

## 유도탄의 신뢰성 향상 방안 고찰\*

김보현<sup>1</sup> · 황경환<sup>1</sup> · 허장욱<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>금오공과대학교 기계시스템공학과 대학원 <sup>2</sup>금오공과대학교 기계시스템공학과

### A Study on the Reliability Improvement of Guided Missile

Bohyeon Kim<sup>1</sup> · Kyeonghwan Hwang<sup>1</sup> · Jangwook Hur<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical System Engineering, Graduate School Kumoh National Institute of Technology, Korea

<sup>2</sup>Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea

**Purpose:** ASRP for the domestic development guided missiles requires not only for the reliability evaluation of the products in storage but also for the life cycle management of the products including development prototypes and initial production items.

**Methods:** For this purpose, it should be performed to build a performance database before and after the accelerated aging test with shelf life items including development prototypes and initial production items, based on which the lifetime prediction should also be carried out. In addition, HILS must be applied for the acceptance test with the initial and follow-up production items, and also for ASRP for the long-term storage products in order to secure systematic quality assurance.

**Results:** The results for the life cycle reliability Improving of domestic development of guided missiles are DB building of prescription Item performance, active application of HILS, Management associated with guided missiles life cycle and to Secure technology data about the introduction of foreign guided missiles.

**Conclusion:** Furthermore, it is demanded that DTaQ, the managing agency of ASRP, actively take part in the process to maintain reliability engagement consistency over the life cycle of guided missiles.

**Keywords:** Guided Missile, Ammunition Stockpile Reliability Program, Accelerated Life Testing, Self Life Item, Research Development and Test Evaluation, Ammunition Stockpile Test Procedure, Hardware In the Loop Simulation

#### 1. 서론

무기체계는 획득 당시의 성능을 충족하는 현재 시점의 품질뿐만 아니라, 운용간 성능을 지속적으로 보장하는 미래 시점의 품질인 신뢰성을 중요시하여야 한다 이

러한 신뢰성은 모든 무기체계에 중요한 요소이며 특히 장기간 저장하고, 고가이며, 1회 사격으로 수명을 다하는 유도탄에 있어서는 핵심 요소라 할 수 있다[1, 2].

과거 유도탄에 있어서 신뢰성은 장기 보관 측면을 강조하여 저장탄약신뢰성평가(ASRP)로 취급되었으

\* 본 논문은 방위사업청과 국과연의 지원(RAM 특화연구실)을 받아 수행된 연구 결과임

† 교신저자 hhjw90@kumoh.ac.kr

2016년 8월 10일 접수, 2016년 9월 6일 수정본 접수, 2016년 9월 22일 게재 확정.

나, 최근에는 개발, 양산, 저장, 운용 및 폐기를 고려하는 수명주기간 신뢰성 평가를 강조하고 있다 그러나 유도탄의 복잡화, 정밀화, 고가화에 따라 유도탄 신뢰성평가를 위한 소요 비용이 지속적으로 증가하고 있으며, 개발 및 양산간 신뢰성 향상을 위해 유도탄 시험발사 수량을 무제한으로 증가시킬 수 없는 제한사항을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 유도탄을 대상으로 미군 유도탄의 ASRP에 대해 조사하고, 국내 유도탄의 ASRP에 대한 현실태를 분석하여, 국내개발 유도탄의 신뢰성 향상 방안을 제시하고자 한다

## 2. 미군 유도탄의 ASRP

### 2.1 ASRP 관련기관

미군의 ASRP 업무체계는 <Fig. 1>에 나타낸 바와 같이 각 군에서 주관이 되어 수행을 하고 있는데 미 육군에서는 AMC가 AMCOM 및 AMRDEC와 함께 시험기관인 RTTC의 협조를 받아 유도탄의 ASRP를 추진하고 있다. 미 해군은 NSWC에서 하푼 미사일(Harpoon Missile) 등에 대해 ASRP를 수행하였고, 미 공군은 AFRL을 통해 AIM-9M 사이드와인더 등의 ASRP를 수행하였으며, 이러한 결과는 유도탄 운용 회원국에 한해 유료로 제공되고 있다[3].

