

운용 환경 변화에 따른 유도탄 구성품 신뢰도 예측 결과 및 필드 데이터 분석 결과 비교 연구

조차현*, 성신영, 이세일, 이종신
LIG넥스원 PGM IPS연구소

A Comparative Research of the results of Reliability Prediction and Field Data for Guided Missile Component in Different Operating Environment/Temperature

Cha Hyun Cho*, Sinyoung Sung, Seil Lee, Jongsin Lee
Precision Guided Munition Integrated Product Support R&D Lab, LIG Nex1

요약 신뢰도 예측 시 유도탄 운용 환경 및 온도를 적용하는 것은 매우 중요하지만, MTBF Conversion Factors에 대하여 분석한 연구는 많지 않다. 또한 신뢰도 예측 결과와 필드 데이터를 이용하여 산출한 MTBF와의 비교는 신뢰도 측면에서 지속적으로 관심을 가지는 사항이다.

본 논문에서는 운용 중인 유도탄 구성품에 대하여 운용 환경과 온도에 따른 신뢰도 예측 결과의 변화(Case 1)와 개발 간 신뢰도 예측 결과 MTBF 값과 필드 데이터를 이용한 MTBF 산출 값을 비교 분석(Case 2) 하였다. 이를 위해, 운용 중 유도탄 구성품의 신뢰도 예측 결과, 운용 환경, 온도, 필드 고장 이력 데이터를 수집 하였다. Case 1 분석 결과 동일한 품목에 대하여 운용 환경 및 온도가 신뢰도 예측 결과에 매우 큰 영향을 미치는 것을 확인 하였으며, 상대적으로 유사한 환경에서 변환, 동일한 환경에서 운용 온도만을 변환하는 MTBF 값이 오차가 적었음을 확인하였다. Case 2 분석 결과 신뢰도 예측 결과보다 필드 데이터를 이용하여 산출한 MTBF가 매우 크다는 것을 알 수 있다. Conversion Factors를 정립하여 다양한 환경에 대한 신뢰도를 제시할 수 있고, 운용 중인 유도탄의 필드 고장 이력 데이터를 활용한 MTBF 값을 산출하여 개발 간 신뢰도 예측 시 반영할 수 있다면 신뢰도 정확성 제고 및 무기체계 수출 증가에 도움이 될 것이다.

Abstract It is very important to consider the operating environment when predicting the reliability of a missile. In general, conversion factors are used to analyze the reliability of similar systems with different operating environments, but there has been only a little research on them. In addition, a comparison between the predicted reliability during development and the MTBF using failure history during operation and maintenance is a matter of continuous interest in terms of the reliability of a missile.

Hence, in this research, for a guided missile component under missile operation, a change analysis of reliability prediction result according to the operational environment and temperature(Case 1), and a comparative analysis of the predicted reliability and the calculated MTBF using field data(Case 2) were performed. So, for these analyses, the predicted reliability, operating environment and temperature, and in-field failure history data of the component were collected. Consequently, Case 1 showed that the operating environment and temperature had a very large effect on the predicted reliability of the component. In addition, the error was small for the conversion factors when conversions were made in a relatively similar environment and the operating temperature converted in the same environment. On the other hand, Case 2 showed that the calculated MTBF from the field data was much larger than the predicted MTBF. In essence, this study will be helpful for achieving high accuracy of the reliability prediction and exporting missiles.

Keywords : Reliability, Reliability Prediction, One-Shot System, Dormant, MTBF, Field Failure Data

*Corresponding Author : Cha Hyun Cho(LIG Nex1)
email: cho.c.hyun2030@lignex1.com

Received June 8, 2022

Accepted September 2, 2022

Revised July 13, 2022

Published September 30, 2022

1. 서론

신뢰도는 규정된 조건 하에서 특정한 기간동안 의도된 기능을 수행할 확률을 의미한다[1]. 모든 제품은 반드시 고장이 발생하며, 고장 발생을 예측하는 것이 신뢰도 예측이다. 신뢰도 척도는 고장간 평균시간(MTBF, Mean Time Between Failure, 이하 MTBF)과 평균고장시간(MTTF, Mean Time Between Failure, 이하 MTTF)을 주로 사용한다. MTBF는 수리개념이 포함된 신뢰도 척도이고, MTTF는 수리개념이 없는 신뢰도 척도를 말하는 것이다. 무기체계의 경우 부품단위 단품을 제외한 대부분의 장비 및 구성품에 수리개념을 적용하고 있다. 따라서, 무기체계 신뢰도 예측시 통상적으로 MTBF를 척도로 하는 신뢰도 예측을 수행하고 있다.

유도탄은 대표적인 일회성(one-Shot) 무기체제로 Fig. 1과 같이 수명주기의 대부분을 비운용 환경인 dormant(저장, 수송 및 취급, 적재/하역 등) 상태로 유지되며, 매우 짧은 시간 동안 운용(발사)된다. 따라서, 유도탄 신뢰도는 비운용 상태의 신뢰도가 매우 중요하다. 일반적으로 국내개발 유도탄의 경우 운용 시간이 비운용 시간 대비 무시해도 될 정도로 짧은 시간을 차지하므로 RADC-TR-85-91[2]를 적용하여 비운용 상태만 고려한 저장신뢰도(Dormant Reliability) 예측을 수행한다.

