

유도탄 사격수량과 신뢰수준 도출 및 시험평가 방안 연구

안 단^{1†}

1. 서 론
2. 국내외 유도탄 실사격 현황
3. 유도탄 명중률 및 신뢰구간 추정방안
4. 유도탄 사격수량 도출방안
5. 유도탄 시험평가 방안
6. 결 론

요 약

본 논문에서는 소량의 유도탄 실사격 결과로 명중률 신뢰구간을 추정할 수 있는 방안을 제시하고 이를 바탕으로 유도탄의 사격 수량 도출 및 시험평가 방안을 제안하였다. 이를 위해 매우 소량의 표본 및 극단적인 결과인 경우에도 명중률 신뢰구간을 추정하는 방법을 제안하였으며, 요구명중률, 허용 실패사격 수량 및 신뢰수준을 기준으로 유도탄 사격수량을 도출하는 방안을 제시하였다. 또한 사격수량에 따른 명중률 및 신뢰수준과의 상관관계 분석을 통해 유도무기에 따른 적절한 신뢰수준을 도출하고 유도탄의 시험평가 방안을 제시하였다.

<핵심어> 유도무기, 사격수량 도출, 명중률, 신뢰수준, 시험평가 방안

^{1†} 국방기술품질원 전력연구부 선임연구원
(교신저자 Tel :010-9464-7765, 사무실번호: 055-751-5431, E-mail: andan555@naver.com)

논문접수일: 2014년 11월 13일 게재확정일: 2014년 12월 10일

논문수정일: 2014년 11월 24일(1차), 2014년 12월 2일(2차)

A Study on the Missile Fire Test Number Extraction Method and Confidence Level

A Study on the Missile Fire Test Number Extraction Method and Confidence Level

An, Dan[†]

Abstract

In this paper, the missile fire test number extraction method is presented. The missile fire test number extraction method was suggested using the success probability estimation method. Also, the missile fire test method was presented using the analysis result on the correlations among the confidence level, success probability, and missile fire test number.

Keywords: Missile, confidence level, missile fire test number deduction

1. 서 론

유도무기 체계는 일회성 무기체계이면서도 매우 고가이기 때문에 시험평가를 위해 많은 비용이 소요된다. 특히, 주요한 요구성능인 명중률의 경우 통계학적으로 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 많은 실사격 시험이 필요하나 국내 개발여건상 충분한 실사격 시험을 하기 어려운 실정이다. 또한 국내에서는 유도탄 시험평가시에 사격수량에 따른 성공수량으로 단순하게 추정하고 있으며, 소량의 유도탄 사격결과가 모두 성공한 경우에 대해 명중률 및 신뢰구간(CI : Confidence Interval)을 추정하는 방법에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 최소한의 비용으로 요구되는 명중률과 신뢰수준을 확보할 수 있는 효율적인 시험평가 방안에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 소량의 유도탄 실사격 시험과 시험사격시 모두 성공한 경우에도 명중률 및 신뢰구간을 추정할 수 있는 방안을 제시하고 이를 바탕으로 유도탄의 실사격 수량을 도출하는 방안을 제시하였다. 또한 사격수량에 따른 명중률 및 신뢰수준과의 상관관계 분석을 통해 유도무기에 따른 적절한 신뢰수준을 도출하고 유도탄의 시험평가 방안을 제시하였다.

2. 국내외 유도탄 실사격 시험 현황

2.1 국내 유도탄 실사격 시험 현황

국내의 유도탄 사격시험 시험 현황의 조사결과 주로 개발단계에서 명중률을 산술적으로 산정하기 위해 최소수량의 실사격 시험을 수행하였으며, 주요 사격수행 시험 현황은 표 1과 같다. 표 1)에서 유도탄의 사격량 범위는 4~10발이고 평균 6발이며, 대체로 사업 예산 규모와 개발기간에 의해 제한되었던 것으로 분석되었다.

<표-1> 국내의 유도탄 실사격 시험 현황

구분	A	B	C	D	E	F	G
사격수량	10발	7발	7발	6발	8발	4발	5발
명중발수	8발	5발	6발	5발	6발	3발	4발
명중비율	80%	71%	86%	83%	75%	75%	80%

1) 방사청 : 정밀유도무기 신뢰도 관련 제도개선(안)

그러나 개발시제와 양산시제의 상이성 때문에 최근 유도탄 신뢰성에 대한 문제가 많이 제기되었으며, 이러한 이유로 국내에서도 양산단계 유도탄 신뢰성 검증을 위해 신규개발 무기에 대해 규격 제정시부터 초도양산(LRIP : Low Rate Initial Production) 시험 등이 반영되어지고 있다.

2.2 국외 유도탄 실사격 시험 현황

표 2와 표 3은²⁾ 미국의 획득절차상 시험 및 실제 사격시험에 대한 내용으로 국내에서 주로 개발단계에서만 사격시험을 수행한 것과는 달리 개발/운용시험평가에 추가하여 양산단계 유도탄 신뢰성 검증을 위해 초도양산(LRIP)단계에서 충분한 사격시험을 실시하고 있다.

<표-2> 미국의 획득절차상 사격 시험현황

구분	개발단계	초도양산 (LRIP)	양산 (FRP)	운용유지
시험목적	개발 요구성능 검증(부품, 개발 시제품)	초도생산품 검증(성능, 운영 및 파괴력 시험)	양산 LOT 수락시험	군 훈련 및 보관 상태에 대한 검증
비용	TEMP 계획시 반영	TEMP 계획시 반영	양산 사업비 반영	소요군 계획
주관부서	개발부서	개발부서+소요군	소요군	소요군
합부판정	TEMP 계획에 의거	TEMP 계획 및 Sampling 검사	Sampling 검사	-
책임	개발자	개발자	생산자	

이러한 사격시험 절차를 통한 미국 및 국외의 유도탄 실사격 시험 현황을 표 3에 나타내었으며, 국외의 경우 국내의 사격수량 보다 많은 8~15발, 평균 12.3발 수준의 사격시험을 수행한 것으로 조사되었다. 국외에서는 국내보다 많은 수량의 실사격이 이루어지고 있으나, 미국의 경우에도 초도양산 후에 생산제품에 대한 사격시험은 특별히 명시되어 있지는 않고 있으며, 초도양산 단계 이후의 양산단계의 사격시험은 지양하고 시뮬레이션 시험을 권장하는 정책을 수행하고 있다.

