

# 무기체계 고장사례분석으로 본 무기체계 신뢰성 개선방안

송일호

(주)한화 방산 종합연구소 ILS센터

## Reliability improvement method in weapon systems through field failure data analysis

Il-Ho Song

Defense R&D Center, Defense Division, Hanwha Corporation

**요약** 최근 무기체계가 복잡화, 다기능화 됨에 따라 최종 사용자인 소요군의 무기체계 운용, 정비 난이도가 점점 높아지고 어려워지고 있다. 그러나 이와 반대로 운용, 정비를 수행하는 운용병, 정비병의 근무(복무)기간이 단축되면서 장비 운용, 정비에 대한 숙련도가 낮아지고 있으며. 이러한 장비의 복잡화, 다기능화는 사용자와 정비자의 오작동, 실수 등을 유발시키게 되고 이로 인한 무기체계의 신뢰성 저하는 가용도, 전투준비태세 및 고장수리에 따른 수명주기비용에 영향을 미치고 있다. 이에 따라 소요군에서 운용간 발생한 고장사례 분석을 통하여 시사점을 살펴보고 이를 개선하기 위한 설계측면, 종합군수지원(ILS) 측면의 개선방안을 제시한다.

분석된 무기체계는 현재 해군에서 운용 중인 무기체제로 야전 운용간 실제 발생한 고장사례 730건에 대하여 수집하여 분석하였으며 1차 적으로 고장원인별 분류된 결과를 2차로 사전예방 가능한 고장과 사전예방 불가능한 고장으로 분류하여 사전 예방 가능한 고장이 어느 정도 차지하는지 정도와 이에 대한 시사점, 사전예방 가능한 고장별 고장 최소화를 위한 대책과 제안사항을 제시하였다.

**Abstract** Recently, as weapon systems have become more complex and multi-functional, the difficulty of the operation and maintenance of weapon systems in the military have become increasingly difficult. On the other hand, the service period of operations and maintenance workers who perform operations and maintenance has been shortened, and the skill of system operation and maintenance has been lowered. This complexity and multi-functionality of equipment cause malfunctions and errors of users and maintenance personnel, and degradation of the reliability affects availability and combat readiness. In addition, life cycle costs have been gradually increasing. Therefore, I would like to suggest an improvement plan of the design of weapon systems and ILS (Integrated Logistics Support) in order to examine the implications of failure in the military. The weapon system is operated in the ROK Navy. Data from 730 cases of failure of weapon systems was collected, and analyzed. The results of the analysis are classified into failures that can be prevented in advance and failures that cannot be prevented. This shows the portion of preventable failures in weapon systems and proposes measures to minimize failures.

**Keywords** : Failure analysis, Field failure data analysis, Reliability, ILS, Weapon system

### 1. 서론

무기체계 개발단계에서 신뢰도 예측결과는 수명주기 비용(LCC : Life Cycle Cost) 분석, 동시조달수리부속(CSP : Concurrent Spare Part) 산출, 종합군수지원(ILS

: Integrated Logistics Support) 개발 기초자료 등 많은 요소로 활용되고 있다.

그러나 실제 체계 또는 장비 운용간 나타나는 신뢰도의 경우 신뢰도 예측결과와 많은 차이를 보이고 있으며 이로 인하여 예측된 신뢰도 값을 활용한 자료작성 결과

\*Corresponding Author : Il-Ho Song(Hanwha Corporation)

Tel: +82-10-5545-3181 email: ilhosong@hanwha.com

Received September 18, 2018

Accepted December 7, 2018

Revised (1st October 8, 2018, 2nd October 24, 2018)

Published December 31, 2018

가 실제와 다른 경우들이 발생되고 있다.

무기체계 운용에 있어서 신뢰도 예측값과 실제 신뢰도는 고장주기, 교환주기, 수리부속 산출시 기본 값으로 사용되며 이러한 항목들의 예측 또는 산출 오류는 체계(장비)의 운용유지비용 상승, 수리부속 장기 비수요 품목 다수 발생, 전투준비태세 유지에 영향을 미치는 요소로 작용된다.

그러면 실제 무기체계 운용간에 운용신뢰성에 영향을 미치는 항목 및 영향에 대하여 현재 해군에서 운용 중인 잠수함 체계 고장사례 730건[1]에 대한 분석결과를 통하여 살펴보고 이에 따라 현재 개발/운용 중인 무기체계의 운용간 신뢰성을 향상시키기 위한 방법이 어떤 것이 있는지 살펴본다.

잠수함 체계는 복합무기체계(Super System)으로 다양한 부체계와 장비로 구성되어 있으며 이에 대한 실제 고장사례를 살펴봄으로써 보다 복잡해지고 대형 시스템화 되어가는 현재 무기체계에 있어서 운용간 신뢰도 향상에 있어 중요점이 어떤 것인지 시사점이 있을 것이라 판단된다.