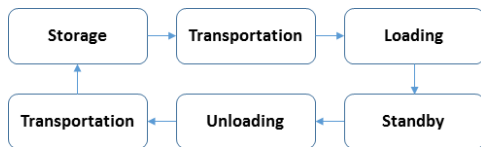


Fig. 1. Lifecycle of Missile

유도무기는 일반적으로 정해진 주기로 계획된 시점에 점검장비를 사용하여 고장을 탐지하며, 이 때 탐지되는 고장은 관측 시점 사이의 임의 시점에 이미 발생한 것이 된다. 따라서, 유도무기의 고장 데이터는 구간 데이터 형태를 갖는다. 또한 유도무기는 고장 식별 시, 고장 탐구를 통해 고장 구성품을 분리하고 수리부속품으로 교체함으로써 요구하는 성능으로 복구되는 수리가능 체계(repairable system)이다.

신뢰도를 정의할 때, '규정된 조건 하에서'라고 명시된 것처럼 신뢰도 예측 시 운용 환경을 적용하는 것은 매우 중요하다. 무기체계는 다양한 환경에서 운용되며, 운용 환경에 따라 신뢰도 예측 결과는 매우 큰 차이를 보인다. 따라서, 신뢰도 예측 규격에는 무기체계가 운용되는 환

경에 대하여 정의되어 있으며, 신뢰도 예측 시 적합한 운용 환경을 적용하여 MTBF를 산출하여야 한다.

국내 개발 유도탄이 증가하고 운용유지 기간이 길어짐에 따라 군에서는 유도탄 및 구성품 고장 이력 데이터를 지속적으로 수집할 수 있게 되었다. 필드 데이터 분석이란 운용유지 기간 동안 수집된 고장 이력 데이터를 활용하여 신뢰도 값을 추정하는 방법이다. 신규 개발 유도탄의 신뢰도 예측과 더불어 실제 운용 중인 유도탄에 대한 고장 이력 데이터를 분석하여 신뢰도 산출하는 업무는 매우 중요하다. 고장 이력 데이터를 지속적으로 수집/분석한 결과를 분석함으로써 신뢰도 예측 결과와 비교 분석함으로써 신뢰도 예측의 정확도를 향상시키는 데 활용할 수 있을 것이다.

유도탄 신뢰도 예측과 관련된 기존 연구 사례를 살펴보면, 김동규[3]는 일회성 장비의 신뢰도 예측시 이론적인 측면에서 일반화된 모델을 제시하였다. 김하원[4]은 주기적 검사가 실시되는 일회성 장비의 환경조건을 고려한 신뢰도를 산출하였고, 최주란[5]은 일회성장비의 신뢰도 분석 방법을 비모수적 방법과 모수적방법론으로 제시하였다. 상기 연구들은 과거 해외 고장률 데이터베이스 기반의 고장률 모델을 활용하여 장비 신뢰도를 예측하였으며, 이렇게 예측된 신뢰도 값과 실제 군에서 운용되는 무기체계의 신뢰도 값에는 차이가 있음이 자명하다. 이에 따라, 정상훈[6]은 실제 고장데이터를 활용한 유도탄 신뢰도 예측 방법을 제시하고 이렇게 산출된 신뢰도 값을 기반으로 유도탄 점검주기의 타당성과 연장 가능한 점검 주기를 제시하고 있다. 하지만, 정상훈[6]에서 제시된 신뢰도 예측 방법은 수리불가를 가정한 평균고장시간 MTTF를 적용한 방법론으로, 신규 개발 유도탄은 군 또는 개발업체에서 수리가 수행된다는 측면을 고려하면, 수리개념이 포함된 신뢰도 척도인 MTBF 관점에서의 접근법이 필요하다.

본 논문에서는 유도탄 구성품에 대하여 운용 환경 변화에 따른 MTBF 산출 및 분석을 수행한다. 또한 필드데이터, 즉 유도탄 고장 이력 데이터를 이용하여 MTBF를 산출하고, 이 값을 예측 값과 비교 분석함으로써 유도탄 신뢰도 예측의 정확성 제고를 위한 방안을 제안한다.

1.1 연구 절차

본 논문의 서론에서는 유도탄 생애 주기와 유도탄 신뢰도 예측 방법에 대하여 정리하고, 본론에서는 Fig. 2와 같은 절차를 통해 2가지 Case에 대하여 분석을 수행하였으며, 분석 결과를 통해 도출한 신뢰도 예측 제고 방안에 대하여 기술하였다.