2) 방사청 : 정밀유도무기 신뢰도 관련 제도개선(안)

<표-3> 국외의 유도탄 실사격 시험 현황

구분	사격수량	명중수량	명중비율
ARROW	12발	11발	91.7%
RAM	14발	12발	85.7%
ESSM	15발	12발	80.0%
MISTRAL	8발	7발	87.5%

표 4는 시뮬레이션 시험과 실제 사격시험의 장단점을 나타낸 것으로³⁾, 국외의 경우 시뮬레이션 시험을 병행하고 있지만 개발시제와 양산시제의 상이성 때문에 초도양산 단계에서 사격시험을 필수적으로 수행하고 있다. 또한, 비용 최소화를 위해 개발시험 및 초도양산 단계시 최소의 수량으로 신뢰성을 검증하기 위한 방안에 대해 지속적으로 연구를 진행하고 있다.

<표-4> 사격시험평가 형태에 따른 장단점 비교

구분	Laboratory/Simulation Test	Field/Flight Testing
장점	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사격시험에 비해 저비용 ■ 관리, 일관성 및 성능 변수에 대한 선택적 탐구가 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미션 재현 충실도가 높음 ■ 품질 이슈의 신속한 노출 ■ 실제적 성능 평가 가능
단점	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미션 재현 충실도가 상대적으로 낮음 ■ 데이터 양이 많음 ■ 처리 시간의 장기화 ■ 모델링 충실도에 따라 성능평가의 정확도 차이가 발생 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 고비용 ■ 일관성 없는 데이터와 무작위 성능 변수들로 인한 계량화, 측정, 관리 및 이해의 어려움

3) 2011 NDIA(Nation Defense Industrial Association) Test and Evaluation Conference, Raytheon Missile System.

3. 유도탄 명중률 및 신뢰구간 추정방안

전체 양산 유도탄의 명중률을 p 로 가정할 경우, 명중률 p 에 대한 신뢰구간(confidence interval)의 일반적인 추정방법은 다음과 같다⁴⁾.

$$p \pm z_{1-\alpha/2} \sqrt{p(1-p)/n} \quad (1)$$

* $z_{1-\alpha/2}$: 표준정규분포의 비율, n : 시료수, p : 표본의 명중률

식 (1)은 기본적인 명중률의 추정은 가능하나 모든 유도탄이 명중한 경우와 실패한 경우에 신뢰구간 추정이 불가능하다. 또한, 표 5와 같이 신뢰구간의 최소경계값은 추정할 수 있으나 시료수가 $n=2$ 인 경우는 마이너스 값으로 계산되며, 최대경계값이 1.0 이상으로 추정되는 문제점이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 가장 많이 사용되는 방법 중에 하나가 Wilson이 제시한 Wilson score interval 추정방법이 있으며, 아래의 식과 같다⁵⁾⁶⁾

$$\frac{p + \frac{1}{2n} z_{1-\alpha/2}^2 \pm z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n} + \frac{z_{1-\alpha/2}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{1}{n} z_{1-\alpha/2}^2} \quad (2)$$

* $z_{1-\alpha/2}$: 표준정규분포의 비율(신뢰수준), n : 시료수, p : 표본의 명중률

Wilson score interval 추정방법은 실패나 성공의 2가지 결과만을 얻을 수 있고 샘플(사격수량)이 매우 적은 경우에 유용한 방법이며, 유도탄이 모두 명중한 경우와 실패한 경우에도 명중률 추정이 가능하다.

4) D. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1997

5) E. B. Wilson, "Probable Inference, the Law of Succession, And Statistical Inference," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 22, 1927, pp. 209-212.

6) Huairui Guo, Sharon Honecker, Asmantios Mettas, Doug Ogden, "Reliability Estimation for One-Shot System with Zero Component Test Failures," *2010 IEEE Reliability and Maintainability Symposium, Jan. 2010*.

<표-5> 유도탄 사격수량에 따른 명중률 신뢰구간 (Fail: 1회, 90% 신뢰수준)

사격회수(n)	실패회수(k)	신뢰구간(최소값)	신뢰구간(최대값)
1	1	0.00	1.00
2	1	-0.08	1.08
3	1	0.22	1.11
4	1	0.39	1.11
5	1	0.51	1.09
6	1	0.58	1.08
7	1	0.64	1.07
8	1	0.68	1.07
9	1	0.72	1.06
10	1	0.74	1.06
11	1	0.77	1.05
12	1	0.79	1.05
13	1	0.80	1.04
14	1	0.82	1.04
15	1	0.83	1.04
16	1	0.84	1.03
17	1	0.85	1.03
18	1	0.86	1.03
19	1	0.86	1.03
20	1	0.87	1.03