국방분야에서 고장사례를 분석하여 신뢰도 개선을 위한 연구는 제한적으로 허장완(2017) “야전운용자료를 활용한 해상 유도무기 발사체계 신뢰도분석”(Journal of Aerospace System Engineering, Vol.11, No.3, pp.39-46)[2]와 같이 고장사례를 분석을 통한 정확한 신뢰도 예측 또는 예측의 정확도를 개선하기 위한 연구이거나 나라별(2017) “고장 사례분석을 통한 유도탄고속 함포체계 사격안전성 개선방안 연구”(Journal of the KIMST, Vol. 20, No. 2, pp. 159-169)[3]와 같이 고장이 발생된 부품 또는 구성품에 대한 하드웨어 설계개선을 통하여 고장률을 개선하는 연구가 있었으며, 민수분야의 연구사례 또한 문학운(2016) “디스크 브레이크의 이상 떨림에 관한 고장사례연구”(Journal of the KIGAS, Vol. 20, No. 1, pp. 40-45)[4]와 같이 운영 또는 하자보수(A/S)간 발생된 고장사례를 수집하여 하드웨어 설계개선을 위한 연구가 있었다.

본 연구의 경우에도 잠수함 고장사례를 분석하여 노출 또는 운용환경에 따른 고장 취약 부위(장비)를 찾아 보기 위하여 시작하였으나 고장사례를 분석 및 정제하는 과정에서 고장원인이 다른 복합적인 요소들이 작용한다는 것을 확인할 수 있었고 이에 따라 고장 원인을 장비의 취약점이라는 기본 전제를 가지고 있는 이전 연구들

과 다르게 고장 원인에 대하여 다른 측면에서 근본적으로 접근하게 되었다.

본 연구는 군에서 운용하는 체계에 대한 내용을 다루고 있어 체계명과 제한된 사항만 언급하였으며 다른 사항은 ○○으로 처리하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 잠수함 체계 고장사례 분석

신뢰도 예측이 아닌 실제 운용간 신뢰도의 경우 실제 운용자에 의한 운용, 취급이 없거나 별다른 환경변화가 없는 장비의 경우 또는 구성이 매우 단순한 경우에는 신뢰도 예측/분석결과가 운용간 신뢰도와 유사하거나 실제 고장주기는 운용시간이 지날수록 운용간 고장데이터를 이용하여 예측 가능한 형태가 될 수 있다[5].

하지만 무기체계가 거대화 복잡화되고 하나의 시스템 내에 여러 가지 장비가 포함되어 지면서 예측/분석되는 신뢰도의 결과가 여러 가지 요소에 의하여 실제 운용결과와 차이가 생기게 된다. 이러한 측면에서 무기체계 실제 신뢰도에 미치는 요소들이 어떠한 것이 있는지에 대한 본보기로 복합 무기체계(Super system)인 잠수함 체계는 좋은 사례라 할 수 있을 것이다. 잠수함 체계의 고장사례 분석을 위하여 수집한 자료는 Table 1.과 같다.

Table 1. Information of collected failure data

Classification	Contents
Target system	○○○ Class Submarine
Operating unit	ROK Navy ○ Submarine Flotilla
Operating quantity	○ EA
Num. of data	730 EA ('99 ~ '09, 10years)
Data collection and analysis Period	'10 ~ '12, '16

수집된 730건의 고장자료는 해당 구성(개별) 장비별 기술교범(Technical Manual) 검토, 운용/정비요원을 대상으로 델파이(Delphi) 기법을 적용하여 고장원인에 대하여 분석하였으며 분석결과 조작미숙, 운영미숙, 운용부주의, 장기사용, 재질불량, 접착불량, 오작동, 제작불량 등 다양한 원인이 존재하여 이를 다시 Table 2.의 기준에 따라 유사항목별로 통합하여 최종 분석결과를 도출하였다.

No.	Failure Description	Cause	Action and Result	Remarks	Analysis	Classification
2	Engine room assembly hatch fastening bolt leakage	Result of Assembly hatch overhaul, waterproof start leakage and large amount of rust occurred at Hatch joint	It's impossible to repair in navy, shipyard repair completed	It need to compound inspection and leakage inspection every 2 years	Long-term use	Equipment aging
3	Seawater flow in engine room during snorkel	Air conditioner temperature gain connection screw breakage	Air conditioner seawater valve block. Repair during RA repair period	Thorough inspection of engine room and equipment in operation	Poor material	Failure and Poor
4	Seawater enters the battery compartment through the ventilation system due to engine room low pressure build-up due to head valve closing delay during passive snorkel	The wet bilge is submerged due to the snorkel head valve closing delay and the ventilation system seawater flows into the engine room at low pressure	Cleaning and drying with main battery distilled water	A. Know the perfect snorkel procedure B. If the snorkel head valve can not be operated manually, the outside flap must be closed	Incorrect operation	Incorrect operation
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Result of first Analysis

