided Munition 정밀유도탄약)이라는 새로운 무기체계 영역으로 발전하고 있다. 특히 우리군은 개전 초기에 북한군의 지하화, 갱도화 되어있는 시설에 대한 정확한 원거리 타격이 매우 중요한 승리의 요인이라는 점에서 유도탄에 대한 중요성을 더욱 인식하고 있다.

유도탄은 “정해진 탄도 혹은 다양한 비행경로를 따르도록 설계된 무인 자력 추진제로 로켓추진, 제트엔진으로 비행하여 유도장치에 의해서 목표물을

8) 육군본부. (2008). 「탄약 개론(기술교범 K9(0)-1300-200)」, pp.2-1~2-2.

9) 이승목. (2009). 「QFD를 활용한 설계단계에서의 탄약 ILS 효율화 방안 연구」. 아주대학교 시스템공학과 석사학위논문, pp.20~21.

정확히 파괴시키도록 고안된 무기체계”이다. 유도탄의 구조는 [그림 1]과 같이 레이돔부, 유도 조종부, 탄두/신관부, 추진부, 조종부로 나눌 수 있는데 이들 구성품은 탄약의 기본인 화공 구성품 외에도 수많은 기계·전자 구성품으로 구성되어 가격도 매우 고가이다.<sup>10)</sup>



[그림 1] 유도탄의 구조

이중 화공 구성품은 대부분이 “시효성 품목(Prescription Item)”인데 “시효성 품목”이란 “일정 기간 내 사용하여야만 그 효능과 성능을 발휘할 수 있는 품목으로, 이는 날개 품목별로 생산 제조년/월/일 및 유효기간이 명시되어야 하고, 선입선출이 가능토록 저장하며, 품목별로 시한 표찰을 부착한다.”로 방위사업용어사전에 정의되어 있다. 시한성품목들은 비교적 정확한 수명년한을 가지고 있어 수명년한이 도래되면 기품원에서 ASRP를 실시하는데, 저장수명 도래 시점 1~2년 전에 각종 검사(파괴/비파괴)를 통해 잔여수명을 계산하고 “계속저장, 제한사용, 우선불출, 폐기판정”을 내리며, 계속저장 시에는 추가로 사용할 수 있는 기간을 제시한다. 예를 들어 △△유도탄에 구성품 중 추진부(추진제)가 수명년한이 10년으로 되어있는 시효성 품목이라면 8~9년차에 ASRP를 실시하여 잔존수명을 예측하고 계속저장으로 판명 시 3년간 저장이 가능하다고 판단되면 수명은 10년에서 13년으로 늘어나게 된다. 유도탄 개발

10) ○○유도탄 1발당 가격은 약 2.3억원이며 (2014년 계약가), 이는 저렴한 유도탄 중 하나이다.

시 화학구성품에 대한 시효성 품목지정과 저장수명은 비교적 명확히 제시되고 있으며 ASRP 제도에 의한 수명연장은 우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로 사용되고 있는 제도이다.

탄약(유도탄 포함)은 1회 사용 후 수명이 종료되는 One-shot System이며, 수명주기의 대부분이 비운용 상태(저장)로 유지되고 극히 짧은 기간 동안만 임무수행(발사)이 요구된다. 따라서 임무신뢰도를 고려할 때 운영신뢰도 뿐만 아니라 비 운용시(저장)의 신뢰도가 매우 중요한 요소가 되며 신뢰도 분석은 운용 신뢰도보다는 저장 신뢰도 측면으로 접근되고 있다. 또한 연구개발 기간 저장시험을 실시하도록 규정되어있어 저장상태에 대한 고려가 필수적임을 알 수 있다.<sup>11)</sup> 이러한 이유로 고장발생시 원인은 장비운용 간 발생하는 인위적인 스트레스가 아닌 장기 저장간 환경요소에 의한 자연적인 스트레스가 된다.

DoD Guide for Achieving Reliability Availability Maintainability Guide를 보면 One-shot System의 신뢰도 척도는 “Probability of Mission Success (임무 성공률)”로 표현하고 있다. 임무 성공률이란 1회 사용(짧은 시간)을 목적으로 하는 제품들의 정량적인 신뢰도 척도로써 임무의 성공(Success)과 실패(Fail)로 구분하는 것을 의미하는데, 이는 사용시간에 따라 고장률이 도출되는 다수의 일반장비 신뢰도와는 다른 개념이다. 이러한 One-shot System은 수명주기의 대부분을 대기 또는 보관 상태로 보내며 매우 짧은 시간 사용(발사)되기 때문에 수명은 저장수명으로 해석되며, 개발 시 분석되는 예상신뢰도는 저장신뢰도로 이해하여야 한다. 따라서 저장기간별 산출되는 신뢰도는 ○년 저장 후 발사 시 정상적인 발사 확률을 말하는 것이며, 10년 저장 후 신뢰도 80%란 의미는 반대로 말하면 발사 시 20%의 고장(미 발사) 확률을 의미한다.

따라서 신뢰도 분석을 위해 사용되는 데이터는 고장시간 데이터가 아니라 Pass 혹은 Fail로 표현되는 이항분포(Binomial Distribution) 데이터이며, 이에 따라 One-shot System의 신뢰도 분석을 위해서는 해당 제품의 샘플링을 통한 신뢰도 검사를 실시하고, 검사결과를 바탕으로 모집단의 신뢰도를 예측하는 통계적 접근법이 추천된다. 그러나 현실적으로 이러한 시험을 수행하기에는 고가의 유도탄을 시료로 사용한다는 점에서 많은 어려움이 따른다.<sup>12)</sup>

---

11) 이동욱. (1996). 「△△ 유도탄 저장신뢰도 예측」. 국방과학연구소, p.2.

이에 국내에서도 유도탄 개발 간 10년을 기준으로 소요군 으로부터 저장 신뢰도 요구 값을 받아<sup>13)</sup> 목표값으로 선정 후 기존에 개발되었던 유사 유도탄/구성품의 저장 신뢰도 Library(유도탄 및 유도탄 구성품의 저장 신뢰도 데이터 및 고장 데이터)를 참고하여 신뢰도 분석을 한다. 신뢰도 분석 간에는 전자 및 비전자부품의 기본 고장률 값 및 고장률 계산모델을 제시하는 LC-82-2 “Storage Reliability Analysis Summary Report Vol I~V”, AD/A-002 838 “Effects of Dormancy on Nonelectronic Components and Materials”, NPRD-95 “Nonelectronic Parts Reliability Data”, 운용 및 저장 신뢰도 산출모델인 MIL-HDBK-217F “Reliability Prediction Of Electronic Equipment”와 RADC-TR-85-91 “Impact of Nonoperating Periods On Equipment Reliability” 등 을 활용하여 기계, 전자, 화공 구성품별로 신뢰도를 계산하며 이를 종합하여 유도탄 전체의 신뢰도를 분석하고 있다.<sup>14)</sup>

---

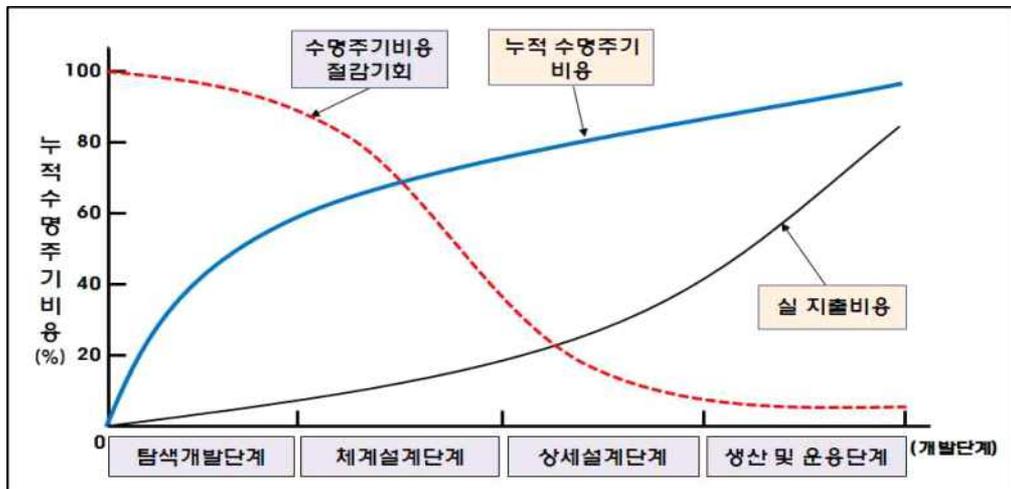
12) 김종천, 이동욱, 전계서, p.5.

13) 소요군은 유사무기체계 및 해외 유도탄의 신뢰도를 참고하여 요구값을 선정함.

14) 조용석, 박대현. (2001). 「○○체계 장입유도탄 저장신뢰도 예측」. 국방과학연구소, p.5.

### 2.3 종합군수지원과 유도탄 품질보증

무기체계는 [그림 2]와 같이 개발, 획득 시 소요되는 비용뿐만 아니라 운영유지비도 점차 증가하고 있다. 따라서 개발 초기부터 운영단계의 지원성을 고려하여 무기체계를 설계하고 개발하는 것이 중요한 요소로 고려되고 있으며 이를 위해 군수지원분석(LSA, Logistic Support Analysis) 업무와 RAM(Reliability Availability Maintainability) 분석을 통해 최적화된 종합군수지원(ILS, Integrated Logistics Support)<sup>15)</sup> 요소를 개발하려는 노력을 많이 하고 있다.



[그림 2] 무기체계 수명주기 비용

탄약의 종합군수지원<sup>16)</sup>은 다른 무기체계와 달리 개발 시의 RAM 분석과 야전배치 후 저장과 검사(정비)라는 비교적 단순한 형태로 적용되며 종합군수지원 요소개발은 저장 중 검사 및 정비를 위한 기술과 장비위주로만 진행되

15) “종합군수지원”이란 “무기체계의 효과적이고 경제적인 군수지원을 보장하기 위하여 소요제기시부터 설계, 개발, 획득, 운영 및 폐기 시까지 제반 군수지원요소를 종합적으로 관리하는 활동”이다.

16) 탄약 종합군수지원은 “탄약의 고유한 특성을 최대한 반영한 효과적이고 경제적인 군수지원을 보장하기 위하여 소요제기로부터 소요결정, 개발, 획득, 운영 및 폐기 시까지 제반 군수지원 요소를 종합적으로 관리하는 활동으로 탄약관리 및 검사, 정비활동과 수명주기 설정, 저장탄약 신뢰성 평가, 비군사화 등을 포함한다”고 별도로 정의되어 있다. (방위사업청. (2010). 탄약ILS개발 실무지침서, p.1-6.)

는데 이마저 제대로 고려되지 않는 경우도 있었다.<sup>17)</sup>

탄약이 일반 무기체계와 다른 가장 큰 차이점은 평소 운용기회가 제한되고 장기 저장 관리함으로써 개발 간 고려된 종합군수지원 요소로 인한 영향성이 10~30년 후에야 인식된다는 것이다. 그 중 RAM분석은 탄약성능보장과 직결되는 매우 중요한 요소로 무기체계의 가용상태가 규정된 수준으로 유지되도록 하고, 장비에 부여된 임무의 성공적 수행을 보장하며, 정비 및 군수지원 비용을 절감하기 위해 무기체계 개발 시 반드시 요구되는 업무인데 탄약에 있어서 RAM분석의 핵심은 저장신뢰도 분석이다.

무기체계 신뢰도 연구에 대한 역사를 살펴보면, 제1차 세계대전을 수행하면서 다수의 전자장비에서 고장이 발생하였고 이것을 수리·보수하는데 지출되는 비용이 초기 예상비용보다 훨씬 증가한다는 것이 인식되었다. 이에 이것을 어떻게 해결해야 할 것인가 하는 필요성에서 신뢰도 관련 기술이 발전하게 되었다. 미국에서 1940년부터 1950년에 걸쳐서 진공관(당시에 트랜지스터 대용으로 사용됨)의 고(高) 신뢰화를 위해 VTDC(Vacuum Tube Development Committee)를 결성하여 관련 진공관을 개발하였으며, 여기에서 신뢰도의 개념이 정의되었다. 또한 독일에서도 제2차 세계대전 중 1942년 V1 미사일 개발에서 “사슬전체는 가장 약한 부분보다 강해질 수 없다.”는 신뢰도 개념을 적용하였으나 실패하였고, 이로부터의 경험을 토대로 V2 미사일을 개발하였다. 한편, 6.25전쟁을 치루면서 미군에서는 전자장비에 관한 신뢰도 문제가 크게 대두되었고, 그 후 시스템의 고(高) 신뢰도 실현을 지향하여 1954년 제1회 “신뢰도 및 품질 심포지움”, 1962년 제1회 “신뢰도(Reliability)-보전도(Maintainability) 컨퍼런스”, 제1회 “Electronic에 있어서의 중복기술에 관한 심포지움” 등의 주요활동으로 계속 이어졌다. 이 중 보전도(Maintainability)는 수리담당자에 대한 신뢰도개념의 확장이며, 가용도(Availability)라는 지표로 신뢰도와 보전도의 Trade-off가 고려되게 되었다. 1960년 중반 이후, 신뢰도 분야는 괄목할 만한 성장을 보여 1967년 Software 신뢰도에 관한 논문 (“Program Errors as a Birth and Death Process” by G.R.Hudson)이 나오기 시작하면서 Software에 대한 신뢰도 예측모형에 대해서도 수많은 논문들

---

17) 2007년 업체자체 연구개발로 진행된 000밀리 함포탄은 종합군수지원 분야 개발이 누락되어 운용시험평가를 실시하지 못하고 개발기간을 1년 연장했던 사례가 있다.

이 발표되었고 이들의 최적화(Optimization) 기법들이 많이 개발되어 이용되어 오고 있다.<sup>18)</sup>

신뢰도 분석은 고장계통을 분석하여 시스템의 구조와 고장을 정의한다. 따라서 설계 초기에 고장계통분석을 통해 유도탄에서 발생할 수 있는 고장의 연관성에 대한 분석을 하는 것은 신뢰도 분석의 기초가 된다. 그러나 탄약은 소모된다는 측면에서 개발기간 동안 고장(결함) 분석이 어려우며, 불발 탄약 발생 시 군에서 실질적인 분석이 불가하여 원인규명에도 상당한 애로가 발생한다. 따라서 개발 시 신뢰도 분석이 무엇보다도 중요하며 일반장비는 주로 장비의 운용 상태를 고려하여 분석되지만 유도탄과 같이 수명주기의 대부분의 시간이 저장 상태로 유지되고 극히 짧은 기간 동안만 임무수행이 요구되는 경우에 있어서는 저장신뢰도가 중요한 요소가 된다. 따라서 유도탄의 경우 저장신뢰도 요구사항이 개발초기에 반드시 필요하게 된다.

그러나 개발 시 목표가 되었던 신뢰도가 발사되기 전까지 검증하기가 어렵다는 측면에서 우리군은 기품원 주관의 저장탄약신뢰성평가(ASRP)를 통해 탄약품질 보증활동을 진행하고 있다. ASRP는 저장중인 탄약에 대하여 수명년한 주기별로 파괴/비 파괴, 기능/비 기능, 저장분석 검사 등을 수행하여 사용 가능성과 안정성, 성능과 신뢰도를 통계적으로 분석·평가한다. 그리고 그 결과를 통해 “계속저장, 제한사용, 우선불출, 폐기” 등을 결정하여 탄약의 정비 및 교체시기, 폐기 등의 의사결정을 지원함으로써 탄약의 신뢰도 확보와 군 전투력 향상에 기여하고 있는 종합 탄약평가 시스템이다.<sup>19)</sup>

ASRP는 획득 절차상 배치 및 운영단계에서의 품질보증 활동으로 저장탄약의 품질을 보장하는 최상의 업무이며, 이러한 ASRP를 통해 탄약의 저장신뢰성을 확보함으로써 개수정비<sup>20)</sup>의 최소화, 저장수명 연장 및 성능저하 예상 탄약의 우선사용, 사용 불가탄 폐기를 통해 저장 공간 확보 그리고 기술정보 환류를 통한 품질개선 및 수명주기 판단자료 제공 등 다양하고 효율적 측면을 기대할 수 있다.<sup>21)</sup>

---

18) 조용석, 박대현, 전게서, p.1.

19) 이정우. (2010). “저장탄약신뢰성평가 바로알고 이해하기”. 「국방과 기술-한국방위산업진흥회」, p.102.

20) 탄약의 사용불가 부품이나 조성품을 수리 및 교환하여 사용가능상태로 원상 복구하는 작업

21) 조규선 외. (2005). 「탄약근무. 보충교재」. 육국종합군수학교, p.204.

국방부 훈령 제1702호 “탄약 수명관리를 위한 신뢰성평가 업무 훈령” 제 15조(수명예측자료 분석평가)를 보면 유도탄은 설계수명 도래시점에서 1~2년 전에서 수명평가를 실시한다고 되어있다. 따라서 설계수명이 10년인 유도탄 경우 납품 후 8~9년부터 ASRP를 통해 신뢰도를 확인하지만 그 이전에는 품질보증 활동이 없다는 것으로 해석될 수도 있으며, 현재 우리나라에서 실시하는 ASRP는 화공 구성품위주로 실시되고 있어 유도탄 전체의 신뢰도를 확인한다고 보기에 어렵다.

따라서 저장기간 중의 품질보증을 위해 계약 간 특수조건으로 적용되는 품질하자 보증기간(A/S)이 반드시 고려되어야 한다. [표 2] 방위사업청 계약 특수조건 표준안 제20조를 보면 (품질)보증이라 함은 “계약상대자가 납품 후 ○년간 납품한 물품의 규격과 품질이 계약내용과 동일함을 보증하는 것”으로 납품된 물품의 규격과 품질이 계약내용과 상이함이 발견된 때에는 당해물품의 보수, 대체납품(교환), 물품대금의 반환을 청구할 수 있으며 이때, 발생되는 제반 경비는 계약상대자가 부담한다고 명시되어 있다.<sup>22)</sup>

생산자(업체)가 품질하자 보증기간을 설정하는 것은 그 기간만큼 제품의 품질을 보장하여 고장이 발생하지 않음을 보증하는 것으로 기술력 및 제품의 신뢰도를 대변한다. 그러나 품질하자 보증기간 내에도 고장은 발생할 수 있는데, 이는 신뢰도 자체가 확률적 정의이므로 생산자 입장에서는 품질하자 보증기간 내에 발생하는 고장은 매우 적은 확률이므로 비용의 발생도 미미하기 때문에 감수할 수 있음을 의미하며 그 고장의 원인은 불량 원자재의 사용이나 제조과정에서의 작업자 실수 등이다.

제품의 품질하자 보증기간은 제품의 특성을 반영하여 크게 1차원 보증정책과 2차원 보증정책으로 구분하는데 1차원 보증정책은 사용시간만을 주변수로 하는 보증정책이고, 2차원 보증정책은 사용시간과 사용량의 2가지 변수로 한 보증정책이다.<sup>23)</sup> 예를 들면 사용년수와 주행거리의 2가지 면에서 품질하자 보증을 실시하는 자동차의 경우가 2차원 보증정책에 해당하며, 유도탄은 단순히 ○년 이내의 보증기간을 적용하므로 1차원 보증에 해당한다. 우리가

22) 방위사업청. (2014). 「예규 제219호 물품구매 계약특수조건 표준안」. 제20조 보증.

23) 최정호. (1998). 「최적품질하자보증정책 결정 알고리즘」. 건국대학교 산업공학과 박사학위 논문, p.8.

흔히 말하는 국산 자동차와 수입 자동차의 품질하자 보증기간 차이는 생산업체의 기술력의 차이라고 말하지만, 보다 정확하게 표현하면 해외 자동차 업체들은 제조공정 관리를 통해 신뢰도 높은 제품을 제조하고 있다는 의미이다. 하지만 품질하자 보증기간이 만료되면 이후는 소비자가 정비비(Maintenance Cost)를 부담하는 단계로 진입하므로 품질하자 보증기간은 소비자의 제품선택에 있어 비용적으로도 매우 중요한 요소이다.

[표 2] 방위사업관리규정 제632조(품질보증)을 보면 높은 신뢰도를 바탕으로 장기저장을 요구하는 유도탄의 경우는 “정상적인 저장기간”을 고려하여 품질(하자)보증기간을 설정하도록 되어 있어 품질하자 보증기간을 얼마로 정하느냐는 품질하자 보증기간이 납품과 동시에 적용된다는 측면에서 탄약의 품질을 보장하는 ILS의 첫 번째 단계라고 할 수 있다.

[표 2] 보증관련 방위사업관련 규정

〈계약특수조건 표준 안 제20조(보증)〉

- ① 계약상대자는 검사 및 검수 외는 별도로 납품 후 ( )년간 납품한 물품(국내·외 협력업체 또는 판매자로 부터 공급받는 원자재 및 구성품 등 포함)의 규격과 품질이 계약내용과 동일함을 보증하여야 한다.
- ② 제1항에 규정한 기간 내에 납품된 물품의 규격과 품질이 계약내용과 상이함이 발견된 때 계약담당공무원이 정한 품질보증기관은 그 사실을 계약상대자에게 통지하고 제3항에 따라 정해진 상당기간 내에 당해물품의 보수, 대체납품(교환)을 청구할 수 있다. 계약담당공무원은 필요한 경우 보수 또는 대체납품(교환)에 갈음하여 물품대금의 반환을 청구할 수 있다. 이때, 발생하는 제반 경비는 계약상대자가 부담하기로 한다.

〈방위사업관리규정 제632조(품질보증)〉

- ④ 계약담당공무원은 3년의 품질보증기간을 설정하는 것을 원칙으로 한다. 단, 품목의 특성을 고려하여 IPT, 기품원 등 관련부서와 협의 후 3년 이하의 품질보증기간을 설정할 수 있다.
- ⑤ 위 4항의 품질보증기간을 적용시 탄약, 유도탄, 방독면, 제독제류 등과 같이 장기저장을 요구하는 품목의 경우에는 정상적인 저장기간을 고려하여 품질보증기간을 설정하여야 한다.

## 2.4 보증탄과 저장신뢰도

유도탄과 같이 오랫동안 저장 상태로 유지된 후, 한 번의 사용을 통해 수명이 종료되는 장비는 운용신뢰도 보다 저장신뢰도가 더욱 중요하다. 가격이 비싼 고가의 장비임에도 정확한 신뢰도를 알기 어려운 품질관리적 문제를 해결하기 위해, 철저한 품질 보증활동을 통해 저장신뢰도 목표값을 확보하고 야전부대에서 검사 및 수리를 최소화하여 적정 저장신뢰도 유지 및 비용절감의 개념에서 시작된 것이 보증 유도탄(Certified Missile Round Concepts, 이하 보증탄)이다.<sup>24)</sup>

보증탄 개념은 신뢰도 중심 정비(Reliability Centered Maintenance, 이하 RCM)로 부터 태동된 것으로 DoD RAM Guidebook에서는 RCM을 “체계 및 장비가 안전하고 경제적으로 운용/지원되고 요구되는 수준의 신뢰도를 유지하기 위해 최적의 정비방안을 결정할 수 있도록 하는 논리적이며 구조화된 체계”로 정의하고 있다.<sup>25)</sup> 초기 RCM은 미국의 항공산업에서 시스템 수명을 연장하고 가용성 향상 및 운영유지 비용절감을 위해 출발하였는데, 1950년대 말 미국 항공산업은 정비비용의 급격한 상승으로 항공기를 운영할 수 없는 수준에 이르게 되었다. 당시 항공기에 적용하고 있었던 예방정비 개념은 교체와 완전분해수리(Overhaul)의 수행시기가 “정확하게” 정해져 있다고 인식되었으며, 항공기 부품에 대한 정해진 시기의 교체나 완전분해수리를 통해 운용중의 고장빈도를 낮출 수 있다고 생각해 왔다. 그러나, 예방정비가 항공기에 미치는 영향은 매우 적었으며 오히려 정비에 의한 고장 발생으로 정비비용이 급격하게 증가하게 되었다. 이에 따라 기존에 가지고 있었던 예방정비 개념에 의문점을 가지게 되었고 이를 대체하고자 제시된 것이 RCM 개념인 것이다. RCM은 예방정비에 중점을 두지만, 고장 후 정비에 대한 사항도 포함된다. 즉, 어느 품목이 예방정비가 필요 없다고 판단되거나, 안전 및 이와 유사한 중요 고려사항이 문제가 되지 않을 경우에 해당 품목을 예방정비 없이 고장

24) 김병수 외. (2009). M&S를 활용한 유도탄 검사주기 및 수량 설정 방안. 「한국시물레이션학회지」. 18(4):95~105.

25) 김석곤. (2012). 「TLCSM 제도하 대함유도탄의 신뢰도 향상을 위한 RCM 적용에 관한 연구」. 광운대 박사학위 논문, p.17.

이 발생할 때까지 사용하도록 결정하는 것이다. RCM 적용시는 단순히 “고장률” 만을 고려해서는 안되며, 체계 운용기간별 고장에 대한 조건부확률(운용기간별 고장 발생 확률)을 알아야 하므로 운용기간중 지속적인 상태확인이 필요하며 설계 시 예측된 수명과 고장특성은 실제와 다르므로 운용중 지속적인 프로세스 차원으로 접근되어야 한다.<sup>26)</sup>

유도탄과 같이 장기 저장하는 제품에 대한 저장상태에서의 신뢰도 예측의 필요성을 최초로 제기한 사람은 Bazovsky, Igor로 1961년 체계신뢰도 계산시 비 운용상태에서의 신뢰도를 “Quiescent” 신뢰도로 정의하여 이용하였으며<sup>27)</sup> Ito와 Nakagawa(1992, 1995, 2000)<sup>28)</sup>는 고장의 발견 여부에 따라, 고장을 발견할 수 있는 것들은 주기적인 검사 및 보전을 통해 신제품과 같아진다고 가정하였고, 고장을 발견할 수 없는 요소들은 검사 및 보전을 할 수 없다는 가정하에서 저장신뢰도를 계산하였다.<sup>29)</sup>

개발 시 분석자료에 의하면 시간의 경과에 따라 유도탄의 저장신뢰도는 일반적으로 [그림 3]과 같이 저하되는데, 일정기간이 경과되면 신뢰도는 요구수준(통상 10년 동안 신뢰도 80% 이상유지)을 이하로 저하된다.<sup>30)</sup> 이 문제를 해결하기 위해서 설계 시 신뢰도 높은 부품을 사용하여 저장신뢰도를 높이고, 높은 신뢰도를 유지할 수 있는 내부 구조를 설계하여 고장이 잘 발생하지 않는 유도탄을 만드는 것이 보증탄의 핵심개념이다. 이러한 보증탄은 고가의 고신뢰도 부품을 적용하여 제조비용이 비싸지만, 저장 간 부품의 수명저하 비율이 매우 낮으며, 저장신뢰도가 약 0.8 이상의 일정수준으로 유지되는 동안 특별한 검사나 정비가 필요하지 않기 때문에 운영유지 비용이 절감되고 이러

26) 김석곤, 전개논문, pp.17~20.

27) 조용석, 박대현, 전개서, p.2.

28) Ito, K, Nakagawa, T, (1992). Optimal inspection policies for a system in storage. Computers and Mathematics with Applications, Vol 24(1/2), pp.87~90.

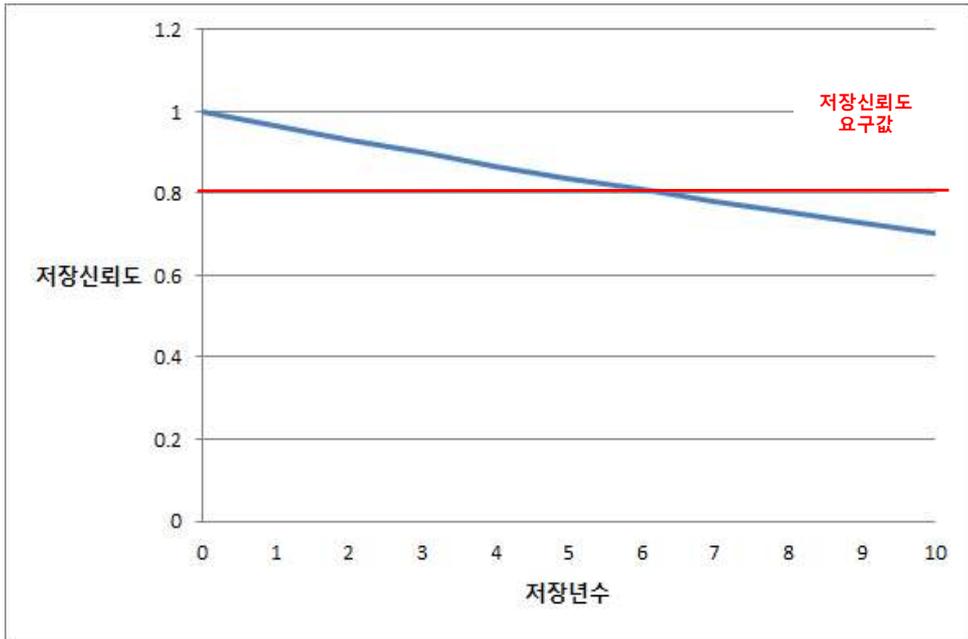
Ito, K, Nakagawa, T, (1995). An optimal inspection policy for a storage system with high reliability. Microelectronics and Reliability, Vol 36, pp.875~882.