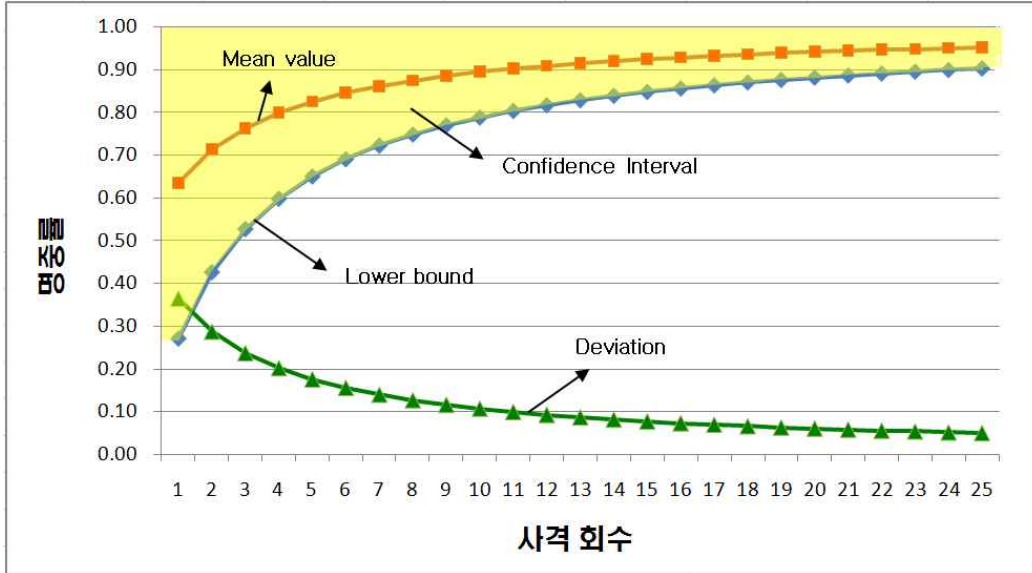
그림 1과 표 6에 식 (2)를 사용하여 유도탄 사격수량에 따른 명중률 및 신뢰구간(No Fail, 90% 신뢰수준)을 추정된 결과를 나타내었으며, 명중률 추정결과 신뢰구간의 최대경계값이 1.0을 초과하지 않으며, 모든 사격시험이 성공한 경우 및 1회 사격성공($p=64\% \pm 36\%$, 90% 신뢰수준)의 경우에도 편차는 크지만 명중률 및 신뢰구간의 추정이 가능하다. 상기의 추정결과에서 약 10회의 사격회수까지 신뢰구간의 최소경계값(lower bound)은 급격하게 증가하고 편차(deviation)는 급격하게 감소되며, 이후에는 완만하게 변화하는 것을 알 수 있다.

따라서 사격회수가 증가할수록 유도탄 명중률을 정확하게 추정(사격회수 25회시 편차 $\pm 5\%$, 90% 신뢰수준) 할 수 있으나, 시험비용이 크게 상승하기 때문에 유도탄에 따른 적절한 사격수량에 대한 분석 및 도출방안이 필요하다.

<표-6> 사격회수에 따른 명중률 신뢰구간 추정결과 (No Fail, 90% 신뢰수준)

사격회수(n)	명중률	편차
1	0.64	±0.36
2	0.71	±0.29
3	0.76	±0.24
4	0.80	±0.20
5	0.83	±0.17
6	0.85	±0.15
7	0.86	±0.14
8	0.87	±0.13
9	0.88	±0.12
10	0.89	±0.11
11	0.90	±0.10
12	0.91	±0.09
13	0.91	±0.09
14	0.92	±0.08
15	0.92	±0.08
16	0.93	±0.07
17	0.93	±0.07
18	0.94	±0.06
19	0.94	±0.06
20	0.94	±0.06
21	0.94	±0.06
22	0.95	±0.05
23	0.95	±0.05
24	0.95	±0.05
25	0.95	±0.05

<그림-1> 사격회수에 따른 명중률 신뢰구간 추정결과(No Fail, 90% 신뢰수준)



4. 유도탄 사격수량 도출방안

국내에서는 유도무기 시험사격시 전체 사격수량과 성공수량을 사용하여 단순하게 추정하고 있으나, 결과에 대한 신뢰수준이 제시되지 않기 때문에 신뢰성이 떨어진다. 따라서 유도무기 시험사격 결과로 추정된 명중률에 대한 신뢰수준의 제시가 필요하며, 시험사격 전에 이에 대한 기준이 필요하다고 할 수 있다. 본 절에서는 앞절에서 분석된 유도탄 사격수량에 따른 명중률 신뢰구간 추정방안을 바탕으로 시험사격 후 명중률과 신뢰수준을 제시할 수 있는 유도탄의 사격수량 도출방안을 제안하였다.

4.1 유도무기 사격수량 결정 파라메타

앞절에서 논의한 Wilson score interval 추정방법을 활용하여 특정 유도탄의 시험사격을 n 발 수행하였을 때 도출할 수 있는 유도탄 명중률의 신뢰구간 최소값은 아래의 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$P_R = \frac{\frac{n-k}{n} + \frac{1}{2n} z_{1-\alpha/2}^2 - z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{\frac{n-k}{n} (1 - \frac{n-k}{n})}{n} + \frac{z_{1-\alpha/2}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{1}{n} z_{1-\alpha/2}^2} \quad (3)$$

* $z_{1-\alpha/2}$: 신뢰수준, n : 사격수량, k : 실패 수량, P_R : 명중률 신뢰구간 최소값

여기서 시험사격 결과가 전투 사용가 판정이 나기 위해서는 명중률 신뢰구간의 최소값인 P_R 이 소요군에서 요구하는 요구명중률(P_R : Required Probability) 이상이어야 한다. 따라서 사격수량에 영향을 미치는 파라메타는 사격 실패수량(k)과 신뢰수준($z_{1-\alpha/2}$) 및 요구명중률(P_R)로 말할 수 있으며, 요구명중률은 소요결정시에 결정되기 때문에 시험평가시 주요 결정 파라메타는 사격 실패 수량과 신뢰수준이라고 할 수 있다.