Classification of Failure

Fig. 1. Analysis of collected failure data

Table 2. Classification of Failure

No	Classification	Classification Criteria
1	Failure or Poor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Common faults during operation</li> <li>Can not predict and randomly occur</li> </ul>
2	Poor Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Not performing maintenance</li> <li>Preventive/Corrective Maintenance is wrong</li> </ul>
3	Incorrect Operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operator's mistake</li> <li>Misoperation</li> </ul>
4	Equipment aging	<ul style="list-style-type: none"> <li>Failure due to aging</li> <li>Durability/Exchange period not set</li> </ul>
5	Equipment damage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipment damage due to external environment</li> <li>Caused by unexpected environmental conditions</li> </ul>
6	Abnormal operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipment behaves in an unexpected function/form</li> </ul>
7	Long term unused	<ul style="list-style-type: none"> <li>Failure due to long-term unused equipment</li> </ul>
8	Others	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unknown cause, Delay action</li> <li>Not included in fault classification</li> </ul>

잠수함 체계 고장사례 730건에 대하여 8가지 형태로 고장원인별 분류하였을 때 고장건수 및 비율은 다음과 같다.

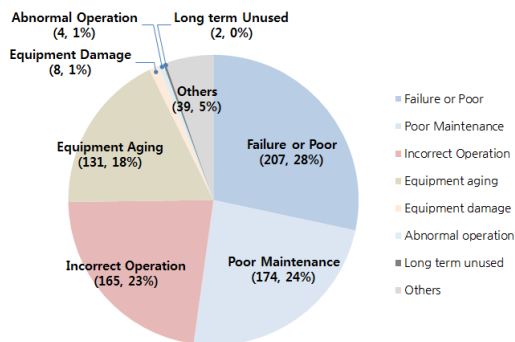


Fig. 2. Classification of failure by cause

Table 3. Classification of Failure by cause

No	Classification	Number	Rate
1	Failure or Poor	207	28%
2	Poor Maintenance	174	24%
3	Incorrect Operation	165	23%
4	Equipment aging	131	18%
5	Equipment damage	8	1%
6	Abnormal operation	4	1%
7	Long term unused	2	0%
8	Others	39	5%
Sum		730	100%

잠수함 체계의 고장사례를 살펴보면 실제 운용간 장비 이상에 의하여 생긴 고장의 비율은 결함 및 불량(28%), 장비손상(1%), 오작동(1%) 정도인 약 30% 수준 정도이며 기타 다른 원인에 의한 고장이 70% 수준에 달한다. 이는 무기체계 개발간 예측되는 신뢰도가 올바르게 예측한다 할지라도 실제 고장사례에 30% 수준에서 영향을 미치며, 초기 예측된 신뢰도 요소 보다 운용적 요소에 의하여 더 영향을 받는다 할 수 있다.

실제 운용간 고장인 30%(결함, 손상, 오작동)가 아닌 다른 원인에 의한 고장 중 50%는 인간공학적 설계, 주의/경고 문구 등의 라벨링, 철저한 사전운용 및 정비교육 등의 다양한 다른 방법으로 사전에 충분히 예방이 가능하거나 최소화 할 수 있는 고장이라 판단되고 18%를 차지하는 장비노후에 의한 고장, 장비 미사용에 의한 고장은 철저한 장비관리, 주기적 검사 및 예방정비, 장비 내구연한 준수로 사전 조치(Proactive)가 가능한 고장으로 판단된다.

잠수함 체계의 고장분석 사례를 기반으로 살펴보면 신뢰도 예측값이 100% 정확하다 가정하더라도 실제 운용간 장비고장은 예측된 신뢰도와 두 배 이상의 차이가 발생할 수 있으며 실제 신뢰도에 대한 향상을 위해서는 장비설계, 구성품의 내구성, 신뢰성 등으로 고장을 향상시키는 것 이외에 다른 활동이 필요하다는 것을 알 수 있다. 이는 고장을 사전 예방 가능한 고장과 불가능한 고장으로 구분해 보면 명확하게 알 수 있다. 고장원인별 분류를 사전 예방 가능한 고장과 불가능한 고장으로 구분하면 다음과 같다.

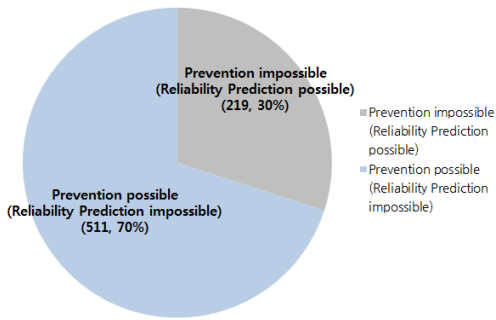


Fig. 3. Classification of failure by preventability

Table 4. Classification of Failure by preventability

Classification	Cause of failure	Number	Rate
Prevention Impossible (Reliability Prediction possible)	Failure or Poor	219	30%
	Equipment damage		
	Abnormal operation		
Prevention Impossible (Reliability Prediction possible)	Poor Maintenance	511	70%
	Incorrect Operation		
	Equipment aging		
	Long term unused		
	Others		
Sum		730	100%

### 2.2 고장원인별 신뢰성 개선방안

분석된 고장사태를 기반으로 각 고장원인에 대한 개발단계에서 신뢰성 개선방안을 살펴보도록 한다.

