

정밀유도무기 특성을 고려한 명중률 및 신뢰수준 산정방안

서보길*, 홍석진
국방기술품질원 대구센터

A study of estimating the hit probability and confidence level considering the characteristic of Precision Guided Missile

Bo-Gil Seo*, Seok-Jin Hong

DTAQ (Defense agency for Technology and Quality)

요약 현재 국내 유도무기 사격시험의 경우, 유도무기 사격 수량 대비 명중 수량으로 계산된 명중률만을 이용하여 국내 유도무기의 성능을 판단하고 있다. 명중률만으로는 생산된 유도무기 전체의 특성을 표현하지 못하므로 유도무기 사격시험 결과에 따라 계산된 명중률을 활용하여 생산된 모든 유도무기의 성능을 판단하기에는 한계가 있다. 다시 말하면, 전력화되어 운용 중인 유도무기 또는 생산중인 유도무기의 명중률을 일정 수준 보장하기 위해서는 유도무기 사격시험 결과에 따라 계산된 단순 명중률보다 신뢰성이 높은 신뢰수준을 산정하는 것이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 생산 수량이 적고, 고가이며, 유도무기 사격 시험을 수행하기 전에 유도무기 명중 여부 및 성능을 확인할 수 없는 유도무기 사업 특성을 고려하고, 유도무기 사업 특성에 적합한 초기하분포와 베이지안 규칙을 활용하여 최소 사격 수량으로 유도무기 신뢰수준을 산정하는 방법을 소개한다. 또한, 국내 유도무기 사격시험 결과 및 국내외 문헌을 활용하여 국내 유도무기 사격 시험 결과 판정 시 유도무기 성능을 확인할 수 있는 적정 신뢰수준을 제안한다.

Abstract The performance of Precision Guided Missiles is estimated by using hit probability only, which is calculated by hits against total amounts of fires in current domestic live-fire tests. It has a limitation in judging the performance of all produced Precision Guided Missiles by using the calculated hit probability according to the result of live-fire test, because the overall characteristics of the produced Precision Guided Missiles are not considered. In other words, a method is needed to estimate the confidence level which is more reliable than simply calculated hit probability according to the result of live-fire test for guaranteeing the hit probability of Precision Guided Missiles by certain level, which is already being operated or produced. This paper introduces a method to estimate the confidence level of Precision Guided Missiles by minimum live-fire tests using Hypergeometric distribution and Bayes' rule suitable for the characteristics of Precision Guided Missiles, which are small production, high costs and unable to check whether the missile hits the target or not before the live-fire tests. Also, this paper suggests a reasonable confidence level for showing the performance of the Precision Guided Missiles using the results of live-fire tests and domestic and foreign literature, when the result of live-fire tests will be decided.

Keywords : Live-fire test, Confidence level, Precision Guided Missile, Hypergeometric distribution, Bayes' rule

1. 서론

현재 유도무기 사격시험은 고가의 파괴시험이므로 가능한 적은 수량으로 시험을 수행하고 있고, 사격수량

대비 명중수량으로 계산된 명중률만을 이용하여 유도무기의 성능을 판단하고 있다. 하지만 전력화되어 운용중인 유도무기 또는 생산중인 유도무기의 명중률을 일정 수준 보장하고자 할 때에는 그에 따른 신뢰수준을 산정

*Corresponding Author : Bo-Gil Seo(Defense agency for Technology and Quality)

Tel: +82-54-469-6500 mail: bogilsmart@dtaq.re.kr

Received November 3, 2016

Revised (1st November 24, 2016, 2nd December 7, 2016)

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

하는 것이 필요하다. 즉, 유도무기의 명중률에 따른 신뢰수준 개념이 필요한 것이다. 유도무기 사업관리기관인 방위사업청 또한 유도무기 신뢰수준을 고려한 사격시험의 중요성을 인지하여 방위사업관리규정(2016. 개정) 83조 5항에 유도무기 운용시험평가 수량 결정 시, ‘명중률 평가결과에 대한 신뢰수준을 고려하여 산정’하도록 규제하였다[1].