4.2 유도무기 사격수량 도출 방안

앞에서 논의된 사격 실패 수량은 실제로 예측하기가 어려우며, 실패 수량이 늘어날수록 설정된 신뢰수준에서 요구명중률 이상을 달성하기 위한 사격 수량은 늘어나게 된다. 따라서 체계관련 데이터, 사업예산 범위 및 M&S 결과들을 통해 실패율을 예측하여 허용 실패 수량을 결정할 필요가 있다.

허용 실패 수량(k)과 신뢰수준을 결정하게 되면 식 (3)을 이용하여 시험사격 수량을 도출할 수 있다. 그림 2는 본 논문에서 제안하는 유도무기의 사격수량 결정 절차를 나타낸 것으로 먼저 체계관련 데이터 및 M&S를 활용하여 허용 실패 수량을 결정한 후 사업 예산 범위와 유도무기의 임무 역할 등을 고려하여 신뢰수준을 결정한다. 마지막으로 요구명중률과 허용 실패 수량 및 신뢰수준을 기준으로 최종 사격수량을 도출하는 절차로 이루어진다.

여기에서 사격수량이 도출되는 시점은 무기체계의 실제적인 개발이 이루어지는 체계 개발이전단계에서 결정되는 것이 타당하다. 그 이유는 국내 개발여건상 개발예산이 확정된 이후인 체계개발단계에서는 추가적인 실사격의 필요성이 있는 경우에도 시험평가 비용을 확보하기가 어렵기 때문이다. 따라서 선행연구 단계 및 탐색개발 단계에서 허용 실패수량 및 신뢰수준을 도출하여 사격수량을 결정하는 것이 효율적이며, 사격수량 도출 결과 너무 과도한 시험사격 예산이 필요한 경우 요구성능에 대한 조정이 필요한 것으로 판단된다.

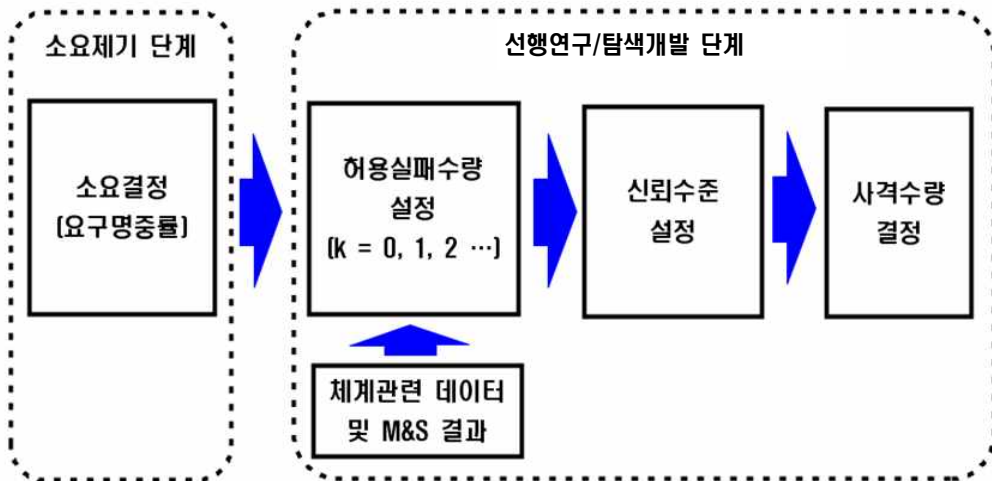
표 7에 제안한 방안을 활용하여 도출된 유도무기의 사격수량을 나타내었다. 사격수량

도출시 신뢰수준은 최소 50%로 하였는데, 신뢰수준은 전체 유도탄 중에서 제시되는 신뢰수준의 비율만큼 요구명중률을 보장할 수 있는 것을 말한다. 예를 들면 전체 보유 유도탄이 200발이고, 유도탄의 명중률은 80%, 신뢰수준은 70%라고 가정한다면 보유한 유도탄 중 140발은 명중률 80%를 보장할 수 있으나, 나머지 60발에 대해서는 명중률 80%를 보장할 수 없다는 의미이다.

따라서, 표본 사격결과로 제시된 명중률의 신뢰수준이 50% 이하일 경우 보유한 전체 유도탄 수량의 절반 이상에 대해 제시된 명중률을 보장할 수 없기 때문에 최소한의 신뢰수준으로 설정하였다.

본 논문에서 제안하는 방법을 사용하여 유도무기의 명중률은 국내 유도무기의 명중률 범위인 50 ~ 90%, 신뢰수준은 50 ~ 95%로 설정하고 유도무기의 사격수량 도출한 결과, 실패허용수량 $k=0$ 인 경우 1 ~ 35발, $k=1$ 인 경우 4 ~ 54발, $k=2$ 인 경우 7 ~ 68발의 사격수량이 도출되었다.

<그림-2> 제안된 유도탄 사격수량 도출 절차



<표-7> 제안된 방안을 사용한 유도무기 사격수량 도출결과

명중률	사격수량 (실패 허용 수량 k = 0)					
	50%신뢰수준	60%신뢰수준	70%신뢰수준	80%신뢰수준	90%신뢰수준	95%신뢰수준
0.50	1	1	2	2	3	4
0.55	1	1	2	3	4	5
0.60	1	2	2	3	5	6
0.65	1	2	2	4	6	8
0.70	2	2	3	4	7	9
0.75	2	3	4	5	9	12
0.80	2	3	5	7	11	16
0.85	3	5	7	10	16	22
0.90	5	7	10	15	25	35
명중률	사격수량 (실패 허용 수량 k = 1)					
	50%신뢰수준	60%신뢰수준	70%신뢰수준	80%신뢰수준	90%신뢰수준	95%신뢰수준
0.50	4	4	5	6	7	8
0.55	4	5	6	7	8	10
0.60	5	6	6	7	9	11
0.65	6	6	7	9	11	13
0.70	7	7	9	10	13	16
0.75	8	9	10	13	16	20
0.80	10	11	13	16	21	25
0.85	13	15	18	21	27	35
0.90	19	23	26	31	42	54
명중률	사격수량 (실패 허용 수량 k = 2)					
	50%신뢰수준	60%신뢰수준	70%신뢰수준	80%신뢰수준	90%신뢰수준	95%신뢰수준
0.50	7	7	8	9	10	12
0.55	7	8	9	10	12	13
0.60	8	9	10	11	13	15
0.65	9	10	11	13	16	18
0.70	11	12	13	15	18	22
0.75	13	14	16	18	23	26
0.80	16	18	20	23	29	34
0.85	22	24	27	31	39	46
0.90	32	36	41	47	59	68