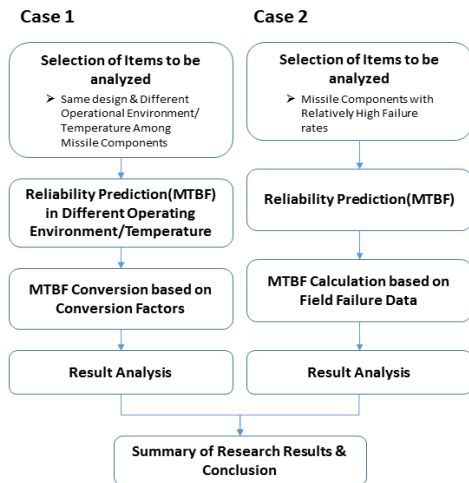


Fig. 2. The Research Procedure of This Paper

유도탄 성능 개량의 경우 일부 유도탄 구성품은 설계가 동일하고, 운용 개념에 따라 운용 환경만 변경된다. 이 경우에는 운용 환경에 따른 신뢰도 예측 값을 Conversion Factor를 이용하여 산출할 수 있다. 이에, Case 1은 동일하게 설계된 품목에 대하여 운용 환경이 다를 경우 신뢰도 예측 값 변화를 분석하고, 또한 이 결과와 Conversion Factors를 이용하여 변환한 MTBF 값을 비교 분석하였다.

개발 단계에서 수행한 유도탄 구성품 신뢰도 예측결과와 실제 운영 시 발생하는 고장 이력 데이터, 즉 필드 데이터를 이용하여 신뢰도를 산출한 값은 다르게 나타난다. 이에 Case 2는 신뢰도 예측 값과 필드 데이터를 활용한 MTBF 산출 결과를 비교 분석하였다.

2. 본론

2.1 Case 1 분석

2.1.1 Step 1: 대상 품목 선정

유도탄이 목표한 성능을 발휘하기 위해서는 유도탄 내에 다양한 구성품들이 탑재된다. 일반적으로 유도탄에 따라 구성품들은 다른 형상과 성능을 발휘하도록 유도탄 맞춤형으로 설계된다. 그러나, 유도탄 성능개량의 경우, 일부 구성품만 변경하여 개발된다. B 유도탄은 A 유도탄의 일부 구성품만 변경하여 성능을 개량한 유도탄이다. 따라서, A 유도탄과 B 유도탄의 구성품 중 일부는 변경되지만, 변경되지 않은 구성품이 있다. 변경되지 않고 A

유도탄과 B 유도탄에 모두 탑재되는 구성품은 유도탄 운용 개념에 따라 운용 환경만 다른 구성품이라고 할 수 있다. 이러한 구성품은 운용 환경 변화에 따른 신뢰도 예측 값의 변화를 비교 분석할 수 있는 품목이라고 판단하여, 설계변경 없이 A 유도탄과 B 유도탄에 모두 사용되는 3가지 구성품(a, b, c)을 분석 대상 품목으로 선정하였다.

2.1.2 Step2 : 운용 환경별 신뢰도 예측

분석 대상 품목으로 선정된 a, b, c 구성품에 대하여 운용 환경 및 운용 온도를 검토하였다. 신뢰도 예측에서 매우 큰 영향을 미치는 운용 환경과 운용 온도는 유도탄 운용 개념에 따라 개발간 결정하고, 신뢰도 예측 시에 결정한 운용 환경과 온도를 적용한다. 서론에서 기술한 것처럼 유도탄은 비운용 상태가 대부분을 차지하며, 크게 저장고에 저장되어 있는 상태와 발사대에 적재되어 대기 중인 상태로 나눌 수 있다. 유도탄이 저장고에 저장되어 있을 경우 환경과 발사대에 적재되어 대기하고 있을 경우 환경은 매우 다르다. 저장고에 저장되어 있는 경우에는 온도와 습도에 민감한 유도탄의 최적 상태를 유지하기 위하여 주로 항온항습이 가능한 저장고에 저장된다. 발사대에 적재되어 대기 상태일 경우에는 발사대가 함정에 배치되어 있는지, 이동형 발사대로 필드에서 운용되는지 등 발사대가 운용되는 환경을 유도탄에도 적용한다. 운용 환경은 신뢰도 예측 규격인 MIL-HDBK-217F[7]에 제시되어 있는 환경을 적용하였다. MIL-HDBK-217F에 제시되어 있는 다양한 환경 중 본 논문에서 언급된 운용 환경은 Table 1과 같다.

Table 1. Environmental Symbol and Description

Environment	Symbol	Description
Ground, Benign	G _B	Nonmobile, temperature and humidity controlled environments readily accessible to maintenance; includes laboratory instruments and test equipment, medical electronic equipment, business and scientific computer complexes, and missiles and support equipment in ground silos.
Ground, Mobile	G _M	Equipment installed on wheeled or tracked vehicles and equipment manually transported; includes tactical missile ground support equipment, mobile communication equipment, tactical fire direction systems, handheld communications equipment, laser designations and range finders.
Naval, Sheltered	N _S	Includes sheltered or below deck conditions on surface ships and equipment installed in submarines.

유도탄 운용개념을 기준으로 검토한 결과 A와 B 유도탄의 운용환경, 운용 온도, 그에 따른 신뢰도 예측 수행 결과 산출한 MTBF는 Table 2와 같으며, 이는 유도탄 신규 개발 시 신뢰도 예측에 적용 및 산출한 값이다.