하지만 기존 민수에서 적용되고 있는 신뢰수준 산정방법을 활용하여 유도무기 사격시험에 필요한 사격수량을 선정할 경우, 높은 신뢰수준을 만족하기 위해서 많은 사격수량이 요구되었다. 따라서 기존의 신뢰수준 산정방법을 고가의 파괴시험인 유도무기 사격시험에 적용하는 것은 현실적으로 어려움이 있다.

본 연구에서는 생산 수량이 적고, 고가이며, 사격시험을 수행하기 전에 명중여부를 알 수 없는 국내 유도무기 사업 특성을 고려하여 최소한의 사격수량으로 유도무기 명중률에 대한 신뢰수준을 확인할 수 있는 방법을 소개하고, 국내유도무기 사격시험결과 및 국내외 문헌을 활용하여 국내유도무기 적정 신뢰수준을 제안하였다.

2. 본론

2.1 관련연구

미국 국방성(DoD : Department of Defense) 신뢰성 센터 Sherwin, E. R(2000)이 제안한 신뢰수준 산정방법 [2]은 일회성 장비가 성공 또는 실패의 두 가지 결과만을 가진다는 점을 착안하여, 베르누이 시행에 근거한 이항분포를 사용한 장비의 성공확률을 예측한다. 식 (1)은 성공확률을 예측하기 위한 이항분포를 나타낸다.

$$P(r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r (1-p)^{(n-r)} \quad (1)$$

여기서 p 는 유도무기 1발의 불명중 확률, n 은 사격수량, r 은 유도무기 불명중 수량, 그리고 $P(r)$ 은 n 발의 사격수량 중 r 발의 불명중 수가 나올 확률을 의미한다. 식 (1)을 이용하여 n 발의 사격시험에서 k 발 이하의 실패를 허용할 경우의 불명중 확률을 구하면 식 (2)와 같다.

$$P(r \leq k) = \sum_{r=0}^k P(r) \quad (2)$$

식 (2)를 활용하여 k 발 이하의 실패를 허용할 경우의 유도무기 사격시험 신뢰수준은 식 (3)과 같이 산정할 수 있다.

$$Confidence Level (CL) = 1 - P(r \leq k) \quad (3)$$

이항분포를 활용하여 유도무기 1발의 불명중 확률이 10%($p=0.9$)이고, 신뢰수준(CL)이 90% 및 95%를 만족하는 최소 사격수량을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. The number of minimum fires according failures and confidence level in liv-fire tests at 90% reliability

Failures	Minimum fires	
	C.L 90%	C.L 95%
0	22	29
1	38	47
2	52	63
3	65	77
4	78	92
5	91	104
6	104	116
7	116	129
8	128	143
9	140	156
10	152	168

Table 1에서 확인할 수 있듯이 기존 신뢰수준 산정방법을 활용할 경우, 신뢰수준 90%이상의 유도무기 사격시험에 필요한 최소 사격수량은 20발 이상이므로 생산수량이 많지 않고, 고가인 국내 유도무기 사업에 적용하기엔 한계가 있다.

신뢰수준과 관련지을 수 있는 또 다른 대표적인 방법 중 하나는 고장수명 혹은 저장수명 예측이다. 미국 국방성(DoD)의 MIL-HDBK-217(1995)에서는 전자부품의 고장분포를 지수함수 모델로 가정하며, 체계의 고장률은 각 구성품들의 고장률의 합으로 표현하는 방법을 제시하였다[3]. 이를 표현하면 식 (4)와 같다.

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_c \pi)_i \quad (4)$$

여기서 λ_p 는 체계의 불량률, N_i 는 i 번째 구성품의 수, λ_c 는 구성품의 불량률, 그리고 π 는 구성품의 품질계수이다. 이를 이용하면 구성품의 고장률을 활용하여 구성품이 포함된 체계의 고장률 즉, 고장수명을 예측할 수 있다. 하지만 이 방법은 다양한 전자부품을 포함하는 유도무기 체계를 장기 저장했을 시의 저장평균수명을 예측하거나 신뢰도를 확인할 경우에는 적합하나, 본 연구에서 주안점을 두고 있는 유도무기를 실사격 시험을 수행한 결과를 바탕으로 유도무기 신뢰도를 판단하는 내용에 적용하기에는 적합하지 않다.