### 2.2 유도탄의 ASRP 특징

유도탄의 구성 및 시효성 품목에 대한 설명을 <Fig. 2>와 같이 나타내었다. 유도탄 구성품 중 화공약품은

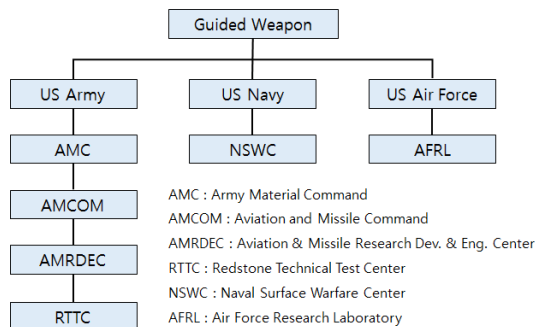


Fig. 1 The guided missile ASRP managing agencies in the U.S. military

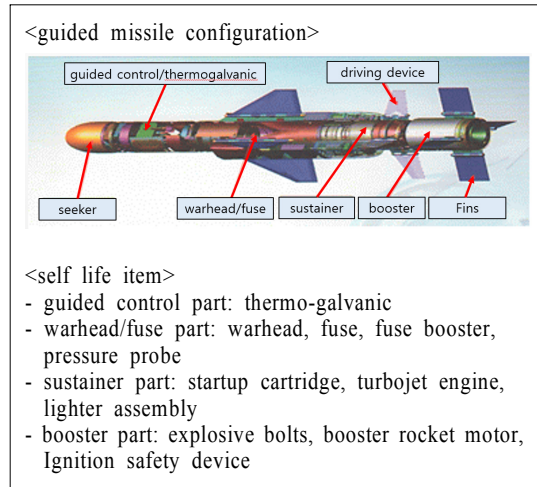


Fig. 2 Guided missile configuration and shelf life items

포함하고 있는 품목을 시효성 품목이라고 하며 시효성 품목은 시간이 지남에 따라 습기의 영향에 의한 변질로 성능발휘를 어렵게 하기 때문에, 결국에는 시효성 품목의 수명이 유도탄의 수명을 결정하게 된다 기존 미군의 ASRP는 저장탄약에 대하여 성능평가와 안전성 보장을 목적으로 탄약검사, 저장기능시험 및 저장분석시험으로 한정하고 있었으나, 최근 ASRP 규정을 개정한 이후 개발단계에서의 RDTE(연구개발 및 시험평가)가 새로이 추가되었다[4].

ASRP에 추가된 RDTE란 최초 개발단계에서부터 저장탄약의 신뢰성 향상을 목적으로 하고 있으며 개발단계에서부터 수명예측 기법을 통해 품목별 설계상 취약요소를 사전에 확인하고 조치해야 한다는 의미로 보여 진다. 즉, 기존에는 유도탄 저장간 운영단계에서 신뢰성을 평가하는데 집중하였으나 최근에는 ASRP 업무를 개선하여 개발단계에서부터 신뢰성을 향상 시키는데 관심을 가지고 있음을 알 수 있다

### 2.3 유도탄의 ASRP 절차 및 성과

미 육군 규정 AR 702-6에는 ASRP에 대한 정책, 책임 및 지침에 대해 수록하고 있으며, ASRP는 탄약의 성능, 신뢰도 및 안전성을 감시하기 위해 개발에서부터 폐기까지의 업무로 범위를 명시하고 있다. ASRP 수행절차는 미 공군에서 제정한 군사규격 MIL-STD-1576을 적용하고 있으며, <Fig. 3>에 나타낸 바와 같