Ito, K, Nakagawa, T, (2000). Optimal inspection policies for a storage system with degradation at periodic tests. Mathematical and Computer Modeling, Vol 31, pp.191~195.

29) 조용석, 이주호. (2008). 저장신뢰도 유지를 위한 최적 2단계 주기적 검사정책. 「한국통계학회지」 15(3):387~388.

30) 이동욱, 전개서, p.8.

한 맥락에서 총 수명주기비용은 훨씬 경제적이다. 하지만 요구된 저장신뢰도보다 신뢰도가 낮아지는 특정시점에서는 신뢰도 저하 방지를 위해 주기적인 검사가 필요하며 이를 통해 저장신뢰도를 유지시킨다.



[그림 3] 일반적인 신뢰도 저하 곡선

보증탄의 저장신뢰도 보증은 두 가지 형태로 분류할 수 있는데, 개발주관 기관에 의해 확률적 신뢰도가 보증된 탄(Certified Round)과 수리를 수반하지 않는 보증탄(Wooden Round)이다. 이중 Certified Round는 확률적으로 시간이 지남에 따라 저장 신뢰도가 저하된다는 개념에서, 요구된 신뢰도 이상의 신뢰도 값을 가지는 기간을 명시하고 이 기간 동안에는 어떠한 정비행위도 요구되지 않는다. 하지만 일정시점 이후 저장신뢰도가 요구된 신뢰도 이하로 낮아지는 것을 방지하기 위해 (저장)수명기간 동안 주기적인 검사를 통해 유도탄의 성능을 유지한다. 이러한 개념은 미군의 여러 교범 및 문서를 통해 확인할 수 있는데 그 내용은 다음과 같다.

- Certified Round 개념
  - TM 9-1410-530-14 C15 p1-2 (호크 미사일)

A Missile which requires no checkout or maintenance by the user and whose reliability is certified by the developing agency to lie within statistical limits at a stated confidence level is a **certified round**

- TECHNICAL REPORT RD-TM-99-1 p7 (PAC-3 미사일)

The PAC-3 missile is a **certified round**. A **certified round** has a predictable and acceptable level of reliability degradation over a specified certification period. During this period it is maintenance free (excluding minor repairs such as paint touch-up, for example). While it is in storage, a periodic assessment of a statistical sample during the certification period will evaluate and confirm the reliability characteristics. Controlled testing and replacement of degraded items will be required at the end of the certification period to retain the missile in a serviceable condition and to ensure its continued high reliability and performance.

유도탄 분야에서 Certified Round 개념은 미국의 유도탄 전문업체인 Raytheon 社에서 최초로 태동되었다. 최초의 Basic HAWK 유도탄은 일반적인 무기체계와 같이 부대 및 야전정비가 수행되는 시스템으로 개발되었다. 그러나 열악한 야전부대 환경에서 검사 및 정비를 실시함에 따라 HAWK 유도탄의 In-Flight Reliability는 65%로 저하되었으며, 이렇게 낮아진 신뢰도를 개선하기 위해 등장한 것이 보증탄이다. Basic HAWK의 개량하는 과정에서 낮아진 유도탄 신뢰도를 보장하기 위해 검사 및 정비업무에 대해 새로운 개념이 적용된 보증탄은 저장기간 동안 부대 및 야전에서 유도탄 검사 및 수리를 제한하고 안정된 시설이 갖춰진 공간과 환경에서 정기적으로 검사 및 수리를 하는 것으로 운용개념이 바뀌었다. 여기서 “안정된 시설이 갖춰진 공간

과 환경”이라는 말은 생산업체로 이해하여야 하며, 생산업체에서의 주기적 검사는 저장간 신뢰도 모니터링 및 향상 프로그램으로 정착되어 유도탄의 수명을 연장시키는 수준으로 발전하였다. 이렇게 정립된 Certified Round 개념은 몇 가지 중요한 요소를 갖는다. 첫 번째로 설계 및 제조단계에서 품질개선을 통해 자체 신뢰도를 향상시킨다. 두 번째는 기계 및 전자 부품 등 점검 가능한 부품에 대해 주기적인 검사로써 신뢰도 모니터링 및 개선을 하고, 세 번째로 화공품(화약류) 등 시한성 품목은 개발 시 제시된 수명년한을 기준으로 주기적인 교체 및 ASRP 등을 통해 신뢰도를 보증한다.<sup>31)</sup>

Wooden Round 개념은 완벽한 신뢰도를 가지고 있어 검사나 정비가 필요 없는 유도탄을 뜻하며, 특별한 저장이나 정비를 필요로 하지 않기 때문에 (주기적인 검사는 필요할 수 있음) 제조사는 장기간 품질보증을 보장할 수 있다. 여러 문서속의 Wooden Round 개념은 다음과 같다.

- Wooden Round 개념
  - 미군 정의 : DOD, DSMC

**wooden bomb.** [JP 1-02] (DoD) A concept which pictures a weapon as being completely reliable and having an infinite shelf life while at the same time requiring no special handling, storage or surveillance.

**wooden round.** [DSMC] A round (shell, missile, etc.) requiring no maintenance or preparation time prior to loading for firing

- North American small gas turbine aircraft engines p107

The unique requirement of the Harpoon missile was that it be treated as a “**wooden round**” of ammunition. A **wooden round** was a hypothetical system that had 100% reliability, infinite shelf life, and required absolutely no special storage, maintenance, or handling treatment.

31) 이계신 외. (2011). 제약사항을 고려한 보증 유도탄 시뮬레이션 기법 연구. 「한국시뮬레이션 학회지」 20(4):127~138.

- Raytheon社 SAAM RAM

**Surface Anti Air Missile (SAAM)**





**Using RoKN's Previous RAM ILS System Investments and Not Introducing Any New Support Requirements Provides Low Life Cycle Cost**

*Because Raytheon's RAM-based solution is currently integrated into the RoKN's inventory, ILS infrastructure, and existing ships, there are no ILS start-up costs. ILS costs are reproducing existing ILS spares, manuals, and data.*

- For over 10 years, Raytheon has successfully supplied and supported the RAM SAAM weapon system throughout the RoKN fleet
- RAM also has low life cycle cost with:
  - After installation, check-out, and at-sea testing, no additional Raytheon support is required other than normal ILS support
  - High launcher availability demonstrated at 12,400 mean hours between failures (A<sub>0</sub> of 98%)
  - Missile being an all-up wooden round with a service life of seven years, requiring no maintenance except for recertification

Wooden Round 유도탄들은 컨테이너 또는 카트리지로 불리는 외부 저장 용기를 가지고 있는데 이로 인해 보다 장기간의 저장이 가능하며 저장신뢰도가 높다. 따라서 신뢰도 보장을 위한 검사주기가 Certified Round보다 길거나, 심지어 저장 중 검사를 필요로 하지 않는 경우도 있다.

유도탄 운용환경 측면에서 Certified Round와 Wooden Round의 구분도 가능한데 Certified Round는 평시 발사대에 거치되어 전원이 인가되는 해, 공군 유도탄으로 일부는 질소 충전된 수송용기에 보관되며 대표적인 유도탄으로는 호크, 나이키, 페트리어트가 있다. Wooden Round는 저장(수송)용기를 가지고 있으며 발사대와 분리되어 저장되는 지상용 유도탄으로 토우, 메티스 엠 등이 있다. 하지만 이는 절대적인 기준은 아니며 위에서 제시한 Raytheon社의 함대공 미사일 RAM은 해군 유도탄이나 제조사에서 Wooden Round라고 명시하고 있다.

이러한 보증탄 들은 앞에서 제시한 HAWK 유도탄 사례처럼 신뢰도가 개발주관기관이 확률적으로 보증한 기간을 넘어 저하될 경우 주기적인 점검을 통해 성능을 보장하여야 하는데 △△유도탄 사례 [그림 4]를 보면 5년이 지나는 시점에서 저장신뢰도 예측값이 0.8이하로 저하되는 것을 볼 수 있다. 따라서 주기점검을 5년차에 실시하여 저장신뢰도를 유지하는 것으로 관리개념

을 잡았으며, “장기간 저장되는 전자장비는 매년 검사에서 발견된 고장 부품이 모두 수리되어 신제품과 같아진다.”는 Martinezs(1984)의 연구<sup>32)</sup>가 적용되어 보전 후 저장신뢰도를 계산하였다. 그 결과 10년 동안 0.8이상의 저장신뢰도 유지가 가능하다는 것을 보여준다.



[그림 4] △△ 유도탄 신뢰도 예측 곡선(Certified Round 개념)

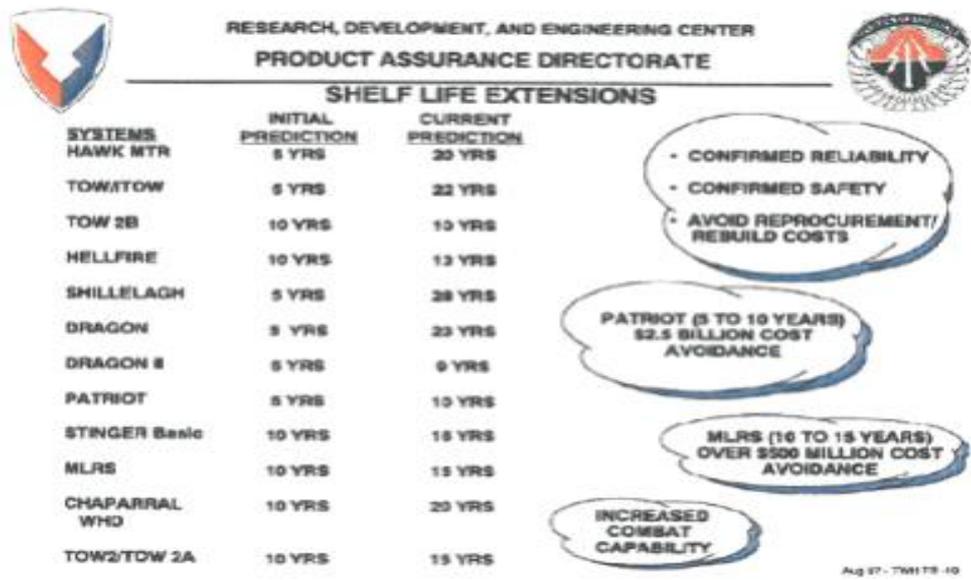
Martinezs가 정리한 모델의 특성은 아래와 같다.<sup>33)</sup>

- 미리 정해진 일정기간 저장후의 목표 신뢰도 값을 만족시키기 위해 주기적인 점검을 수행함
- 저장 최초시점에서 초기결함을 가짐(시험 및 수송 간 damage)
- 점검장비의 성능에 따라 발견 가능한 고장과 발견할 수 없는 고장으로 구분되며, 주기검사 후에는 발견 가능한 모든 고장이 제거된 고장률을 가짐(발견할수 없는 고장은 계속 누적됨)
- 주기점검 시 damage를 입음
- 고장이 발견되면 정비하여 복구시킴(정비시간동안의 장비 노화는 무시)

32) Martinez, E.C, (1984). Storage Reliability with Periodic Test. In Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, pp.181-185.

33) 조용석, 박대현, 전게서, p.30.

보증탄의 저장 중 신뢰도 관리에 대해 1997년에 미국 미사일 사령부에서 작성한 자료를 보면, 운용중인 유도탄들은 저장 중 시효성 품목의 수명연장과 매년 일정비율 샘플링 검사를 실시하고 그 결과를 활용한 신뢰도 관리를 통해 개발 간 예측되었던 설계수명들을 연장시키고 있다. 이러한 과정을 통해 초기에 5~10년이었던 설계수명들이 10~28년으로 연장되었다.(그림 5참조)<sup>34)</sup> 이를 통해 보증탄은 RCM 개념에서 이야기하는 운용기간 중 지속적인 저장 신뢰도 확인과 이를 위한 과정이 중요하다는 것을 알 수 있다.



[그림 5] 미국 유도탄 수명연장

우리나라의 보증탄 개발 역사를 보면 1999년 최초로 배치된 △△유도탄이 10년 보증탄으로 처음 개발되었는데, 일정 수량의 주기검사 후 10년 이후부터 ASRP를 통해 수명을 연장하는 개념으로 설정되었다. 두 번째 보증탄인 ○○유도탄은 개발시 목표 저장신뢰도를 최초로 설정한 유도탄으로 목표 저장신뢰도(10년간 80%)이하로 신뢰도가 낮아지는 시점을 고려하여 저장 4~5년차에 전수 검사를 수행하고 있다. 이 후 개발된 보증탄인 ∇∇유도탄은 보

34) Woward, T.W. et al. (1997). Challenges in Missile Life Cycle System Engineering. U.S Army Missile Command.

증년한을 10년으로 설정하고 80% 이상의 신뢰도를 유지하기 위해 납품 후 5년차부터 일정 수량에 대해 샘플링 검사하는 모니터링 프로그램을 구축하였다.<sup>35)</sup>

최근 HH유도탄 개발간 기존의 고장률이 일정하다는(지수분포를 따르는) 개념에 추가하여, 성능이 노화되는 Weak Point 구성품의 운용환경과 고장메커니즘을 반영한 신뢰성 평가방법을 개발하였다. Weak Point 구성품 선정은 야전에서 운용 중인 유사 유도탄을 대상으로 수명주기와 정비주기 자료를 조사·분석하고 전문가의 정성적 분석을 통해 선정하였는데, 분석한 결과 시한성 품목 뿐만 아니라 전기·전자, 기계 부품 등 여러 구성품이 장시간 저장 상태에서 고장이 발생하는 것으로 확인되었다.<sup>36)</sup> 이에 단기간에 Weak Point 구성품의 저장수명을 예측하기 위한 가속수명시험(Accelerated Life Test)<sup>37)</sup>를 실시하였으며 가속 스트레스 조건에서 얻어진 고장데이터를 수명과 스트레스 사이의 관계식을 이용하여 정상 사용조건으로 환산한 후 정상 사용조건에서의 신뢰성평가척도를 추정하였다. 가속수명시험의 프로파일은 일정 시간 저장 후 발사를 위한 운송까지의 과정을 모의하는 측면에서 고온시험(저장 스트레스)과 진동시험(수송 스트레스)을 병행하였으며 50℃ 고온에서 10,000시간 이상을 저장하면서 중간에 일정시간 경과 후 실제 차량 운반을 통한 진동시험을 실시하였다.

---

35) 이계신, 전계논문, p.128.

36) 손성한 외 (2015). “성능보증탄 최적운용유지방안 연구”. 「국방과학기술 플러스」 219호, p.3.

37) 가속수명시험은 대상 아이템의 고장메커니즘 정보를 토대로 고장메커니즘을 촉진시킬 수 있는 가속 스트레스를 선정하여 정상 사용조건보다 가혹한 가속 스트레스 조건에서 시험하여 고장데이터를 빨리 얻는 시험방법이다.

## 2.5 유도탄 품질하자 보증의 문제점

지금까지 언급한 이론적 배경을 토대로 현재 국내 유도탄 개발 및 양산간 발생하는 품질하자 보증 및 보증기간에 대한 문제점을 정리하면 다음과 같다.

### 2.5.1 유도탄과 품질하자 보증

[표 3]을 보면 유도탄과 일반 무기체계는 매우 다른 개념을 가지고 있다는 것을 알 수 있는데 유도탄은 One-shot System 특성상 저장기간 동안의 품질보증이 가장 중요하며 이에 대한 첫 번째 단계는 납품 후 일정기간동안 품질이 규격과 일치함을 보장하는 품질하자 보증기간의 설정이다. 현재 유도탄의 품질보증기간은 유도탄을 발사하는 주장비와 같이 계약되면서 동일하게 약 3년 이하로 설정되고 있다. 이 기간은 실제로 유도탄에 대한 특별한 취급(검사)이나 사용(발사)하지 않는 상태로 단순히 저장만 하므로 하자보증측면에서는 의미가 없는 기간이다. 따라서 하자보증기간 경과 후 불발탄이 발생하면 군은 정비를 위해 추가적인 비용을 지불해야 하는 상황이 발생하며, 불발의 원인이 과거 제조과정상의 결함이었다 하더라도 하자보증 기간이 지났으므로 생산업체는 정비비용을 요구할 수도 있다.

[표 3] 유도탄과 일반무기체계의 개념 차이

구 분	일반무기체계	유도탄(탄약)
운용개념	저장기간은 짧고 운용기간이 길다	저장기간이 수명주기의 대부분
RAM 분석	신뢰도, 가용도, 정비도	(저장)신뢰도 중심
ILS요소 및 정비활동	LSA <sup>38)</sup> 를 통해 운용 및 정비부대를 구분하여 체계적으로 정의함	최소한 행위만 요구
요구수명	고장시 정비행위를 하면서 약 30년	저장만 하면서 약 10년
보증기간	1~3년 (보증기간 종료 후 유상정비로 전환)	?

38) LSA(Logistics Support Analysis) : 군수지원분석

## 2.5.2 유도탄 품질하자보증과 ASRP 및 주기검사의 한계

ASRP란 기품원에서 주관으로 실시하는 저장탄약 신뢰도 확인으로 탄약의 안전성, 성능, 사용가능성 등을 평가하여 “계속 저장, 제한사용, 우선불출, 폐기” 등급을 결정하는 종합 탄약 평가시스템이라는 점은 앞서 설명한 바 있다. ASRP는 우리나라뿐만이 아닌 많은 선진국에서도 실시하는 제도이며 이에 대한 시험주기 설정이나 시료산출, 검사항목 등 효과적인 ASRP를 위한 연구는 매우 오래전부터 다양하게 진행되고 있다. 그러나 실시시기 측면에서 보면 개발 시 설정된 설계수명 도래시점 1~2년 전에 실시한다는 점에서 수명주기 전반에 대한 신뢰도 검증 활동으로 보기에 어렵다. 예를 들어 10년의 저장 수명을 가지고 있는 유도탄 경우 8~9년차에 ASRP를 실시하여 “계속 저장” 여부를 판단한다. 이는 다시 말하면 검사하는 순간의 저장신뢰도를 평가하는 것이지, 8~9년 저장기간 동안의 신뢰도 변화를 평가하는 것이 아니다. 게다가 우리나라 ASRP는 시효성 품목 위주로 실시하고 있어 전자 구성품에 대한 신뢰도 관리는 제대로 이루어지지 않고 있다고 볼 수 있다.

미국에서 생산된 대부분의 유도탄들은 군에 납품 후 일정기간이 지나면 매년 일정 비율의 샘플을 수집하여 검사를 하면서 저장신뢰도를 모니터링 하고 있다. 저장신뢰도 모니터링은 시효성 품목인 화공 구성품을 물론, 전자 구성품의 신뢰도를 확인하는 것이 핵심인데, 이러한 행위는 RCM 개념을 바탕으로 하고 있다. 신뢰도 중심의 정비를 “예지정비”(Proactive Maintenance)라고도 하는데 대상 장비나 부품의 현재 수명을 고려하여 정비시점을 결정하는 개념이다.<sup>39)</sup> 즉 정확한 정비계획 수립을 위해 신뢰도 자료에 의한 잔여수명을 예측하는 기법이 필요하며, 이를 위해 매년 일정 비율의 샘플링 검사를 통해 저장신뢰도를 모니터링 하고 있는 것이다. 하지만 시효성 품목의 ASRP 중심으로 신뢰도 업무를 진행하고 있는 우리나라에서는 ASRP이전까지 저장년차별 유도탄 전체의 신뢰도는 알 수 없으며, 이는 RCM 개념의 유도탄 품질관리가 안 되고 있다는 말과 동일한 것이다.

ASRP이전의 품질활동으로는 일일, 주간, 월간, 반기의 예방정비와 일정

39) 국방기술품질원, 국방과학연구소. (2010). 「시효성 고가탄약 수명연장 방안 연구」, p.97.

주기(4~6년)마다 군이 이동식 검사장비를 사용하여 성능을 검사하는 주기검사가 있다. 하지만 예방정비 수준의 검사들은 유도탄 저장용기 내부의 질소가스 량이나 습기<sup>40)</sup>의 농도 등을 외부에 부착된 게이지 관측을 통해 확인하는 수준이며, 일정 기간마다 실시하는 주기검사 경우 실제 군 정비부대의 인력, 장비 등의 이유로 4~6년(주로 5년) 마다 실시하고 있다. 주기검사가 사용되는 검사장비는 유도탄의 제한적인 고장유무 확인만 가능하여 고장실적을 종합할 수는 있으나, 유도탄 저장신뢰도를 모니터링 하고 있지는 않다. 실제로 김석곤<sup>41)</sup>은 그의 논문에서 “무기체계 운용단계에서 실제 고장 및 정비제원을 이용함 RCM분석 최신화를 통해 군수지원 요소의 최적화를 위한 정비정책을 최신화하여야 하나 적용활동이 매우 미흡하다”는 문제점을 제기하고 있다.

게다가 주기적 시험이 고장을 탐지 한다기보다는 시험절차나 시험장비 자체 또는 시험요원의 오동작으로 인해 오히려 고장을 유발하는 절차라는 주장도 있으며, 시험을 위한 이동(수송 및 취급)의 양을 최소화시키고 빈번한 시험은 피하도록 권고하고 있어<sup>42)</sup> ASRP 실시 이전까지 저장 중 유도탄의 실제 신뢰도가 년차별 얼마인지는 알 수 없는 것이 현실이다.

따라서 ASRP이전까지 보다 적극적인 품질보증 활동이 요구된다고 할 수 있다.



[그림 6] 유도탄 수명주기와 품질보증 활동

40) 대부분의 유도탄들은 저장용기 안에서 보관되며, 저장용기 내부는 질소가스가 충전되어 있거나, 습기제거제가 들어있어 저장 간 온/습도 등의 환경요인으로부터 유도탄을 보호한다.

41) 김석곤, 전게서, p.3.

42) 이동욱, 전게서, p.16.

### 2.5.3 유도탄의 보증정책

현재 국내 유도탄 계약 간 적용되는 보증정책을 정리하면 [표 4]와 같으며, 품질하자 보증기간은 주 장비(발사장비)와 동시에 계약됨에 따라 1~3년을 적용하고 있다. 이는 시간만을 주변수로 한다는 측면에서 1차원 보증정책이다. 또한 품질하자 보증기간 내 발생한 하자에 대해서는 무상보증을 실시하고 있으며, 보증기간 동안 고장이 발생할 경우 해당 고장 시 부터 보증기간이 다시 시작되는 것이 아니고 고정된 보증기간동안 하자를 책임지는 비 재생 보증을 적용하고 있다. 2.4의 [그림 4] △△ 유도탄 신뢰도 예측 곡선과 같이 수리가 완료된 제품의 고장률이 신제품일 때의 고장률과 동일하다는 가정을 사용하고 있는데 이러한 수리정책을 Good as New 수리정책이라고 한다.

이러한 수리정책은 제품의 가격 요소 중 하나인 품질비용과 밀접한 관련을 가지는데 일반적인 상식에서 품질비용에 대해 생산자가 부담하는 부분이 많을수록 제품의 가격은 상승한다. 예를 들어 무상품질 보증기간이 길수록 품질비용이 상승하여 가격은 높아지게 되는 것이다.

[표 4] 유도탄의 품질정책

구 분	내 용	비 고
보증변수 측면	1차원 보증(시간만을 주변수로 함)	품질정책은 제품가격과 밀접한 연관을 가지고 있으나, 신뢰도가 높은 제품(유도탄)은 연관성이 낮음
비용측면	무상보증(보증기간내 발생한 하자로 한정)	
보증기간 연장측면	비재생보증 (보증기간내 고장발생시 보증기간 연장 없음)	
고장률 측면	Good as New (수리된 제품은 시제품과 고장률 동일)	

본 논문의 주제로 다루고 있는 유도탄은 신뢰도가 높게 설정되어있다는 점에서 품질비용이 최종 가격에 미치는 영향이 매우 적을 것으로 판단하고 있다. 하지만 [표 5]와 같이 생산자가 다양하지 않아 경쟁의 부담이 적은 국

내 방산시장의 특성상, 위 사례와 같이 생산자가 제품의 신뢰도에 대해 적극적으로 홍보하여 품질하자 보증기간을 길게 제시하는 경우는 거의 찾아볼 수 없다.

[표 5] 민수시장과 방산시장의 환경차이

구 분	민수시장	방산시장
제품의 요구 신뢰도	상대적으로 낮음	높음
업체간의 경쟁률	높음	낮음(방산물자 경우)
품질비용과 가격 영향성	높음	낮음(유도탄 경우)

#### 2.5.4 유도탄 품질하자 보증의 중요성

앞서 설명한바와 같이 현재 유도탄을 비롯한 대부분의 탄약에 대한 품질 보증은 ASRP 위주로 진행되고 있다. 그러나 ASRP 검사기간 도래 전에도 품질보증 활동이 필요하며 그 시작점이 바로 품질하자 보증이다.

유도탄의 특성상 납품과 동시에 저장이라는 행위가 시작이 되며 탄종별 발사 전까지 얼마나 저장되는지 정확히 예측하기 어려우며, 수명기간의 대부분이 저장 상태로 유지된다. 이에 짧은 품질하자 보증기간설정은 사용하지 않고 저장하고 있는 기간 내에 보증기간이 종료되어 아무런 의미가 없는 기간이 되는 것이다. 또한 설계과정에서 보증탄 개념으로 설계되는 유도탄에 있어서 보증(Certified)의 의미를 과연 “무엇을, 어떻게 보증하는 것인지”에 대해 보다 정확히 하는 것이 필요하다. 앞서 설명한 보증탄의 개념에서 Wooden Round의 경우에는 특별한 저장이나 정비 및 취급이 필요하지 않다는 점에서 비교적 장기간(5~7년 이상)의 품질하자 보증기간설정도 가능하나, 확률적 신뢰도를 가지는 Certified Round의 경우는 신뢰도가 요구도 보다 낮아지는 일정시점에서 주기검사를 하도록 되어 있어 무엇을 품질하자 보증기간 설정의 기준으로 정해야 하는지가 분명하지 않다. 게다가 RCM 개념에서 설계 시 예측된 수명과 고장특성은 실제와 다르므로 이를 고려하여 유도탄에 적용가능한 적절한 품질하자 보증방법이 필요한 것이다.

일반적인 상황에서 품질보증 비용이 높아지면 제품 단가도 상승한다. 따라서 무리하게 장기간의 품질보증을 요구해서는 안 되며, 필요한 수준에서 현장 데이터에 근거한 접근이 필요하다. 이에 실제 야전에서 10년 이상 운용하면서 축적된 △△, ○○유도탄의 고장 데이터 분석을 통해 유도탄에 합리적인 품질하자 보증방안은 어떤 것 인가에 대해 연구하였다.

## 2.6 선행연구사례

### 2.6.1 최적 품질하자보증정책 결정 알고리즘

첫번째 선행연구는 1998년 8월 건국대 산업공학과 박사학위 논문으로 발표된 최정호의 연구로 지금으로부터 약 20년 전의 논문이지만 품질하자 보증 관련 이론들을 잘 정리하였으며 품질하자 보증기간 선정에 대한 일반적인 모델을 제시하고 있다.

이 논문에서는 제품의 고장이 지수분포를 따르며, 고장난 부품은 교체 및 수리 가능 제품으로 가정하고, 무상정비(또는 교체) 보증정책하에서 품질하자 보증비용을 추정하여 제품의 신뢰도(또는 평균수명)와 무상수리 보증기간이 품질하자 보증비용 및 제품가격에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 제품의 기대이익을 극대화하는 품질하자 보증비용을 포함한 제품의 최적판매가격과 최적품질하자 보증기간의 결정 알고리즘을 제시하고 있다.

### 2.6.1.1 품질하자 보증 및 이론

품질하자보증정책은 크게 1차원 보증정책과 2차원 보증정책<sup>43)</sup>으로 구분되는데 1차원보증이든 2차원보증이든 품질하자 보증정책은 무상수리(또는 교체) 보증정책과 비례환불 보증정책<sup>44)</sup> 및 이의 혼합으로 구분된다.