Table 2. Operational Environment/Temperature, MTBF

Category	A missile		B missile	
Operating Environment/Temperature	N _S /20℃	G _B /24℃	G _M /43℃	G _B /43℃
	MTBF (hours)			
a component	377,358	970,874	254,453	833,333
b component	401,606	1,204,819	257,732	1,000,000
c component	138,122	578,035	91,996	515,464

2.1.3 Step 3: MTBF Conversion

System Reliability Toolkit-V[8]에는 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 운용 환경 및 온도 변화에 따른 MTBF Conversion Factors를 제시하고 있다. 이는 미국에서 운용했던 장비의 신뢰도 데이터를 확보/분석하여 운용 환경, 운용 온도에 따른 Conversion Factors를 작성한 것이다. Conversion Factors는 개발 간 목표값 달성 가능성 검토 또는 운용 환경이 다른 유사체계 신뢰도 값 분석 시 활용한다.

		To Environment						
From Environment	Env.	G _B	G _F	G _M	N _S	N _U	A _{IC}	A _{IF}
	G _B		0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2
	G _F	1.9		0.4	0.6	0.3	0.6	0.4
	G _M	4.6	2.5		1.4	0.7	1.4	0.9
	N _S	3.3	1.8	0.7		0.5	1.0	0.7
	N _U	7.2	3.9	1.6	2.2		2.2	1.4
	A _{IC}	3.3	1.8	0.7	1.0	0.5		0.7
	A _{IF}	5.0	2.7	1.1	1.5	0.7	1.5	
	A _{UC}	8.2	4.4	1.8	2.5	1.2	2.5	1.6
	A _{UF}	14.1	7.6	3.1	4.4	2.0	4.2	2.8
	A _{RW}	10.2	5.5	2.2	3.2	1.4	3.1	2.1
	S _F	0.9	0.5	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2

Environmental Factors as Defined in MIL-HDBK-217

Fig. 3. Environmental Conversion Factors

		To Temperature (°C)					
From Temperature (°C)	Temp.	10	20	25	30	40	50
	10		0.9	0.9	0.8	0.8	0.7
	20	1.1		1.0	0.9	0.9	0.7
	25	1.1	1.0		0.9	0.9	0.7
	30	1.2	1.1	1.0		1.0	0.8
	40	1.3	1.2	1.1	1.0		0.8
	50	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	
	60	1.9	1.7	1.7	1.6	1.5	1.2
	70	2.4	2.2	2.1	1.9	1.8	1.5
	80	3.3	3.0	2.8	2.7	2.6	2.1
	90	4.9	4.5	4.2	4.0	3.8	3.2
	100	7.7	7.0	6.7	6.3	6.0	5.0

Fig. 4. Temperature Conversion Factors

본 논문에서는 제시된 Conversion Factors를 이용하여 4가지 운용환경 및 온도를 기준으로 유도탄 구성품 a, b, c에 대하여 MTBF를 산출하였다. 운용 온도는 Conversion Factors 값을 활용하기 위하여 24℃는 25℃로, 43℃는 40℃를 적용하였다.

Conversion Factors 적용은 간단한 수식을 통하여 계산할 수 있으므로, 엑셀을 활용하여 변환 MTBF를 산출하였다.

2.1.3.1 N_S, 20℃ 기준으로 변환

N_S, 20℃ MTBF를 기준으로 3가지 운용 환경 및 온도에 대한 MTBF 변환 Conversion Factor 및 변환 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. N_S, 20℃ based MTBF Conversion

Category	A missile		B missile	
Operating Environment/Temperature	N _S /20℃	G _B /24℃	G _M /43℃	G _B /43℃
Conversion Factor	1.00	3.30	0.63	2.97
	Converted MTBF (hours)			
a component	377,358	1,245,283	237,736	1,120,755
b component	401,606	1,325,301	253,012	1,192,771
c component	138,122	455,801	87,017	410,221

2.1.3.2 G_B, 24℃ 기준으로 변환

G_B, 24℃ MTBF를 기준으로 3가지 환경 및 온도에 대한 MTBF 변환 Conversion Factor 및 변환 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. G_B, 24℃ based MTBF Conversion

Category	A missile		B missile	
Operating Environment/Temperature	N _S /20℃	G _B /24℃	G _M /43℃	G _B /43℃
Conversion Factor	0.30	1.00	0.18	0.90
	Converted MTBF (hours)			
a component	291,262	970,874	174,757	873,786
b component	361,446	1,204,819	216,867	1,084,337
c component	173,410	578,035	104,046	520,231

2.1.3.3 G_M, 43℃ 기준으로 변환

G_M, 43℃ MTBF를 기준으로 3가지 환경 및 온도에 대한 MTBF 변환 Conversion Factor 및 변환 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. G_M, 43℃ based MTBF Conversion

Category	A missile		B missile	
	N _s /20℃	G _B /24℃	G _M /43℃	G _B /43℃
Operating Environment/ Temperature	N _s /20℃	G _B /24℃	G _M /43℃	G _B /43℃
Conversion Factor	1.68	5.06	1.00	4.60
	Converted MTBF (hours)			
a component	427,481	1,287,532	254,453	1,170,483
b component	432,990	1,304,124	257,732	1,185,567
c component	154,554	465,501	91,996	423,183

2.1.3.4 G_B, 43℃ 기준으로 변환

G_B, 43℃ MTBF를 기준으로 3가지 환경 및 온도에 대한 MTBF 변환 Conversion Factor 및 변환 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. G_B, 43℃ based MTBF Conversion