이 환경시험전 성능시험(비파괴) → 가속노화시험 → 성능시험(분해/분석, 점화시험)을 수행하여 유도탄의 신뢰성과 수명을 예측하고 있다 이 때 수명예측은 일반적으로 <Table 1>에 나타낸 바와 같이 미국항공우주학회 표준 AIAA-S-113을 적용하고 있으며, 이는 아레니우스 식에 따라 71℃에서 30일간 유지한 경우를 3년 이상 상온에서 저장한 경우와 동일시하는 방법이다

ASRP 수행에 대한 구체적인 절차나 방법은 대부분 비밀로 분류하고 있으며, 단지, ASRP 수행 결과만을 공지하고 있다. 1997년도의 ASRP 수행에 따른 수명 연장 결과와 ASRP로 인한 절감예산 및 예산절감 비율을 <Fig. 4>에 나타내었으며, ASRP를 통한 예산절감액(R)은 식 (2)와 같이 표시할 수 있다. 그림에서 표시하고 있는 자료는 다소 오래된 내용이나, 현재에도

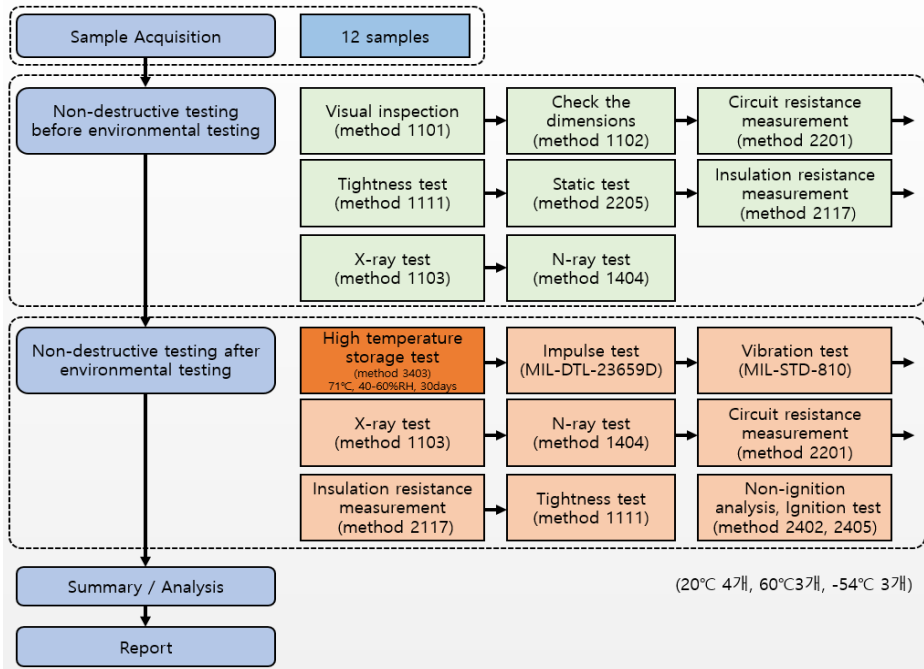


Fig. 3 ASRP cases with MIL-STD-1576 application

Table 1 Guided missile life conversion methods using AIAA-S-113 accelerated aging test results

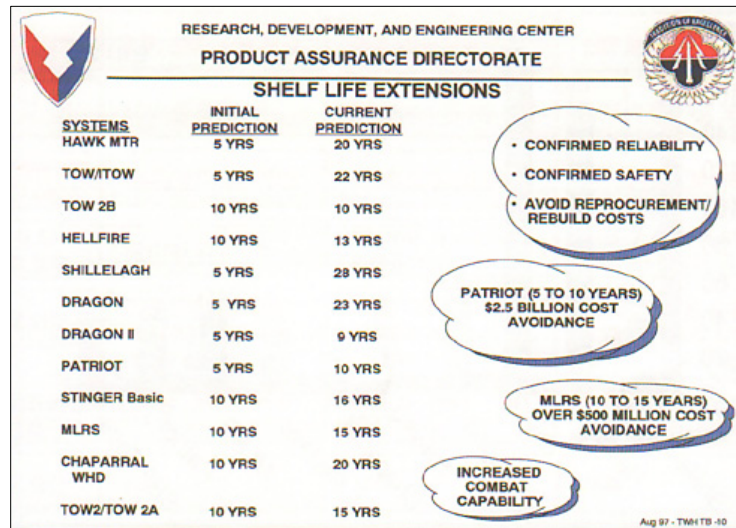
5.5.1.3 Accelerated age surveillance (AIAA-S-113)