고장원인의 절반 이상은 사전예방 및 조치(Proactive) 가능한 오류로 사용자 측면에서는 무기체계가 직적화, 복잡화 되는 반면 운용, 정비 속편도가 낮아서 발생하는 경우와 개발자 측면에서 개발경험 부족과 개발에 대한 시간부족, 다양한 환경, 조건에서의 시험 미실시로 발생하는 경우, 사업/개발의 측면에서는 설정된 운용개념을 고려하지 않고 개발되는 경우와 설정된 운용개념에 따라 운용되지 않는 경우 등으로 다양화 할 수 있다. 이러한 고장원인별 개선방안을 정리해 보면 다음과 같다.

장비에 대한 결함 및 불량, 장비손상, 오작동은 근본적인 고장에 대한 문제로 사후조치(Reactive)가 제한되는 항목으로 초기 개발 또는 구매단계부터 고 신뢰성, 내구성의 장비를 지향하고 운용개념과 환경을 고려하여 이에 적합한 설계, 구매, 제작을 추진해야 한다[5]. 그리고 장비손상, 오작동을 방지하기 위하여 운용간 발생될 수 있는 다양한 변수를 고려하여 개발하고 시험하여 장비손

상 및 오작동 가능여부를 확인하여 설계에 반영하는 등 사전에 조치해야 한다. 또한 장비배치 후에는 지정된 운용절차와 환경 등을 준수하여 운용간 장비손상 및 오작동이 발생하지 않도록 해야 할 것이다.

Table 5. Reliability improvement method

Classification	Reliability improvement method
Failure or Poor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Design for reliability / durability</li> <li>Replace frequently failed parts</li> <li>Enhance Quality Assurance</li> <li>Enhance Test (ESS<sup>1</sup>), Environment)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Human engineering design to prevent error</li> <li>Use attention/warning label</li> <li>Write attentions, cautions, Warnings in Technical Manual and IETM<sup>2</sup>)</li> <li>Emphasize and share examples in operation and maintenance education</li> <li>Add SW algorithm for exception handling (Only Incorrect Operation)</li> </ul>
Equipment aging	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enhance equipment management</li> <li>Set and observe part life time</li> <li>Set suitable Periodic inspection, Preventive maintenance cycle</li> </ul>
Equipment damage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Design for operational concept and Environment</li> <li>Design for Durability</li> <li>Keep operating environment</li> </ul>
Abnormal operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consider various design variables</li> <li>Keep operating procedures</li> <li>Enhance SW Test</li> <li>SW Static/dynamic Test</li> <li>Choice a OS, Middleware and development language to reduce SW bug</li> </ul>
Long term unused	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consider storage stability in design</li> <li>Development storage container if necessary</li> <li>Do not use item properties changed</li> </ul>
Others	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enhance emergency response capability</li> <li>Set appropriate Maintenance / Supply concept</li> <li>Analysis failure cause</li> </ul>

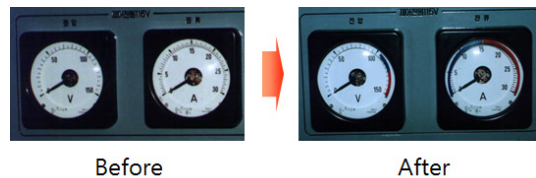


Fig. 4. Example of Design improvements to reduce user error 1

Fig. 4.는 사용자 지시기를 개선한 사례로 개선이전에는 전압 및 전류의 안전범위와 위험범위를 사용자가 암기하기 전까지는 인지하지 못하였는데 안전영역과 비안전영역을 색으로 표현함으로써 사용자가 한눈에 인지할 수 있도록 하였다.

1) ESS(Environmental Stress Screening) : 초기고장배제시험  
 2) IETM(Interactive Electronic Technical Manual : 전자식기술교범

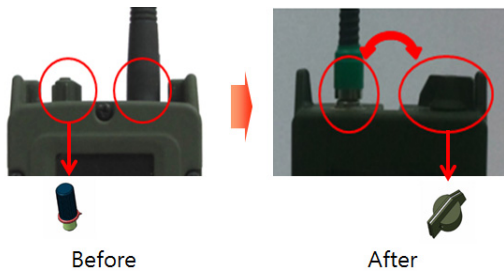


Fig. 5. Example of Design improvements to reduce user error 2

Fig. 5.는 무선 조종기의 설계를 개선한 사례로 조종기를 왼손으로 파지하고 스위치를 오른손으로 조작하는 특징을 반영하여 스위치 조작시 안테나가 손가락 사이에 걸리지 않도록 안테나와 스위치의 위치를 변경하였으며 스위치도 조작 및 스위치 방향식별이 용이하도록 스위치를 변경하였다.