시간당 어떤 비율로 고장이 발행하는가를 나타내는 고장확률 밀도함수의 대표적인 분포는 정규분포, 지수분포, 와이블(Weibull)분포 3가지가 있는데 여러 개의 부품이 조립되어 만들어진 기기나 시스템의 고장확률 밀도함수는 지수분포에 따른다는 것이 알려져 있다. 왜냐하면 시스템은 고장률이 다른 여러 개의 부품으로 구성되어있기 때문에 전체의 고장률은 각 부품들의 평균이 되므로 시스템 고장률함수  $h(t)$ 는 시간에 관계없이 일정하게 된다. 고장률함수  $h(t)$ 가 시간의 변화와 상관없이 일정하면 CFR(Constant Failure Rate)이라고 하는데 와이블 분포의 형상모수  $m$ 의 값이 1이면 CFR인 경우가 되고 고장확률 밀도함수는 지수분포와 동일하게 된다.

고장확률 밀도함수  $f(t)$ 는 다음과 같은데 여기서  $\theta$ 는 고장밀도함수의 모수(parameter)이로서 평균수명을 나타낸다.

$$f(t) = \frac{1}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}}, t > 0$$

그리고 이런 경우의 신뢰도함수  $R(t)$ 는 다음과 같다.

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\theta}}$$

또한 고장률함수  $h(t)$ 는 아래와 같이 평균수명의 역수인 상수가 되므로 평균 고장률과 평균수명 둘 중 하나만 알면 다른 하나는 쉽게 구할 수 있다.

$$h(t) = \frac{1}{\theta}$$

제품은 고장시 수리할 수 있는 것과 수리할 수 없는 것으로 구분되는데,

---

43) 1차원 보증정책은 사용시간만을 주변수로 한 보증정책이고 2차원 보증정책은 사용시간과 사용량 2가지를 변수로 한 것으로 자동차의 품질보증은 사용년수와 주행거리로 하는 것이 대표적인 사례이다.

44) 비례환불보증정책은 소비자에게 보증기간 내에 고장이 발생할 경우 사용수명에 비례하여 환불해주는 정책이다.

수리 가능한 제품은 수리에 의거 작동가능상태로 회복되고, 수리 불가능한 제품은 새것으로 교체되어 작동가능상태로 회복된다. 수리 가능한 제품일 경우 수리 전과 수리 후 제품의 고장률이 변화 없다고 가정한다면<sup>45)</sup> 보증기간  $W$  까지의 기대고장개수  $N(W)$ 는 다음 식과 같다.

$$N(W) = \int_0^W h(t) dt$$

제품의 고장은 제품을 구성하고 있는 부품중 어느 하나가 고장이기 때문에 제품의 기능이 정지된 것을 의미한다. 따라서 수리 가능한 제품이란 고장난 부품을 새것으로 바꾸어 제품의 기능을 정상으로 회복시킬 수 있다는 것이다.

수리가능제품에 대한 수리정책에는 최소수리정책과 전반적인 수리를 통해 처음과 같은 상태가 되는 정책(Good as New)으로 구분되는데 수리 가능제품에 대한 품질하자 보증비용은 위와 같은 수리정책에 따라 달라진다. 이는 정책에 따라 수리후의 고장분포에 대한 가정이 다르기 때문이다. 최소수리정책은 간단한 수리로서 기능복귀가 가능하고, 수리 후의 고장률은 고장 직전의 고장률과 같다고 가정한다. 따라서 최소수리정책은 제품의 고장이 구성부품의 고장에 기인하는 다수의 부품으로 구성된 제품의 수리정책으로 적절하다. 그러나 Good as New 수리정책은 수리된 제품의 고장률은 신제품일 때의 고장률과 동일하다는 가정을 사용한다.

제품을 구성하고 있는 부품들의 고장은 상호 독립적이며, 각각 다른 누적고장확률을 갖는다. 그러나 제품의 누적고장확률은 고장난 부품의 개별 사용시간 데이터를 통해 추정하지 않고, 제품 전체의 고장시간 데이터를 사용한다. 그 이유는 제품의 고장 데이터는 수집하기에 용이하지만 각 부품의 고장 데이터는 현실적으로 수집이 어렵고, 절차가 번거롭기 때문이다. 이 때 재생함수  $M(t)$ <sup>46)</sup>를 이용하여 제품 전체의 고장 데이터로부터 누적고장확률을 추정할 수 있다.

Barlow와 Proschan<sup>47)</sup>은 재생함수  $M(t)$ 와 제품의 누적고장확률  $F(t)$ 간에

45) 실제로는 수리가 완료된 제품의 고장분포가 신제품일 때의 고장분포와 동일하지 않을 수 있으나 동일하다는 가정을 사용하였다.

46) 재생함수는  $t$ 시간 동안에 고장으로 인하여 교체된 기대부품수를 의미한다.

는 아래와 같은 관계가 성립된다고 말하고 있다.

$$M(t) = F(t) + \int_0^t M(t-x)f(x)dx$$

그리고 재생밀도함수(renewal density function)  $m(t)$ 는 다음식과 같으며 여기서  $f(t)$ 는 누적고장확률  $F(t)$ 의 확률밀도함수이다.

$$m(t) = \frac{dM(t)}{dt} = f(t) + \int_0^t m(t-x)f(x)dx$$

재생함수를 쉽게 구하는 방법으로  $t$ 가 아주 큰 경우 재생함수  $M(t)$ 를 근사재생함수  $M_a(t)$ 에 의하여 구하면 다음과 같다.

$$M_a(t) = \frac{t}{\mu} + \frac{\sigma^2 - \mu^2}{2\mu^2} + 0(1)$$

여기서  $\mu$ 와  $\sigma^2$ 은 각각 고장시간 간격에 대한 평균과 분산이며,  $0(1)$ 은 근사값의 오차항인데  $t$ 가 아주 커지면 이것은 0에 근접한다.  $\mu$ 는 고장시간 간격의 평균이기 때문에 이는 평균수명이 되고, 평균수명이 길고  $t$ 가 아주 커지면 두 번째 항과 오차항은 0에 가까워지기 때문에 재생함수  $M(t)$ 는 아래와 같이 근사 계산된다. 이것이 CFR이고 Good as New 정책의 경우 재생함수와 같다.

$$M(t) = M_a(t) = \frac{t}{\theta} = \lambda t$$

---

47) Barlow, R. E. and Proschan, F., (1975). Statistical Theory of Reliability and Life Testing. Holt, Rinehart and Winston. N.Y., pp.105~110.

### 2.6.1.2 품질하자보증비의 추정방법(수리가능 제품인 경우)

수리가능제품에 대한 수리정책에는 앞서 설명한 바와 같이 최소수리정책과 수리 후 새것이 되는 Good as New 정책이 있다. 최소수리정책은 간단한 수리로서 기능복구가 가능하고, 수리 이후의 고장률은 고장직전의 고장률과 같다고 가정한다. Good as New 수리정책은 수리가 완료된 제품의 고장률이 신제품일 때의 고장률과 같다고 가정하는데 실제로 고장분포는 신제품일 경우의 고장분포와 같지 않지만 동일하다는 가정을 사용하였다.

Good as New 경우 수리가 완료된 제품의 고장분포는 신제품과 같다고 보기 때문에 재생과정을 따르게 된다. 고장분포가  $\lambda=0.4/\text{년}$ 인 지수분포에 따르는 경우 재생함수  $M(W) = \lambda W$ 가 되기 때문에  $M(1) = 0.4 \times 1 = 0.4$ 가 된다. 따라서 개당 기대수리비를  $c_r$ 이라고 하면 기대품질 하자보증비용은 다음과 같다.

$$c(1) = c_r M(1) = c_r (0.4)$$

즉 1년간의 기대품질 하자보증비용은 개당 기대수리비의 40%가 된다. 그런데 실제 수리가 완료된 제품의 고장분포와 신제품의 고장분포는 상이한 경우도 있다. 따라서 수리 후와 수리 전의 고장확률분포가 각각  $\lambda_1$ 과  $\lambda_2$ 의 모수(여기서  $\lambda_1 < \lambda_2$  이다)를 가진 지수분포에 따른다면 품질하자 보증기간( $w$ )까지의 기대고장 갯수는 재생함수 대신에 다음과 같은 지연재생함수(Delayed Renewal Function)로 나타내야 한다.

$$\begin{aligned} M_d(t) &= 1 - e^{-\lambda_1 t} + \int_0^t \lambda_2 (t-x) \lambda_1 e^{-\lambda_1 x} dx \\ &= \lambda_2 t - \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1} [1 - e^{-\lambda_1 t}] \end{aligned}$$

따라서 만일 신제품일 때의 평균고장률  $\lambda_1=0.4/\text{년}$ 이고, 수리후의 평균고장률  $\lambda_2=0.5/\text{년}$ 으로 수리 전과 수리후의 고장률이 다르다고 가정하고, 품질하자보증기간  $w=1$ 년간의 기대품질 하자보증비용을 구하려면 다음 식에 의거 다음과 같은 지연재생함수 값이 구해져야 한다.

$$M_d(1) = 0.5(1) - \frac{(0.5-0.4)}{0.4} [1 - e^{-0.4(1)}] = 0.41765$$

그리고 개당 기대수리비를  $c_r$ 이라 하고, 1년간의 기대품질 하자보증비용을 구하면 다음과 같다.

$$c(1) = c_r M_d(1) = c_r (0.4176)$$

즉 1년간의 기대품질 하자보증비용은 개당 기대수리비의 41.76%가 되고, 앞에서 말한 수리 전과 수리 후의 고장률이 같은 경우보다 커진 것을 알 수 있다.

### 2.6.1.3 최적품질하자보증정책 결정방법

일반적으로 제품의 판매가격은 제품판매전에는  $c(1+i)$ 로 결정될 수 있으나 판매 후 예상되는 개당 기대품질 하자보증비용  $c(w)$ 고려시 실제 판매가격 ( $p$ )는  $c(1+i)+c(w)$ 가 된다. ( $c$  = 제품원가,  $i$  = 목표이익률)

제품가격과 품질하자 보증기간은 판매량과 밀접한 함수관계를 가지는데 제품의 판매량은 제품가격의 증가에 따라 지수적으로 감소하고, 품질하자보증기간의 증가에 따라 지수적으로 증가하는 수요량 함수로 표현할 수 있다. 다음 모델은 제품가격  $p$ 와 품질하자보증기간  $w$ 를 결심변수로 사용하며,  $p$ 와  $w$ 의 함수관계로 표현되는 수요량(또는 기대판매량)에 대한 치환대수 선형함수(displaced log-linear function)이다.

$$q(p, w) = k_1 p^{-a} (w + k_2)^b$$

여기서  $k_1 > 0$ ,  $k_2 \geq 0$ ,  $a > 1$ ,  $0 < b < 1$  인 상수로서  $k_1$ 은 증폭함수(amplitude factor)를 나타내고  $k_2$ 는 품질하자 보증기간  $w$ 가 0일 때에도 수요량이 있을 가능성을 나타내는 시간치환상수(time displacement constant)이다. 그리고  $a$ 는 가격탄력성(price elasticity)이고,  $b$ 는 치환된 품질하자 보증기간 탄력성(displaced warranty period elasticity)이다.

품질하자 보증기간을  $w$ , 제품의 개당 판매가격을  $p$ 라고 할 때  $w$ 기간의 품질하자보증(또는 무상수리보증)하에 판매가격  $p$ 로 제품을 판매하는 경우의 총기대이익  $\pi(p, w) = (\text{기대 판매량})(\text{개당 기대이익})$ 으로 구할 수 있다. 첫 번째 항의 기대판매량은 위에서 설명한  $w$ 의 함수관계로 결정되는 수요량 함수에 따른다고 볼 수 있으며 두 번째 항인 개당 기대이익은 제품의 실제 판매단가  $p$ 에서 생산자의 개당 기대비용  $E[c(w)]$ 를 뺀 것이 된다. 여기서 기대비용  $E[c(w)]$ 는 개당 기대품질하자보증비와 제품단가의 합이므로 수리 가능한 경우  $E[c(w)] = [c_s + c_r M_d(w)]$ 로 계산된다. 여기서  $M(w)$ 는 재생함수(renewal function)이고,  $M_d(w)$ 는 시간지연 재생함수(delayed renewal function)이며,  $c_s$ 는 품질하자 보증비용이 포함되지 않았으나 개당 목표이익

은 포함된 제품단가이다.  $c_r$ 은 수리 시 교환된 부품비, 인건비, 수리인력 출장 교통비, 사무비 등을 포함한 개당 기대수리비용의 평균이다.

수리 또는 새 부품으로 교환 후 제품 고장확률분포는 수리전/후가 다를 수 있는데 Good as New 정책의 가정에 따라 수리 전/후의 고장확률분포가 같다고 가정하면  $M_d(w)$ 는  $M(w)$ 로 대체가능하므로 개당이익은  $p - [c_s + c_r M(w)]$ 가 된다. ( $c_s$  = 제품원가,  $c_r$  = 기대수리비). 따라서 앞서 제시한 수요량함수  $q(p, w)$ 와 개당 기대이익  $p - [c_s + c_r M(w)]$ 을 총 기대이익 함수  $\pi(p, w) = (\text{기대판매량})(\text{개당 기대이익})$ 에 대입하면 다음과 같은 식이 된다.

$$\pi(p, w) = [k_1 p^{-a} (w + k_2)^b] [p - (c_s + c_r M(w))]$$

고장확률 밀도함수가 평균고장률  $\lambda$ 인 지수분포에 따르고 개당 수리비도 일정하다면 품질하자 보증기간중의 단위판매량 당 기대고장 갯수  $M(w) = \lambda w$  가 되므로 위 식에 대입하면 다음과 같이 된다.

$$\pi(p, w) = k_1 [p - (c_s + c_r \lambda w)] p^{-a} (w + k_2)^b$$

위 식을 편미분하여 0으로 만들면 다음과 같이 판매 제품의 개당 기대이익을 최대화하는 필요조건 식을 구할 수 있다.

$$\frac{\partial \pi}{\partial p} = k_1 p^{-a-1} (w + k_2)^b [1 - a(p - c_s - c_r \lambda w)/p] = 0$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial w} = k_1 p^{-a} (w + k_2)^{b-1} [b(p - c_s - c_r \lambda w)/(w + k_2) - c_r \lambda] = 0$$

그리고 이 연립방정식을 풀면 아래와 같이 최적제품단가  $p^*$ 와 최적품질하자 보증기간  $w^*$ 를 구할 수 있다.

$$p^* = \frac{a(c_s + c_r \lambda w^*)}{a-1}$$

$$w^* = \frac{\lambda k_2 (a-1) - b(c_s/c_r)}{\lambda(b-a+1)}$$

따라서  $w$ 값을 변화시키면서 품질하자 보증비용을 포함시킨  $p$ 를 위 식에 의거 계산한 후 경쟁대상 업체와 가격 경쟁력에서 우위를 갖는 판매가격을 정하며, 이때의  $w$ 값을 최적 품질보증기간으로 선정하거나 경쟁기업 대비 우월한 품질보증기간을 먼저 선정하고, 이때의 최적 제품가격으로 선정하여야 한다. 이러한 결정은 가격탄력성  $a$ , 보증기간 탄력성  $b$ , 증폭함수  $k_1$ , 시간치 환상수  $k_2$ 를 미리 알고 있지 않으면 안된다.

이에 이러한 점들을 보완하고 실용성을 증가시킨 최적의 품질하자 보증기간과 최적의 제품가격 결정 알고리즘을 제안하면 다음과 같다.

(절차1) 목표이익을  $I$ 를 기업의 최소 희망치로, 제품원가  $c_s$ 를 원가계산 결과인 일정한 값으로 결정한다.

(절차2)  $c_s$ 와  $I$ 를 곱하여 개당 기대이익을 산출한다.

(절차3) 과거 실적 데이터를 통해 개당 기대수리비  $c_r$ 을 결정하고, 수명시험 결과 도출된 고장시간 데이터로부터 평균고장률  $\lambda$ 를 추정한다.

(절차4)  $c_s$ ,  $c_r$ ,  $\lambda$  값을 다음 식에 대입하고, 품질하자보증기간  $w$ 값을 1년에서부터 1년씩 또는 0.5년씩 증가하면서 생산자 기대비용  $E[c(w)]$ 를 계산한다.

$$E[c(w)] = c_s + c_r \lambda w$$

(절차5) (절차4)의 값과 (절차2)에서 구한 개당 기대이익을 합하여 무상수리 보증정책하의 판매가격  $p$ 를 계산한다.

(절차6) 품질하자 보증기간  $w$ 의 함수관계로 결정되는 (절차5)에서 구한 판매단가  $p$ 값 중 가격경쟁력과 이때의  $w$ 값의 경쟁기업대비 우월성을 검토하고 가격경쟁력과 우월성이 있으면 이  $p$ 값과  $w$ 값을 최적값으로 결정한다.

(절차7) 만일  $p$ 값과  $w$ 값이 경쟁력과 우월성이 없으면 목표이익률  $I$ 를 하향조정 또는 제품원가  $c_s$ 의 절감을 전제로 한 하향조정을

실시한 후 (절차 2~6) 까지를 반복한다.

- (절차8) 목표이익률의 (하향)조정이나 제조원가 절감이 불가능하면  
개당 기대수리비  $c_r$ 의 절감 또는 평균고장률  $\lambda$ 의 감소대책을  
강구하여 이들 값을 감소시킨 후 (절차3~6)까지를 반복한다.

#### 2.6.1.4 연구의 한계점

이 연구는 특정제품에 대한 실제 고장데이터를 근거로 한 것은 아니고 일반적인 수준에서 지수분포에 근거한 고장확률분포를 가정하여 제품가격에 대비한 기대수리비를 산출하는 과정을 제시하고 있다.

따라서 본 논문의 주제인 유도탄 범주와는 많은 차이를 가지고 있으며 실제 유도탄 고장데이터를 이용하여 신뢰도를 분석하려는 본 논문의 의도와는 다소 거리가 있다. 하지만 품질보증정책 수립에 대한 여러 가지 이론들을 정리하였다는 점과 무상수리 보증정책하에서 품질하자 보증기간 및 최적제품가격을 결정하는 알고리즘을 제안하였다는 점에서 품질보증에 관한 이론 및 알고리즘 유도과정 등을 참고하였다.

## 2.6.2 국방장비의 보증기간 설정에 대한 연구

두번째 선행연구는 한국방위산업학회지에 2008년 6월에 발표된 이상진, 이동필의 연구내용으로 국방장비의 보증기간 설정에 대한 연구이다. 본 연구는 탄약과 같이 저장하는 품목이 아닌 일반 운용장비 중심으로 연구한 내용이지만 보증비용과 보증기간 산정모형을 제시하고 있다.

이 연구는 먼저 보증의 개념과 현재 국방장비의 보증실태를 분석한 후, 보증기간은 비용과 관계가 있기 때문에 보증기간 설정모형을 위한 보증비용 정책 및 비용모형을 제시하였다. 그리고 보증기간 설정의 예제를 통해 신뢰도와 보증정책의 관계를 분석하였고 최적의 보증기간 설정방법을 제시하고 있다.

### 2.6.2.1 보증개념

보증의 일반적인 의미는 “어떤 사물이나 사람에 대하여 책임지고 틀림이 없음을 증명하는 것”이라고 할 수 있다. 상업적으로 보증은 “사업자가 자신의 상품을 보장하기 위하여 소비자에게 행하는 상품의 특성과 완전성에 대한 약속임과 동시에 그 약속의 위반에 대한 구제의 의사표시”이다. 즉 제품의 성능이 일정기간 동안 정상적으로 발휘되지 않거나 결함이 있을 때에는 환급 또는 수리해 줄 것을 약속하는 제조자의 선언이다.

### 2.6.2.2 보증계약의 실태 및 문제점

방위사업청과 군의 입장에서는 보증기간이 길게 설정되는 것을 원하지만 생산업체에서는 짧게 설정하고자 한다. 방산업체도 보증기간을 길게 설정하면 장비의 신뢰도가 높다는 것이 홍보되어 국제 방산 마케팅에 도움이 된다는 것을 알고 있으나, 비용 증가문제로 인해 보증기간의 연장은 쉽지 않은 실정이다. 보증기간을 합리적으로 설정하기 위해 연구개발 단계에서 신뢰도 할당, 예측, 검증과 설계 품질향상 활동이 필요하며 여기에는 비용이 발생한다. 양산단계에서는 구성품과 부품의 신뢰도 확보 및 품질향상 활동을 위해 많은 비용이 필요하다. 운영유지 단계에서도 품질 보증을 위해 생산라인 및 공급체인을 유지해야 하기 때문에 보증기간 동안 설비, 장비, 인력 유지를 위한 비용이 계속 소요되고 협력업체를 관리하기 위한 비용이 증가하게 된다. 또한 대부분의 방산물자는 상용물자와는 달리 소량생산 하기 때문에 소량생산에 대한 생산라인과 협력업체 공급체인을 계속 유지하기가 쉽지 않은 것도 현실이다.

### 2.6.2.3 보증비용과 보증기간의 산정모형

#### 2.6.2.3.1 보증비용 산정정책

최적의 보증기간 설정은 보증비용과 관련되어 있다. 보증정책은 “무료보증 (Free-Replacement Warranty) 정책, 비율보증(Pro Rata Replacement Warranty) 정책, 혼합보증(Combined FRW/PRW)” 정책으로 구분된다.

“무료보증” 정책은 “생산자가 보증기간 내 고장이 발생할 경우 제품의 교체 혹은 수리비용 전부를 부담하는 정책”이다.  $T$ 는 제품의 고장까지의 시간,  $F(t)$ 는 고장시간  $t$ 의 고장분포,  $X$ 는 보증기간인  $(0, w)$  기간 내 발생하는 고장에 대한 생산자의 비용,  $C_1$ 은 수리 및 교체를 위해서 소요되는 제품의 단위당 비용을 나타낸다고 하자. 무료보증에서,  $t > 0$  시간 동안의 생산자 비용과 보증기간 이후의 생산자 비용은 다음과 같다.

$$X(t) = \begin{cases} c_1, & 0 < t \leq w \\ 0, & t > w \end{cases}$$

예상되는 단일 고장에 대한 예상평균 단위비용은 다음과 같다.

$$E(X(t)) = \int_0^w c_1 f(t) dt$$

각  $\lambda$  와  $\lambda$  가 확률밀도함수 및  $T$ 시간에 대한 누적밀도함수일 때 아래와 같은 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$E(X(t)) = c_1 F(w)$$

### 2.6.2.3.2 재생여부에 따른 보증비용 산정

생산자의 총 예상비용은 보증의 재생여부에 의해 차이가 많이 발생할 수 있다. “재생보증(Renewing Warranty)” 정책은 “보증기간 동안 고장이 발생할 경우 해당 고장시간부터 보증기간이 다시 시작되는 것”이다. “비 재생보증(Nonrenewing Warranty)” 정책은 “보증기간이 고정되어있고 그 기간 동안만 하자를 책임지는 경우”이다.

비 재생보증정책에서 최초 제품의 생산자 비용을  $C$  라고 하고, 고장(갱)이  $t$ 시간에 일어났다고 할 때  $N(t)$ 를  $(0, t)$ 시간 사이에 고장이 발생한 횟수라고 하자. 그리고 고장(갱)이  $k=1,2,\dots$ 로 발생할 때 고장으로 인한 단위당 비용을 무작위변수  $X_k$  라 하자. 그렇다면 총비용은 최초 제품 생산 시 생산자 비용에 고장으로 인해 발생하는 비용을 더한 것이므로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(w) = c_0 + \sum_{i=1}^{N(w)} X_i(t)$$

고장 간 시간은 동일한 독립분포(Independent and Identically Distributed)이므로  $N(w)$ 는 중단시간이 된다. 따라서 보증기간 동안 예상할 수 있는 총비용은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$C(w) = E[Y(w)] = c_0 + E[X_i(w)]M(w)$$

여기서, 재생함수(Renewal Function)  $M$  값은 아래와 같다.

$$M(t) = \sum_{n=1}^{\infty} F^{(n)}(t)$$

$F^{(n)}(t)$ 은  $F$ 값의  $n$ 차-중합함수( $n$ -fold convolution)이다. 대부분의 경우에 있어서,  $E$  값 값은 단위당 평균 상수 값  $C$  으로 취급된다. 그러므로 식에서 더 간결한 예상 총비용함수를 아래와 같이 산출한다.

$$C(w) = c_0 + c_1 M(w)$$

재생함수  $M$  값은 제품의 납품 이후 사용시간에 해당하는 고장률이 일정한 구간이므로 지수분포를 나타낸다. 재생함수는 지수분포에서 간단한 선형함수로 나타나는 성질이 있다. 이를 적용하면 아래와 같다.

$$M(t) = \lambda w$$

재생함수를 다시 앞의 식에 적용하면 지수분포를 따르는 “무료보증, 비 재생 보증”정책에서 예상총비용은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$C(w) = c_0 + c_1 \lambda w$$

### 2.6.2.3.3 보증기간 설정 사례연구

현행 국방장비에 적용하는 무료보증과 비 재생보증 정책하에서 K9 자주포의 엔진(MTBF 24,22, 고장률( $\lambda$ ) 0.0413)을 대상으로 와이블 분포에서 형상모수가 1에 해당하는 지수분포를 가정하여 보증기간, 보증비용, 신뢰도 등의 입력변수의 변화에 따른 민감도 변화를 분석하였다.

분석결과 신뢰도가 동일한 경우 보증기간 증가에 따라 업체에게 부담하는 보증비용은 무료보증, 혼합보증, 비율보증 순으로 많이 소요되었으며, 무료보증정책에서 신뢰도가 높은 장비의 경우에는 보증기간이 증가하더라도 보증비용의 변화가 작았다.

보증비용이 증가하는 한계값(Marginal Cost) 경우 무료보증정책에서 일정 보증기간 이후에는 보증기간을 증가시켜도 한계값의 변화가 적었다. 보증기간 연장과 관련하여 무료보증의 경우 재생과 비 재생보증은 비용의 급격한 증가를 보이지 않았다. 보증기간을 1년으로 고정하여 신뢰도 증가에 따른 총비용의 변화를 분석한 결과 비 재생 무료보증정책은 신뢰도를 상대적으로 증가시켜도 생산자 총비용의 감소 폭이 작았다.

결론적으로 최초 무기체계 연구개발간 설계과정에서 결정되는 신뢰도가 보증비용 및 보증기간에 영향을 주며, 신뢰도가 높은 제품 일수록 보증기간을 길게 하여도 보증비용이 크게 증가하지 않으며, 신뢰도가 낮은 제품의 경우 보증기간이 약간만 증가하여도 생산자의 총생산비용은 급격히 상승한다.

#### 2.6.2.4 연구의 한계점

연구의 한계점으로 보증정책은 제품의 종류에 따라 다양하게 적용하여야 하나, 이 연구는 K9 자주포 엔진이라는 한 가지 제품에 대한 연구로서 전체 장비를 대상으로 한 최적의 분석은 제시하지 못하였으며, 야전에서 발생한 고장데이터에 근거하지 않고 개발 시 예측된 지수분포를 가정한 고장률을 근거로 분석하여 현실적 데이터는 반영하지는 않았다.

하지만 신뢰도와 보증정책 및 보증비용의 관계를 분석하였다는 점에서 저장신뢰도 중심의 유도탄 품질보증방안을 제시하려는 본 연구와 관련이 있으며, 연구자가 결론으로 제시한 “신뢰도가 높은 제품의 경우 보증기간을 증가시켜도 보증비용이 크게 증가하지 않는다.”를 통해 높은 (저장)신뢰도를 가지고 있는 유도탄의 경우 생산자가 부담하는 품질보증비용은 매우 낮다고 추정할 수 있었다.

### 2.6.3 제품 보증기간내의 고장데이터를 이용한 트럭크레인의 고장 및 수명분석

세번째 선행연구는 2013년 2월에 충남대학교 산업공학 석사학위논문으로 발표된 오용진의 연구내용으로 트럭크레인을 대상으로 실 고장데이터를 이용하여 설계수명을 분석하고 품질(하자)보증정책의 타당성을 검증한 사례이다.

이 연구에서는 트럭크레인이란 민수장비를 대상으로 보증기간내의 고장 데이터를 수집하여 수명 분석을 진행하였다. 현장(Field)에서 수집한 고장 데이터를 분석하여 자료의 적합도 검정(Goodness of Fit Test)을 통해 적합 분포 모형을 확인하고, 적합된 분포모형으로 “확률밀도함수(PDF), 생존함수(SF), 위험함수(HF), 평균수명(MTTF)과 백분위수 수명”을 예측하고, 소형, 중형, 대형 크레인의 제품 수명을 분석하여 모델별로 수명에 어떠한 차이가 있는지 연구하였으며, 보증기간 동안의 모델별 고장 수량, 모델별 주요 고장 부품 및 고장수량을 분석하여 트럭크레인의 신뢰성 향상방안을 제시하였다.