2.2 신뢰수준 산정방법

국내 유도무기 사업의 경우 앞서 언급한 것처럼 고가이며, 사격시험을 수행하기 전에 명중여부를 알 수 없는 특성을 가지고 있다. 최근 Shin *et al.*(2015)은 초기하분포(Hypergeometry Distribution)와 베이지안 규칙(Bayes' Rule)을 활용하여 생산수량이 한정된 신제품의 품질수준 평가를 위한 샘플링검사 방법을 제안하였다 [4]. 국내 유도무기 사업의 경우, 생산수량이 민수사업과 비교했을 때 생산수량이 많지 않아 생산수량이 한정되어 있다고 볼 수 있으므로, Shin *et al.*(2015)이 제안한 신뢰수준 산정방법을 국내 유도무기 사격시험 시 필요한 사격수량 선정에 활용이 가능하다. 국내 유도무기 사격시험 시, 사격수량 선정에 필요한 유도무기 요구 명중률에 따른 신뢰수준은 식 (5)에 따라 산정된다.

$$P(H \geq w | X = x) = \frac{\sum_{D=0}^c \sum_{D=0}^{N(1-w)} \frac{\binom{D}{x} \binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}}}{\sum_{x=0}^c \sum_{D=0}^N \frac{\binom{D}{x} \binom{N-D}{n-x}}{\binom{N}{n}}} \quad (5)$$

$$= \text{Confidence Level (CL)}$$

식 (5)는 유도무기 생산예정 수량(모집단) N 발인 유도무기의 신뢰수준을 확인하기 위하여 n 발의 유도무기를 사격시험 중 x 발의 불명중이 발생 시, 유도무기의 명중률 H 가 유도무기의 요구명중률 w 이상일 확률, 즉 신뢰수준(Confidence Level)을 의미한다. 여기서 D 는 모집단 N 에 포함된 불량 유도무기 수, c 는 유도무기 사격시험 시 허용 가능한 불명중 횟수를 의미한다. 초기하분포와 베이지안 규칙을 활용한 신뢰수준

산정방법을 사격수량 선정 시 적용할 경우, 기존 신뢰수준 방법과 동일한 신뢰수준을 가지고 적은 사격수량을 선정 가능하다.

2.3 기존 연구와의 비교

본 논문의 타당성을 입증하기 위해 앞서 언급한 기존 연구와 비교·분석을 수행하였다. Table 2는 사격수량을 모두 명중하는 신뢰수준 90%의 사격시험 수행 시 필요한 사격수량을 제안한 방법 및 기존 연구와 비교·분석을 수행한 결과이다.

Table 2. The result of analysis between proposed method and related work.

Required reliability(w)	Number of fires			
	Related Work	Proposed Method (N=30)	Proposed Method (N=50)	Proposed Method (N=100)
0.60	5	3	4	4
0.65	6	4	5	5
0.70	7	5	5	6
0.75	8	6	7	7
0.80	11	7	8	9
0.85	14	10	11	12

확인결과, 90% 신뢰수준 달성 및 사격수량을 모두 명중했을 시 요구명중률에 따른 사격수량이 기존연구와 비교하여 최소 1발, 최대 4발정도 적어짐을 확인할 수 있다. 즉, 기존 연구보다 적은 사격수량의 사격시험을 통하여 신뢰수준을 확보할 수 있음을 의미한다. 단가가 수억 원하는 국내 유도무기를 사격시험할 경우, 1~4발 정도의 사격수량 감소로도 기존 방법과 동일한 신뢰수준 산정이 가능하고 이를 시험평가에 적용 가능한 것은 경제적인 측면에서도 효과적일 것으로 판단된다.

2.4 적용사례

신뢰수준 산정방법을 활용하여 현재 개발된 국내 유도무기의 신뢰수준 추이를 확인할 수 있다. 신뢰수준을 적용하는 국내 유도무기 1의 경우 아래의 특징이 있다.