정비불량의 경우 사전조치(Proactive)와 사후조치(Reactive)가 가능한 항목으로 초기 개발간 정비성에 대한 설계를 강화하고 정비요소에 대한 인간공학 측면에서의 접근이 필요하다. 시스템이 거대화, 복잡화 되거나 정비의 난이도가 어려울수록 정비자의 실수로 인한 정비불량이 발생할 가능성이 높아지며 이로 인한 고장이 발생된다.

또 여러 가지 장비가 결합되거나 탑재되는 대형 시스템이나 복합 무기체계의 경우 고장식별, 고장탐지, 정비업무수행 등 정비요소에 대한 인간공학 측면의 접근이 필요하며 동일 또는 유사한 수준의 인간공학요소를 고려한 장비들이 함께 배치되어야 고장식별, 탐지, 정비업무수행 방법들이 동일 또는 유사하게 되어 정비자가 정비간에 실수 또는 구성품 오결합 할 수 있는 확률이 줄어들게 된다. 여러 구성 장비 중 하나 또는 소수의 장비가 다른 장비와 정비방법에 있어서 차이가 있는 경우 정비자의 실수로 인한 정비불량 확률을 높이지게 된다[6].

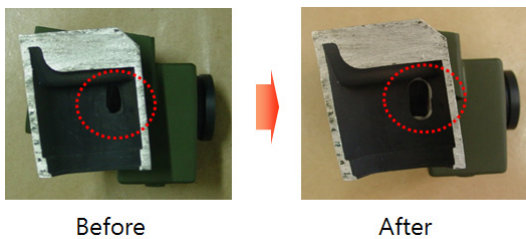


Fig. 6. Example of Design improvements for Maintenance personnel 1

Fig. 6.는 정비불량을 개선한 사례로 케이블 제거/설치의 용이성을 위하여 케이블이 통과하는 홀의 크기를 크게 조정하여 정비시간 향상, 케이블 억지끼움에 의한 정비불량 현상이 개선되었다.

정비불량의 문제는 설계보완 이외에도 정비자가 실수하지 않도록 정비교육에 대하여 철저하게 수행하고 정비교범, 정비용 교보제에 대하여 명확하게 작성을 해야 한다.

이러한 정비불량을 최소화 할 수 있는 방법 이외에도 정비자 오류가 예상되는 부위나 정비오류가 고장 또는 치명적인 고장을 발생시킬 수 있는 부위에 대하여 마킹 또는 라벨을 이용하여 정비자에게 올바른 정비를 하는 방법, 정비가 잘못되었을 경우 경고문구, ‘정비시 오류가 발생할 수 있으니 주의하라’는 주의사항 등을 표시하는 방법을 사용할 수 있다[7].

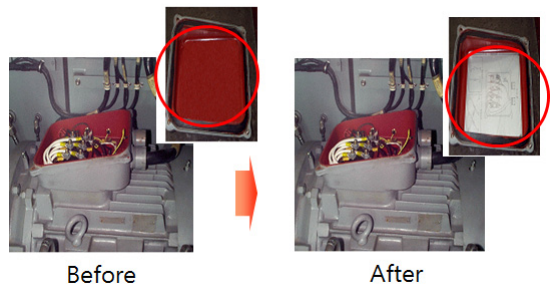


Fig. 7. Example of Design improvements for Maintenance personnel 2

Fig. 7.은 정비자를 위한 라벨을 추가한 설계개선 사례로 정비자가 장비의 커버를 열었을 때 커버 안쪽에 내부 케이블 배선 등에 대한 정보를 제공하여 정비 편의성을 증대시키고 정비불량 가능성을 감소시켰다.

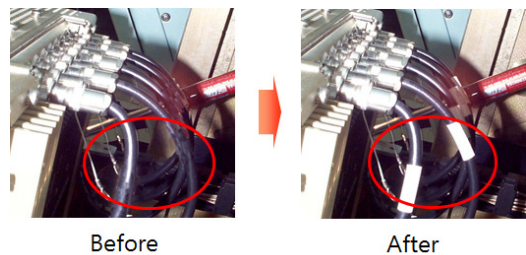


Fig. 8. Example of Design improvements for Maintenance personnel 3

Fig. 8.는 케이블 식별성 및 정비성을 위하여 내부 배

선을 식별할 수 있도록 마킹 슬리브를 표기한 설계개선 사례이다.

운용미숙의 경우에도 정비와 유사하다. 운용성을 고려하여 운용을 최대한 단순하고 편리하게 할 수 있도록 사용자 UI, 조종장치 등을 설계하여 개발해야 되며 인체 공학적 설계를 반영하여 사용자가 실수를 하더라도 올바른 방향으로 실수 할 수 있도록 제작되어야 한다[7].