트럭크레인의 수명분석으로 사용된 데이터는 서비스센터를 통해 수집한 보증기간내의 현장 고장 데이터이다. 현장에서 발생하는 고장 데이터는 수집하기에 많은 시간과 비용이 투입되고, 데이터 수집 자체가 어려운 경우도 있다. 따라서 제품 개발 간 수명분석 시에 수명 시험(Life Test)을 통해 해당 제품의 수명을 파악하고 있지만, 보통 실험실에서 이루어지는 시험행위는 실제 장비가 사용되는 실 환경적 요소들을 많이 배제하고 있다. 따라서 현장에서 수집한 고장 데이터야말로 제품의 실사용에 대한 결과물이고, 환경요인을 배제하지 않았기에 제품의 수명분석을 하기에 매우 적합한 자료라고 연구자는 말하고 있다.

이 연구는 실제 데이터를 가지고 제품 수명을 분석하였다는 점에서 본 연구의 접근방법과 매우 유사하다. 이에 오용진의 데이터 분석과정을 간단히 정리해 보았다.

### 2.6.3.1 고장 데이터 수집

이 연구에서 사용된 고장 데이터는 보증기간동안(소형 6개월, 중대형 1년) 서비스센터를 통하여 얻어지는 데이터로서, 보증기간 내에 제품고장이 발생하면 소비자는 무상 보증수리(A/S)를 받기위해 서비스센터를 찾아가게 된다. 따라서 서비스센터를 통해 고장난 제품들의 고장 원인, 시간 및 제조 특성(크기 구분, 제조시간), 사용 환경(사용자의 기후, 특징), 귀책여부(제조사, 판매자, 사용자) 등과 같은 관련 정보를 수집하였다.

데이터는 2010년에 1년간 생산되어 출시된 제품을 대상으로 보증기간 동안의 현장 고장 데이터이며, 이를 출고일과 최초 고장 발생일 기준으로 수집하였다. 이 기간 중에 소형크레인은 132대가 출시되어 4대의 고장이 발생하였으며, 중형크레인은 73대가 출시되어 60대의 고장이 발생 되었고, 대형크레인은 30대가 출시되어 26대의 고장이 발생 하였다. 이렇게 수집된 데이터에 관측중단(Censored) 기법을 적용하여 고장이 나지 않은 장비는 계속 살아있는 것으로 표현하였는데, 데이터 입력간 고장이 난 장비는 '0'으로 구분하였고 정상인 장비는 '1'로 구분하여 [표 6]와 같이 구분하였다.

[표 6] 트럭크레인의 보증기간내의 고장 데이터

모델	출고일	고장일	사용일자	수량	Censored
소형	2010-03-30	2010-09-30	180	1	0
소형	2010-03-30	2010-09-30	180	1	0
소형	2010-03-26	2010-09-26	180	1	0
소형	2010-03-05	2010-09-05	180	1	0
소형	2010-03-05	2010-09-05	180	1	0
***	***	***	***	***	***
중형	2010-02-25	2010-05-21	86	1	1
중형	2010-01-18	2010-06-05	137	1	1
중형	2010-01-19	2010-02-22	33	1	1
중형	2010-01-06	2011-01-06	360	1	0
중형	2010-01-25	2010-09-03	218	1	1
***	***	***	***	***	***
대형	2010-06-21	2011-03-18	267	1	1
대형	2010-07-31	2011-01-18	168	1	1
대형	2010-04-30	2011-03-14	314	1	1
대형	2010-02-02	2011-02-02	360	1	0
대형	2010-03-29	2011-02-10	311	1	1
***	***	***	***	***	***

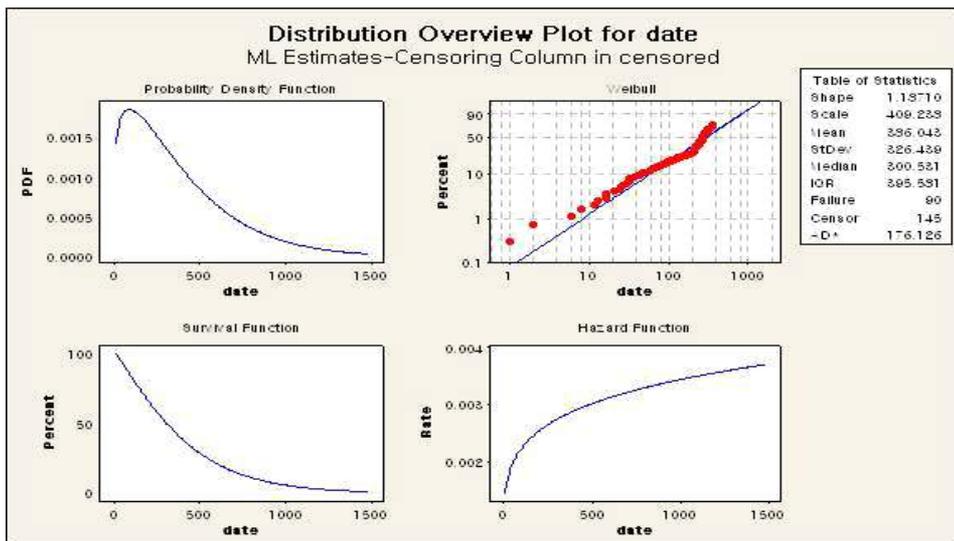
### 2.6.3.2 고장 데이터의 분포 적합도 검정

데이터 검정은 경험적(Empirical) 누적분포함수(Cumulative Distribution Function, CDF)를 이용한 Anderson-Darling 검정값을 사용했는데, 추정방법은 최소제곱 추정방법(LSE : Least Squares Estimation)과 최대우도 추정방법(MLE : Maximum Likelihood Estimation)을 사용하여 결과를 비교해서 최적의 분포를 선정하였는데 분석도구는 Minitab을 사용하였다.

최대우도 추정방법에서 Anderson-Darling값이 가장 낮게 나온 분포 모형을 선택하는데, 신뢰성 분석시 와이블 분포가 일반적으로 많이 사용되고 수명을 표현하는데 더 유연하므로 와이블 분포로 수명분석을 실시하였다.

### 2.6.3.3 고장 데이터 분석

적합된 와이블 분포로 트럭크레인의 확률밀도함수(PDF : Probability Density Function), 생존함수(SF : Survival Function, 신뢰도), 위험함수(HF : Harzard Function, 고장률 함수)를 산출하였으며 결과는 [그림 7]과 같다.



[그림 7] 트럭크레인 수명 데이터의 분포 개관(대형)

#### 2.6.3.4 트럭크레인 수명분석

트럭크레인의 모델별 고장 데이터로 분석된 수명분포 개관을 보면 통계량의 차이를 확인할 수 있었다. 소형 및 중형 크레인은 형상모수( $m$ )가 1에 가깝게 나타났으며, 대형 크레인은 형상모수( $m$ )가 1보다 큰 마모고장(IFR)의 모습을 나타내었다. 적합된 와이블 분포로 트럭크레인의 모델별 확률밀도함수(PDF), 생존함수(SF), 위험함수(HF)를 산출한 결과 확률밀도함수를 보면 세 가지 모델 중에서 다른 모델에 비해 소형 크레인의 X축인 시간(Date)의 범위가 가장 큰 것을 확인할 수 있어, 모델 간에는 소형 크레인의 신뢰성이 가장 좋은 것으로 판단되었다.

트럭크레인의 모델별 현장 고장 데이터를 와이블 분포로 하여 모델별 수명을 최대우도 추정방법으로 분석한 결과 먼저 각 모델별 평균고장시간에서 소형 크레인이 다른 모델에 비하여 약 30배 정도로 높았고, 중형과 대형 크레인의 평균고장시간은 거의 비슷한 것으로 분석되었다. 이는 소형 크레인이 중/대형 크레인에 비하여 운반하는 중량물의 무게가 적어 고장이 적게 나타나는 것으로 판단된다. 모델별 백분위수 수명을 비교한 결과 중형 크레인의 수명이 가장 저조하고, 소형 크레인의 수명이 다른 모델에 비해 압도적으로 높은 것을 볼 수 있다. 이는 중형 및 대형 크레인의 고장이 소형크레인에 비해 많이 발생되지만 시간이 경과될수록 중형 및 대형 크레인의 수명은 안정된 추세로 분석되었다.

### 2.6.3.5 트럭크레인의 신뢰성 향상 방안

트럭크레인의 보증기간이 1년 동안 발생한 고장은 소형 0.03%(132대 중 4대 고장), 중형 0.82%(73대 중 60대 고장), 대형 0.87%(30대 중 26대 고장)이었다. 이에 보증기간 동안 발생한 고장을 일(Date) 단위로 분석하였는데 소형은 초기고장이 많이 발생 되나 150일 이후에는 고장이 거의 발생하지 않았으며, 중형크레인은 초기고장이 가장 많이 발생되었으나 기간이 지남에 따라 고장이 감소하는 것으로 나타났다. 대형의 경우에는 사용 초기에는 안정적이거나 270일 이후에 고장이 증가하는 경향을 보였다. 따라서 중형모델의 초기에 고장을 일으키는 부품과 대형모델의 270일 이후에 고장이 발생한 부품을 신뢰성 향상의 대상으로 제시하였다.

트럭크레인의 보증정책면에서는 앞서 분석결과를 토대로 와이블 분포의 누적확률을 계산한 결과, 소형은 입력상수가 180일(日) 일때 고장확률 3.03754%(형상모수 0.971523, 척도모수 6461.81), 중형은 입력상수가 360일(日) 일때 고장확률 82.9836%(형상모수 0.933746, 척도모수 195.197), 대형은 입력상수가 360일(日) 일때 고장확률 79.4145%(형상모수 1.51129, 척도모수 265.918)로 분석되었다. 이에 중형 크레인은 출고 후 초기고장이 가장 많이 발생되고, 대형 크레인은 270일 이후에 고장이 증가하는 경향을 보여 고장 발생 빈도가 안정적이지 못하므로 지금의 보증기간인 360일을 유지하는 것이 좋을 것으로 판단되었다. 그러나 소형 크레인 출고후 180일 이내 고장날 확률이 3.04%로 현저히 낮았으므로 현재 보증기간인 180일을 360일 이상으로 연장하더라도 보증비용에 끼치는 영향이 적을 것이므로 소형 크레인의 보증기간을 업계 평균보다 길게하는 보증 정책을 펼친다면 제품 판매량 및 기업 이익에 좋은 요소로 작용할 것이라고 말하고 있다.

### 2.6.3.6 연구의 한계점

이 연구는 특정 제품의 현장(Field) 고장 데이터를 수집하여 수명분석을 통해, 그 제품에 적합한 신뢰성 향상 방안 및 보증정책의 개선방향을 제시하였다는 점에서 다른 연구들과 차별화를 보인다. 그러나 데이터 수집을 품질보증기간에만 한정하였다는 점에서 제품의 총 수명주기를 고려한 수명분석이라고 보기엔 한계가 있다.

하지만 민수제품의 수명주기 동안의 고장데이터를 전부 수집하기란 현실적으로 불가능한데, 대부분의 사용자들은 보증기간 동안 고장발생시 무상수리를 받기 위해 반드시 서비스센터를 이용하지만, 보증기간 이후에는 수리비가 저렴한 개인 정비소를 이용하기도 하기 때문이다. 그렇기에 연구자는 보증기간 동안의 서비스센터를 통한 고장데이터만 수집한 것이고 이렇게 수집된 데이터는 고장발생일이나 정비일 등의 데이터 정확도가 높다고 할 수 있다.

연구대상으로 선정한 트럭크레인은 방산장비가 아닌 일반장비이며 본 논문의 주제인 유도탄과 비교 시 제품의 특성은 매우 다르지만 실 고장데이터를 분석하는 과정인 “데이터 수집 - 적합도 검정 - 분포 모형 채택 - 제품수명 분석”의 절차는 야전 고장사례를 통해 유도탄의 신뢰성을 검증하려는 본 논문의 진행과정에서 충분히 참고할 가치가 있다. 하지만 단순히 고장확률 분석을 통해 현재 적용하고 있는 품질보증기간의 타당성을 검증한다는 것은 품질보증기간 연장에 따른 생산자 비용증가가 간과될 있으므로 본 논문에서는 실 고장 데이터를 활용한 실제고장 확률분석과 이에 따른 비용증가 영향성을 동시에 고려하여 연구를 진행하려 한다.

## 2.6.4 One-shot System 신뢰도 관련 연구

이번 장에서는 본 연구의 주제인 유도탄(One-shot System) 신뢰도 관련 최근 연구들에 대한 내용을 정리하였다.

[표 7] 유도탄 신뢰도 관련 연구들

제 목	연구자	연구내용
가부반응 데이터특성을 가지는 탄약체계의 신뢰도 추정방법 비교	류장희 등 (2010년, 한국군사과학기술학회지)	<ul style="list-style-type: none"> <li>고장분포를 와이블로 가정하여 비누적법, 누적법, 모수추정법, 베이지안법 등 신뢰도 추정방법들의 정확성 비교</li> <li>모수추정법이 샘플수가 매우 적은 경우를 제외하고 정확성이 가장 높음</li> </ul>
유도탄 예방점검주기 및 수명설정 방안에 대한 연구	이종문 등 (2011년, 대한산업공학회지)	<ul style="list-style-type: none"> <li>“MIL-HDBK-217F”, “RADC TR-85-91”, “NPRD-95” 모델을 기준으로 00체계 고장을 산출 및 Martinez의 저장기간 동안의 신뢰도 보전개념 적용</li> <li>목표 저장신뢰도 90% 적용시 산출된 고장율(<math>1.982 \times 10^{-6}</math>) 기준 예방점검은 5년주기, 수명은 30년 설정이 적정</li> </ul>
TLCSM 제도하 대함유도탄의 신뢰도 향상을 위한 RCM 적용에 관한 연구	김석곤 (2011년, 광운대학교 박사논문)	<ul style="list-style-type: none"> <li>해군 유도탄 대상 신뢰도 향상을 위한 RCM 적용에 관한 연구</li> <li>검사주기 조정을 포함한 정비정책 개선안 제시 및 RCM 적용 모델 제시</li> </ul>
일회성 시스템의 저장신뢰도 결정 모델에 관한 연구	김동규 등 (2013년, 한국경영과학회지)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Martinez 검사주기 결정모델을 기반으로 공장-수송-저장-검사/정비 단계별 고장발생을 및 검사장비의 오류를 현실적으로 고려한 신뢰도 결정모델 제시</li> <li>결정모델을 지수분포, 와이블 분포, 감마분포의 고장함수에 적용한 결과 주기검사 횟수의 증가에 따라 신뢰도 감소폭이 커짐</li> </ul>

제목	연구자	연구내용
주기적 검사가 실시되는 원샷 시스템의 신뢰도 분석	김하원 등 (2015, 대한산업 공학회지)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Martinez(1984) 모형을 기반으로 검사장비 오류개념이 수정된 저장 신뢰도 모형 제안</li> <li>• 제안된 모형을 지수분포, 와이블 분포에 적용한 결과 검사 전/후 신뢰도의 차이가 커지면서 더 정확한 신뢰도 산출 가능</li> </ul>
원샷 시스템의 저장 신뢰성 추정 정확성에 대한 샘플링 시점의 영향 분석	정용호 등 (2016년, 신뢰성학회지)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신뢰도 추정의 정확성을 실험조건 측면에서 접근하여 샘플링 시점에 대해 연구</li> <li>• 고장분포는 와이블로 가정, 모수적 접근법 사용</li> <li>• 고가의 원샷시스템 경우 샘플링 증가는 현실적으로 어려우므로 초기에 샘플링 집중시 신뢰성 추정에 효과적임을 확인</li> </ul>

신뢰도 관련 연구들은 크게 3가지 형태로 정리할 수 있는데 첫 번째는 신뢰도 추정법에 대한 연구, 두 번째는 신뢰도 추정절차에 대한 연구, 세 번째는 실험조건에 따른 신뢰도 추정변화에 대한 연구이다. 그러나 대부분의 연구들은 연구개발간 공학적 분석모형을 이용한 신뢰도 추정의 연장선에서 진행되고 있어, 실제 저장 간 신뢰도 관리에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 게다가 분석간 사용하는 데이터들은 실제 고장데이터가 아닌 추정데이터를 사용하고 있으며, 실 고장데이터를 사용한 연구는 김석곤의 연구가 유일하다. 김석곤의 연구결과를 보면 해군 유도탄 1종에 대한 신뢰도 분석결과 일부 구성품에 대한 검사 기능 추가와 주기검사 기간 연장 등의 정비개념 개선을 제시하고 있는데 분석대상인 유도탄에 대한 내용으로 한정되어 있다.

따라서 본 연구는 실제 고장데이터를 기반으로 유도탄에 대한 저장신뢰도를 확인하고, 이를 품질보증과 연관하여 접근한다는 측면에서 기존 연구와 확실한 차별화를 가진다고 할 수 있다.

### III. 연구설계

본 연구는 유도탄 야전고장 데이터를 수집하여 년차별 저장신뢰도를 분석하고, 개발시 예측된 유도탄 저장신뢰도와 비교하여 유도탄 저장 간 신뢰도관리의 중요성과 이를 반영한 합리적인 품질하자보증모델을 제시하는데 그 목적이 있다. 이에 본격적인 연구에 앞서 연구의 대상이 되는 유도탄 저장신뢰도가 최초 설계시 어떻게 산출되는지 그 과정을 살펴보자.

#### 3.1 개발간 저장신뢰도 목표값 산정

유도탄은 발사 시 정확한 임무성공(발사)확률을 가질 수 있는지에 대한 값이 신뢰도 척도로 선정되며, 저장 간 발생할 수 있는 유도탄 고장은 지수분포(exponential distribution)를 가정하여 확률값(Probability)으로 제시된다.

유도탄 신뢰도 분석은 전자부품과 비 전자부품으로 나누어 분석되는데 유도탄 저장신뢰도의 핵심인 전자부품은 운용신뢰도를 먼저 분석하고 이를 이용하여 저장신뢰도를 구하는 방법으로 계산된다.

전자부품 운용신뢰도 분석은 미 군사표준서 MIL-HDBK-217F를 사용하는데, MIL-HDBK-217F는 미국의 RADC/RAC(Rome Air Development Center/Reliability Analysis Center)에서 정부기관, 산업체, 야전부대로 부터 수집한 부품신뢰도에 관한 자료를 기초로 국방성에서 만든 문서로, RADC/RAC에서 수집한 자료에 의하면 부품의 고장발생 원인은 패키지 형태, 집적회로의 논리 복잡도, 온도조건, 환경조건 및 제조 과정의 검사 등급 등에 따라 영향을 받음을 알 수 있다. MIL-HDBK-217F는 부품의 고장분포는 일정한 지수분포라는 가정 하에 하위 부품에 대한 고장률의 합으로 상위수준의 어셈블리 또는 시스템에 대한 신뢰도를 산출하는데 전기 및 전자부품과 약간의 기계부품에 대한 고장률 예측방식을 제공하며, 고장률을  $10^{-6}$  단위로 표현하고 있다. 이 규격은 각 부품의 고장률 계산방법으로 PCM, PSA을 제시하고 있다.<sup>48)</sup>

48) 전건욱, “시스템 신뢰도”, 도서출판 두남, 2012. pp280~282

김중천, 이동욱, “효율적인 유도탄 수명주기를 위한 신뢰도 분석”, ADD, 2010.12 pp91~92

PCM(Parts Count Method : 부품 수량 분석법)은 부품별 Stress Analysis를 사용하기에는 자료가 충분하지 않은 설계 초기단계(PDR : Preliminary Design Review) 또는 입찰 단계에서 부품 종류, 수량, 사용 환경 조건 및 개략적인 품질수준만을 반영하여 개략적인 MTBF값을 예측하는 방법으로 부품 각각의 고장률에 Quality Factor를 곱하고 이것들을 다 합하여 전체 시스템 고장률을 계산한다.

$$\lambda_{EQUIP} = \sum_{i=0}^{i=n} N_i (\lambda_G \pi_Q)_i$$

$\lambda_{EQUIP}$  = 장비의 고장률 (failures/106 hr)

$\lambda_G$  = i 번째 일반 부품의 고장률 (failures/106 hr)

$\pi_Q$  = i 번째 일반 부품의 품질 인자(Quality Factor)

$N_i$  = i 번째 일반 부품의 수량

n = 서로 다른 일반 부품의 종류(Categories)

PSA(Parts Stress Analysis Method : 부품 부하 분석법)은 실제로 연구개발 후반부에 하드웨어 및 회로도 설계 완료시 적용 가능한 방법으로 어느 정도 구성품의 특성이 결정되어지는 단계(CDR : Critical Design Review)에서 사용되며 현재까지 알려진 방법 중 가장 정확한 신뢰도 분석방법이다. PSA법은 초기 설계 단계에서 장비의 설계조건으로 요구되는 신뢰도와 부품의 선정을 적절히 조정(Trade off)하는 방법으로도 활용 할 수 있는데, 각 부품별로 가해지는 열적/전기적 부하와 부품 품질 수준, 최대 정격치 및 사용 환경 등 상세한 정보에 의해 고장률 및 MTBF를 예측한다. PSA는 부품들을 종류별로 분류하여 이들에 대한 고장률 모델을 제시하고 있다. 특히 부품의 형태, 수준, 환경 조건과 전기적 특성, 온도 및 기타 신뢰도에 영향을 주는 요소를 고려하여 제시하고 있으며 다음과 같이 산출된다.

---

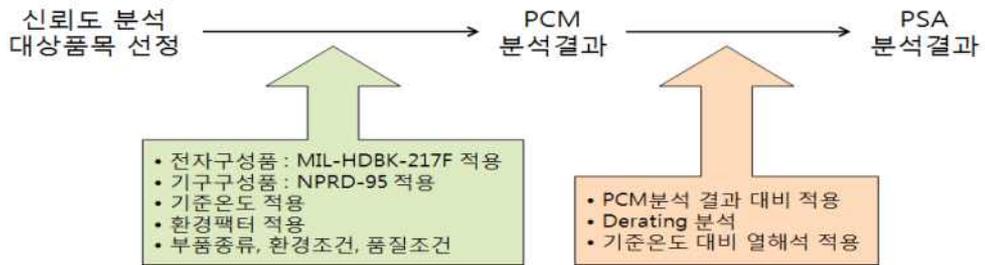
ADD, “신뢰도 예측 보고서”, 2003.11.20. pⅢ-6~8

$$\lambda_P = \lambda_b \times \pi_T \times \pi_A \times \pi_R \times \pi_S \times \pi_C \times \pi_Q \times \pi_E \quad \text{Failures}/10^6 \text{ hour}$$

$\lambda_P$  : 부품 고장률

$\lambda_b$  : 부품의 전기, 온도 부하의 영향과 관련된 고장률

$\pi$  : 부품의 신뢰도에 영향을 주는 환경조건과 또 다른 인자들에 의해 기본 고장률을 변형시키는 요소



[그림 8] 개발 간 PCM, PSA 적용

전자부품의 저장고장률은 부품의 특성(Characteristic), 생산될 때 포함된 기술(Technology) 그리고 부품의 저장 신뢰도에 커다란 영향을 미치는 환경 Factor와 같은 외부 Factor들을 고려하는데, 개발단계별 PCM과 PSA방법에 의해 산출된 운용신뢰도에 RADC-TR-85-91 "Impact of Nonoperating Periods On Equipment Reliability"에 나온 저장변환계수(Dormant Conversion Factor)를 곱하여 계산하는 "변환계수법"을 사용한다.

비 전자부품은 고장을 지수함수 분포로 가정하여 신뢰도를 산출하는 모델인 NTIS(National Technical Information Service)의 AD/A-002 838 "Effects of Dormancy on Non-Electronic Components and Materials"과 미사일 시스템의 저장 환경에서의 고장률 데이터에 대해 신뢰도 수준과 분석 내용을 제공하는 U.S Army Missile Command의 LC 82-2 "Storage Reliability Analysis Summary Report", U.S.A Reliability Analysis Center의 NPRD-95 "Nonelectronic Parts Reliability Data" 등을 적용한다.<sup>49)</sup>

본 연구의 분석대상인 △△, ○○유도탄은 1999년과 2005년에 개발된 유도탄으로 개발시기는 다르나 저장신뢰도 예측은 위에서 언급한 방법을 사용

49) 국방과학연구소. (2003). 「신뢰도 예측 보고서」, p.IV-1, p.IV-75.

하였으며, 각 부품별 저장신뢰도 값을 산출하여 구성품 수준에서 합산한 후 다시 체계수준에서 합산하여 유도탄 체계의 고장률을 산출하였는데 그 결과는 [표 8, 9]과 같다.<sup>50)</sup>

[표 8] 유도탄 저장신뢰도 예측값

구 분	△△유도탄		○○유도탄	
	PCM	PSA <sup>(*)</sup>	PCM	PSA
고장률( $10^{-6}$ )	13.4995	1,025.48	12.3493	4.04
MTBF (Mean Time Between Failure)	74,076.81	975.14	80,976.25	247,361

※ 위 표의 값들은 저장신뢰도 값이나, △△유도탄 PSA<sup>(\*)</sup>만 운용신뢰도 값이다.

50) 이동욱, 전계서, pp.8~15.  
 조용석, 박대현, 전계서, pp.6~7.  
 국방과학연구소, 전계서, p.Ⅲ-6~8., p.IV-107., p.V-21~22.

[표 9] △△유도탄 구성품별 고장률 및 고장간 평균시간(PCM)

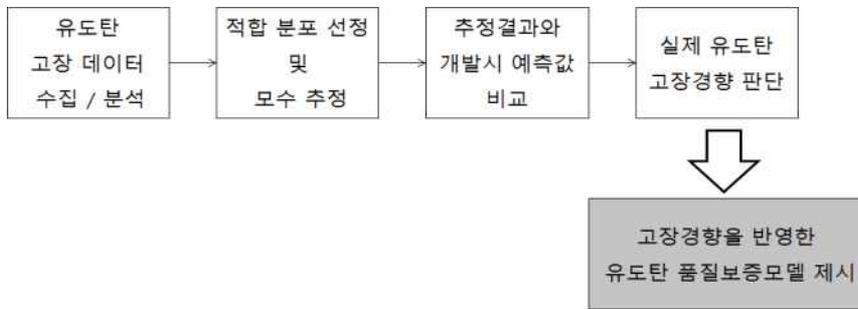
Level	품명	고장률( $10^{-6}$ )	MTBF(시간)
01	장입 유도탄	13.4995	74,076.81
0101	유도탄 조립체	13.3574	74,864.86
010101	조종장치 조립체	4.1257	
010102	탄두 조립체	$1.0 \times 10^{-8}$	
010103	신관 조립체	1.67819	
010104	추진기관 조립체	$3.5 \times 10^{-9}$	
010105	작동기 조립체	7.49512	
010106	RT 조립체	$8.0 \times 10^{-10}$	
010107	케이블 조립체, 전원용	0.01858	
010108	케이블 조립체, 작동기용	0.03016	
010109	케이블 조립체, RT용	0.00968	
0102	발사관 조립체	0.1421	7,037,297.67
010201	SABOT 조립체	$5.2 \times 10^{-9}$	
010202	밸브 조립체	$4.0 \times 10^{-10}$	
01203	탄구속장치 조립체	$1.0 \times 10^{-8}$	

이렇듯 유도탄을 개발하는 과정에서 저장신뢰도의 추정은 미국에서 인증된 방법을 토대로 해당 장비의 특성이 반영된 모델을 사용하는데, 2.4에서 언급한 RCM 개념 측면에서 설계 시 예측된 수명과 고장특성은 실제와 다르다는 점과 전자부품 신뢰도 예측 규격으로 사용된 MIL-HDBK-217F가 현장에서 오차가 증가한다는 것이 통계적으로 분석되어 2006년 217Plus로 진화하였다<sup>51)</sup>는 점을 착안하여 실제 유도탄 저장 간 발생한 고장데이터를 통해 설계 시 예측된 신뢰도와 실제 신뢰도를 비교해 보고자 한다.

51) 김종천, 이동욱, 전계서, p.90.

### 3.2 데이터 수집 및 분석 방법론

본 연구는 유도탄 야전 고장데이터를 수집하여, 관측중단기법이 적용된 모수적 분석방법에 의해 적합분포 및 모수를 추정하고, 분석결과를 개발시 예측값과 비교하여 실제 유도탄 고장 경향을 판단하는 순서로 진행된다. 데이터 분석 간에는 미니탭을 활용한 모수적 분석을 사용하였으며 이를 연구모형으로 나타내면 다음과 같다.