Category	A missile		B missile	
	N _s /20℃	G _B /24℃	G _M /43℃	G _B /43℃
Operating Environment/ Temperature	N _s /20℃	G _B /24℃	G _M /43℃	G _B /43℃
Conversion Factor	0.36	1.10	0.20	1.00
	Converted MTBF (hours)			
a component	300,000	916,667	166,667	833,333
b component	360,000	1,100,000	200,000	1,000,000
c component	185,567	567,010	103,093	515,464

2.1.4 Step 4: 결과 분석

운용 환경 변화에 따른 신뢰도 예측 값 변화는 Fig. 5와 같다. 이는 운용 환경 및 온도가 신뢰도 예측 결과에 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 운용 환경은 G_M이 제일 열악한 환경임을 알 수 있으며, 운용 환경이 같은 경우 운용 온도에 따라 MTBF 예측 값이 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, a, b, c 구성품 MTBF(G_B, 24℃)가 MTBF(G_B, 43℃)보다 약 1.1배에서 1.2배의 값으로 예측되었다.

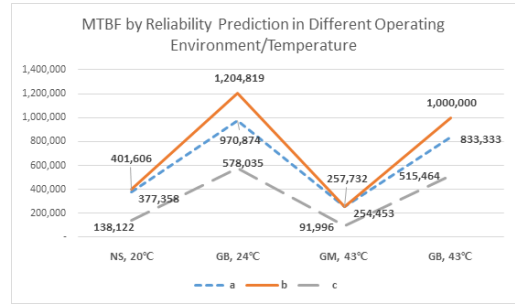


Fig. 5. MTBF by Reliability Prediction in Different Operating Environment/Temperature

신뢰도 예측을 통해 산출한 MTBF 값 대비 Conversion Factor를 적용한 MTBF 값의 오차율은 Eq. (1)과 같이 분석하였으며, 분석 결과를 도식화하면 각각 Fig. 6~Fig. 9와 같다.

$$ConError = \frac{MTBF_c - MTBF_p}{MTBF_p} \quad (1)$$

where,

ConError = Conversion Error

MTBF_c = Conversion MTBF

MTBF_p = 예측 MTBF

Fig. 6을 보면, N_s, 20℃ 예측 값 기준으로 Conversion Factors를 적용하여 변환 했을 경우, G_M, 43℃로 변환한 값이 오차가 가장 적게 나왔고, G_B, 24℃와 G_B, 43℃로 변환한 값은 오차가 크게 나왔다.

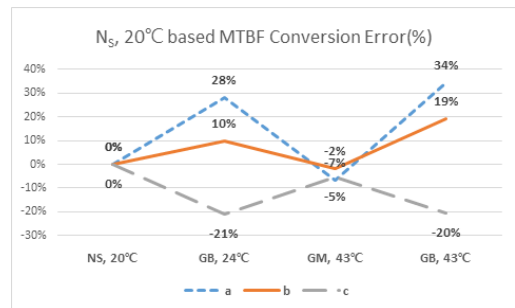


Fig. 6. N_s, 20℃ based MTBF Conversion Error(%)

Fig. 7을 보면, G_B, 24℃ 예측 값 기준으로 Conversion Factors를 적용하여 변환 했을 경우, G_B, 43℃로 변환한 값이 오차가 가장 적게 나왔고, N_s, 20℃와 G_M, 43℃로 변환한 값은 오차가 크게 나왔다.

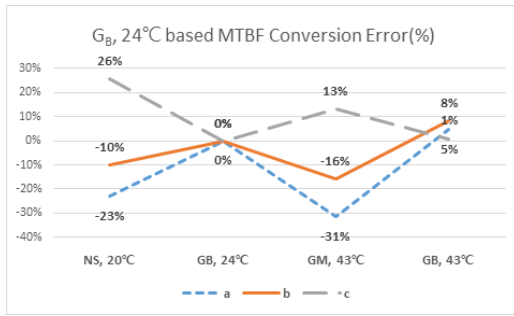
Fig. 7. G_B, 24°C based MTBF Conversion Error(%)

Fig. 8을 보면, G_M, 43°C 예측 값 기준으로 Conversion Factors를 적용하여 변환 했을 경우, N_s, 20°C로 변환한 값이 오차가 가장 적게 나왔고, G_B, 24°C와 G_B, 43°C로 변환한 값은 오차가 크게 나왔다.

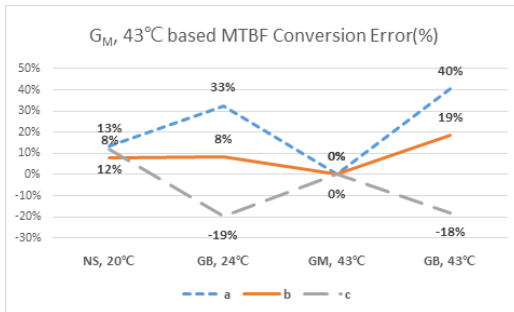
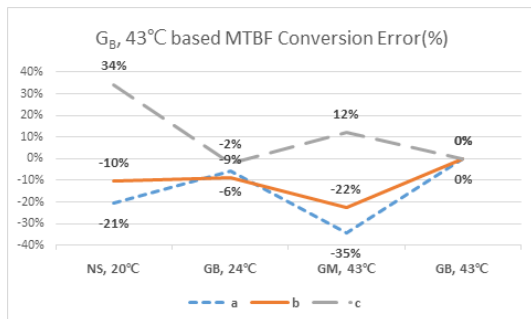
Fig. 8. G_M, 43°C based MTBF Conversion Error(%)

Fig. 9를 보면, G_B, 43°C 예측 값 기준으로 Conversion Factors를 적용하여 변환 했을 경우, G_B, 24°C로 변환한 값이 오차가 가장 적게 나왔고, N_s, 20°C와 G_M, 43°C로 변환한 값은 오차가 크게 나왔다.