운용미숙의 문제도 정비불량과 마찬가지로 설계문제 이외에 운용교육이 부실하거나 운용교범이 명확하지 않는 경우 발생할 수 있다. 또한 운용교육, 운용교범에서 제시되지 않은 비상상황이나 특수한 경우가 나타날 경우 운용미숙이 발생할 가능성이 있는 상황으로 다양한 상황에서의 운용방법에 대한 운용교육과 기술교범 기술이 필요하다 할 수 있다.

특히 정상적인 운용 또는 정비교육을 받지 못하고 장비를 운용하거나 정비하는 경우 운용미숙이나 정비불량을 발생시킬 수 있다.

장비노후화, 미작동에 의한 고장은 보다 철저한 장비관리, 정확한 예방정비 주기 산정과 정기적 검사 및 시행, 장비/구성품에 대한 내구연한 준수를 통하여 사전조치가 가능하다. 특히 내구연한이 지난 품목에 대하여 예산상의 이유 또는 수리부속 보급 지연으로 지속적으로 사용할 경우 다른장비 고장의 원인을 제공하거나 시스템이 불가동하게 되는 경우가 발생할 수 있기 때문에 신뢰도 측면과 비용적인 측면에서 위험요소로 작용될 수 있다.

## 2.3 무기체계 신뢰성 개선방안

무기체계 신뢰성 개선을 위해서는 개발 또는 운용유지 단계에서 예측 또는 산출되는 신뢰도 값 이외에 다양한 영향요인에 대하여 고려해야 하는 것을 고장사례분석을 통하여 확인하였다. 실제 무기체계 신뢰성 개선을 위해서는 개발측면, 종합군수지원 측면, 운용유지 측면 등에서 다양한 방안을 고려해야 하며 무기체계별로 각자의 특성과 맞물려 보다 다양한 개선방안이 나올 수 있다.

### 2.3.1 무기체계 설계(Design)

무기체계 설계에 있어 설계자들이 신뢰성, 정비성, 내구성, 저장성 등 고려하였는지 여부는 무기체계 신뢰성에 영향을 미치게 된다. 또한 인간공학 요소를 고려한 설계는 무기체계가 거대화, 복잡화 될수록 신뢰성에 더 큰 영향을 차지하게 되고 운용간 예외사항이나 비정상 운용

간 신뢰성을 보장할 수 있게 한다.

특히 의도하지 않은 방향으로의 운용, 정비가 발생시 오류를 방지할 수 있는 하드웨어, 소프트웨어 적인 장치가 마련되어야 한다.

### 2.3.2 무기체계 생산(Manufacture)

무기체계 제작 및 조립에 있어 품질보증을 강화하고 장비 및 수리부속에 대한 품질을 보장하는 경우 무기체계의 신뢰도가 향상된다[5]. 하지만 무기체계의 품질은 무기체계를 제작 및 조립하는 과정에서 얼마나 책임을 가지고 집중적으로 노력하였는지를 여부에 따라 달라질 수 있다. 따라서 무기체계의 품질에 대한 요구사항 등에 대해서는 계약 또는 개발규격에 반영하고 향후 검증하는 것이 중요하다.

또한 체계(장비)의 정상작동 측면에서 검사하는 현재의 방식에서 하드웨어적, 소프트웨어적 예외처리 절차가 반영되었는지 규격에 포함하여 확인하는 것도 필요하다.

### 2.3.3 연구 및 설계반영(Research and Design feedback)

연구 및 설계반영을 통하여 유사체계분석, 고장사례 분석을 통하여 설계개선사항을 도출하고 장비개발에 환류(Feedback) 하는 행위는 이전 유사체계 또는 고장사례에서 발생한 동일한 고장, 정비불량, 운용미숙 등의 사례를 시스템 설계보완을 통하여 재발하지 않도록 한다[8]. 또한 유사체계의 문제점을 통하여 현 체계 설계의 취약점을 발견할 수 있으며 동일 또는 유사한 문제점이 다시 발생하는 것을 미연에 방지할 수 있다.

### 2.3.4 정비 및 보급(Maintenance and Supply)

정비와 보급측면에서도 적절한 예방정비 항목과 주기를 설정하고 소요군 능력에 부합한 정비/보급개념을 설정하여 정비간 사용자 오류발생을 최소화 하고 고장시 관련 보급품의 부재로 인한 신뢰성이 저하되는 것을 미연에 방지할 수 있다. 특히 소요군에서는 전시에 장비를 운용하고 정비해야하는 필연적인 요소 때문에 가능한 많은 정비업무를 수용하고 이에 따른 군직 정비능력을 최대한 갖추기 위하여 노력하기 때문에 적절한 정비업무 부여 및 이에 따른 정비/보급개념 설정, 필요시 추가적인 정비능력을 갖추도록 지원장비, 인원, 시설, 교육 등의 관련 요소를 확보할 수 있도록 해야 한다[9].