Accelerated age surveillance tests are performed to extend the service life of the component by three years or more. This test exposes the components to 71℃ for 30 days. Testing assumes a linear relationship between test duration and life extension. Longer test durations may be used to provide life extension beyond three years.

If the component to be tested is in any way damaged by exposure to 71℃, lower temperatures may be used according to the following Arrhenius equation:

$$k = A \times \exp\left(\frac{-E_a}{R \times T}\right) \tag{1}$$

where k is the rate coefficient, A is Arrhenius rate constant, Ea is the activation energy, R is universal gas constant, and T is the temperature.



Type	Initial life (year)	Extended life(year)	Evaluation cost (billion won)	Budget saving (billion won)	Budget saving rate
Hawk	5	20	716	2,397	3:1
TOW	5	22	83	14,795	178:1
Helfire	10	13	59	8,944	150:1
Shillelagh	5	28	216	7,559	34:1
Dragon	5	23	70	3,242	45:1
Patriot	5	10	1,038	27,096	26:1
MLRS	10	15	152	5,594	36:1
Chaparral	10	20	116	562	3.8:1

Fig. 4 ASRP results of the U.S. military guided missiles(1997)

국내·외에서 다수 인용되고 있으며[5], 이는 ASRP 수행에 따른 효과를 분석한 자료를 비공개로 하고 있기 때문이다.

$$R = P \times N \times \frac{L_e}{L_d} - Q \quad (2)$$

여기서,  $P$ 는 유도탄 단가,  $N$ 은 보유량,  $L_d$ 는 설계수명,  $L_e$ 는 연장수명,  $Q$ 는 ASRP 수행간 재료비와 인건비 등의 평가비용을 의미하고 있다[6, 7].

이와 같이 유도탄 ASRP를 통한 신뢰성 확보 및 수명연장 기술이 매우 중요한데 미국을 비롯한 주요 선진국으로 부터 해외도입 하는 유도탄의 경우, 주요 선진국이 핵심기술로 취급하여 국내 기술이전을 회피하고 있으며, 과거 일부 기술이전에 대해 하푼의 경우 56억 원, AGM-142에 대해 100억 원의 기술료를 요구한 사례도 있기 때문에, 절충교역 등을 통한 기술자료

확보 노력이 강조되고 있다

#### 2.4 HILS를 이용한 유도탄의 ASRP

미군에서는 고가의 유도탄에 대한 ASRP를 위해 HILS(Hardware-In-The-Loop Simulation)가 활용되고 있는데, 실사격을 통한 유도탄의 품질보증 활동은 비용이 과다하게 소요되기 때문에, HILS와 같은 최신 기법의 적용으로 예산을 절감하고 있다. 특히, Longbow 미사일의 경우 <Fig. 5>와 같이 HILS 적용으로 초도생산 수락시험 사격발수 축소가 가능하여, 연간 예산을 800만불 절감한 것으로 발표하고 있다. 이러한 HILS는 그림에 표시된 바와 같이 초도 생산품뿐만 아니라, 후속 생산품에 대해서도 수락시험 간 로트별 샘플링으로 적용이 요구되며, 장기저장 간 ASRP 수행 시에도 체계차원의 품질보증을 위해 적용이 필요하다.