Fig. 9. G_B, 43°C based MTBF Conversion Error(%)

운용 환경 및 온도 변화에 따른 분석 결과를 종합하면 G_M 과 N_s 간 변환 시 예측 값과 유사한 결과를 도출할

수 있었으며, 동일한 G_B 환경에서의 운용 온도만 변환했을 경우에도 예측 값 대비 유사한 결과를 얻을 수 있었다. G_B 와 N_s 간 변환, G_B 와 G_M 간 변환은 예측 값 대비 오차가 크게 나왔다.

이러한 오차가 발생한 원인은 다음과 같이 추정할 수 있을 것 같다.

첫째, System Reliability Toolkit에 제시된 Conversion Factors는 미국의 운용 환경, 운용 온도, 장비에 대하여 분석한 내용이기 때문이라고 할 수 있다. 따라서, 한국의 환경, 온도, 장비를 고려하여 지속적으로 관련 데이터를 축적하고 분석하여 한국적 운용 환경 및 온도에 대한 Conversion Factors를 수립할 필요가 있다.

둘째, 지속적인 데이터 획득 및 최신화를 수행하지 않았기 때문이라고 할 수 있다. Conversion Factors는 오래 전(적어도 10년 이상 전)에 획득한 데이터를 분석하여 도출한 것으로 판단된다. 신뢰도 데이터, 특히 군에서 운용하는 신뢰도 데이터를 획득하기 위해서는 장기간이 소요되며, 지속적으로 최신화를 수행해야만 한다. 하지만 System Reliability Toolkit에 제시된 Conversion Factors는 최초 제시 이후 이에 대한 최신화가 이루어지지 않았다. 따라서 이에 대한 연구는 지속적으로 활발하게 추진될 필요가 있다.

2.1.5 Step 5: 기대효과

한국적 운용 환경 및 온도에 따른 신뢰도 데이터를 지속적으로 수집/분석하여 Conversion Factors를 정립하고 최신화 할 수 있다면, 다양한 방면에서 활용할 수 있을 것이다. 먼저, 신규 개발 유도탄이나 구성품에 대한 목표값 설정 및 대안 분석 시 유용하게 활용될 수 있다. 현실적으로 신규 개발 시에는 한국적 환경에 고려할 만한 신뢰도 데이터가 거의 전무하므로, 국외 유사 무기체계 목표값을 적용하기도 하는데, 이는 현실적으로 달성하기 어려운 목표값을 제시하는 경우도 있고, 이를 검토하기 위한 적절한 대안이 없는 실정이다. 또한, 무기체계에 대한 신뢰도 데이터는 세계 어느 국가에서도 공개하지 않는다. 그만큼 중요한 데이터이며 무기체계 성능과도 직결된다고 할 수 있다. 따라서 한국적 신뢰도 데이터 수집/분석 체계 및 Conversion Factors를 정립할 필요가 있다.

근래 한국형 무기체계의 우수성이 해외에서 각광 받고 있으며, 그에 따른 수출이 활발하게 이루어지고 있다. 무기체계 수출 시 신뢰도 값은 반드시 동반되는 데이터이고, 전 세계 다양한 환경을 고려한 신뢰도 데이터를 분석

해야 한다. 따라서, 한국형 무기체계에 대한 Conversion Factors가 정립되어 있고, 이를 활용하여 다양한 환경에 대하여 신뢰도를 제시할 수 있다면 무기체계 수출 증가에 도움이 될 것이다.

2.2 Case 2 분석

2.2.1 Step 1: 대상 품목 선정

운용 중인 C 유도탄의 구성품에 대하여 필드 데이터, 즉 고장 이력을 수집하였다. 유도탄은 일반적으로 대부분 분은 비운용 상태이므로 고장이 빈번하게 발생하지 않는다. 유도탄은 주기적인 검사를 통하여 고장을 식별하고 고장으로 식별된 구성품을 교환한다. C 유도탄 구성품 중 상대적으로 고장이 다수 발생했던 3개의 구성품 d, e, f를 분석 대상 품목으로 설정하였다.

2.2.2 Step 2: MTBF 산출

2.2.2.1 신뢰도 예측

분석 대상 품목 d, e, f에 대한 신뢰도 예측 값은 C 유도탄 개발 시 수행했던 신뢰도 예측 값을 확보하여 활용하였다.

2.2.2.2 필드 데이터 활용 MTBF 산출

C 유도탄에 대하여 10년 동안 주기검사를 통하여 식별된 고장 이력 데이터를 수집하고, 데이터 중 기록상 오류 등을 제외하였다.