- 특징 1 : 개발 종료 이후, 연례 사격시험 수행
- 특징 2 : '05~'15년 사격시험 결과, 모두 명중

국내 유도무기 1의 사격시험 결과를 활용하여 신뢰수준을 적용결과, Table 3과 같이 개발사업 종료 시점('05

년의 신뢰수준 70%에서 ‘15년까지 96%로 26% 향상된 것을 확인할 수 있었다. 국내 유도무기 1의 경우, 특징 2와 같이 연례 사격 시험결과 모두 명중하였으므로 신뢰수준 산정 시 연례 사격결과를 공유하였고, 이에 따라 신뢰수준이 지속적으로 증가함을 확인할 수 있다.

Table 3. The change of Confidence Level of Domestic Missile 1.

Domestic Missile 1.	Year	
	‘05	‘15
Confidence Level	70%	96%

국내 유도무기 2의 경우 아래의 특징이 있다.

- 특징 1 : 개발 종료 이후, 사격시험 수행
- 특징 2 : 사격시험 결과에 따라 3차례 설계변경

국내 유도무기 2의 경우 개발 종료 이후 사격시험을 수행하였으나 불명중 사례가 존재하여 설계변경을 수행하였다. 이와 같은 경우, 설계변경을 거친 유도무기는 최초 개발 당시의 유도무기와는 다른 유도무기 볼 수 있으므로, 설계변경 후 사격시험을 통한 신뢰수준 산정 시 이전 사격시험 결과는 제외한다. 따라서 Table 4와 같이, 개발사업 종료 시험(‘09년)에서의 국내 유도무기 2의 신뢰수준은 58%였으나, 개발 이후 사격시험 결과 불명중 현상이 발생함에 따라 설계변경이 이루어졌고, 이에 따라 신뢰수준이 ‘12년 56%, ‘13년 58%, ‘14년 70%로 재산정하였다.

Table 4. The change of Confidence Level of Domestic Missile 2.

Domestic Missile 2.	Year			
	‘09	‘12	‘13	‘14
Confidence Level	58%	56%	58%	70%

3. 적정 신뢰수준

2장에서는 국내 유도무기 사업의 특성을 고려한 신뢰수준 산정방법을 소개하였고, 실제 국내 유도무기에 적용하여 신뢰수준의 추이를 관측하였다. 3장에서는 향후 개발 중인 유도무기 운용시험평가 사격수량 산정 시 적

정한 신뢰수준을 제안한다.

해외의 경우, 미국 국방성 군사 표준(Military Standard)인 Mil-STD-690D(2013)에 따르면 국방 전자무기의 고장률(Failure rate) 검증을 위해 신뢰수준 60% 또는 90% 두 종류로 구분하여 샘플링 시험을 수행하는 방법을 언급하고 있다[5].

국내의 경우, 방위사업청 무기체계 시험평가 실무 가이드 북(2012)에 따르면 신뢰수준은 사용자 요구, 비용, 안정성, 경제적 손실 등을 고려하여 일반적인 경우 신뢰수준 60%, 특수한 경우 신뢰수준 90%를 적용할 수 있으며, 부품 신뢰성의 치명도와 고장 발생빈도 등을 고려하여 결정할 수 있으며, 마지막으로 일반적으로 적용되는 경험치를 이용하여 육상 무기체계 적용 부품/구성품의 경우 신뢰수준 80%, 해상 무기체계 적용 부품/구성품의 경우 신뢰수준 90%, 항공 무기체계 적용 부품/구성품의 경우 신뢰수준 95%를 적용할 수 있다고 언급하고 있다[6].

한국표준협회(KS)의 KS-C-6032(2011)에 따르면 전자부품의 고장률의 신뢰수준은 60% 및 90%의 2종류로 하고, 특별히 규정하지 않는 한 60%의 신뢰수준 적용을 언급하고 있다[7].

상기 언급된 내용을 정리하여 국내외 문헌 내의 신뢰수준 조사 결과를 Table 5와 같이 도식화 할 수 있다. Table 5에 따르면 일반적인 경우에는 신뢰수준 60% 적용을 권고하고 있으며, 특별한 수준으로 관리되어야 할 경우 90%가 주로 언급됨을 확인할 수 있다.

Table 5. Survey of confidence level in domestic/foreign case.