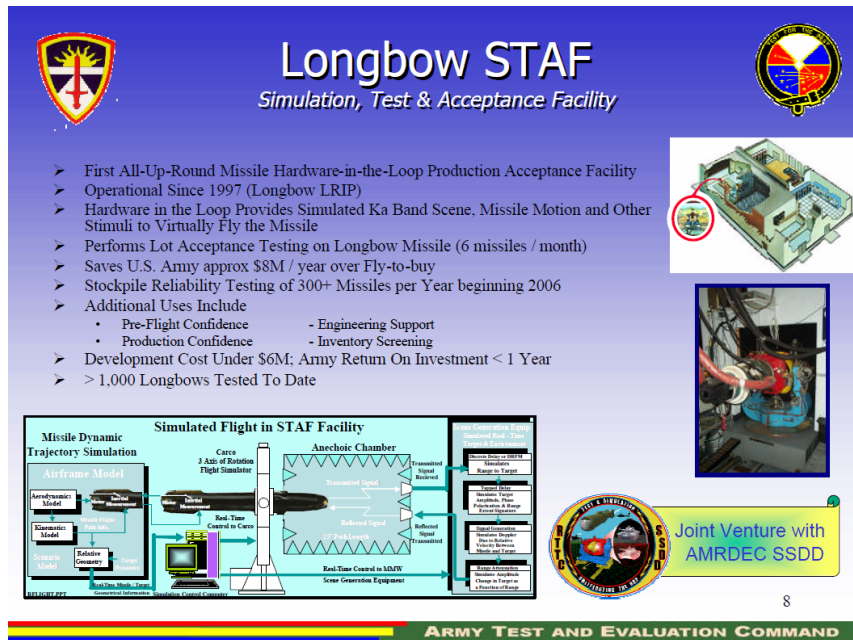


Fig. 5 The HILS application to the U.S. military hellfire missile

### 3. 국내 유도탄의 ASRP

유도탄은 주기적으로 ASRP를 수행하여 수명을 평가하고, 그 결과에 따라 계속보관, 즉시사용 및 폐기를 시행하고 있다. 특히, 과거에는 양산간 ASRP를 수행하기 위한 시효성품목이 확보되지 않아 고가의 완성탄을 이용하여 비효율적인 측면이 있었으나 최근 규정이 보완되어 시효성 품목을 양산간 확보토록 하였다[8, 9]. 즉, <Table 2>와 같이 2012년 1월 이후에 개정된 방위사업관리규정에 따라, 제20조에는 획득단계별 수명평가방법을 개발토록 하였으며, 제305조에는 수명평가 방법 개발시 고려사항으로 시효성 품목에 대한 선정 및 설계수명 예측과 함께 수명평가 시험항목, 시험절차, 시험주기 및 시험절차서 작성 등을 포함하도록 명시되어 있다.

국방부의 “수명관리를 적용한 탄약신뢰성평가 업무” 훈령[10]에 따라 ASRP 업무는 <Fig. 6>과 같이 나타낼 수 있으며, 국방부의 업무조정 및 통제하에 기품원 주관으로 시험계획을 수립하고, 평가분석 및 종합관리를 수행하고 있다. 각 군과 국과연 및 업체에서는 해당기관에 부여된 기능시험을 실시하며, 수행결과는 기품원에 통보하여 체계적으로 관리토록 하고 있다.

ASRP 업무수행 절차는 <Table 3>에 나타난 바와

같이 평가계획, 시험준비, 시험, 평가·분석 및 후속 조치로 이루어진다. 평가계획 단계는 탄약의 특성이나 전투긴요도를 고려하여 대상 탄종 및 로트를 선정하고, 시험대상 탄종별로 시험항목을 설정하며 적절한 시료수를 산출하여 ASTP를 작성한다. 시험준비 단계에서는 계획에 따라 로트별로 시료를 채취하고, 시험 단계에서 채취된 시료에 대해 기능시험, 비기능시험, 저장분석시험 등을 수행하여 탄약의 성능 및 안전성에 대한 자료를 획득한다. 평가·분석단계에서는 각각의 시험결과에서 얻어진 등급과 군 운영특성 등을 고려하여 적정한 탄약상태기호를 부여하고, 마지막으로 후속조치 단계에서는 각 군이 판정결과에 따라 저장탄약에 대해 계속저장, 조건부 불출, 정비 및 폐기 등의 조치를 수행한다.