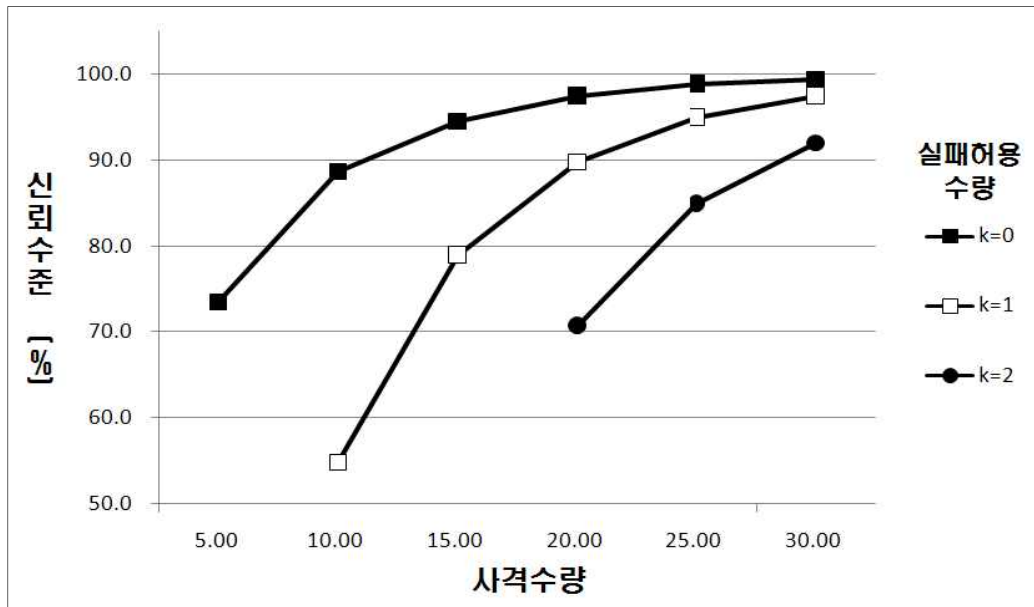
5. 유도탄 시험평가 방안

본 절에서는 앞 절에서 도출된 유도탄 사격수량과 명중률 및 신뢰수준과의 상관관계 분석을 통해 유도무기에 따른 적절한 신뢰수준을 도출하고 효율적인 시험평가 방안을 제시하였다.

5.1 실패허용수량 결정

제안된 유도탄 사격수량 도출 방안은 사격수량 결정을 위해 선행연구나 탐색개발 단계에서 실패허용수량을 결정하여야 한다. 그림 3은 명중률 80%인 유도탄의 실패허용수량에 따른 신뢰수준 및 사격수량을 나타낸 것으로 k=0인 경우 5발 사격시에도 73.5%의 신뢰수준을 갖으며, 10발 사격시 88.7% 정도의 신뢰수준을 나타내 적은 수량으로도 높은 신뢰수준을 나타내었다. k=1인 경우는 10발이상 사격을 수행해야 50% 이상의 신뢰수준을 갖으며, 15발 사격시 79%, 20발 사격시에는 89.8%의 신뢰수준을 나타내었다. 마지막으로 k=2인 경우는 20발이상 사격을 수행해야 50% 이상의 신뢰수준을 갖으며, 90% 이상의 신뢰수준을 갖기 위해서는 30발 이상의 사격을 수행해야 하는 것으로 분석되었다.

<그림-3> 실패허용 수량에 따른 신뢰수준 및 사격수량(명중률 = 80%)



실패허용 수량에 따른 사격수량 및 신뢰수준 분석결과 k=0인 경우는 적은 사격으로도 양호한 신뢰수준을 갖지만 실제 시험평가지 모든 사격 유도탄이 성공해야하기 때문에 위험도가 큰 단점이 있다. k=1인 경우는 시험평가의 위험도를 감소시키면서도 10발 이상 사격시 50% 이상의 신뢰수준과 15발이상 사격시는 80% 수준의 양호한 신뢰수준을 얻을 수 있어 국내 유도무기 사격수량이 일반적으로 최대 10발 내외임을 고려할 때 가장 효율적인 실패 허용 수량으로 분석되었다. k=2인 경우는 시험평가의 위험도는 감소하지만 50% 이상의 신뢰수준을 얻기 위해 20발 이상의 많은 사격을 수행해야하기 때문에 국내 여건을 고려할 때 적절하지 않은 것으로 분석되었다. 다만 요구명중률이 낮은 유도무기(0.5~0.6)의 경우 10발 내외의 사격시에도 50% 이상의 신뢰수준을 얻을 수 있어 적용할 수 있을 것으로 분석되었다.