### 2.3.5 인원 및 교육훈련(Personel and Training)

인원 및 교육훈련에서는 우수한 자질의 요원을 선발하여 확보하는 것과 철저한 교육을 통하여 올바른 운용, 정비행위를 완벽히 익히는 것이 중요하다. 특히 정비불량, 운용미숙, 기타 고장과 같은 사례는 일반적인 상황이 아닌 비정상조건 하에서 발생할 확률이 증가되기 때문에 이를 포함하여 교육훈련을 실시하는 것이 필요하다.

### 2.3.6 기술교범(Technical Manual)

무기체계가 거대화 되고 복잡해질수록 무기체계 운용, 정비에 대한 모든 내용을 사용자 또는 정비자가 머리에 속에 암기하는 것은 불가능에 가깝기 때문에 운용 또는 정비시 참조할 수 있는 기술자료의 확보 및 운용/정비교범에 대한 명확한 작성이 필요하다. 또 기술교범은 이를 사용하는 운용자, 정비자의 눈높이에 맞추어 제작될 필요가 있으며 응급조치, 비정상조건에서의 운용방법 등에 대하여 식별하고 기술교범에 반영하여 운용자와 정비자가 활용할 수 있도록 해야 한다.(장비 또는 시스템이 초기 운용단계일수록, 사용자 또는 정비자가 교육훈련으로 잘 숙련되지 못할수록 기술자료 및 교범에 대한 의존도가 높아진다.)

### 2.3.7 포장, 취급, 저장 및 수송(Packaging, Handling, Storage and Transportation)

장비가 운용, 대기 상태가 아닌 경우에는 취급, 저장 및 수송되는 상태가 된다. 이러한 상태에서도 부주의한 취급, 저장, 수송에 의하여 무기체계 고장을 야기할 수 있으며 이를 방지하기 위하여 요주의 품목을 식별하여 장비설계, 개발에 반영하거나 장비설계에 반영이 제한되는 경우 별도의 취급, 저장 및 수송을 위한 치구, 장비, 시설 등의 대책을 수립해야 한다.

### 2.3.8 시설(Facilities)

체계 또는 장비가 사양에 맞는 시설에서 운용, 정비, 저장될 필요성이 있으며 이에 따른 관련 시설에 대한 검토가 필요하다. 요구조건에 맞는 시설에서 운용, 정비, 저장될 경우 고장을 야기할 수 있으며 이는 신뢰성의 저하로 나타난다.

### 2.3.9 시험 및 평가(Test and Evaluation)

무기체계 개발단계에서의 부단한 시험과 평가는 무기

체계의 신뢰성을 확보하는 요소이다. 최근의 거대화, 복잡화되는 무기체계의 특성은 여러 다른 장비와의 연동과 개발의 복잡성을 야기하며 이로 인하여 개발간 오류 발생의 가능성이 증가된다. 개발간 오류를 최소화 할 수 있는 방안은 지속적인 단위시험, 통합시험 등 다양한 형태 시험을 통하여 이를 수정/보완하는 것이며 시험과 평가에서 운용유지단계에서의 다양한 변수를 고려하는 것도 중요하다

운용 및 정비간 사용자 실수를 최소화하기 위하여 인간공학 측면의 고려도 필요하다.(이러한 측면의 분석을 인간신뢰도분석(HRA : Human Reliability Analysis)이라고 하며 안전성이 최우선시 되면 원전분야에서 실시되고 있다[10].)

### 2.3.10 무기체계 운용유지

무기체계 개발이 잘 이루어 졌다 하더라도 실제 체계/장비에 이상이나 고장이 발생되어 문제가 생기는 시기는 무기체계 운용유지 단계이다. 이는 소요군 운용과 직접적으로 연관이 있으며 신뢰성에 직접적인 영향을 미치는 항목이다.

당연한 이야기이지만 무기체계 운용유지단계에서는 철저한 체계/장비관리가 필요하고 지정된 예방정비 항목과 주기를 항상 준수해야 하며 체계/장비의 운용 및 정비절차, 운용환경, 내구연한 등을 준수하여 고장을 최소화해야 한다.

### 2.3.11 소결론

무기체계 운용간 신뢰성 개선은 운용간 어떤일이 발생할지 모르는 상황에서 이를 예측, 예방해야하는 상황으로 마치 Black box test와 유사하다. 그렇기 때문에 설계(Design), 생산(Manufacturing), 종합군수지원(Integrated Logistics Support), 시험과 평가(Test & Evaluation) 등의 측면에서 다양한 항목에 대하여 개선방안을 고려하는 것이 중요하다. 하지만 이러한 개선방안에 대한 세부적인 항목들은 매우 다양하여 장비개발자, 종합군수지원 개발자, 소요군 운용 및 정비요원, 시험평가 요원 등 체계 개발 및 운영유지에 연관된 수에서 수십명의 개인적인 경험이나 지식을 가지고는 해결이 제한되며 사업에 참여하는 개개인의 능력 차이에 따라 개선요소가 무기체계에 반영되는 정도의 차이가 발생할 수 밖에 없다. 따라서 이에 대한 표준화 및 제도화가 필요하다.