[그림 9] 연구 모형

### 3.2.1 데이터 수집 및 가정

육군에서 운용중인 유도탄의 실 고장실적을 분석하기 위해 선정된 유도탄은 ○○, △△유도탄인데 이 유도탄들은 10년 이상 야전에서 운용 및 저장하고 있는 유도탄으로 고장실적을 분석하기에 가장 적합하다고 판단하였다.

본 연구의 고장실적들은 방위사업청 계약부서의 자료를 기준으로 실제 계약하여 납품한 물량과 군에서 실시한 사격결과, 주기검사<sup>52)</sup> 결과를 수집하여 분석하였고 세부적인 수량은 4.1.1과 4.2.1에서 언급하겠다.

분석에 앞서 유도탄 고장에 대한 몇 가지 가정을 수립하였다.

가정 1 : 유도탄은 매년 12월 30일에 납품된다.

가정 2 : 유도탄 고장이 인지되는 시점(미발사)까지 유도탄 상태는 정상이다.

분석대상 유도탄들은 2016.12.30일을 기준(관측중단시점)으로 납품일부터 저장시간을 계산하는데, 매년 12.30일에 납품되는 것으로 가정하였다. 실제로 대부분의 유도탄들이 연말에 납품되므로 가정1을 통한 저장기간 계산의 오차는 매우 작다.

가정 2와 관련하여 유도탄은 특성상 납품 후 바로 사용되는 것이 아니고 일정기간 저장되며, 고장 발견 시점은 유도탄의 주기검사 또는 사격(사용) 시점이다. 즉, 인지된 고장은 제조나 저장과정에서 이미 발생하였으나, 정확한 고장발생시점을 알아내는 것이 매우 어렵다.

이와 관련하여 오영석(1996)은 “사용현장 데이터를 추가한 신뢰도 분석”에서 고장난 제품의 고장시간을 서비스 센터에 들어온 시간으로 정의하면서 “제품에 고장이 발생하여 서비스센터에 들어올 때까지의 시간은 무시할 수 있다.”, “서비스 센터에 들어온 제품의 고장 시간은 정확히 기록된다.”는 가정을 사용하였다. 이는 실제 고장이 발생한 시점과 서비스 센터에 들어온 시점이 다르지만, 서비스센터를 통해 확인된 시점을 고장시점으로 인지한다는

52) 유도탄은 저장신뢰도 확인차원에서 저장 중 일정기간이 경과하면 검사(주기검사)를 실시하는데 그 주기 및 방법은 유도탄 개발시 분석된 신뢰도 값에 따라 다르다. △△와 ○○은 현재 5년 주기로 전수검사를 군에서 실시하고 있으며 5년마다 실시하는 이유는 5년차에 신뢰도가 80%이하로 감소하는 것으로 분석되었기 때문이다.

의미이며, 이러한 가정은 사용현장 데이터 분석에 자주 사용된다<sup>53)</sup>. 또한 김석곤은(2011)의 “TLCSM 제도하 대함유도탄의 신뢰도 향상을 위한 RCM 적용에 관한 연구”에서도 분석 대상 유도탄의 고장 자료를 실시간으로 수집하는 것이 곤란하므로 유도탄 시험장비를 통한 검사시점을 고장데이터로 사용하였다<sup>54)</sup>.

고장관련 자료들 중 ASRP 결과도 유도탄 고장을 판단할 수 있는 근거가 되지만, 현재 유도탄 ASRP는 구성품 중 시효성 품목(수명년한 10년 이상)을 중심으로 실시하고 있으며 실제 검사실적을 보면, 05년도 납품 유도탄을 대상으로 14, 15년도에 각각 15발을 샘플로 추출하여 검사한 결과 스쿼브 및 열전지 등의 구성품에서 고장이 발견되었다.(14년 검사시 3발, 15년 검사시 6발 고장) 하지만 ASRP에서 발견된 고장은 정비행위(창정비)로 복구되며 본 연구는 최초 연구개발시 목표 저장수명이었던 10년 동안 80%이상 신뢰도 유지를 검증하는 것이 목표이므로 ASRP 관련 고장데이터는 분석대상에서 제외하였다.

---

53) 오용석. (1996). 「보존기간 후의 사용현장데이터를 추가한 신뢰성 분석」. 한국과학기술원 석사학위논문, pp.7~8.

54) 김석곤, 전개논문, p.67.

### 3.2.2 유도탄 저장기간 계산(관측중단)

대부분의 유도탄은 저장기간 동안 사용(발사) 되지 않으며, 검사나 사격간 나타나는 증상에 의해 고장이 인지된다. 하지만 고장 수량은 많지 않으므로 다수의 유도탄들이 분석을 위해 고장실적을 종합하는 시점까지 수명이 다하지 않고 생존해 있다고 볼 수 있다. 그래서 신뢰도 분석간 관측 중단기법을 도입하였다.

여러 개의 동일한 부품을 작동시킨 상황에서 고장시간을 관측할 경우 시험이 시작된 시점부터 모든 부품들이 다 고장날 때까지 관측하였다면 “완전자료”라 한다. 그러나 도중에 시험을 종료하여 관측이 중단되면 그 시험 이후의 고장정보는 얻을 수 없게 된다. 이러한 유형의 관측중단을 우측 관측중단이라고 하며 관측중단시점이 마지막 고장시간 이후이므로 다중관측중단<sup>55)</sup>이라고 한다.

실제 사격시험 결과를 정상적인 발사와 고장으로 구분지어, 정상적으로 발사된 경우, 그 시점에서 데이터의 우측관측중단 이벤트가 발생한다. 즉, 고장이 발생하는 시점을  $t$  (수명)라고 하고, 관측중단이 일어날 때까지의 시간을  $c$  라고 한다면, 고장으로 판명된 탄의 경우는  $t$  라는 수명값을 갖게 되나 정상탄의 수명은 관측중단이 일어날 때 까지의 시간,  $c$  보다 길다고 가정하는 것이 타당하다. 이를 위하여 본 연구에서는 정상적으로 발사된 유도탄에 대해 우측관측 중단기법을 도입하여 분석을 실시하였다.

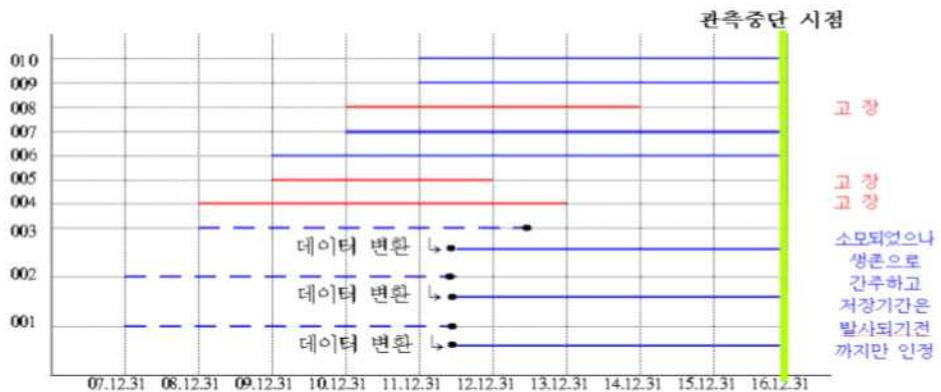
관측중단 기법이 적용되려면 수집된 고장데이터들에 대해 납품일로부터 관측중단 시점까지의 저장기간에 대한 계산이 필요하다. 예를 들어 [표 10]와 같이 2007년부터 2011년까지 년도별 2발씩 총 10발이 납품되었고 각각의 고장 및 발사현황이 다음과 같을 때 고장발생 유도탄의 저장일수는 최초 납품일로부터 고장발생일  $t$  까지이다. 그리고 006, 007, 009, 010 유도탄과 같이 관측중단시점 까지 생존해 있는 경우 저장기간은 납품일 부터 관측중단일  $c$  까지이며 데이터 분석 시 관측중단임을 표시하여 계속 생존중임을 반영한다.

55) 다중관측 중단은 서로 다른 시간에 고장관측이 중단되는 것으로 작업 현장에서 보다 일반적으로 사용된다. 예를 들어, 한 엔지니어가 5개의 팬 벨트를 관측한다고 가정 할 때, 세 개의 팬 벨트는 67시간, 76시간, 104시간에 고장이 발생하고, 나머지 두개는 110시간까지만 관측하였으나 여전히 작동한다면 마지막 두 개의 팬벨트는 110시간에 우측관측 중단이며 관측중단 시기가 마지막 고장시간(104시간) 이후 이므로 다중관측 중단이다. 만일 우측관측 중단을 마지막 고장시간인 104시간에 하였다면 그 시간에 생존하고 있는 팬 벨트는 단일 관측중단 데이터이다.

[표 10] 관측중단 개념의 유도탄 저장기간 계산

일련 번호	납품일자	고장발생	소모 (사격실시)	16.12.31 관측중단		비고
				상태	저장일수	
001	2007.12.31	미 발생	2012.6.30	생존	1642(4.5년)	발사시 정상상태 이었으므로 생존으로 간주
002	2007.12.31	미 발생	2012.6.30	생존	1642(4.5년)	
003	2008.12.31	미 발생	2013.6.30	생존	1642(4.5년)	
004	2008.12.31	사격간 미발사	2013.12.31	고장	1825(5년)	
005	2009.12.31	2012.12.31		고장	1095(3년)	
006	2009.12.31	미 발생		생존	2555(7년)	
007	2010.12.31	미 발생		생존	2190(6년)	
008	2010.12.31	2014.12.31		고장	1460(4년)	
009	2011.12.31	미 발생		생존	1825(5년)	
010	2011.12.31	미 발생		생존	1825(5년)	

이러한 개념으로 정상적으로 발사된 유도탄에 대해 관측중단 개념을 적용하여 1~3탄은 정상적으로 발사되었으나 생존으로 가정하였다. 생존이라는 의미는 납품 5년차에 정상적으로 발사된 001~003탄은 납품 후 발사까지 4.5년 동안 이상이 없었으므로 정상탄으로 처리하되, 저장기간은 4.5년으로 입력하여 마치 관측중단시점(c일) 4.5년 이전에 납품된 탄처럼 처리하였다. 이러한 데이터 변환의 개념은 [그림 10]에 나타나 있으며 분석대상 발사탄 중 정상적으로 발사된 89발의 유도탄에 대해 관측중단기법 및 데이터 변환개념을 적용하였다.



[그림 10] 발사탄 저장기간 변환 개념

정상적으로 발사된 유도탄은 상태가 정상이었으므로 우측 관측중단(생존)으로 처리하는 반면, 발사실패(고장) 유도탄은 납품된 시점을 “0”이라고 하면 발사되기 전 저장기간의 어느 한 시점 “t”에서 고장이 발생한 경우이기 때문에 좌측 관측중단이라고 볼 수 있다. 이는 실시간으로 감시가 이루어지지 않는 시스템에서 대부분 발생할 수 있는 상황이다. 본 연구에서는 실제 사격 데이터를 바탕으로 유도탄 저장신뢰도를 추정하였는데, 좌측 관측중단 데이터는 정확한 고장시점 정보를 알 수 없으므로 결과에 편향(bias)이 발생할 수 있다. 게다가 유도탄은 5년 주기로 검사되고 있기 때문에 좌측관측중단의 관측 오차가 최대 5년이며 실제 고장이 발생한 유도탄의 수는 전체 데이터 대비 매우 작은 수이므로 결과값에 큰 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구간 좌측관측중단은 고려하지 않았다.

### 3.2.3 분석 방법론(모수적 접근방법)

모수적 접근방법(parametric method)은 신뢰도 분석을 위해 획득한 데이터의 모집단은 특정 분포를 따를 것이라는 가정 하에서, 수명분포 특성을 나타내는 모수와 각 시점에서의 성공/실패의 함수로 표현된 우도함수(likelihood function)를 최적화하여 모수를 추정함으로써 신뢰도를 추정하는 방법으로 데이터들이 연속적으로 측정이 가능한 계량형 데이터<sup>56)</sup>일 경우 사용한다.

이에 본 연구에서는 수집된 데이터를 이용하여 분포적합도 검정을 통해 적합한 분포를 선택하고 선택된 분포를 이용하여 모집단의 신뢰도를 추정하여 이를 검증하는 순서로 진행하였다.

유도탄 저장기간을 대상으로 한 고장확률(failure probability)은 대상 구간이 사격시험간 미 발사 되는 확률로 정의되며, 생존확률(survival probability)은 고장확률과 반대의 개념으로 유도탄이 사용 가능할(발사가능) 확률로 정의된다. 생존확률함수  $R(t)$ 는 고장확률함수  $F(t)$ 의 여함수로 정의되며, 식(1)과 같은 관계가 성립되는데, 고장확률함수는 누적 확률밀도함수로 정의되어 식(3)에서와 같이 미분한 값은 확률밀도함수가 된다.

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (1)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2)$$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3)$$

---

56) “계량형 데이터”와 “계수형 데이터” : 계량형 데이터는 “길이, 질량, 고장시간과 같이 연속적으로 측정할 수 있는 데이터”를 나타낸다. 계수형 데이터는 “생산품의 불량개수 및 비파괴검사를 통해 얻어지는 결점 개수 등과 같이 검사(Inspection)를 통해서 확보할 수 있는 성공개수 및 실패 개수로 표현되는 데이터”를 나타낸다. 계수형 데이터는 검사 대상 시스템에 대한 주기적인 비파괴 검사를 통해 얻을 수 있는 구간 데이터(Interval Data)와 단 한 번의 파괴검사를 통해 얻게 되는 가부반응 데이터(Quantal-Response Data)로 나눌 수 있다.

구간의 수명특성을 나타내는 지표로 평균수명(mean life) 혹은 평균고장시간(mean time to failure : MTTF)이 있으며 연속확률변수 T의 확률밀도함수가  $f(t)$ 일 때, 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$MTTF = E[T] = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (4)$$

이제까지 생존확률을 신뢰도 분포로 설명을 했다면 반대로 고장률함수(failure rate function)나 위험도함수 (hazard function)개념이 있다. 이 개념은 신뢰도 함수의 확률밀도함수에서 역수를 취하면 된다. 모수적 방법을 이용하기 위해서는 고장률 함수도 같이 정의가 되어야 하며, 유도탄 저장기간 동안 t년까지 고장(파손) 없이 저장 중인 구간 가운데 t년에서 고장 날 확률을 나타낸다. 식 (5) (6) (7) 단계까지 진행하면 수명데이터의 식이 성립된다.

$$\begin{aligned} \lambda_t &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t * R(t)} \\ &= \frac{1}{R(t)} \left( - \frac{d}{dt} R(t) \right) = \frac{f(t)}{R(t)}, 0 \leq t \leq \infty \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)의 양변에 t에 대해 적분하면 다음과 같이 된다.

$$\int_0^t \lambda(u)du = - \int_0^t \frac{d}{du} [\ln R(u)du] = - \ln R(t) \quad (6)$$

$$R(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda(u)du \right] \quad (7)$$

본 연구의 신뢰도 분석은 미니탭을 사용하였는데 미니탭에서는 모수적 접근방법의 분포적합도 검정을 최소자승법(Least Square Estimation)과 최우추정

법(Maximum Likelihood Estimation)을 사용한다. 최소자승법은 관측 중단 자료가 아닌 완전자료에 주로 사용하며, 본 연구와 같이 관측 중단 자료를 사용할 경우 최우추정법을 이용하는데 최우추정법은 결합 확률밀도함수 형태인 우도함수를 구하여 대수를 취한 대수우도함수를 최대화시키는 방법으로 일반적으로 통계적 성질이 우수하다고 알려져 있다<sup>57)</sup>.

최우추정법의 유도과정을 보면 아래와 같은 확률밀도함수에서

$$f(x; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad x : \text{고장시간 데이터}, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k : \text{추정할 모수}$$

완전 데이터 경우 우도함수는 확률밀도함수의 곱으로 아래와 같다.

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$$

$n$  : 완전 데이터 세트의 고장데이터 수,  $x_i$  :  $i$ 번째 고장시간

모수를 추정하기 위해 위 식의 양변에 자연로그를 취하면

$$A = \ln L = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \text{ 와 같다.}$$

우도함수가 최대로 되는 모수를 구하기 위해 위 식에 편미분을 취하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial A}{\partial \theta_j} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k$$

데이터 세트가 관측중단 데이터를 포함하고 있을 경우의 우도함수는 아래 식과 같다.

---

57) 서순근. (2006). 「Minitab 신뢰성 분석」. 이레테크, p.114.

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \cdot \prod_{j=1}^m [1 - F(y_j; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)]$$

$m$  : 완전 데이터 세트의 고장데이터 수,  $y_i$  :  $i$ 번째 관측중단,

$F(y_i; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$  : 누적분포함수

미니탭에서는 최우추정법을 선택하면 적합정도에 대한 검정통계량 값으로 수정된 Anderson-Darling<sup>58)</sup>(Adjusted AD, 이하 AD) 검정통계값이 제공되는데, AD검정은 경험적 누적분포함수를 이용한 검정통계로 검정통계값이 가장 작은 분포가 수집된 데이터와 가장 적합하다고 판단한다. AD검정과 유사한 검정으로는 Kolmogorov-Smirnov 검정과 연속형 자료를 몇 개의 범주로 구분하여 적용 할 수 있는  $\chi^2$ 검정 등이 있는데, AD검정은 확률지에 도시된 점과 이들을 적합한 직선의 대응점 또는 경험적 누적분포함수와 이론적 분포함수와의 차이를 측정하는 값이며 분포의 꼬리 부분에 큰 가중치를 가지도록 하여 적합된 직선과 도시된 점과의 가중된 제곱거리를 구한 값이다.<sup>59)</sup>

---

58) Anderson and Darling(1952)에 의해 추계학적 과정에서의 오차를 감소시키기 위한 기준으로 처음 제시된 적합도 검정방법으로 데이터가 특정분포를 얼마나 잘 따르는지를 검정하며, 미니탭에서 최우추정법이 아닌 최소제곱법 선택시 확률지에 표시된 적합도 직선의 상관계수값이 같이 제공되는데 AD값이 작고, 상관계수 값이 큰 분포를 적합분포로 선정한다.

59) 서순근, 전계서, p.113.

## IV. 연구결과

### 4.1 유도탄 저장신뢰도 분석과 신뢰도 분포 확인

#### 4.1.1 입력 데이터(○○유도탄)

○○유도탄은 개인이 휴대하는 지대공 유도탄으로 2005년부터 2016년 현재까지 약 ~~~~~ 60)발 정도가 납품되어 저장중에 있는데, 개발단계에서 예측된 신뢰도에 의해, 납품 후 저장신뢰도가 80%이하로 떨어지리라 예상되는 5년차에 검사장비를 이용하여 주기검사를 실시한다. 이에 약 ~~~~~ 발의 유도탄 중 5년차 주기검사가 진행중인 약 1,000발의 검사결과와 납품 후 2015년까지 실제 사격한 약 100발의 사격결과를 수집하였다. 수집한 주기검사결과와 사격검사결과는 모두 사용현장에서 수집한 Field 데이터이지만, 유도탄의 고장이라는 측면에서 주기검사는 검사 인원과 검사 장비의 오류가 포함될 수 있으므로 분석대상에서 제외하고, 객관적인 결과인 사격결과(발사, 미 발사)만 사용하여 입력데이터로 사용하였다. 이에 분석대상 데이터는 2005년부터 2015년까지 사격한 99발이다. 납품은 실제로 대부분 연말에 납품되기 때문에 매년 12월 30일에 납품되는 것으로 가정하면, 납품된 시점부터 발사시점까지를 유도탄의 수명이라고 정의할 수 있다.

이에 분석간 사용된 데이터는 다음의 [표 11, 12]에 정리되어 있는데 총 발사수량은 99발이며, 그 가운데 고장수량은 10발이다.

One-shot System의 신뢰도 분석은 해당 제품의 로트별 일정 비율의 샘플을 추출하여 신뢰도 시험을 실시하고, 그 시험결과를 바탕으로 전체 모집단의 신뢰도를 추정하는 통계적 접근법이 추천된다<sup>61)</sup>. 이러한 이유로 본 분석은 실 사격결과를 모집단의 샘플로 가정하여 전체 신뢰도를 분석하였으므로 매우 의미 있는 사례라 할 수 있다. 하지만 대부분의 유도탄(입력 데이터)들이 정상적으로 발사되었기 때문에, 발사하지 않았다면 현재까지 고장이 발생하지

60) 정확한 납품수량은 보안상의 이유로 생략한다.

61) 김종천, 이동욱, 전계서, p.5.

않고 생존해 있다 가정 할 수 있어 우측관측 중단을 적용하였다.

[표 11] ○○유도탄 사격시험 결과

구분	계	사격결과(발사수량 / 고장수량*)											
		'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	
납품연도	'05	21/2	1/0	1/0	1/0							6/2	12/0
	'06	5/1			1/0						4/1		
	'07	1/0				1/0							
	'08	37/4					2/0		4/1	4/0	6/1	13/2	8/0
	'09	16/1					1/0	2/1	1/0	4/0	1/0	3/0	4/0
	'10	13/2						2/0	2/0	4/2	3/0	2/0	
	'11	2/0										1/0	1/0
	'12	4/0									3/0		1/0
계	99/10	1/0	1/0	2/0	1/0	3/0	4/1	7/1	12/2	17/2	25/4	26/0	

\* : 고장의 정의는 유도탄 자체의 이상으로 미 발사된 탄을 의미하며, 조작자의 실수 또는 사격 준비 간 취급부주의로 인한 파손은 제외하였다.

[표 12] 사격시험 고장유도탄 저장기간

납품	계	저장기간								
		1년 (0~355일)	2년 (366~730일)	3년 (731~1095일)	4년 (1096~1460일)	5년 (1461~1825일)	6년 (1826~2190일)	7년 (2191~2555일)	8년 (2556~2920일)	9년 (2921~3285일)
'05	2									2
'06	1							1		
'07	-									
'08	4			1		1	2			
'09	1	1								
'10	2		2							
계	10	1	2	1	-	1	2	1	-	2

#### 4.1.2 데이터 분석(모수적 접근방법)

본 연구는 샘플링 검사를 통한 모수 추정법을 적용하여, 기존의 검사주기에 대한 타당성 검토 및 실질적 저장신뢰도 확인방법의 제시를 목적으로 하고 있다. 실제 한국군사과학기술학회지 수록 논문<sup>62)</sup>과 국방과학연구소의 기술보고서<sup>63)</sup> 등에서 샘플링 검사를 바탕으로 한 모수적 접근방법의 타당성 및 효율성이 제시되어 있으며, ○○유도탄의 저장신뢰도 확인을 위해 위의 방법론을 실제 고장데이터에 적용시켜 연구를 진행하였다.

대부분의 유도탄들은 개발시 10년 동안의 저장을 요구하기 때문에 최초 개발시 요구되는 MTTF(Mean Time To Failure)는 8,300시간(10년)이다. 그리고 연구개발 종료시점에서 실제 사용된 내부 구성품의 신뢰도를 기준으로 유도탄 전체 신뢰도를 분석하여 예측하는데 ○○유도탄의 예측 MTTF는 247,361시간(28.23년)이었다. 이에 실제 수집된 고장데이터를 이용하여 기존 문헌에서 효율적이라고 판단한 모수적 접근방법으로 신뢰도를 추정한 뒤 개발시 제시되었던 신뢰도와 비교 및 고장경향을 분석하였다. 참고로 MTTF는 비 수리 제품의 고장까지 평균시간 또는 수리가능 제품의 첫 고장까지 평균시간으로 유도탄과 같은 One-shot System은 MTTF와 MTBF(Mean Time Between Failures : 수리 가능한 시스템에서 고장간 평균 시간)가 동일하며, 고장나기 전과 고장난 후 수리하여 다시 작동시킬 때 작동조건이 동일하게 유지된다면 이 때에도 MTTF와 MTBF를 동일하게 처리 할 수 있다.<sup>64)</sup>

---

62) 류장희 외. (2010). 가부반응 데이터 특성을 가지는 탄약 체계의 신뢰도 추정방 비교. 「한국군사과학기술학회지」. 13(6):982~989.

63) 김종천, 이동욱, 전계서, p.5.

64) 원형규. (2010). 「고장률 중심의 기초 신뢰성 공학」. 한성대학교 출판부, p.113.

#### 4.1.2.1 적합분포 선정

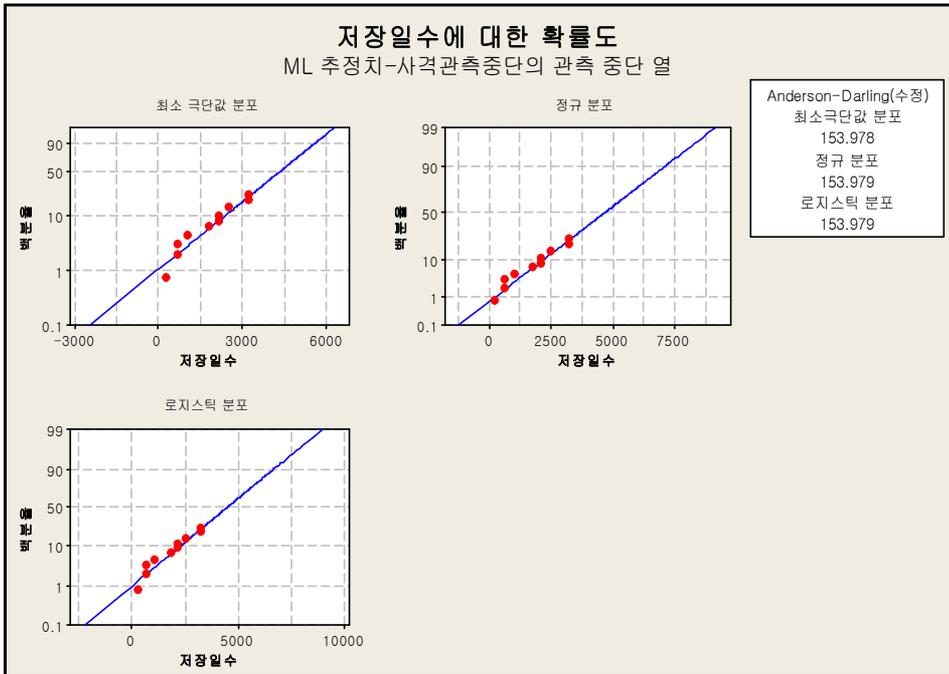
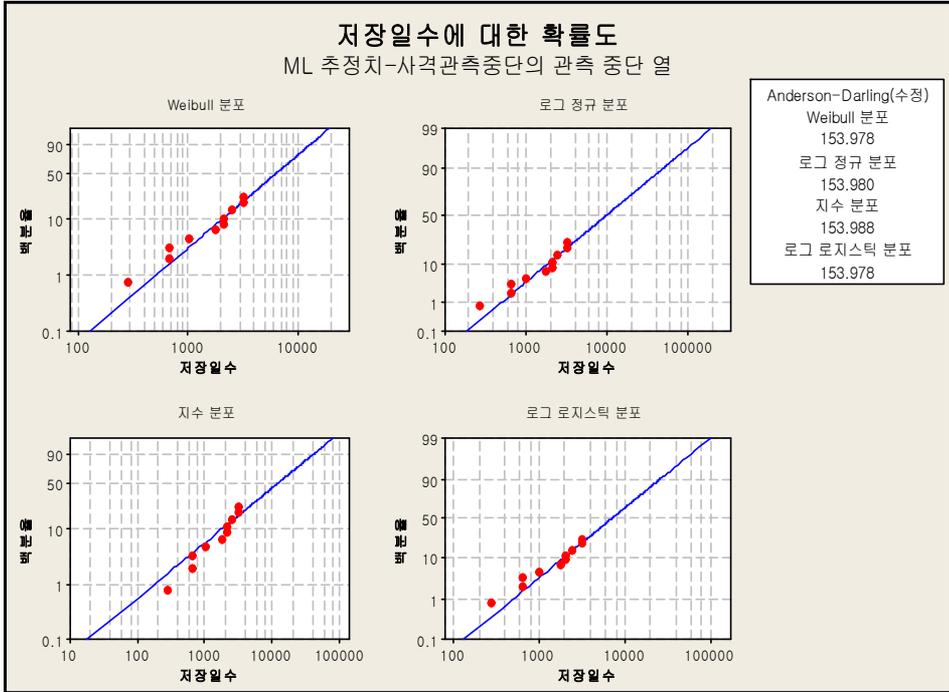
우선 미니탭에서 제공하는 수명분포 적합도 기능을 통해 가장 적합한 수명분포가 어떤 것인지 분석해보았다. 입력 데이터는 4.1.1에서 언급한 바와 같이 우측관측중단 개념으로 2005년부터 2012년까지 발사된 유도탄 총 99개의 데이터를 이용하였으며, 이 중 관측 중단 데이터는 89개이다. 모수추정을 위한 분포적합도 검정은 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 사용하는데, 관측중단 데이터의 경우 최우추정법을 많이 사용한다. 적합분포 선정을 위해 각 분포별 AD 검정통계값을 비교하였으나 큰 차이는 없었으며 와이블 분포가 AD 검정통계값이 153.978로 가장 작게 분석되었다. 참고자료로 활용하기 위해 최소제곱법에 의해 AD 검정통계값과 상관계수를 확인한 결과 [표 13]와 같이 분석되어 가장 적합한 분포로 와이블 분포를 선정하였다.(AD 값이 적고, 상관계수값이 큰 분포)

[표 13] ○○유도탄 분포별 AD통계값 및 상관계수 비교

구분	와이블 분포	지수 분포	정규 분포	로지스틱 분포	최소극단값 분포	로그 정규분포
AD통계량 (최우추정)	153.978	153.988	153.979	153.979	153.978	153.980
AD통계량 (최소제곱)	153.979	153.997	153.985	153.999	154.007	153.982
상관계수 (최소제곱)	0.983	-	0.975	0.962	0.959	0.971

데이터 개수 중 관측중단 데이터가 많은 경우는 와이블 분포나 로그정규 분포가 적합한 것으로 알려져 있으며 AD검정통계량 값이 너무 크게 나와 분포의 적합성 판단기준으로 사용할 수 없을 경우 확률지를 ‘눈으로 보아’ 일직선에 가깝게 보이는 분포를 선정하는데<sup>65)</sup> 분석된 각 분포별 확률도는 [그림 11]과 같다.