유도탄의 수명은 화공물질이 포함된 시효성 품목의 수명에 의해 좌우되기 때문에, 정확한 ASRP 수행을 위해서는 개발 및 초도생산간 시효성 품목의 가속노화시험 전·후 성능 DB 구축이 매우 중요하다. 이러한 성능 DB는 유도탄 저장간 ASRP 수행시 시효성 품목의 가속노화시험 전·후의 성능 결과와 비교자료로 활용되어야 신뢰성 평가 및 수명연장의 논리가 타당하나, 현재 개발 및 초도생산간 시효성 품목의 가속노화시험이 미흡한 실정이다.

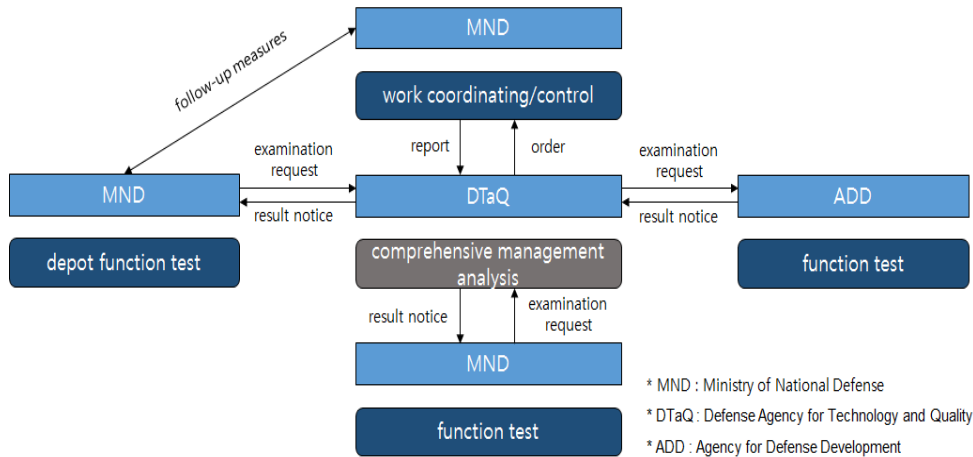


Fig. 6 ASRP System chart

Table 2 The defense acquisition program management regulations for shelf life items

**제20조(안정적이고 경제적인 군수품의 획득)**

④ ~ 단약은 탐색개발, 체계개발 등 획득단계별로 수명평가방법을 개발하고 최종적으로 폐기를 대비한 비군사화 안전처리절차를 개발한다.

**제305조(포장, 취급, 저장 및 수송 등)**

⑤ IPT장은 단약 연구개발사업의 경우 제20조4항에 따른 수명평가방법과 비군사화 안전처리절차를 개발한다

1. 수명평가방법 개발 시 고려사항

- 가. 시효성 품목 선정
- 나. 시효성 품목별 설계수명 예측
- 다. 시효성 품목별 수명평가 시험항목
- 라. 시효성 품목별 수명평가 시험절차
- 마. 시효성 품목별 수명평가 주기
- 바. 시효성 품목별 시험절차서 작성  
(성능 규격 및 성능 파라미터 정의)

Table 3 The ASRP execution procedures

type	contents
evaluation plan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• establish business plan and budget reflection</li> <li>• priority decision of spoil concerns items</li> </ul>
test prepare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sampling of lots and storage area</li> <li>• non-function test and sample transportation</li> </ul>
Test	<ul style="list-style-type: none"> <li>• general inspection: DTaQ</li> <li>• function test: DTaQ, ADD</li> <li>• physico-chemical analysis: DTaQ, ASC</li> </ul>
evaluation · Analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• analysis of the test results</li> <li>• decide grade decision of lots</li> <li>• publish and distribute report</li> </ul>
follow-up action	<ul style="list-style-type: none"> <li>• follow-up action(continue storage, maintenance, disposal, etc.)</li> </ul>