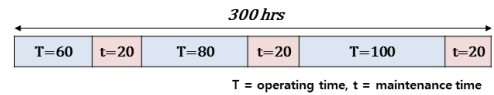
유도탄은 일반적으로 대부분은 비운용 상태이므로 고장이 빈번하게 발생하지 않는다. 고장 이력 기반 MTBF 산출 시 통계적 분석기법을 적용하려면 충분한 데이터, 즉 고장 이력이 필요하다. 따라서 유도탄 고장 이력 데이터가 충분하지 않아서 통계적 분석기법을 적용하기 어렵다. 이에, 본 논문에서는 MIL-HDBK-338B[9]에서 제시하는 Eq. (2)를 적용하여 MTBF를 산출하였고, 적용 예시는 Fig. 10과 같다.

$$MTBF = \frac{T(t)}{r} \quad (2)$$

where,

T(t) = total operating time

r = number of failures



1) Σ (operating time)

$$MTBF = \frac{T(t)}{r} = \frac{60 + 80 + 100}{3} = 80 \text{ hrs.}$$

2) Total time - Σ (maintenance time)

$$MTBF = \frac{T - \Sigma(t)}{r} = \frac{300 - (20 \times 3)}{3} = 80 \text{ hrs.}$$

Fig. 10. Example of MTBF Calculation using Field data

2.2.2.3 신뢰도 예측 및 MTBF 산출 결과

C 유도탄 구성품 d, e, f에 대한 신뢰도 예측 및 MTBF 산출 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. MTBF by prediction and Calculation

Category	MTBF (hours)		ratio (II) / (I)
	Prediction (I)	Field Data (II)	
d component	448,778	632,297	141%
e component	246,541	896,054	363%
f component	238,594	1,194,979	501%

2.2.3 Step 3 : 결과 분석

Table 7을 보면, 예측 값보다 필드 데이터를 활용하여 산출한 MTBF가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 무기체계는 다른 민수 제품보다 신뢰도가 매우 높아야 하므로, 이를 반영하여 무기체계 신뢰도 예측 시 적용하는 신뢰도 규격이 매우 보수적으로 작성되어 있다고 할 수 있다. 또한, 무기체계 신뢰도 예측 규격이 매우 오래 전에 작성되었으므로, 부품 기술 향상을 반영하지 못 한다는 것도 의미한다. 무기체계를 운용하는 측면에서 보면, 신뢰도 예측 결과보다 훨씬 우수한 신뢰성을 가지고 있으므로 안정적인 운용이 가능하다는 장점이 있는 반면, 신뢰도 예측 결과를 기반으로 정비/보급 개념이 설정되는데 실제 운용 시 고장으로 소요되는 구성품보다 예측 결과 기반으로 산정한 구성품 소요가 많으므로 경제성 측면에서 단점이 있다고 할 수 있다.

따라서 지속적인 필드 데이터 수집/분석을 수행하고, 신뢰도 예측 결과와 비교/분석함으로써, 신뢰도 예측의 정확성을 제고하여야 할 것이다.

3. 결론

유도탄은 대표적인 일회성(one-Shot) 무기체제로 개발 간 유도탄 신뢰도 예측을 수행하여 값을 산출한다. 신뢰도 예측 값은 유도탄 가동률을 결정하는 요소 중 하나이며, 또한 이 값을 기준으로 유도탄 운영 유지를 위한 요소들을 도출하고 이를 전력화 시 반영한다. 유도탄 운용 개념을 분석하고, 이를 통해 신뢰도 예측 시 유도탄 운용 환경 및 온도를 적용하는 것은 매우 중요하다. MTBF Conversion Factors는 개발 간 목표값 달성 가능성 검토 또는 운용 환경이 다른 유사체계 신뢰도 값 분석 시 활용할 수 있는데, 국내 개발 유도탄을 대상으로 한국적 운용 환경과 온도에 대한 연구. 즉, Conversion Factors를 적용하여 산출한 MTBF와 신뢰도 예측을 통해서 산출한 MTBF 값과의 오차에 대하여 분석한 연구는 많지 않다. 또한 개발간 수행한 신뢰도 예측을 통해 산출한 값과 필드에서 운영 유지간 고장 이력을 이용한 MTBF와의 비교는 신뢰도 측면에서 지속적으로 관심을 가지는 사항이다. 국내 개발 유도탄이 증가하고, 운영 유지 기간이 증가함에 따라 이에 대한 연구도 지속적으로 수행되어야 한다.

본 논문에서는 개발/운용 중인 유도탄 구성품에 대하여 운용 환경과 온도에 따른 신뢰도 예측 결과의 변화를 분석하였다. 이를 위해, 실제 군에서 운용 중인 유도탄의 신뢰도 예측 결과 및 예측 시 적용한 운용 환경과 온도에 대한 데이터를 수집하였다. 이 데이터를 분석한 결과 동일한 품목에 대하여 운용 환경 및 온도가 신뢰도 예측 결과에 매우 큰 영향을 미치는 것을 확인 하였으며, 또한 운용 환경이 동일하더라도 운용 온도가 다를 경우 MTBF 약 1.1배에서 1.2배의 값으로 예측됨을 확인하였다. 또한, System Reliability Toolkit-V에서 제시하는 MTBF Conversion Factors를 기준으로 운용 환경 및 온도에 따라 MTBF를 변환한 값과 신뢰도 예측을 통하여 산출한 MTBF를 비교 분석하였다. 상대적으로 유사한 환경에서 변환한 MTBF 값과 동일한 환경에서 운용 온도만을 변환하는 MTBF 값이 오차가 적었음을 확인하였고, 이 경우에는 Conversion Factors 활용이 가능하다고 할 수 있다.