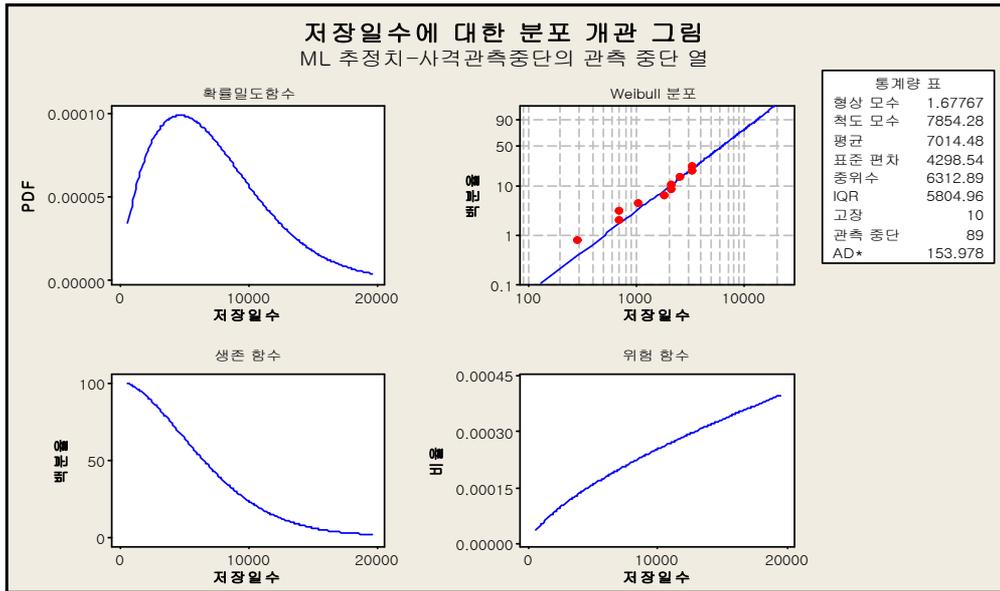
65) 백재욱. (2011). 필드 고장 요약 데이터를 활용한 미래 고장수의 예측. 「한국데이터정보과학회지」 22(4):755~764



[그림 11] ○○유도탄 각 분포별 확률도(우측관측중단, 최대우도법)

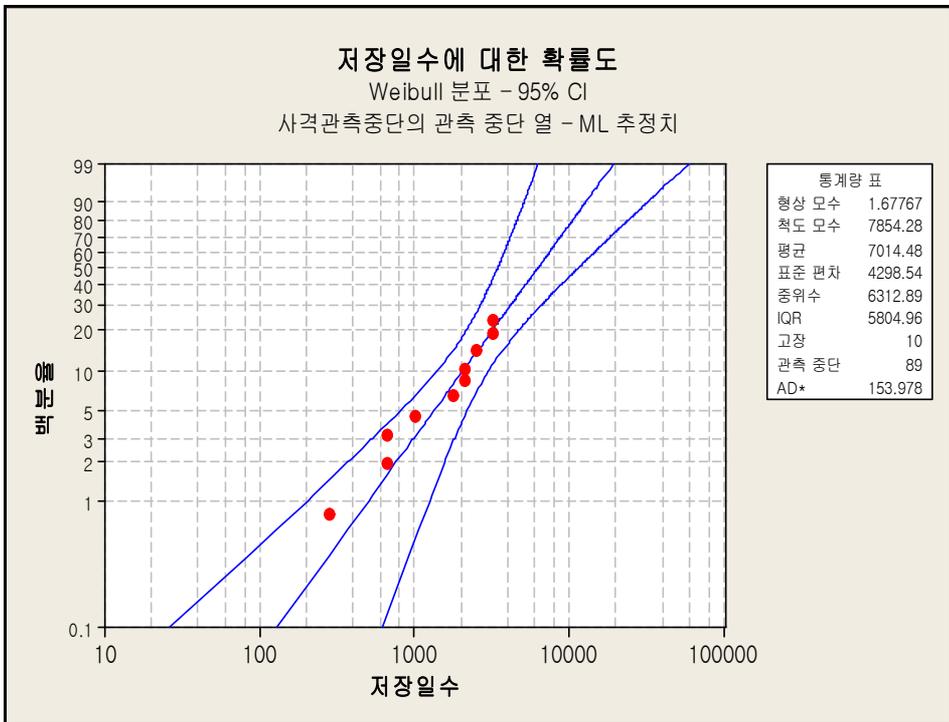
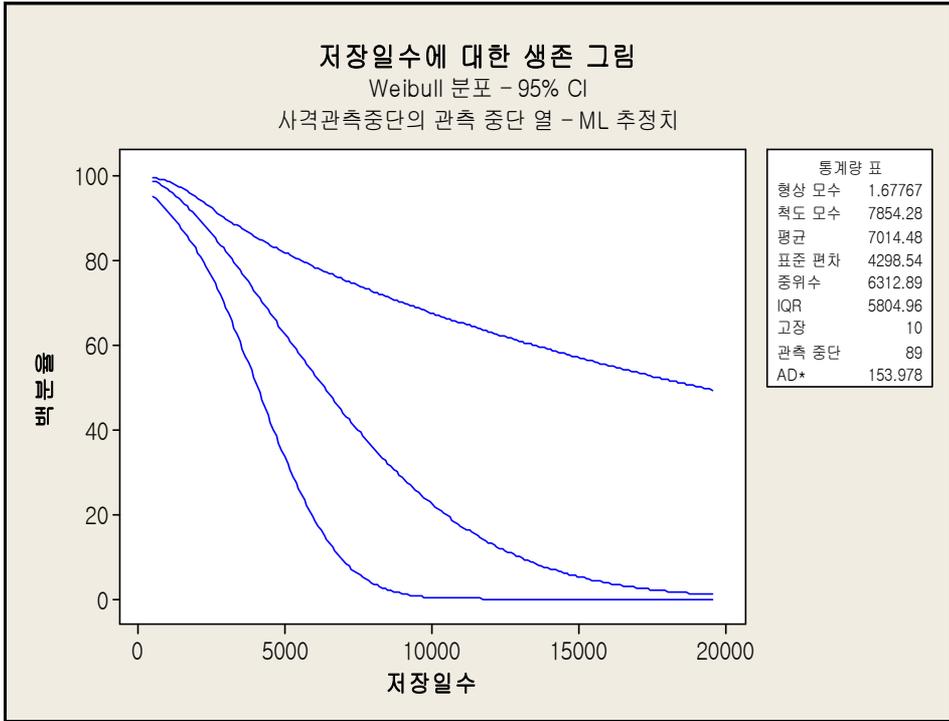
#### 4.1.2.2 분포를 통한 모수 추정

최우추정법을 통해 적합된 와이블 분포로 미니랩을 통해 모수를 추정하고 확률밀도함수, 생존함수 및 위험(고장율)함수를 산출해 보았다.



[그림 12] ○○유도탄 와이블 분포의 각 함수 개관 그림

분석된 와이블 분포의 척도모수( $\eta$ )는 7854.28이며 형상모수( $m$ )는 1.67767이다. 형상모수가 1보다 크다는 것은 시간이 경과할수록 고장이 증가하는 마모고장의 형태를 나타낸다고 할 수 있으나, 위험함수(고장률함수) 세로축 값에 대한 구간 폭이 매우 작으므로 시간에 따른 고장 증가율은 매우 작다는 것을 알 수 있다. 와이블 분포로 추정된 MTTF는 95% 신뢰수준에서 7014.5일 (168,348시간 / 19.2년)으로 추정되며 신뢰도 척도 함수는 [그림 13]과 같다. 추가로 척도모수는 특성수명(Characteristic Life)이라고 하는데, 이를  $R(t)=\exp[-(t/\eta)^m]$ 에서  $t=\eta$ 에 대입하면,  $F(\eta)=1-\exp(-1) = 0.632$ 가 된다. 즉, 와이블 분포를 따르는 제품들의 약 63.2%가 7854.28시간에 고장이 발생한다는 의미이다.



[그림 13] ○○유도탄 신뢰도 척도 함수

#### 4.1.2.3 ○○유도탄 신뢰도 분석

본 연구는 ○○유도탄을 약 10년 이상 운용한 현 시점에서 개발시 제시된 신뢰도 예측값(6년차에 신뢰도 0.8이하)을 검증해 보려고 시작하게 되었다. 다음 [표 14]은 [그림 13]에서 제시된 확률그림(신뢰도함수)을 표로 환산한 것이다.

[표 14] ○○유도탄 신뢰도 백분율 표

95.0% 정규 CI				
백분율	백분위수	표준오차	하한	상한
1	506.15	235.09	203.67	1257.87
5	1337.27	337.74	815.16	2193.79
10	2053.81	403.19	1397.85	3017.59
20	3212.34	638.63	2175.70	4742.89
30	4248.47	989.92	2690.89	6707.61
40	5262.81	1421.60	3099.49	8936.06
50	6312.89	1933.96	3463.07	11507.90
60	7455.48	2550.00	3813.64	14575.10
70	8773.22	3321.65	4177.18	18426.20
80	10430.30	4368.53	4589.74	23703.20
90	12912.50	6066.65	5141.52	32428.60
99	19518.30	11152.50	6369.10	59814.70

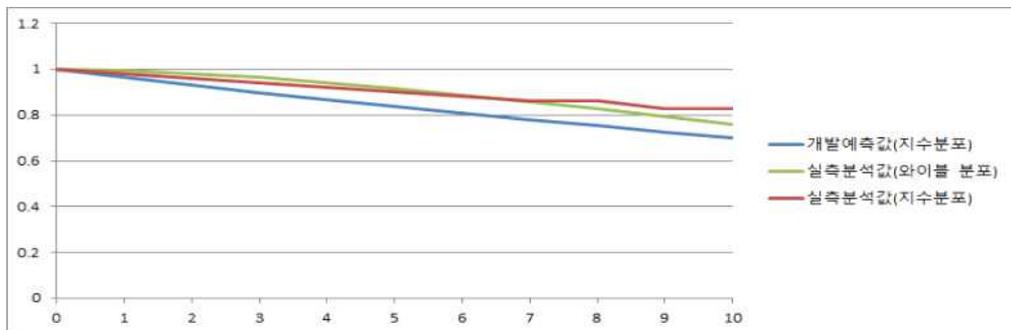
분석결과를 보면 신뢰도가 0.8(80%)이하로 저하되는 B<sub>20</sub>시점은 3212.34일로 약 8.8년이다. 연구개발시 저장신뢰도는 6년 이후 0.8이하로 저하되는 것으로 분석되어 현재 군에서는 5년마다 주기검사를 실시하고 있는데, 분석된 결과로만 해석한다면 주기검사는 8년 이후로 연장하여도 무방하다 할 수 있다.[표 15, 그림 14]. 본 분석에서 실제 고장데이터를 통해 선정된 유도탄 수명분포는 와이블 분포이나, 개발 당시는 지수분포로 가정하여 수행하였다. 따라서 개발 시 예측된 지수분포에 대해서도 분석한 결과 B<sub>20</sub>은 3941.43일로 약 10.8년으로 나타났다. 즉, 연구개발간 사용된 고장확률 분포인 지수분포는

분석된 와이블 분포보다 높은 신뢰도를 나타내고 있다. 따라서 본 연구의 결과인 와이블 분포가 더욱 보수적이라고 할 수 있다. 이에 와이블 분포에 의한 실측분석 결과는 충분히 수용할 수 있는 결과로 보여지며, One-shot System 과 같이 저장기간 동안의 열화작용으로 인해 고장률이 증가하는 경우에는 와이블 분포를 대부분 사용한다.<sup>66)</sup>

분석결과를 통해 개발 시 예측된 저장신뢰도와 실제 저장신뢰도는 다를 수 있고 유도탄 저장 간 실제 저장신뢰도를 알려는 노력과 그 결과를 활용하여 저장신뢰도에 근거한 품질하자 보증활동이 필요함을 알 수 있다.

[표 15] ○○유도탄 신뢰도 비교

Day	시간	개발 예측신뢰도 (지수분포)	신뢰도 검증결과 (지수분포)	신뢰도 검증결과 (와이블 분포)
(1년)365	8,760	0.965	0.980	0.994
730	17,520	0.932	0.960	0.982
1095	26,280	0.899	0.940	0.964
1460	35,040	0.868	0.921	0.942
(5년)1825	43,800	0.838	0.902	0.917
2190	52,560	0.809	0.883	0.889
2555	61,320	0.780	0.865	0.859
(8년)2920	70,080	0.753	0.865	0.827
3285	78,840	0.727	0.830	0.793
(10년)3650	87,600	0.702	0.830	0.758
(15년)6205	148,920	0.588	0.733	0.579
(18년)6570	157,680	0.529	0.689	0.477
(19년)6935	166,440	0.510	0.675	0.444
(20년)7300	175,200	0.492	0.661	0.413



[그림 14] ○○유도탄 신뢰도 비교

66) 정용호 등. (2016). 원샷 시스템의 저장 신뢰성 추정 정확성에 대한 샘플링 시점의 영향 분석. 「한국신뢰성학회지」 16(1):32~40

### 4.1.3 입력 데이터(△△유도탄)

△△유도탄은 대공방어용 장갑차에서 발사되는 지대공 유도탄으로 1999년부터 2010년까지 약 ~~~~발<sup>67)</sup> 정도가 납품되어 저장 중에 있는데 저장의 종류는 대공방어용 장갑차에 장착되어 임무대기 하는 유도탄과 탄약고에 저장하는 유도탄으로 구분되며, 탄약고에 저장되어 있는 탄들은 진공 포장되어 주기검사를 실시하지 않는다. 장갑차에 장착되어 임무대기 하는 탄을 선상탄이라고 하며, 군에 납품수량 중 약 50% 정도가 선상탄으로 운용 중에 있는데 5년 주기로 군이 이동용 점검장비를 이용하여 검사(주기검사)하고 있다. 그러던 중 13년 육군의 지침에 의거 유도탄을 관리하는 병과가 바뀌면서 선상탄 전체에 대한 기술검사를 다시 실시하였는데 14~15년까지 87%의 유도탄이 검사되었고 그 검사결과를 수집하였다. 검사결과를 종합한 결과 99~01년 납품탄은 납품수량도 적고 검사한 탄도 얼마 되지 않아 분석대상에서 제외하였으며, 02년부터 10년까지 납품한 유도탄 중 검사를 완료한 유도탄을 분석대상으로 선정하였다. 유도탄 저장기간을 산출하기 위해 유도탄들은 매년 12월 30일에 납품된 것으로 가정하였는데, 실제로 대부분의 탄들이 연말에 납품되었다.

△△유도탄은 장갑차에 장착된 상태(선상탄)에서 장갑차의 자체 점검기능을 통해 매월 유도탄 상태를 점검하며, 이상 발견 시 이동용 시험장비를 사용하여 세부점검을 하는 절차로 운용되고 있다. 이에 다른 유도탄에 비해 고장 발견이 매우 빠르며, 장갑차 자체 점검과 별도로 5년 마다 주기검사를 실시하고 있는데 14~15년 검사이전에 고장이 발견된 유도탄은 없었다. 이에 분석간 사용된 데이터는 [표 16, 17]과 같으며 정리된 분석대상 데이터는 02~10년 납품수량 ~~~~발 중 검사수량은 788발(납품수량 대비 45%)이며 이중 고장수량은 28발이었다.

4.1.1에서 언급한 샘플링에 의한 통계적 신뢰도 분석에 의해, △△유도탄도 14년부터 실시하고 있는 선상탄 기술검사 결과를 샘플로 가정하여 전체 신뢰도를 ○○유도탄과 동일하게 모수추정법에 의해 분석하였으며, 검사결과 정상 유

67) 정확한 납품수량은 보안상의 이유로 생략한다.

도탄은 16년 12월 30일 기준으로 관측중단처리 하였다. 분석대상 데이터들을 보면 저장시간을 기준으로 05~12년 까지 저장중인 유도탄을 대상으로 폭넓은 범위에서 검사가 실시되어 매우 의미 있는 사례라 할 수 있으나, 검사시점이 14년과 15년에 집중되었다는 아쉬움도 있다.

[표 16] △△유도탄 검사 결과

검사수량 / 고장수량\*

구분	계	납품년도									
		'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	
검사년도	'14	414/13	56/2	-	62/2	-	-	96/6	96/2	96/1	8/0
	'15	374/15	50/0	96/8	42/0	90/0	96/7	-	-	-	-
계	788/28	106/2	96/8	104/2	90/0	96/7	96/6	96/2	96/1	8/0	

\* : 고장의 정의는 점검 장비에 의한 점검 시 이상이 발견된 유도탄을 의미하며, 취급자의 실수 또는 성능과 무관한 외부보관 케이스 등의 이상은 제외하였다.

[표 17] 고장유도탄 저장기간

납품	저장기간								
	계	5년 (1461~ 1825일)	6년 (1826~ 2190일)	7년 (2191~ 2555일)	8년 (2556~ 2920일)	9년 (2921~ 3285일)	10년 (3286~ 3650일)	11년 (3651~ 4015일)	12년 (4016~ 4380일)
'02	2								2
'03	8								8
'04	2						2		
'05	-								
'06	7					7			
'07	6			6					
'08	2		2						
'09	1	1							
계	28	1	2	6	-	7	2	-	10

#### 4.1.4 데이터 분석(모수적 접근방법)

대부분의 유도탄들은 개발시 저장기간을 10년으로 요구하기 때문에 최초 개발시 요구되는 MTTF(Mean Time To Failure)는 8,300시간(10년)이다. 그리고 설계 종료시점에서 실제 사용된 구성품의 개별 신뢰도를 기준으로 전체 유도탄의 신뢰도를 분석하여 예측값을 제시하는데 △△유도탄의 예측 MTTF는 지수분포를 가정하여 74,076.81시간(8.46년 / Gb(Ground benign), 25°C 조건)이다.<sup>68)</sup> 이에 실제 수집된 고장데이터를 가지고 신뢰도를 분석한 뒤 개발시 제시되었던 신뢰도와 비교 및 고장경향을 분석하였는데 분석과정은 4.1.1 ○○유도탄과 동일하므로 결과위주로 설명하겠다.

---

68) 이동욱, 전계서, p.31.

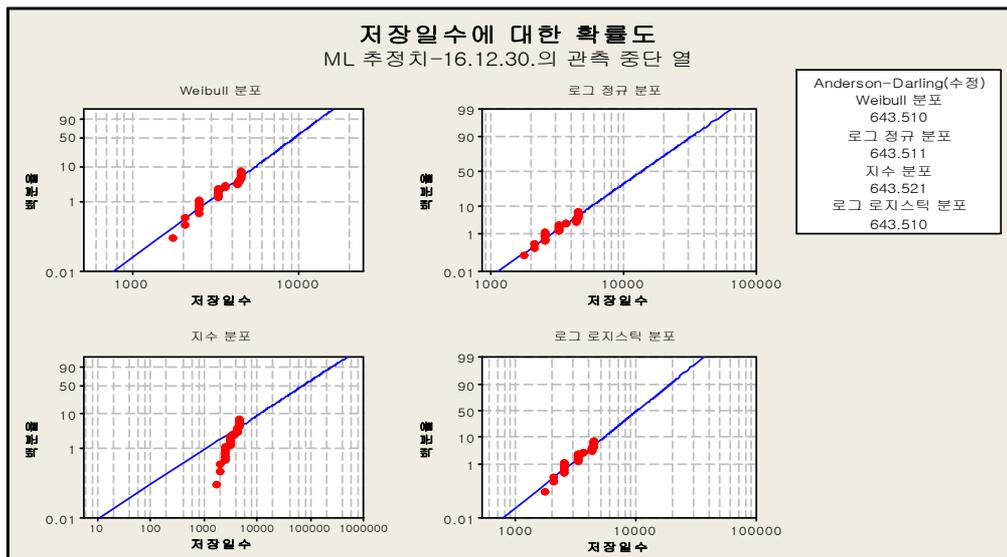
#### 4.1.4.1 적합분포 선정

미니탭을 이용하여 788발 중 관측중단(정상) 760발, 고장 28발에 대해 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)을 통해 적합분포를 선정한 결과 각 분포들의 차이는 크지 않았으나 와이블 분포가 AD 검정통계값이 643.510으로 가장 작게 분석되었다. 참고자료로 활용하기 최소제곱법에 의해 수정된 AD 검정통계값과 상관계수를 확인한 결과 [표 18]과 같이 분석되어 가장 적합한 분포로 와이블 분포를 선정하였다.(AD값이 적고, 상관계수값이 큰 분포)

[표 18] △△유도탄 분포별 AD통계값 및 상관계수 비교

구분	와이블	지수	정규	로지스틱	로그정규	로그로지스틱
AD통계량 (최대우도)	643.510	643.521	643.511	643.511	643.511	643.510
AD통계량 (최소제곱)	643.512	643.522	643.512	643.512	643.511	643.512
상관계수 (최소제곱)	0.968	-	0.959	0.945	0.973	0.9681

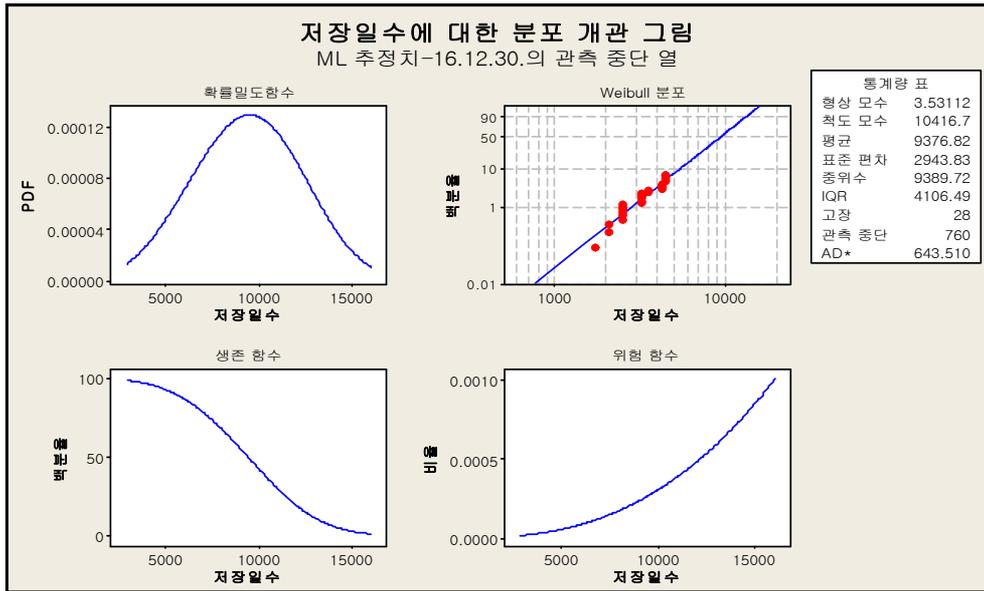
분석된 각 분포별 확률도는 [그림 15]와 같다.



[그림 15] △△유도탄 각 분포별 확률도(우측관측중단, 최대우도법)

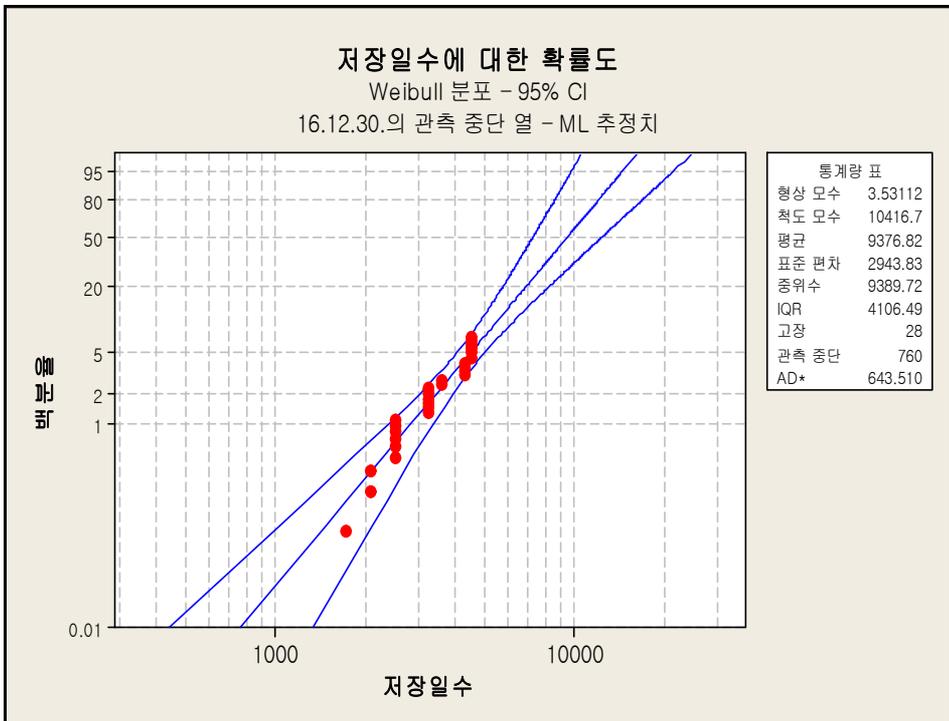
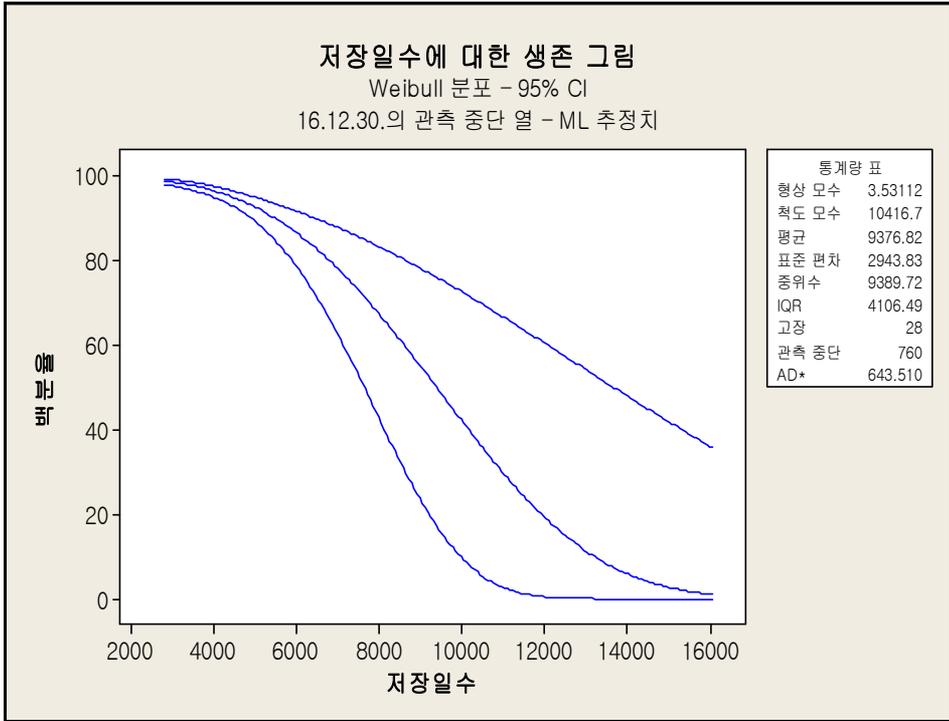
#### 4.1.4.2 분포를 통한 모수 추정

최우추정법을 통해 선정된 와이블 분포로 모수를 추정하고 △△유도탄의 확률밀도함수(PDF), 생존함수 및 위험(고장율)함수를 산출해 보았다.