### 4. 국내 유도탄 신뢰성 향상 방안

#### 4.1 시효성 품목 성능 DB 구축

유도탄은 장기 저장 특성상 저장수명이 곧 유도탄의 총 수명이라고 할 수 있으므로 개발 시 장기 저장을 고려한 설계가 필요하고, 저장 간 ASRP를 통해 성능과 안전성을 평가한 후 수명연장 여부와 정비 가능성 및 폐기 등을 판단하여야 한다. 따라서 정확한 ASRP를 수행하기 위해서는 시효성 품목에 대한 가속노화시험 전·후의 성능 DB를 구축하고, 이를 이용한 수명예측이 수행되어야 한다. 이 때 성능 DB는 시제품과 초도 생산품을 기준으로 구축되어야 하며, 장기 저장 간 주기적인 ASRP를 위해 수행하는 시효성 품목의 가속노화시험 전·후 성능과 비교분석하여 잔존 수명을 예측할 수 있어야 한다.

#### 4.2 HILS의 적용

유도탄 양산품은 개발 시제품과 동일 성능임을 입증하기 위한 품질보증활동이 매우 중요한데 유도탄 가격이 고가로 인해 <Table 4>와 같이 개발 시제품에 대해서는 사격시험 실적이 있으나, 양산품 품질보증을 위한 사격시험 실적이 매우 저조하다[11]. 이와 같은 품질보증 사격시험 미 실시로 인한 유도탄의 품질저하를 예방하기 위해, 최근 방위사업관리규정 제634조에 “총 사업비가 3,000억 원 이상의 국내개발 유도탄 초도 생산품은 품질인증사격시험을 수행하여야 한다”고 강제 조항으로 명시하고 있다.

그러나 방위사업관리규정에 따라 초도 생산품 품질인증사격시험을 수행한다고 할지라도 고가의 유도탄으로 인해 사격발수는 극히 제한적으로 수행될 수밖에 없으므로 <Fig 5>에 나타난 바와 같이 미군의 HILS 처럼 최신 기법의 적용에 의한 품질보증 활동이

요구된다.

#### 4.3 유도탄 수명주기와 연계된 관리

유도탄의 수명주기간 신뢰성 업무는 <Table 5>에 나타난 바와 같이 개발, 생산, 저장·운용 및 폐기를 고려하여 단계적인 업무가 수행되어야 한다. 개발 단계에는 가속노화시험 성능 DB 구축, ASRP 계획수립 및 비군사화 방안을 수립하고, 생산 단계에는 ASRP용 시료확보와 함께 시효성 품목의 가속노화 성능 DB 생성이 필요하다. 저장·운용 단계에는 ASRP 수행 및 실사격 시험 데이터 관리를 하고, 폐기 단계에는 비군사화 등을 실시하여야 한다.

특히, 개발 시제품의 시효성 품목 가속노화 성능 DB는 연구개발주관기관(국과연, 체계업체)의 주관하에 구축이 필요하며, 초도 및 후속 생산품에 대해서는 기품원 주관하에 수행이 요구되므로 업무의 일관성 있는 추진을 위해서는 기품원이 최초 개발 시제품에 대한 가속노화 성능 DB 구축 시에도 참여가 요구되고 있다.

#### 4.4 해외도입 유도탄의 기술자료 확보

해외도입 유도탄은 획득단계에서부터 폐기까지 수명관련 기술자료를 지속적으로 확보할 수 있는 시스템 구축이 필요하며, 구매 협상에 있어 절충교역으로 유도탄 시효성 품목의 가속노화에 의한 성능 DB 등 직접 활용할 수 있는 기술자료를 우선적으로 확보하는 노력이 요구된다. 따라서 유도탄을 해외도입 시에는 시효성 품목에 대한 가속노화시험 전·후의 시험 절차와 함께 가속노화 성능 DB 확보로 저장·운용간 독자적으로 ASRP를 수행할 수 있는 여건을 갖추어야 한다.