### 3. 결론

잠수함 체계의 고장사례를 분석하여 무기체계의 신뢰도는 많은 요소들에 의하여 영향을 받는다는 것을 확인하였다.

실제 체계/장비 자체의 고장으로 신뢰도에 미치는 영향이 30% 수준이며 사용자, 정비자에 실수(Human Error)에 의한 고장이 전체 고장의 50% 수준으로 개발 단계에서 인간공학 요소를 설계에 반영하고 이를 확인, 검증하는 것이 신뢰성 개선을 위하여 매우 중요한 요소임을 알 수 있었다.

또한 이러한 결과들은 동시조달 수리부속(CSP) 산출, 운용가용도 산출, 운용유지비 산출 등에서 신뢰도 예측 또는 분석결과만을 참조하는 것이 산출의 정확성을 얼마나 저하시키는지 시사하는 바가 크다 할 수 있겠다.

따라서 향후 무기체계의 신뢰도 향상 및 이를 통한 운용유지비 절감과 전투준비태세를 극대화를 위하여 개발간 사전 예방적 요소(인간공학적 요소 적용 등)와 사후 예방적 요소(운용유지간 교육 및 예방정비 등)를 함께 적용이 필요하다.

이를 위하여 개발간 장비에 대한 신뢰도를 높이는 것 만큼 사전/사후 예방적 요소들이 반영되는 것이 중요하다는 것을 공감하고 다양한 요소들이 무기체계 전반에 반영될 수 있도록 인간공학, 안전성, 신뢰성, 정비성, 시험성 등의 다양한 요소에 대한 표준화와 훈령, 규정/방침 반영이 필요하며 이를 위한 방위사업청, 소요군, 국과연, 기품원, 체계업체 등의 기술적, 제도적이 필요하다.

### References

[1] Failure data form 1999 to 2009, Republic of Korea Navy, April, 2010.

[2] Jangwan Hur, Kyungwon Oh, "An Analysis of Haeseong Guided Missile Launcher Reliability Using Naval Field Data," Journal of Aerospace System Engineering, Vol.11, No.3, pp.39-46, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.20910/JASE.2017.11.3.39>

[3] Ra-Byeol Na, Byeong-Ho Kim, Jae-Hyun Seo, "A Study for Increasing the Safety of Gun Firing System of Patrol Killer Guided Missile from Failure Mode Analysis," Journal of the KIMST, Vol. 20, No. 2, pp. 159-169, 2017  
DOI: <http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.2.159>

[4] Hak Hoon Moon, "A Study for Failure Examples of Brake Judder with Abnormal Vibration of Disc Brake," Journal of the KIGAS, Vol. 20, No. 1, pp 40-45, 2016

DOI: <http://dx.doi.org/10.7842/kigas.2016.20.1.40>

[5] AIR Force Research laboratory information, "Electronic Reliability Design Handbook (MIL-HDBK-338B)," section 7, p.1-30, October, 1998.

[6] U.S. Army Missile Command, "Human engineering design guidelines (MIL-HDBK-759C)," p.1, p121, July 1995.

[7] U.S. Army Aviation and Missile Command, "Human Engineering (MIL-STD-1472F)," p.5-7, p100-102, p.131-151, August 1999.

[8] U.S. Army Materiel Command, "System safety engineering guide for army material (MIL-HDBK-764)," chapter 1, p.7-9, chapter 2, p. 2-15, January, 1990.

[9] Republic of Korea Defense Acquisition Program Administration, "Integrated Logistics Support development practice guidelines," p.24-40, p.103.

[10] Daeil Kang, Jaewhan Kim, "Development of Standard Method for Human Reliability Analysis(HRA) of Nuclear Power Plants," p.6-10, Korea Atomic Energy Research Institute, December, 2005.

[11] ROME Laboratory, "Designing and developing maintainable products and systems (MIL-HDBK-470A)," Appendix C p.7-11.

[12] Space and missile system center, "Electronic parts, materials and processes for space and launch vehicles(MIL-HDBK-1547A)," July, 1998.

[13] Defense Supply Center, "General guidelines for electronic equipment (MIL-HDBK-454A)," November, 2000.

[14] Bejjamin S. Blanchard, "Logistic Engineering and Management 4th ED," 2008.

### 송 일 호(Il-Ho Song)

[정회원]



- 1996년 6월 : 안양대학교 정보통신학과 (공학사)
- 1997년 2월 ~ 2000년 1월 : 해군군수사령부 ILS과 중위 (통신전자담당)
- 2000년 1월 ~ 2004년 9월 : 쌍용정보통신 국방사업부 대리
- 2007년 10월 ~ 현재 : ㈜한화 방산 종합연구소 책임연구원

<관심분야>

체계공학, 종합군수지원(ILS), 신뢰성