[그림 16] △△유도탄 와이블 분포의 각 함수 개관 그림

분석결과 와이블 분포의 척도모수( $\eta$ )는 10146.7이며 형상모수(m)는 3.53112이다. 형상모수가 1보다 크므로 시간이 지날수록 고장이 증가한다고 할 수 있으나, 위험함수(고장률함수)의 세로축 값의 증가폭이 매우 작으므로 ○○유도탄 사례와 동일하게 시간에 따른 고장의 증가는 매우 작다는 것을 알 수 있다. 이처럼 시간이 지남에 따라 고장발생확률은 증가하지만 그 증가폭이 매우 작다는 것은 유도탄의 저장신뢰도가 매우 높기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 또한 형상모수가 3이상이 되면 정규분포에 근접하게 되는데 [그림 16]의 확률밀도함수를 보면 정규분포 모양을 나타내고 있으며 [표 18]에서 AD값이 와이블 분포와 정규분포 및 로그정규분포가 유사함을 알 수 있다. 신뢰도 함수는 [그림 17]과 같은데 확률도 그래프에서 세로로 길게 점이 찍힌 이유는 유도탄을 검사한 날이 동일하기 때문이다.



[그림 17] △△유도탄 신뢰도 척도 함수

#### 4.1.4.3 △△유도탄 신뢰도 분석

[표 19]은 [그림 17]에서 제시된 확률도(생존함수)를 백분율 표로 환산한 것이다.

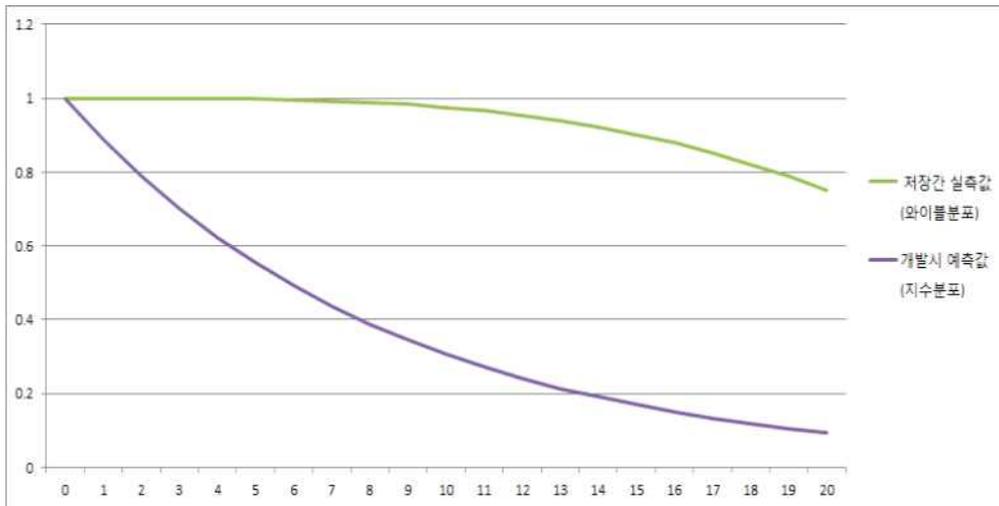
[표 19] △△유도탄 신뢰도 백분율 표

95.0% 정규 CI				
백분율	백분위수	표준오차	하한	상한
1	2831.10	246.488	2386.96	3357.87
5	4491.84	241.617	4042.39	4991.26
10	5507.52	361.826	4842.12	6264.37
20	6811.64	612.190	5711.51	8123.68
40	8612.21	1052.25	6778.19	10942.5
50	9389.72	1265.60	7209.80	12228.8
60	10162.0	1488.84	7625.49	13542.2
70	10979.0	1736.06	8053.11	14967.8
80	11919.6	2033.42	8531.96	16652.2
90	13191.9	2455.26	9159.77	18999.1
99	16053.1	3475.08	10502.6	24537.1

분석결과 20%의 고장이 발생하는 B<sub>20</sub>시점(신뢰도 80%)은 6811.64일로 약 19년인데, 적합성 분석에서 와이블 분포와 유사한 것으로 분석된 로그정규분포를 적용하여도 유사한 결과가 나오는 것을 확인하였다. 현재 군에서 적용중인 검사주기는 5년인데, 분석된 결과가 타당하다면 검사주기는 18년 이후로 연장하여도 무방하다는 결론을 내릴 수 있다[표 20, 그림 18]. 이에 개발 시 예측된 저장신뢰도와 실제 저장신뢰도는 상당히 차이를 알 수 있고, 유도탄 저장 간 실제 저장신뢰도를 알리는 활동과 그 결과를 활용하여 저장간 관리할 신뢰도 목표값을 새롭게 정의하려는 업무절차가 필요한 것이다.

[표 20] △△유도탄 신뢰도 비교

Day	시간	개발 예측신뢰도 (지수분포)	신뢰도 검증결과 (와이블 분포)	비고
(1년)365	8,760	0.888	0.999	
730	17,520	0.789	0.999	
1095	26,280	0.701	0.999	
1460	35,040	0.623	0.999	
(5년)1825	43,800	0.554	0.998	현 검사 주기
2190	52,560	0.492	0.996	
2555	61,320	0.437	0.993	
(8년)2920	70,080	0.388	0.989	
3285	78,840	0.345	0.983	
(10년)3650	87,600	0.3065	0.976	
(15년)6205	148,920	0.170	0.902	
(18년)6570	157,680	0.119	0.822	연장가능한 검사주기
(19년)6935	166,440	0.106	0.788	
(20년)7300	175,200	0.094	0.752	



[그림 18] △△유도탄 신뢰도 비교

## 4.2 유도탄 품질보증(A/S) 비용분석

본 연구의 시작은 장기저장을 위해 저장신뢰도를 중요하게 고려하여 설계된 유도탄(보증탄)에 대해 일반 무기체계처럼 계약시 1~3년의 품질보증 기간을 설정하고 있는 것에 문제를 가지고 시작되었다. 이에 유도탄을 10년 정도 운용한 현 시점에서 개발 시 예측된 신뢰도 값이 어떻게 구현되고 있는지를 알아보았다. 이러한 시도가 시작된 이유는 연구자가 유도탄 고장데이터들을 수집하는 과정에서 고장 발생빈도가 일반 무기체계보다 상당히 적다는 점이 인식되었기 때문이며, 장기저장을 하여도 고장이 잘 발생하지 않는 유도탄임에도 불구하고 일반 무기체계와 동일한 품질하자 보증기간(통상 A/S)을 적용함으로써, 보증기간 종료시 매우 드물게 발생하는 유도탄 고장에 대해 유상정비를 하고 있다는 점이 문제로 인식되었기 때문이다.

지금까지의 신뢰도 분석결과를 보면 유도탄은 개발시 예측된 신뢰도 보다 매우 높은 수준을 신뢰도를 가지고 있음이 증명되었으며 이는 주기검사 기간이라든지 품질하자 보증기간을 늘려야 한다는 주장에 충분한 근거가 될 것이다. 하지만 유도탄 제조사 입장에서는 품질하자 보증기간의 연장에 따른 품질보증 비용의 증가가 우려되어, 이에 대한 논의가 제대로 이루어지지 않을 것 이므로 이에 대한 비용적 접근을 해보고자 한다.

#### 4.2.1 비용분석 방법

앞서 신뢰도 분석은 ○○유도탄과 △△유도탄을 대상으로 하였다. 본 장 비용분석에서는 ○○유도탄을 대상으로 하고, 비용측면에서 ○○유도탄이 전체 유도탄을 대표할 수 없으므로 그 결과는 품질하자 보증기간 연장에 따른 비용 영향성에 대해 단지 참고로만 제시하고자 한다. ○○유도탄은 하나의 완전한 무기체계가 아니며 ○○유도탄과 발사장치(발사대, 부수장치 등)로 구분되나, 제조사가 동일하기 때문에 하나의 계약건으로 계약되고 있다<sup>69)</sup>. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 유도탄과 발사장치가 하나의 계약으로 진행되어 품질하자 보증기간은 동일하게 3년이 적용되었는데, 품질하자 보증기간 동안 유도탄과 발사장치에서 각각 발생한 품질 보증비용을 비교하여, 품질하자 보증기간 연장에 따른 비용 증가 영향성을 분석하고자 한다. 따라서 접근방법은 다음과 같다.

- ○○유도탄과 발사장치의 계약금액 구분  
: 유도탄 계약금액 (A), 발사장치 계약금액 (B)
- 계약 간 적용되는 품질하자 보증기간은 3년이므로 발사장치의 품질하자 보증기간 동안 발생한 무상 정비비 종합  
: 발사장치 무상 정비비 (b)
- 발사장치 계약금액 대비 무상 정비 금액 비율 계산  
:  $\frac{\text{발사장비 무상정비금액}(b)}{\text{발사장비 계약금액}(B)} \times 100 = C$
- 유도탄 정비비 종합  
: 품질하자 보증기간 이내 무상 정비비(a),  
품질하자 보증기간 이후 유/무상 정비비(a\*)

69) 유도탄과 발사장치는 독립된 장비로 구성되어 유도탄 발사시 결합되는 구조이나 제조사는 동일하다. 계약은 ○○체계로 계약되며, 한 건의 계약에 발사장치와 유도탄을 각각 명시하기 때문에 가격은 명확히 구분되며 필요시 계약조건들도 따로 적용할 수 있다.

- 유도탄 계약금액 대비 정비 금액 비율 계산

$$: \frac{\text{유도탄 무상정비 금액 } (a)}{\text{유도탄 계약금액 } (A)} \times 100 = D$$

$$\frac{\text{유도탄 유/무상정비 금액 } (a^*)}{\text{유도탄 계약금액 } (A)} \times 100 = D^*$$

- C, D, D\* 비교

유도탄 정비금액 종합시 유/무상 정비비(a\*)를 포함하는 이유는 유도탄 고장실적이 매우 적기 때문에 무상정비만 고려 시 비교자체가 안 되기 때문이며, 비교 시는 유상, 무상을 구분한 비교와 통합한 비교를 병행할 것이다. 추가로 유상과 무상을 통합하여 비교한다는 것은 유도탄 정비비용을 최대로 하여 비교하는 것으로 품질하자보증기간 연장에 따른 비용증가를 우려하는 생산업체 입장에서는 매우 유리한 비교이다.<sup>70)</sup> 본 장에서 사용되는 금액은 유상정비의 경우 정비계약서에 명시되어 있는 정확한 금액이며, 무상정비 경우 생산(정비) 업체로부터 정식으로 받은 견적서상 금액이므로 비용종합 금액은 비교적 정확하다고 할 수 있다.

---

70) 유도탄을 유상정비와 무상정비를 통합하여 비용을 산정하면 발사장치와 비교대상 금액이 커지므로, 품질하자 보증기간 연장에 따라 증가가 우려되는 업체부담 금액이 커지기 때문에 생산 업체에게 유리한 비교로 판단하였다.

#### 4.2.2 정비비용 비교

○○유도탄과 발사장치는 지금까지 총 6차의 계약이 이루어 졌으며 그 중 가장 최근이면서 3년의 품질하자 보증기간이 경과된 12년과 13년 계약을 샘플로 선정하였다. 각각의 계약은 계약금액도 비슷하고 계약된 시기도 크게 차이가 나이 않아 비교대상으로 적절하다고 판단하였으며 계약별 금액과 정비 금액 비율은 [표 21]와 같다.

구 분	12년 계약	13년 계약
계약금액(A+B)	78,000,000,000원	78,386,000,000원
유도탄 금액(A)	67,105,642,176원	68,063,210,658원
발사장치 금액(B)	10,894,357,824원	10,322,789,342원
발사장치 무상정비 금액(b)	72,208,903원	68,981,478원
발사장치 무상정비 금액비율 ( $\frac{b}{B} \times 100$ )	0.66%	0.67%

[표 21] ○○유도탄 및 발사장치 계약금액과 발사장치 정비비

유도탄 정비비는 고장실적이 많지 않기 때문에 계약건별로 구분하지 않고 전체 유도탄 계약금액 대비 정비비 비율로 접근하였는데 앞서 언급한 바와 같이 무상정비와 유/무상 정비 통합으로 구분하였다. 먼저 유도탄 전체 계약 금액은 총 납품수량(2005년~2016년) ~~~~발에 유도탄 최근단가 ○.○억 원을 대입하여 총 계약금액은 6,679.20억원으로 계산되었으며 유도탄 정비비용은 '16.6.30일 기준 총 18건의 고장발생 중 4건의 유상정비 104,625,000원과 14건의 무상정비 154,216,000원을 적용하였다.

구 분	유도탄
유도탄 총 계약금액(A)	667,920,000,000원
무상정비 금액(a)	154,216,000원
유상+무상정비 금액(a*)	258,841,000원 (유상정비 104,625,000원)
유도탄 무상정비 금액비율 ( $\frac{a}{A} \times 100$ )	0.023%
유도탄 유/무상정비 금액비율 ( $\frac{a+a^*}{A} \times 100$ )	0.039%

[표 22] ○○유도탄 정비비

[표 21, 22]을 통해 비교해 보면 발사장치의 경우 계약금액의 약 0.67%에 해당하는 비용을 무상정비 비용으로 생산업체가 부담하고 있다. 하지만 유도탄의 경우는 계약금액의 0.023%만을 무상정비하고 있었으며 0.015%의 금액은 유상정비를 실시하고 있었다. 유/무상을 통합한 전체 정비비를 계산하여도 총 계약금액의 0.039%에 지나지 않으며 이는 발사장치 무상정비 금액의 3.4%에 해당하는 매우 미미한 수준이다.

이러한 결과는 저장신뢰도가 높게 설계된 유도탄에서는 매우 당연한 결과로서 신뢰도가 높다보니 고장이 좀처럼 발생하지 않아 정비비도 적은 것이다. 이러한 내용은 선행 연구사례(2.6.2.3.3)에서도 언급되고 있다. 따라서 품질하자 보증기간을 연장할 때 업체가 부담하여야 하는 비용은 증가할 수도 있지만 그 증가폭은 아주 미미하며, 다른 장비에서 부담하고 있는 무상정비 비용과 비교 시 아주 낮은 수준이라는 것을 알 수 있다.

### 4.3 유도탄 저장신뢰도 설정방법 연구

유도탄 저장신뢰도 분석에 추가하여 지금까지 유도탄 저장신뢰도의 목표값으로 사용되고 있는 “10년 동안 신뢰도 80%이상”이 과연 적절한가에 대한 분석을 해보고자 한다. 이는 유도탄 개발간 설정되고 있는 목표값에 대해 지금까지 분석된 실 고장데이터에 기반한 고장확률분포를 적용하여 검사 및 정비비용 측면에서 접근한 것으로 향후 유도탄 설계시 목표 신뢰도 선정에 활용이 가능하다. 분석은 Newsvendor 모델을 사용하며, 검사 및 정비비용은 4.3에서 제시된 내용을 활용하였다.

#### 4.3.1 Newsvendor 모델

Newsvendor 모델은 불확실한 수요에 대비한 최적주문량을 결정하는 연구에 많이 사용되는 모델로 합리적인 의사결정을 지원하는데 충분한 재고를 가지지 못할 때의 비용  $C_u$ (underrage cost)과 과다재고를 가지고 있을 때의 비용  $C_o$ (overage cost) 사이의 균형을 통해 최적 재고수준을 유지할 수 있는 비율을 결정할 수 있다. 본 분석에서는 고장이 발생할 때까지의 저장일수를 재고로 잡고, 고장이 발생할 때까지의 저장일을 과다 추정(overestimate)할 때 발생하는 비용 즉, 실 사격 시 고장이 발생하게 됨으로써 발생하는 비용을  $C_o$ , 고장일 발생할 때까지의 저장일을 과소 추정(underestimate)할 때 발생하는 비용 즉, 불필요한 검사로 발생하는 비용을  $C_u$ 로 하고, 이들 사이의 균형점을 통해 최적의 목표신뢰도를 알아보려고 한다.

### 4.3.2 신뢰도 설정방법

분석은 ○○유도탄 고장확률 분포(와이블)를 사용하여 고장이 발생할 때까지의 누적분포함수(CDF)를 통해

$$P(d < x) \leq \frac{C_V}{C_V + C_O} \text{ ----- (1)}$$

를 만족하는 x 값을 찾는다. 여기서 x값은 비용을 고려한 최적의 검사 주기라고 할 수 있으며, 위의 식(1) 우변항(critical fractile)은 최적검사주기까지의 누적 고장 확률이며 이의 여사상(complementary event) 확률인 1 - (critical fractile) 은 비용으로 산정한 적정 신뢰도가 된다.

먼저 Co값을 정의하면 검사와 정비를 적절히 하지 않아 발생하는 비용은 유도탄이 정상적인 기능을 발휘하지 못하는 경우로, 전시에 대상 표적을 파괴하지 않아 아군이 받는 피해로 인식하는 것이 타당하겠지만 전쟁이란 특수성 속에서 그 피해를 비용을 환산하는 것은 불가능하므로 유도탄 1발이 기능 발휘를 못한다는 측면에서 유도탄 단가로 정의한다. Newsvendor 모형을 사용하기 위해서는 한계비용(marginal cost)를 적용해야 하는데, 검사를 하지 않아서 추가로 발생하게 되는 비용을 유도탄 단가로 정의할 때, 단가가 변하지 않으므로 이 값이 그대로 한계비용이라고 할 수 있다

Co = 유도탄 검사, 정비하지 않아 발생하는 손실 = 유도탄 1발의 단가 (약 2.3억)

Cu값은 과도한 검사 및 정비로 인해 발생하는 비용으로 유도탄이 정상임에도 검사 및 정비를 통해 지출되는 비용으로 정의하여 현재 실시되는 5년 주기검사 및 정비 비용을 생각할 수 있으나 5년 주기검사가 군 정비관에 의해 보급된 검사장비를 사용한다는 측면에서 여러 가지 복잡한 요소(정비인력 인건비, 검사장비 감사상각비 등)가 포함되어 있는바, 4.3.2에서 사용한 18건의 유/무상 정비비용(258,841,000원)을 가지고 1발당 평균 정비비로 환산하

여 적용하였다. 검사를 함으로 인하여 추가 발생하는 비용이 변하지 않는다고 가정한다면 이를 그대로 한계비용으로 적용할 수 있다.

$$C_u = \text{과도한 검사 및 정비로 인해 발생하는 비용} = \text{유도탄 1발의 평균 정비비} \\ (14,380,055\text{원} / \text{약 } 1,400\text{만원})$$

이렇게 정의된 비용을 계산식 (1)에 대입하면,  $P(d < x) \leq 0.0588$  (약 0.06)로 정리되며 이는 누적 고장확률이므로 이의 여사상인 신뢰도는 0.94(94%)임을 알 수 있다. 이렇게 분석된 값을 4.1.2.2에서 추정된 와이플 분포에 대입하여 보면 4.1.2.3 [표 15]에 의해 4년을 검사주기로 설정하여야 한다는 결론을 얻을 수 있다.

비용의 가정에 따라 계산식 (1)로부터 도출되는 신뢰도는 변할 수 있지만, Newsvendor 모델을 통해 도출된 결과를 볼 때, 유도탄 개발 시 기준으로 설정되고 있는 신뢰도 80%에 대한 고민이 필요할 것이며 그에 따라 본 논문에서 제안하는 방법에 의해 다시 보증기간 및 검사기간에 대한 조종이 필요하다고 볼 수 있다.

Newsvendor 모델은 한 기간에 한정된 경우에 사용하지만 본 연구에서는 유도탄의 장기 저장특성을 고려하여 4.2에서 제시한 비용을 기준으로 계산된 것으로, Newsvendor 모델의 개념에 부합하도록 비용자료를 수집한다면 더욱 정확한 신뢰도 목표값을 산정할 수 있으며 이는 신뢰도 목표값 선정에 또 다른 방법으로 사용 가능할 것이다.

## 4.4 유도탄 품질하자 보증방안

### 4.4.1 저장신뢰도 예측값과 분석값의 차이

4.1.2.3과 4.2.2.3의 분석 결과를 볼 때 유도탄 개발시 예측된 저장신뢰도와 실제 분석된 저장신뢰도는 상당한 차이를 보이고 있으며, 특히 4.2.2.3  $\Delta\Delta$ 유도탄의 분석결과가 정확하다면 예측된 신뢰도와 실제 신뢰도는 약 4배의 차이를 보이고 있다. 그렇다면 이 차이의 원인은 무엇일까?

그 원인은 개발 간 신뢰도 예측의 오류 또는 본 연구간 사용한 고장데이터 수집의 오류로 생각할 수 있다.

먼저 개발 간 신뢰도 예측의 오류는 공학적 신뢰도 예측에서 사용되는 MIL-HDBK-217F의 문제를 지적 할 수 있는데, 미 국방성에서는 1995년 MIL-HDBK-217F의 Notice2의 발간을 끝으로 더 이상 개정본을 발간하지 않고 있다. 이에 민수 분야에서는 RDF 2000, Telcordia SR-332등의 규격으로 전환하기 시작하였으나, 방위산업 분야는 MIL-HDBK-217F가 유일한 규격이었기 때문에 이 규격을 적용하여 신뢰도를 예측하였다. 하지만 시간이 지남에 따라 MIL-HDBK-217F의 내용이 필드와 오차가 증가한다는 것이 통계적 분석결과로 도출되었는데(3.1장 참조) 오차 발생의 근본원인은 운용 환경에 대한 가정, 사용된 고장률 데이터의 진부화, 시스템 단위의 신뢰도 분석모델의 부재 등으로 추정 될 수 있다<sup>71)</sup>. 따라서 연구개발간 예측된 신뢰도값의 오류를 우선적으로 생각할 수 있는 것이다.

다음으로 고장데이터 수집의 오류 측면을 살펴보자. 예측된 신뢰도와 실제 신뢰도가 약 4배의 차이를 보이고 있는  $\Delta\Delta$ 유도탄의 경우 검사장비를 이용한 검사결과는 장비의 오류가 없다는 가정 하에서 정확하다고 할 수 있으나, 검사 시 발견된 고장의 발생시점에 대한 해석에 오류가 있을 수 있다. 즉 이미 어느 순간에 고장이 발생하였으나 이전 검사에서는 검사장비의 오류 또는 검사인력의 오판으로 정확한 고장이 인지되지 않고 마지막 검사시점에 발견된 것이라 생각 할 수 있으며, 5년마다 검사하는 현재의 시스템에서는 고장

---

71) 김종천, 이동욱, 전계서, p.90.

발견 시 언제 고장이 발생하였는지 정확히 알 수 없다. 또한 현재 군에서 사용하는 검사장비는 유도탄의 전반적인 상태검사를 위한 수준이 아니며 제한적인 검사수준을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 검사 시 고장이 발견되기 전까지 유도탄은 정상이라는 가정 하에 고장시점을 검사시점으로 처리한 것이다.

이런 원인 중 어떤 것이 가장 핵심요인인지는 정확히 분석하기 어려우나 근본적인 문제 해결을 위한 방법으로 저장 간 실제 신뢰도를 알고자 하는 행위(검사)가 필요하다는 것을 말 할 수 있다. 2.4에서 언급한 바와 같이 신뢰성 중심 정비(RCM)는 예지정비로서 대상 장비나 부품의 잔존수명을 고려하여 정비시점을 정하는 개념이다. 즉 정확한 정비계획을 수립하기 위해 잔여수명을 정확히 예측하는 방법이 필요하며, 이를 위해 신뢰도 모니터링이 필요한 것이다. 항공산업에서 최초 등장한 신뢰성 중심 정비의 최근 사례로 국내에서 개발한 수리온 헬기에 장착된 HUMS (Health and usage monitoring systems) 장치 살펴보면 유압계통, 로터 등 주요 구성품에 센서를 장착하여 비행간 오일온도, 진동값 등이 실시간으로 기록되고 비행종료시 매번 기록된 데이터를 분석하여 결함여부와 잔여수명 예측을 통해 정비성과 신뢰성을 향상시킨다. 이렇듯 신뢰성 중심 정비를 위해서는 지속적인 신뢰성 모니터링이 반드시 필요한 것이다.

본 연구에서 분석된 저장신뢰도 값이 “맞다” 라면 그 동안 높은 저장신뢰도를 가지고 있었던 유도탄의 정확한 신뢰도를 모른 채 개발 시 예측된 저장신뢰도에 의해 과도한 검사주기를 적용하고 있다는 것이고, 본 연구의 “고장시점은 검사시점”이라는 가정이 잘못되었고 고장은 이미 과거에 발생한 것이 라면, 이를 인지하지 못하는 현재의 검사방법에는 문제가 있는 것이므로 검사방법 자체의 재검토가 필요할 것이다.

현재 우리 군의 유도탄 검사는 일일, 주간, 월간 단위로 유도탄 외부케이스에 부착된 게이지(질소가스 농도, 습도 등) 상태 확인 및 외부파손 여부 점검의 육안검사가 전부이며, 일정 주기(4~6년)마다 군 검사인원이 제한적인 검사장비를 사용하여 유도탄의 고장유무만 판단하는 시스템인데 여기에 문제가 있다고 할 수 있다. 2.4를 보면 미군에서 운용중인 유도탄들은 저장 간 신

뢰도 확인을 통해 수명을 연장시키고 있는데, 호크 유도탄 경우 매년 일정 %의 샘플링 검사를 실시하고 있으며 검사의 주체는 제작업체이다. 즉 본인들이 생산한 유도탄의 저장신뢰도를 직접 확인하여 품질을 확인한다는 것이며, 인증된 생산 및 검사 장비·시설을 가지고 있는 업체에서 하는 검사는 군에서 하는 검사보다 수준이 높을 수 밖에 없다. 따라서 유도탄 저장신뢰도 관리의 핵심은 납품 후 일정기간(2~3년)이 지난 시점에서 매년마다 일정 수량의 유도탄(샘플)을 생산업체 시설을 이용하여 정확한 상태검사를 하는 것이며, 상태검사 시점에 군에서 실시한 사격결과가 있다면 상태검사 결과와 사격결과를 종합하여 저장년차별 신뢰도를 계산하여야 한다.

따라서 유도탄의 정확한 저장신뢰도를 알고자 하는 노력은 유도탄 개발 및 저장관리 시스템의 전체적인 프로세스차원에서 접근이 되어야 한다.

#### 4.4.2 유도탄 품질하자 보증모델

지금까지의 분석결과를 볼 때 유도탄 연구개발 시 예측된 저장신뢰도와 실제 분석된 저장신뢰도는 상당한 차이를 보이고 있다. 이에 현재 유도탄 신뢰도 관리개념은 수정이 필요하다 할 수 있다. 신뢰도는 품질과 연관된 문제이며 특히, 저장신뢰도는 유도탄이라는 One-shot System이 가져야 하는 주요 성능이라는 측면에서 저장신뢰도에 대한 문제는 품질하자보증과 연관되어야 한다고 생각한다. 그러나 신뢰도를 품질하자 보증의 대상으로 보아야 한다는 주장은 현 제도상 몇 가지 문제점이 있는데 저장신뢰도 기반의 유도탄 품질보증을 위해 제도적으로 우선 정립되어야 할 것들은 다음과 같다.

#### 4.4.2.1 유도탄 저장신뢰도 관련 제도적 보완사항

대부분의 무기체계들이 (저장)신뢰도를 설계 시 중요요소로 고려하여 예측값을 연구결과로 제시하지만 양산간 이를 확인하는 개념은 없다. 하지만 유도탄에서 만큼은 개발시 예측된 저장신뢰도를 실제 저장 간 확인 및 관리하여야 하는데, 유도탄의 저장신뢰도를 개발 및 양산간 중요한 관리대상으로 만들기 위해 우선적으로 몇 가지를 제도적인 측면에서 개선하여야 한다.