한국적 운용 환경 및 온도에 따른 신뢰도 데이터를 지속적으로 수집/분석하여 Conversion Factors를 정립하고 최신화가 필요하며, 이를 이용하여 신규 개발 유도탄이나 구성품에 대한 목표값 설정 및 대안 분석 시 유용하게 활용될 수 있고, 이를 활용하여 다양한 환경에 대하여

신뢰도를 제시할 수 있다면 무기체계 수출 증가에 도움이 될 것이다.

개발 간 신뢰도 예측을 통하여 산출한 MTBF 값과 필드 고장 이력 데이터를 이용한 MTBF 산출 값을 비교 분석하였다. 신뢰도 예측을 통하여 산출한 MTBF 값보다 필드 고장 이력 데이터를 이용하여 산출한 MTBF가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이는, 무기체계 운전자 측면에서 보면 개발 간 고려한 신뢰성을 운영 유지간 잘 보장한다고 볼 수 있다. 하지만, 개발 간 낮은 MTBF를 기준으로 산정한 정비/보급 품목은 활용성이 낮아질 수 있다. 따라서 지속적인 필드 데이터 수집/분석을 수행하고, 신뢰도 예측 결과와 비교/분석이 필요하다. 다양한 유도탄의 필드 고장 이력 데이터를 활용한 MTBF 값을 산출하여, 개발 간 신뢰도 예측 시 반영할 수 있도록 함으로써 신뢰도의 정확성을 제고하여야 할 것이다.

향후에는 한국적 운용 환경에서 운영 중인 유도탄에 대한 신뢰도 예측 값과 필드 데이터를 활용한 MTBF 산출 값을 지속적으로 수집하고 데이터베이스화하는 연구가 필요하다. 또한 이 데이터를 활용하여 AI 알고리즘을 적용함으로써 한국적 운용 환경에 따른 Conversion Factors를 정립하는 연구가 이어질 수 있을 것이다.

References

- [1] MIL-STD-721C, Definition of Terms for Reliability and Maintainability, Department of Defense, p.8, 1981.
- [2] RADC-TR-85-91, "Impact of Nonoperating Periods on Equipment Reliability", Rome Air Development Center Air Force Systems Command, Section 5: Nonoperating Failure Rate Model Development, pp. 81-83, 1981.
- [3] D. K. Kim, W. S. Kang and S. J. Kang, "A study on the storage reliability determination model for one-shot system". *Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society*, Vol. 38, No. 1, pp. 1-13, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.7737/jkorms.2013.38.1.001>
- [4] H. W. Kim and W. Y. Yun, "Reliability analysis for one-shot systems with periodic inspection". *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 42, No. 1, pp. 20-29, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7232/jkiie.2016.42.1.020>
- [5] J. R. Choi and J. W. Huh, "A study on the storage reliability analysis for one shot device", *The Korean Reliability Society*, pp. 170-176, 2016.
- [6] S. H. Jeong, "Analysis of $\Delta\Delta$ guided missile inspection period based on storage reliability", *Korea Academy*

Industrial Cooperation Society, Vol. 18, No. 4, pp. 592-598, 2017.

- [7] MIL-HDBK-217F, "Reliability Prediction Electronic Equipment", Section 3: Introduction, pp. 4-6, 1991.
- [8] System Reliability Toolkit-V, "New Approaches and Practical Applications", Topic 6.4.1.3.1.1 Reliability Adjustment Factors for MIL-HDCK-217, pp. 463-464, 2015.
- [9] MIL-HDBK-338B, "Electronic Reliability Design Handbook", Section 5: Reliability/Maintainability /Availability Theory, pp. 6-7, 1998.

조 차 현(Cha Hyun Cho)

[정회원]



- 1997년 2월 : 한국과학기술원 (KAIST) 기계공학과 (공학학사)
- 2010년 8월 : 한국과학기술원 (KAIST) 산업 및 시스템공학과 (공학석사)
- 2000년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원

〈관심분야〉

RAMS, 데이터 분석

성 신 영(Sinyoung Sung)

[정회원]



- 2016년 2월 : 경북대학교 전자공학부 (공학학사)
- 2016년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

〈관심분야〉

RAM, LSA, IPS

이 세 일(Sell Lee)

[정회원]



- 2016년 8월 : 건국대학교 방위사업학과 (방위사업학석사)
- 2022년 4월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원

〈관심분야〉

RAMS

이 종 신(Jongsin Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 인하대학교 산업공학과 (공학학사)
- 2000년 12월 ~ 현재 : LIG넥스원 수석연구원

〈관심분야〉

RAM, 데이터 분석