5.2 신뢰수준 결정

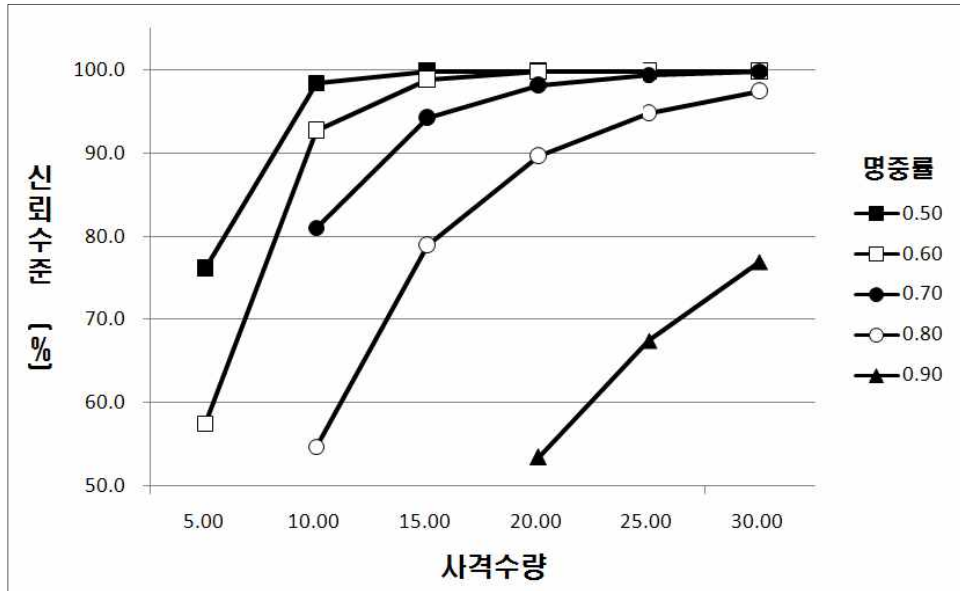
신뢰수준은 유도탄의 사격수량을 결정하기 위한 중요한 요소이지만 실제 어느 수준으로 결정할 것인지에 대해 기준을 설정하기가 매우 어렵다. 신뢰수준을 낮게 설정할 경우 시험평가 비용은 감소되지만 전력화 유도탄의 신뢰성이 낮아지며, 신뢰수준을 높게 설정하면 전력화 유도탄의 신뢰성은 높아지지만 시험비용이 크게 증가하기 때문이다. 따라서 유도탄의 임무 및 개발 예산을 고려하여 적절한 신뢰수준을 설정할 필요가 있으며, 본 논문에서는 유도탄의 사격수량과 신뢰수준과의 관계 분석 및 유도탄의 대상표적에 따라 신뢰수준 값의 범위를 제시하였다.

그림 4는 실패허용 수량 k=1일 때 사격수량에 따른 신뢰수준을 나타낸 것으로, 분석결과 상대적으로 낮은 명중률(0.5~0.6)을 갖는 경우 10발 사격시에도 98.4%의 높은 신뢰수준을 갖는 것으로 분석되었다. 명중률이 높은 경우는(0.9 이상) 20발 이상 사격을 수행해야 50% 이상의 신뢰수준을 갖는 것으로 분석되었다.

매우 높거나 낮은 명중률을 제외한 국내 유도무기의 일반적인 명중률인 0.7~0.8을 고려시 5발 사격시에는 50%이하의 신뢰수준을 나타내지만 10발 사격시에는 54.7%~81.0%의 신뢰수준을 갖는 것으로 분석되었다. 따라서 국내 연구개발 유도무기의 일반적인 사격수량이 최대 10발 내외인 점을 고려한다면 신뢰수준의 범위는 50%~80% 수준에서 결정되는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

상기의 분석결과와 앞 절에서의 유도탄 사격수량 도출 결과를 고려시 실패허용 수량인 k=1, 신뢰수준 50~80% 및 명중률 50~80%를 적용할 경우 사격수량은 4~16발이 적절한 것으로 분석되었다.

<그림-4> 사격수량에 따른 신뢰수준(Fail number k=1)



5.3 대상표적에 따른 신뢰수준

유도탄의 대상표적에 따른 신뢰수준은 크게 2가지로 분류하였다. 우선 신뢰수준의 범위는 앞절에서 논의된 최소한으로 설정한 50% 신뢰수준과 국내 연구개발 유도무기의 일반적인 최대 사격수량인 10발로 얻을 수 있는 최대 신뢰수준의 범위인 80%로 설정하였다. 다음으로 신뢰수준의 범위인 50~80% 범위를 2개로 분류하여 높은 수준인 80~65%, 낮은 수준인 50~65%로 분류하였다. 이 중 낮은 범위에 유도탄은 명중 실패시에도 즉각적 반격이 없어 아군의 직접적인 피해가 없으며, 재공격이나 동시에 많은 사격이 가능한 일반 표적을 대상으로 하는 유도무기이다. 이러한 유도무기는 명중 실패시에도 위험 및 피해가 적기 때문에 앞에서 분석된 신뢰수준 범위중 50~65% 정도의 상대적으로 낮은 신뢰수준 설정이 가능할 것으로 판단된다.

두 번째는 높은 범위 신뢰수준이 필요한 유도탄으로 적은 수량의 사격만 가능하며, 명중 실패시 재공격이 어렵고 즉각적인 반격을 받는 표적을 대상으로 하는 유도무기와 아군이 표적을 제거하지 못할 경우 즉각적 피해를 받는 방호목적의 유도무기이다. 또한 전략적 가치가 높은 전술/전략 표적을 대상으로 하는 유도무기를 들 수 있다. 이러한 유도무기는 명중 실패시 아군의 직접적인 피해가 발생하고 전체 작전수행에 큰 영향을 주기 때문에 신뢰수준 범위중 65~80% 정도의 상대적으로 높은 신뢰수준을 확보해야 할 것으로 판단된다.