첫째, 유도탄 저장신뢰도를 ROC(Required Operational Capability)로 설정하는 것이다. 유도탄 개발사례를 보면 일부 유도탄만 저장신뢰도를 ROC로 설정하였다. 이에 모든 유도탄에 대하여 소요군은 저장요구기간(저장수명)을 ROC로 제시하여야 하며, 개발자는 ROC충족을 위한 설계개념과 년차별 저장신뢰도 예측값 그리고 저장신뢰도 보증개념을 명확히 제시하도록 제도화하는 것이 최우선적으로 선결되어야 할 사안이다.(보증탄 개념 정립)

둘째, 보증탄의 저장간 신뢰도 확인절차와 확인주체를 명확히 설정하여야 한다. 이는 개발완료 보고서에 저장신뢰도 예측값과 함께 명시되어야 하는 것으로 예측된 저장신뢰도를 양산간 어떤 방법을 통해 확인하는지 방법과 확인주체를 명시하는 것이 제도화 되어야 한다. 검사주체는 반드시 생산업체가 되어야 하는데 이는 생산 시 인증된 유도탄을 생산업체가 재 인증하는 개념으로 이해하여야 한다. 만일 이 행위를 사용군이나 다른 기관에 위임할 경우 그 결과를 생산업체에서 인정하지 않는 결과가 발생 할 수 있다. 신뢰도 확인절차는 신뢰도 관리차원에서도 매우 중요한 행위인데 신뢰도 확인결과가 개발시 예측값 보다 높다면 검사주기를 늘리거나 검사대상 수량을 줄이는 방향으로 확인절차가 개선되어야 하며, 낮다면 이는 반드시 원인분석을 통해 설계결함인지 제조결함인지가 식별되어 제조결함으로 판명될 경우 생산업체로부터 무상정비를 받아야 한다. 이렇게 신뢰도 확인결과를 Feed-Back하는 것은 운용유지 비용에 직접적인 영향을 주는 사항으로 확인결과의 정확성 시비가 발생하지 않도록 확인주체는 생산업체가 담당하며 이에 대한 관리 및 통제는 정부(사용군)가 하도록 하여야 한다.

셋째, 저장신뢰도를 기술자료에 수록하는 것이다. 현재 유도탄 저장신뢰도

(값)는 개발시 RAM(Reliability Avalability Maintainability)분석을 통해 ILS-P(Integrated Logistics Support-Plan : 종합군수지원계획)에 수록되지만, 개발이후 기술교범이나 기술자료(규격서, 도면 등)에 명시되지 않고 있다. 이를 심하게 말하면 개발시 중요한 요소였던 저장신뢰도가 양산간에는 없어지는 것이라고 할 수 있다. 대부분의 무기체계들도 RAM값을 기술교범이나 기술자료에 명시하지 않는다. 그 이유는 RAM값을 가지고 LSA(LSA Logistics Support Analysis : 군수지원분석)를 통해 RAM목표값 달성을 위한 각종 ILS 요소(정비용 장비, 공구, 수리부속)를 산출하여 그 내용을 기술교범에 수록하고 있기 때문이다. 쉽게 말하면 RAM값은 없어나 이에 대한 세부내용들이 기술교범에 수록되어 있으며 ILS최신화나 기술교범 수정을 통해 최적화상태로 발전되는 것이다. 하지만 유도탄은 ILS요소가 저장개념 외에는 없으므로 저장신뢰도 값 자체가 매우 의미 있는 숫자이다. 따라서 저장신뢰도를 요구성능의 하나로 인식하고 이를 규격서나 도면과 같은 기술자료에 수록하여야 하며, 특히 사용자가 쉽게 접할 수 있는 기술교범에 반드시 명시하여야 한다.

#### 4.4.2.2 유도탄 품질하자 보증모델

앞서 언급한 저장신뢰도의 ROC설정, 개발완료시 저장신뢰도 예측값 및 양산간 업체주관 확인절차 명시, 저장신뢰도 값의 기술자료 명시는 제도적으로 정립되어야 할 개념이다. 이러한 제도 개선하에서 계약 간 유도탄 품질하자 보증을 위한 보증기간이 설정되어야 하는데 이는 일반 무기체계처럼 단순히 납품 후 0년으로 접근할 사항이 아니며, 개발완료시 제시된 신뢰도 확인절차와 연계하여 하나의 모델로 정립되어야 한다.

제시할 품질하자 보증모델은 개발 시 예측된 저장신뢰도와 실제 저장신뢰도는 차이가 많다는 분석결과를 토대로 저장 간 지속적으로 신뢰도를 확인하고 이를 반영하여 품질확인 프로세스차원에서 접근한 것인데 주기적인 신뢰성 검사와 체계적인 실 사격시험을 바탕으로 하고 있다. 제시모델은 기존 연구개발 및 양산절차에 몇 가지 절차를 추가한 것으로 전체적인 프로세스를 설명하면서 추가된 부분은 밑줄을 삽입하여 이해가 쉽도록 하였다.

첫 번째, 연구개발 결과로 저장신뢰도 예측값과 저장신뢰도 확인방법이 제시되어야 한다. 이 부분은 4.2.1 제도적 개념 정립에서도 언급하였는데 저장신뢰도 예측값을 토대로 저장 후 ○년부터 어떤 방법으로 저장신뢰도를 확인할 것인지가 제시되어야 한다.

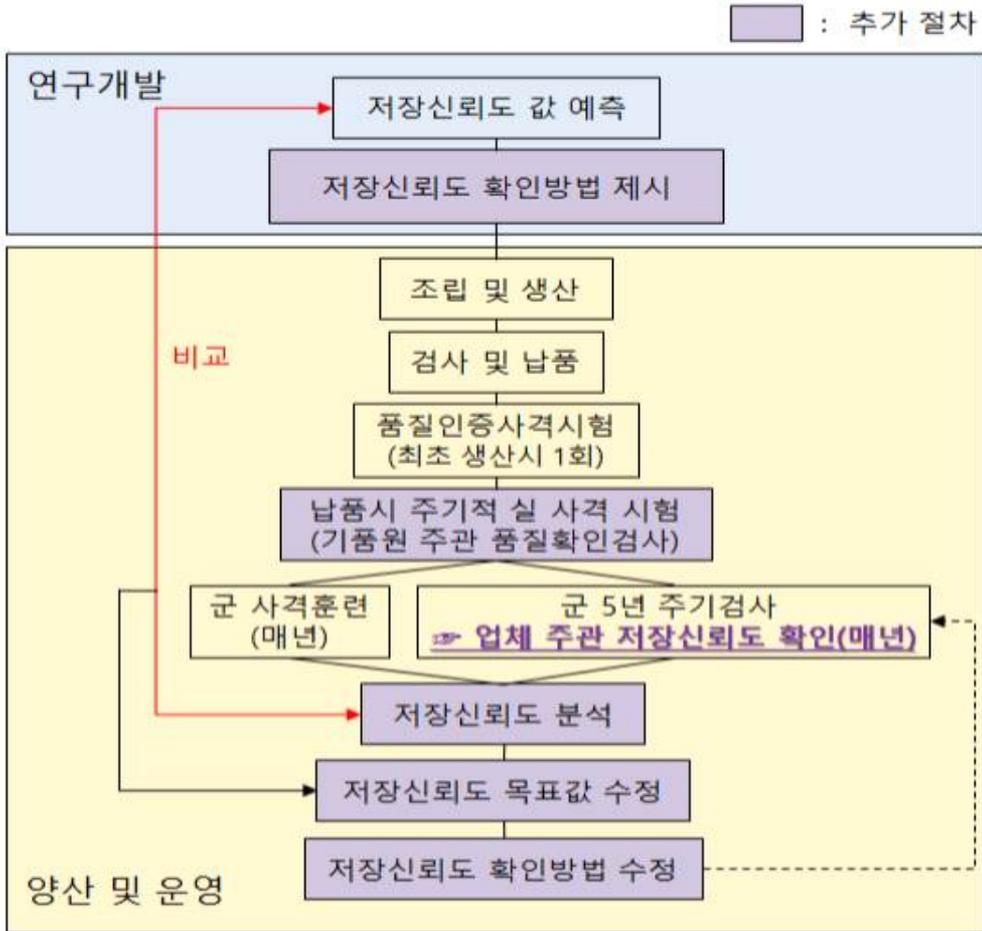
두 번째, 양산간 최초 생산품에 대한 품질인증사격 시험이다. 이는 현재 제도화 되어 있는 사항으로 유도탄은 양산 최초생산품에 대해서는 제조라인(line)의 품질을 확인하기 위해 반드시 실시하도록 규정하고 있으며 이후는 검사장비에 의한 검사만 실시하고 있다. 하지만 납품된 후 장기간 저장되는 유도탄에 대해 최초생산품에 대한 품질인증사격만 실시하고 이 후 양산탄에 대해서는 인증사격 없이 시험장비에 의한 검사만으로 품질을 확인한다는 것은 양산간 발생할 수 있는 공정의 문제나 제작 간 실수 등을 선별하는데 문제가 있다. 따라서 품질인증사격 시험 후 제조납품간 주기적인 실 사격 시험을 하여야 한다. 이는 기품원 주관 정부 수락검사간 실시되는 주기검사 개념으로 규격서나 QAR(Quality Assurance Report)에 반영되어야 할 사항인데, ○○발 생산 시 ○발의 실 사격을 통해 제조품질이 유지되고 있는가를 확인

하여야 한다.

세 번째, 수요군 실사격 훈련시 저장신뢰도 확인사격을 병행하는 것이다. 현재 각 군은 자체 교육훈련 및 부대 평가차원의 실 사격을 매년 실시하고 있으며 대상 유도탄은 선입선출의 개념으로 오래된 탄부터 소모하고 있다. 이에 사격용 유도탄 선정 시 저장년차별 균등한 발사결과가 축적되어 고장데이터가 수집될 수 있도록 유도탄을 선정하고 이를 통해 저장 간 신뢰도 유지상태를 확인하여야 한다. 이러한 탄종 선정 및 결과종합은 탄약사령부나 군수사령부 주관으로 이루어져야 하며 사격 간 반드시 발사결과를 분석할 수 있는 각종 계측장비가 사용되어야 한다. 계측장비 설치 및 운용은 기품원 지원하에 실시되어야 하며 지금도 유도탄 실 사격간 일부는 진행되고 있다.

군이 실사격을 통해 그 결과를 축적하고 있는 동안 생산업체는 첫 번째 단계에서 제시한 바와 같이 개발결과로 제시된 저장신뢰도 확인방법에 따라 0년이상 저장된 탄에 대해 매년마다 샘플링(필요시 전수검사) 검사방법으로 저장신뢰도를 확인하여야 한다.

네 번째, 군 사격시험 결과와 업체 신뢰도 검사 결과를 종합하여 저장년차별 확인된 신뢰도 값이 분석되어야 한다. 이 행위 또한 생산업체에서 담당하여야 하며 사업관리기관 및 군은 그 결과를 검증하여 승인하는 역할을 하여야 한다. 이렇게 승인된 저장신뢰도 값이 새로운 품질의 기준으로 적용되어야 하며 필요시 업체가 수행하는 저장신뢰도 확인방법(검사주기, 검사수량)도 수정하여야 한다. 그리고 설정된 기준에 의거하여 기준을 초과하여 발생하는 고장은 품질하자로 처리하여 무상정비하여야 한다. 저장간 신뢰도 확인 및 목표 신뢰도 갱신의 프로세스는 유도탄 저장기간 동안 지속적으로 반복되어야 하며, 이러한 프로세스에 의한 보증제도가 진정한 저장신뢰도 기반의 품질하자보증이라고 할 수 있을 것이다.



[그림 19] 유도탄 품질하자 보증모델

이와 같은 실사격 중심의 품질확인 방법은 무엇보다도 유도탄 소모에 따른 예산문제가 제기될 수 있는데 이는 보증탄의 개념이 특별한 검사나 정비를 요구하지 않는다는 측면에서 과감히 야전 점검장비와 시설을 최소화하거나 전혀 고려하지 않음으로서 해결할 수 있다. 쉽게 말해서 야전 점검장비와 시설예산을 삭제하고 그 예산으로 실 사격 유도탄 확보를 통해 품질확인을 한다는 것이다.

지금까지 제시한 개념을 종합하여 예를 들어 설명하면 10년간 저장신뢰도가 0.7이상, 5년차 저장신뢰도가 0.8인 유도탄이라면 최초 무상보증기간은 저장신뢰도 80%를 유지하는 기간으로 설정한 후, 최초생산품 품질인증 사격시

험 후 제조간 ○○발당 ○발의 품질확인 사격시험을 실시하여 지속적으로 품질이 유지되고 있는지를 확인한다. 저장중 소요군 실사격시 저장기간 3년 이상 탄을 대상으로 저장년수 별로 균등하게 사격대상 유도탄을 선정하고, 계측장비를 통한 시험결과 계측을 실시하여 그 결과를 축적하며, 이와 병행하여 3년이상 저장탄에 대해 매년 5%비율로 샘플을 추출하고 제조업체에서 신뢰도 검사를 실시하여 실 사격결과와 신뢰도 검사결과를 종합하여 저장년차별 신뢰도 확인결과를 제조업체에서 공식적으로 사업관리 부서 및 소요군에 제시한다. 사업관리 부서는 그 결과를 검증하여 승인을 하며, 초기에 예측된 신뢰도 보다 좋은 신뢰도를 유지시에는 저장신뢰도 값을 상향조정하여 검사방법 및 수량을 조정하고, 신뢰도가 낮을 경우는 원인분석을 통해 설계변경이나 무상정비를 실시하여 목표 신뢰도가 유지될 수 있도록 조치하여야 한다. 이러한 과정 속에서 매년 목표 신뢰도를 갱신하고 갱신된 신뢰도 이하의 고장은 품질하자로 처리하는 것이다.

결국 수요군은 저장탄에 대한 어떠한 점검과 정비도 하지 않으며 사용자 부주의가 아닌 고장으로 발생하는 신뢰도 저하부분에 대해 100% 무상보증을 받을 수 있도록 하자보증모델을 정착시켜야 할 것이다.

- 1단계 : 연구개발 결과로 저장신뢰도 예측값과 저장신뢰도 확인방법 제시
- 2단계 : 양산 최초 생산품에 대한 품질인증사격 시험 및 이 후 제조, 납품간 주기적인 실 사격 시험  
(기품원 주관 품질확인 시험, QAR에 반영)
- 3-1단계 : 수요군 실사격 훈련시 저장신뢰도 확인사격 병행  
(계측장비 운용 및 저장 년차별 고장데이터 수집)
- 3-2단계 : ○년이상 저장된 탄에 대해 매년 저장신뢰도 확인(생산업체 주관)
- 4단계 : 4단계 결과를 종합한 년차별 저장신뢰도 값 분석 및 승인  
(값 분석 : 생산업체, 승인 : 군 및 정부기관)
- 5단계 : 승인된 저장신뢰도 값으로 신뢰도 목표 값 및 신뢰도 확인 방법 수정
- \* 저장간 3~5단계 지속반복 및 승인된 신뢰도에 의거 기준초과 고장발생시 하자처리(무상정비)

#### 4.4.3 유도탄 저장신뢰도 향상방안

위에서 설명한 바와 같이 일정기간 이후 매년 신뢰도 확인을 위한 검사를 실시하다 보면 고장난 구성품이 발견될 수 있다. 그렇다면 이는 유도탄 전체의 저장신뢰도 관리와 동시에 구성품 수준의 저장신뢰도 관리도 가능하다는 것이다. 즉 저장 간 특정 구성품의 고장이 빈번히 발생하여 그 고장실적이 종합된다면, 이를 최초 개발 시 유도탄 전체 신뢰도 계산을 위해 입력한 그 구성품의 신뢰도 값과 비교하여 필요한 조치가 가능하다. 예를 들어 최초 입력 신뢰도와 유사한 수준이지만 고장이 빈번하다면 기술발전 추세를 확인하여 동일한 기능의 신뢰도 높은 제품으로 대체가 필요할 것이며, 최초 입력 신뢰도보다 낮다면 이에 대한 원인분석을 통해 설계 및 기술변경이 되어야 한다.

이러한 과정을 통해 저장신뢰도는 최초 신뢰도보다 높아질 수 있으며, 신뢰도 향상을 위한 기술변경은 제조비용의 증가를 유발할 수 있지만 이후 운영유지간 고장율의 저하와 관리비용 절감이 가능하므로 매우 긍정적으로 받아들여야 한다.

## V. 결 론

야전에서 10년 이상 운용(저장)한 ○○, △△유도탄의 고장데이터를 통하여 보수적 접근방법을 이용하여 신뢰도를 분석한 결과, 최초 개발 시 예측된 신뢰도와 실측된 신뢰도는 상당한 차이를 보이고 있다. 본 연구결과를 볼 때 현재 유도탄 관리방법은 개선되어야 하며 적절한 검사주기를 다시 설정 되어야 한다. 이러한 고장경향이 실제 유도탄을 관리하면서 파악되지 않는 이유는 우리나라 유도탄 관련 정책이나 규정상 저장 중 신뢰도 확인에 대해 명시된 것이 미흡하기 때문이다.

이에 연구개발간 예측된 저장신뢰도와 실제 고장율을 반영한 저장신뢰도는 다르다는 연구결과를 통해 우선 정립되어야 할 제도들과 저장신뢰도를 고려한 품질보증모델을 제시하였다. 제시한 모델은 저장 간 주기적인 신뢰도 검사 와 실 사격 결과중심으로 저장기간 동안 년차별 저장신뢰도를 확인하여 예측된 신뢰도와 비교하고 실측된 신뢰도를 유도탄 품질보증의 기준으로 삼아야 한다는 것이다. 실 사격중심의 품질확인 은 시험비용의 증가를 가져올 수 있으나 사격데이터를 통해 실측된 저장신뢰도를 기준으로 기준이하 고장에 대해서는 품질하자보증의 무상정비를 실시하여 사용군은 별도의 검사 및 정비 를 실시하지 않음으로서 관련 비용을 절감할 수 있다. 현재 우리 군은 유도탄별로 상이한 실제 저장신뢰도와 상관없이 똑같은 주기의 검사를 원하고 있다. 이는 고장이 발생하지 않는 유도탄에 대해 불 필요한 검사행위로 볼 수 있으며, 방위사업청의 “탄약ILS 개발 실무지침서” 등 RAM분석 지침서에서 강조하고 있는 신뢰성 중심의 검사정비(RCM, 2.4 참조)에 반하는 행위이다.

또한 업체 주관 신뢰도 검사는 고장난 구성품 발견시 이에 대한 데이터를 수집할 수 있는 기회가 되며, 수집된 데이터를 통해 구성품의 신뢰도까지 관리한다면 고장이 빈번한 구성품에 대한 대체부품 사용 또는 기술변경 등을 통해 취약점(Weak Point)을 보완할 수 있고 이는 나아가 저장신뢰도를 높일 수 있는 방법이 된다.

일반 민수시장에서는 유사한 성능과 가격의 제품들 중 품질보증(A/S)기간의 차별화를 통해 그 제품의 우수성을 홍보하는 사례를 볼 수 있다. 이는 신

뢰도개념을 마케팅에 활용한 것으로 자사 제품이 성능과 가격면에서는 경쟁사와 큰 차이가 없으나 고장이 나지 않고 튼튼하기 때문에 안심하고 쓸 수 있다는 점을 홍보하는 것이며, 회사입장에서 신뢰도 높은 제품을 생산하고 있다면 보증기간을 길게 하여도 별 문제가 없다고 판단한 것이다.

그러나 생산자가 다양하지 않아 경쟁의 부담이 적은 국내 방산시장의 특성상 위와 같이 생산자가 제품의 신뢰도에 대해 적극적으로 홍보하여 품질하자 보증기간을 길게 제시하는 경우는 거의 찾아볼 수 없다.

하지만 유도탄은 장기간 저장을 운용개념으로 설정하여 처음부터 고장나지 않도록 설계되기 때문에 다른 무기체계와 차별된 품질하자 보증제도 적용이 타당한 것이며, 이것은 우리가 개발한 유도탄의 우수성을 알리는 또 다른 방법이 될 수 있을 것이다.

본 연구 결과를 통해 유도탄이란 무기체계에서 저장신뢰도 중심의 품질보증이 매우 중요함을 제안하며, 이번 연구는 육군에서 10년 이상 저장중인 유도탄 중 대표적인 두 개의 유도탄에 대해서 분석하면서 고장데이터를 사격결과와 주기검사에 한정하여 접근하였다. 이에 10년 이상 저장한 다른 유도탄에 대한 분석과 사격결과만이 아닌 저장 중 모든 고장실적을 포함하여 전체 고장 데이터에 대한 분석이 필요하여 향후 추가연구로 제시하며, 신뢰도가 높아짐에 따라 업체 및 정부가 실질적으로 부담해야 하는 비용변화에 대한 연구가 추가적으로 필요하다.

## 참 고 문 헌

### 1. 국내문헌

국방기술품질원. 국방과학연구소. (2010). 「시효성 고가탄약 수명연장 방안 연구」.

국방과학연구소. (2003). 「신뢰도 예측 보고서」.

김동규 외. (2013). 일회성 시스템의 저장신뢰도 결정 모델에 관한 연구.  
「한국경영과학회지」. 38(1):1~13.

김석곤. (2012). 「TLCSM 제도하 대함유도탄의 신뢰도 향상을 위한 RCM 적용에 관한 연구」. 광운대 박사학위 논문.

김종천, 이동욱. (2010). 「효율적인 유도탄 수명주기를 위한 신뢰도 분석」.  
국방과학연구소.

방위사업청. (2012). 「방위사업용어사전」.

방위사업청. (2014). 「예규 제219호 물품구매 계약특수조건 표준안」.

방위사업청. (2010). 「탄약ILS개발 실무지침서」.

서순근. (2006). 「Minitab 신뢰성 분석」. 이레테크.

이동욱. (1996). 「△△ 유도탄 저장신뢰도 예측」. 국방과학연구소.

이승목. (2009). 「QFD를 활용한 설계단계에서의 탄약 ILS 효율화 방안 연구」.  
아주대학교 시스템공학과 석사학위논문.

오용석. (1996). 「보증기간 후의 사용현장데이터를 추가한 신뢰성 분석」. 한국과학기술원 석사학위논문.

오용진. (2013). 「제품 보증기간내의 고장데이터를 이용한 트럭크레인의 고장 및 수명분석」. 충남대학교 산업공학과 석사학위논문.

육군본부. (2008). 「탄약 개론(기술교범 K9(0)-1300-200)」.

원형규. (2010). 「고장률 중심의 기초 신뢰성 공학」. 한성대학교 출판부.

전건욱. (2012). 「시스템 신뢰도」. 도서출판 두남.

조규선 외. (2005). 「탄약근무. 보충교재」. 육국종합군수학교.

조용석. 박대현. (2001). 「○○체계 장입유도탄 저장신뢰도 예측」. 국방과학연구소.

최정호. (1998). 「최적품질하자보증정책 결정 알고리즘」. 건국대학교 산업공학과 박사학위논문.

김병수 외. (2009). M&S를 활용한 유도탄 검사주기 및 수량 설정 방안. 「한국시물레이션학회지」. 18(4):95~105.

류장희 외. (2010). 가부반응 데이터 특성을 가지는 탄약 체계의 신뢰도 추정 방법 비교. 「한국군사과학기술학회지」. 13(6):982~989.

백재욱. (2011). 필드 고장 요약 데이터를 활용한 미래 고장수의 예측. 「한국 데이터정보과학회지」 22(4):755~764.

손성한 외 (2015). “성능보증탄 최적운용유지방안 연구”. 「국방과학기술 플러스」 219호

안해일. (2012). 보증분석을 위한 품질보증 기간 중 제품 교체율 추정 사례 연구. 「한국산업시스템공학회지」 35(2):71~79.

이계신 외. (2011). 제약사항을 고려한 보증 유도탄 시뮬레이션 기법 연구. 「한국시뮬레이션학회지」 20(4):127~138.

이상진, 이동필. (2008). 국방장비의 보증기간 설정에 대한 연구. 「한국방위산업학회지」 15(1).

이정우. (2010). “저장탄약신뢰성평가 바로알고 이해하기”. 「국방과 기술-한국방위산업진흥회」.

정용호 등. (2016). 원샷 시스템의 저장 신뢰성 추정 정확성에 대한 샘플링 시점의 영향 분석. 「한국신뢰성학회지」 16(1):32~40

조용석, 이주호. (2008). 저장신뢰도 유지를 위한 최적 2단계 주기적 검사정책. 「한국통계학회지」 15(3):387~388.

## 2. 국외문헌

AD/A-002 838. (1974). Effects of Dormancy on Nonelectronic Components and Materials. National Technical Information Service U.S. Department of Commerce.

Barlow, R. E. and Proschan, F., (1975). Statistical Theory of Reliability and Life Testing. Holt, Rinehart and Winston. N.Y.

Ito, K, Nakagawa, T, (1992). Optimal inspection policies for a system in storage. Computers and Mathematics with Applications, Vol 24(1/2).

Ito, K, Nakagawa, T, (1995). An optimal inspection policy for a storage system with high reliability. Microelectronics and Reliability, Vol 36.

Ito, K, Nakagawa, T, (2000). Optimal inspection policies for a storage system with degradation at periodic tests. Mathematical and Computer Modeling, Vol 31.

LC-82-2. (1982). Storage Reliability Analysis Summary Report Vol I Electrical & Electronic Device. U.S. Army Missile Command.

LC-82-2. (1982). Storage Reliability Analysis Summary Report Vol II Electro Mechanical Device. U.S. Army Missile Command.

LC-82-2. (1982). Storage Reliability Analysis Summary Report Vol III Hydraulic & Pneumatic Device. U.S. Army Missile Command.

LC-82-2. (1982). Storage Reliability Analysis Summary Report Vol IV Ordnance Device. U.S. Army Missile Command.

LC-82-2. (1982). Storage Reliability Analysis Summary Report Vol V  
ptical & Electro-Optical Device0 U.S. Army Missile Command.

Martinez, E.C, (1984). Storage Reliability with Periodic Test. In Proceedings  
Annual Reliability and Maintainability Symposium,

Military Handbook. MIL-HDBK-217F. (1991). Reliability Prediction Of  
Electronic Equipment. Department of Defense. U.S.A. (See also Notice 2  
issued on 28 February. 1995).

Woward, T.W. et al. (1997). Challenges in Missile Life Cycle System Engineering.  
U.S Army Missile Command.

U.S. Department of Defense. (2005). DoD Guide for Achieving Reliability,  
Availability and Maintainability.

William Denson, et al. (1995). NPRD-95 Nonelectronic Parts Reliability  
Data. Reliability Analysis Center. Rome. New York. U.S.A.

## ABSTRACT

### A Study on Warranty and Quality Assurance Model for Guided Missiles Based on Storage Reliability

Jeong, Sang-Hun

Major in Modeling & Simulation

Dept. of Engineering

The Graduate School

Hansung University

The effectiveness and reliability of guided weapons in the weapon system is recognized as a very important factor as the aspect of the war changes from the occupation by territory occupation and mass destruction to the maximum effect by the minimum power operation for selective hitting.

The one-shot system(such as guided missile), which has been stored for a long period of time for a once firing, storage reliability is very important and one of the most important factors in the quality of the missile. Therefore, the reliability analysis is conducted based on storage reliability in the development of guided missiles. As a result, storage reliability until a specific year is presented as a stochastic definition. Despite the fact that the probabilistic analysis value presented as the result of development is an engineering predictive value(not the realistic

value), the actual situation of the management of the guided missile in Korea is based on the predicted value at the time of development, and it is somewhat lacking in efforts to analyze every years the realistic storage reliability.

According to the Defense Business Administration Regulations, which is the administrative regulation of the DAPA, "Items requiring long-term storage such as ammunition, missile, gas mask, and admiral detention should set the quality assurance period considering the normal storage period". However, there are very few cases of contracts in which the warranty period is determined in consideration of the actual storage period.

In this paper, the concepts of development of guided missiles are summarized in terms of storage reliability, and the realistic storage reliability is analyzed by collecting the malfunction field data of ○○ and △△ missiles for more than 10 years. The data used in the analysis are actual field data, but the assumption about the delivery date and the malfunction date is used for the calculation of the storage period, and the censord technique is applied because there were many missiles without failure at the time of collecting the data.

The analytical method was a parametric approach and the analytical tool was Minitab.

As a result of the analysis, the actual storage reliability of the guided missiles is considerably different from the predicted value at the time of development. In this paper, I propose a method to verify the accurate storage reliability for storage period and a quality assurance model based

on the actual storage reliability

The proposed model is to confirm the reliability change every year based on the actual shooting results of the military and the manufacturer's periodic sampling reliability test, and to set the confirmed storage reliability as the quality assurance standard. Furthermore, the overall reliability of the missile can be improved by changing the weak point components found in periodic reliability tests.

So far, there have been no studies on the long - term storage characteristics and quality assurance of guided missiles, and this study suggests that storage reliability is a key measure of quality assurance.