Required reliability(w)		Suggested Confidence Level
Foreign	Mil-STD-690D[5]	60% or 90%
Domestic	DAPA[6]	① Standard : 60%, Special : 90%
		② Considering criticality and failure frequency of reliability on parts
		③ Using experience - Army weapon system : 80% - Navy weapon system : 90% - Air force weapon system : 95%
	KS[7]	60%(not special case) and 90%

신뢰수준이 언급된 국내외 문헌 중 전자부품 고장률이 중요한 이유는 유도무기의 구성품의 대부분이 전자부

품들로 구성되어 있기 때문이다. 관련문헌 조사결과 특별히 규정하지 않는 한 일반적으로 60%의 신뢰수준이 주로 언급되어지고 있음을 확인하였으며, 2.2절에서 관측한 국내 유도무기 1, 2의 개발 종료시점에서의 신뢰수준은 70%, 58%이므로 60%의 신뢰수준은 적절한 것으로 판단되며, 개발 이후의 신뢰수준 관리는 계약자 및 운 용자간의 협의를 통하여 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 개발 완료 이후에도 지속적인 개선 및 사격시 험을 통하여 적정 수준 이상의 신뢰수준 향상여부를 지 속적으로 모니터링 할 필요가 있다.

Table 6. Reasonable confidence level of proposed method.

Step	Confidence Level
Immediately after Development	60%
Mass production	① Consensus the confidence level among interested parties ② Monitoring improvement of confidence level through live-fire tests

4. 결론

본 논문에서는 유도무기 사격시험에 가장 적합한 신뢰수준 산정방법을 개발하기 위하여 유한모집단에 쓰이는 초기하분포를 이용하였고, 사격시험 결과를 가지고 신뢰수준을 예측하기에 적합한 베이지안 규칙을 활용하여 정밀유도무기에 적합한 신뢰수준 산정방법을 소개하였다. 또한 신뢰수준 산정방법 실제 국내 유도무기에 적용해봄으로써 신뢰수준을 적용 시 국내 유도무기의 신뢰수준 추이 확인을 통한 신뢰수준 향상여부를 확인할 수 있다. 마지막으로 국내 유도무기 신뢰수준 적용 사례 및 신뢰수준 관련 국내의 문헌을 통하여 적정 신뢰수준을 제안하였으며 이를 통하여 향후 개발 중인 유도무기 사격수량 산정 시 큰 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] Defense Acquisition Program Administration(DAPA), The regulation of defense acquisition program management, 2016. 10. 20

[2] Sherwin, E. R, "Analysis of "One-Shot" Devices, START(Selected Topics in Assurance Related Technologies)", A Publication of DoD Reliability

Analysis Center, pp. 1-4, October, 2000.

[3] DoD, MIL-HDBK-217F, *Reliability Prediction of Electronic Equipment*, 1995. 2. 28

[4] B. C. Shin, J. H. Byun, C. W. Lee, K. Y. Lee, J. S. Choi, H. S. Woo, B. G. Seo, "Small-Sample Inspection Plans for the New Product Quality Level Evaluation of Finite Population : Focused on Guided Weapons in Development Stage", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, pp. 481-487, October, 2015.

[5] DoD, Mil-STD-690D, *Failure Rate Sampling Plans and Procedure*, 2013. 5. 20

[6] Defense Acquisition Program Administration(DAPA), The practical guide book of test and evaluation of weapon system, 2012.7.

[7] Korean Standard Society(KS), KS C 6032, *General test procedure of failure rate for electronic components*, 2011. 12. 13

서 보 길(Bo-Gil Seo)

[정회원]



- 2011년 8월 : 경북대학교 IT대학 전자공학부(공학사)
- 2013년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자학과(공학석사)
- 2013년 12월 ~ 현재 : 국방기술 품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

유도탄, One-shot 시스템, 신뢰성공학

홍 석 진(Seok-Jin Hong)

[정회원]



- 2015년 2월 : 연세대학교 정보산 업공학과(공학석사)
- 2010년 3월 ~ 20013년 3월 : LG 디스플레이
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술 품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

유도탄, One-shot 시스템, 신뢰성공학, 데이터마이닝