Table 4 Firing test status of domestic development guided missiles

type		A business	B business	C Business	D business	E business	F business
development	operational test and evaluation	16	16	5	10	5	4
	initial qualification check	1	0	1	0	1	-
mass production	evaluation of military strength	0	0	0	0	0	0
	subsequent production	0	0	0	0	0	0

**Table 5** Reliability engagement for life cycle management of guided missiles

type	contents
development	<ul style="list-style-type: none"> <li>• period selection of prescription item, DB building of accelerated performance aging test</li> <li>• life Assessment of prescription item</li> <li>• quantity of sample about life evaluation</li> <li>• demilitarization method establishment</li> </ul>
production	<ul style="list-style-type: none"> <li>• acquisition sample about life assessment of prescription item</li> <li>• DB building about accelerated performance aging of initial product</li> <li>• life prediction of prescription item</li> <li>• sample storage preparation of prescription item</li> </ul>
storage, operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• regular, checks(field, depot)</li> <li>• ASRP performing(including accelerated aging test)</li> <li>• real fire test data management</li> <li>• development of demilitarization processing technology</li> </ul>
disposal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• comparison of Accelerated aging test DB and actual performance</li> <li>• demilitarization processing</li> <li>• demilitarization data management</li> <li>• similar weapon system application of the relevant technical data</li> </ul>

## 5. 결론

국내개발 유도탄의 ASRP는 저장 간 신뢰성평가 뿐만 아니라 개발 시제품과 초도 생산품을 포함하여 수명주기간 추진이 요구되고 있다. 국내개발 유도탄의 수명주기간 신뢰성 향상 방안을 도출하기 위해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 개발 시제품과 초도 생산품을 대상으로 시효성 품목에 대한 가속노화시험 전·후의 성능 DB를 구축하고, 이를 이용한 수명예측이 수행되어야 한다.

둘째, 초도 및 후속 생산품의 수락시험간 HILS 적용이 요구되며, 장기저장 간 ASRP 수행 시에도 체계 차원의 품질보증을 위해 HILS 적용이 필요하다.

셋째, 유도탄의 수명주기(개발, 생산, 저장·운용 및 폐기)간 신뢰성 업무의 일관성 유지를 위해 ASRP 주관기관인 개발 간 기품원의 적극적인 참여가 요구된다.

넷째, 유도탄을 해외도입 시에는 시효성 품목에 대한 가속노화시험 전·후의 시험절차와 함께 성능 DB를 확보하여 ASRP를 수행할 수 있는 여건을 구비하여야 한다.

## References

- [1] Lee, J. W. (2010). "Understanding of Ammunition Stockpile Reliability Program". Defense & Technology, pp. 102-107.
- [2] DTaQ (2010). "Research of Ammunition Life". DTaQ, pp. 5-17.
- [3] Michael, W. Z. (2006). "Harpoon Missile Energetic Components Shelf-life Surveillance Report". NSWC-HPNSURV-002, Code E131J.
- [4] DoD (2007). "The Defense Acquisition System". DoD Directive 5000/01.
- [5] ADD (2014). "Technology of Missile Life Evaluation/Prediction". Defense Science Technology Academy.
- [6] ADD (2012). "Ammunition Stockpile Reliability Program". Defense Science Technology Academy, pp. 145-163.
- [7] ADD (2013). "Technology of Missile Life Evaluation/Prediction". Defense Science Technology Academy, pp. 3-29.
- [8] MND (2014). "Defense Military Strength Development Affair Regulations".
- [9] DAPA (2014). "Defense Acquisition Program Management Regulations".
- [10] MND (2012). "Ammunition Stockpile Reliability Program Affair Regulations".
- [11] Hong, Y. S. and Yoo, H. (2012). "A Study on the Firing Test System Improvement of Production, Operation and Support of Missile". Defense & Technology, pp. 68-75.