<표-8> 대상표적에 따른 명중률 신뢰수준

구분	신뢰수준
<ul style="list-style-type: none"> • 명중 실패시에도 즉각적 반격이 없는 표적대상 유도무기 • 재공격이나 동시에 많은 사격이 가능한 저가 표적 대상 유도무기 	50~65%
<ul style="list-style-type: none"> • 적은 수량의 사격만 가능하며, 명중 실패시 재공격이 어렵고, 즉각적인 반격을 받는 이동표적 대상 유도무기 • 명중 실패시 아군이 즉각적인 피해를 받는 방호 목적의 유도무기 • 중요 전술/전략표적 및 고가표적 대상 유도무기 	65~80%

유도무기에 따른 신뢰수준 분석결과 대지유도무기의 경우 전략/전술 탄도유도탄 및 대지공격 순항유도무기는 신뢰수준이 높아야 할 것으로 분석되었으며, 재공격 및 동시에 많은 사격이 가능한 유도로켓과 대전차 유도무기, 유도폭탄은 상대적으로 낮은 신뢰수준으로 분류되었다.

대공유도무기는 방호목적의 무기체계이기 때문에 중장거리 지대공유도무기와 공대공 유도무기의 경우 높은 수준의 신뢰수준이 필요한 것으로 분석되었으나, 단일표적에 대해 여러발 사격이 가능한 단거리 및 휴대용 유도무기는 상대적으로 낮은 50~65%의 신뢰수준이 적용 가능할 것으로 분석되었다.

대함유도무기는 많은 사격이 어려운 고가의 대함유도무기는 신뢰수준이 높아야 할 것으로 분석되었으며, 많은 수량의 사격이 가능한 대함 유도로켓은 상대적으로 낮은 신뢰수준으로 분류되었다. 상기에 근거를 기준으로 분석한 유도무기의 분류에 따른 신뢰수준은 표 9에 나타내었다.

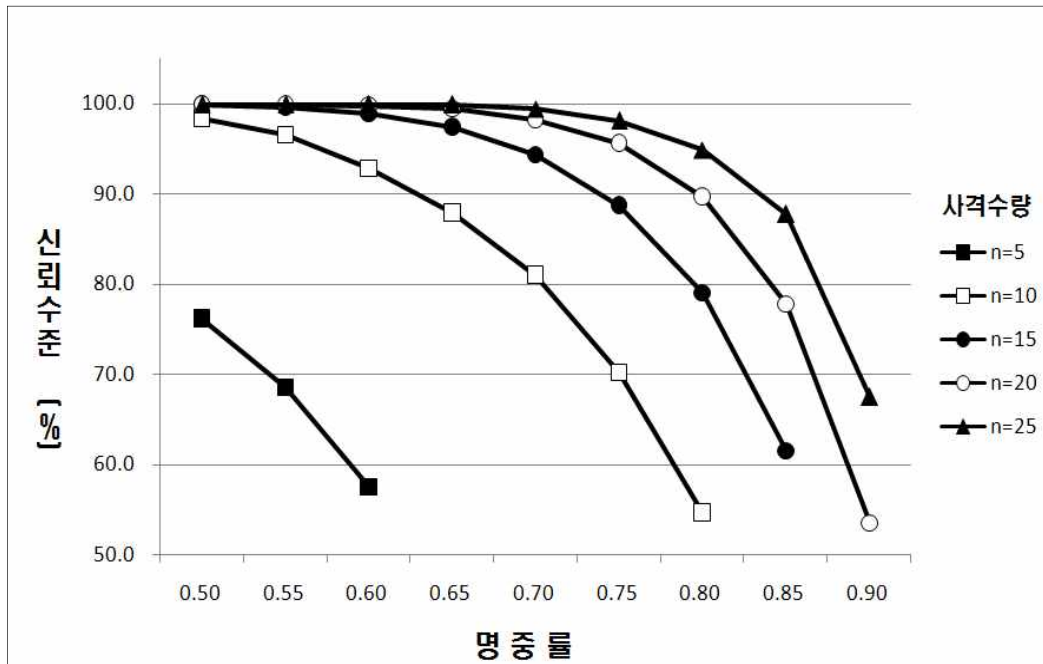
<표-9> 유도무기 분류에 따른 명중률 신뢰수준

구분		유도무기	신뢰수준
대지	지(함)대지	<ul style="list-style-type: none"> • 전술/전략 탄도유도탄 • 지상/함정발사 대지공격 순항유도탄 	65~80%
		<ul style="list-style-type: none"> • 차량발사 유도로켓 • 대전차 유도무기 	50~65%
	공대지	<ul style="list-style-type: none"> • 공중발사 대지공격 순항유도탄 	65~80%
		<ul style="list-style-type: none"> • GPS 유도폭탄 • 레이저 유도폭탄 • 공중발사 유도로켓 • 공중발사 대전차 유도무기 	50~65%
대공	공대공	<ul style="list-style-type: none"> • 단거리 공대공 유도무기 • 중장거리 공대공 유도무기 	65~80%
	지대공	<ul style="list-style-type: none"> • 단거리/휴대용 지대공 유도무기 	50~65%
		<ul style="list-style-type: none"> • 중장거리 지대공 유도무기 	65~80%
	함대공	<ul style="list-style-type: none"> • 단거리 함대공 유도무기 • 중장거리 함대공 유도무기 	65~80%
대함	함(지)대함	<ul style="list-style-type: none"> • 함정발사 대함 유도무기 • 지상발사 대함 유도무기 	65~80%
		<ul style="list-style-type: none"> • 대함 유도로켓 	50~65%
	공대함	<ul style="list-style-type: none"> • 공중발사 대함 유도무기 	65~80%
		<ul style="list-style-type: none"> • 공중발사 대함 유도로켓 	50~65%

추가적으로 그림 5는 실패허용 수량 $k=1$ 일 때 명중률에 따른 신뢰수준 분석 결과로 명중률이 0.7 이상부터는 국내의 일반적인 최대 사격수량인 10발 내외 보다 많은 15발 이상 사격시에도 신뢰수준이 급격히 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히, 요구명중률이 0.9를 갖는 유도무기의 경우 50% 이상의 신뢰수준을 갖기 위해서는 최소 20발 이상의 사격이 필요한 것으로 분석되었다.

따라서 매우 높은 명중률(0.9 이상)을 갖는 경우는 신뢰수준을 크게 떨어뜨릴 수 있는 것으로 분석되었으며, 일정수준의 신뢰수준을 확보하기 위해서는 많은 시험사격 및 비용이 필요한 것으로 분석되었다.

<그림-5> 명중률에 따른 신뢰수준(Fail number $k=1$)



6. 결론

본 논문에서는 유도탄 사격시험 결과를 이용하여 유도탄 명중률 및 신뢰구간을 추정하는 방법과 적절한 유도탄 사격수량을 도출하는 방안에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 소량의 실사격 시험으로 유도탄 명중률과 신뢰구간을 추정하는 방안을 제시하였으며, 제시된 방법을 기반으로 유도탄의 사격수량을 도출하는 방안을 제시하였다.

국내의 유도탄 사격시험 현황은 주로 개발단계에서 명중률을 산술적으로 산정하기 위

해 최소수량이 유도탄으로 수행하였으며, 유도탄의 사격량 범위는 4~10발이고 평균 6발 수준으로 조사되었다. 국외의 경우 국내의 사격수량 보다 많은 8~15발, 평균 12.3발 수준의 사격시험을 수행한 것으로 조사되었다. 특히, 개발시제와 양산시제의 상이성 때문에 초도양산 단계에서 사격시험을 필수적으로 수행하고 있다.

유도탄의 사격수량을 도출하기 위해 Wilson score interval 추정방법을 활용하여 유도탄의 사격수량 및 사격수량 결정 절차를 제안하였다. 제안 방법은 먼저 체계관련 데이터 및 M&S를 활용하여 허용 실패 수량을 결정한 후 사업 예산 범위와 유도무기의 임무 역할 등을 고려하여 신뢰수준을 결정한다. 마지막으로 요구명중률과 허용 실패 수량 및 신뢰수준을 기준으로 최종 사격수량을 도출하는 절차로 이루어진다.

제안된 방법으로 국내 유도무기의 명중률 범위인 50~90%, 신뢰수준은 50~90%로 설정하고 유도무기의 사격수량 도출한 결과 허용실패수량 $k=0$ 인 경우 1~25발, $k=1$ 인 경우 4~42발, $k=2$ 인 경우 7~59발로 도출되었다.

최종적으로는 도출된 유도탄의 사격수량과 명중률 및 신뢰수준과의 상관관계 분석을 통해 유도무기에 따른 적절한 신뢰수준을 도출하고 효율적인 시험평가 방안을 제시하였다. 분석결과 국내 유도무기의 일반적인 사격수량이 최대 10발 내외인 점을 고려시 실패허용수량은 $k=1$, 신뢰수준의 범위는 50%~80% 수준에서 결정되는 것이 타당한 것으로 분석되었으며, 명중률 50~80%를 고려시 적절한 사격수량은 4~16발로 분석되었다.

유도탄 대상표적에 따른 신뢰수준은 명중 실패시에도 즉각적 반격이 없으며, 재공격 및 많은 사격이 가능한 일반표적을 대상으로 하는 유도무기는 50~65%의 신뢰수준이 적절한 것으로 판단되며, 표적을 제거하지 못할 경우 즉각적 피해를 받는 유도무기는 65~80% 수준의 신뢰수준을 확보해야 할 것으로 판단된다.

유도무기에 따른 신뢰수준 분석결과 대지유도무기의 경우 전략/전술 탄도유도탄 및 대지공격 순항유도무기는 신뢰수준이 높으며, 유도로켓과 대전차 유도무기 및 유도폭탄은 상대적으로 낮은 신뢰수준으로 분류되었다. 대공유도무기는 방호목적의 무기체계이기 때문에 공대공 및 중장거리 지대공유도탄은 높은 수준의 신뢰수준이 필요한 것으로 분석되었으며, 단일표적에 대해 여러발 사격이 가능한 단거리 및 휴대용 유도무기는 상대적으로 낮은 50~65%의 신뢰수준이 적용 가능할 것으로 분석되었다. 대함유도무기는 많은 사격이 어려운 고가의 대함유도무기는 신뢰수준이 높으며, 동시에 많은 수량의 사격이 가능한 대함 유도로켓은 상대적으로 낮은 신뢰수준으로 분류되었다.

추가적으로 매우 높은 명중률(0.9 이상)은 신뢰수준을 크게 떨어뜨릴 수 있는 것으로 분석되었으며, 일정수준의 신뢰수준을 확보하기 위해서는 많은 시험사격 및 비용이 분석되었다.

본 논문에서 제시된 결과는 실패허용수량 및 신뢰수준을 통해 구체적으로 유도탄의 사격수량을 도출하고 유도무기의 표적에 따른 신뢰수준을 제시하여 향후 유도무기 사격수량 도출 및 시험평가가시 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

○ 저서 및 논문

- [1] 방사청 : 정밀유도무기 신뢰도 관련 제도개선(안)
- [2] 2011 NDIA(Nation Defense Industrial Association) Test and Evaluation Conference, Raytheon Missile System.
- [3] D. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [4] E. B, Wilson, "Probable Inference, the Law of Succession, And Statistical Inference," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 22, 1927, pp. 209-212.
- [5] Huairui Guo, Sharon Honecker, Asmantios Mettas, Doug Ogden, "Reliability Estimation for One-Shot System with Zero Component Test Failures," *2010 IEEE Reliability and Maintainability Symposium*, Jan. 2010.