

## 정밀유도무기 시험평가 수량 결정 및 명중률 검증 방법론

이문걸<sup>\*1)</sup> · 황승훈<sup>1)</sup> · 백승령<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 국방대학교 국방과학학과

<sup>2)</sup> 국방대학교 국방관리학과

### Methodologies to Decide the Number of Samples and to Verify an Accuracy Rate of the Precise Guided Missiles for Test and Evaluation

Moon-gul Lee<sup>\*1)</sup> · Seung-hoon Hwang<sup>1)</sup> · Seung-Ryoung Baek<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Defense Science, Korea National Defence University, Korea

<sup>2)</sup> Department of Defense Management, Korea National Defence University, Korea

(Received 27 October 2014 / Revised 30 July 2015 / Accepted 14 August 2015)

#### ABSTRACT

The current methods, such as Binomial Probability Distribution or T-test, to calculate the number of samples of Precise Guided Missiles(PGMs) for test and evaluation are statistically problematic to make reasonable decisions thus use the budget efficiently. Also, the method to verify an accuracy rate of the PGMs using these old methods seems to be lack of objectiveness. This paper presents an effective, efficient solution adapted from the clinical medicine testing method of healthcare industry research, which may overcome our problems. This method considers and addresses both manufacturers' and consumers' risk simultaneously. By taking into account the weapon system project characteristics which take a relatively longer time and require higher-level budget, this approach also suggests a reasonable and feasible method to determine the amount of samples of the PGMs and making a criterion to verify an accuracy rate of the missiles that are required to test. Thus, this method is expected to contribute to acquisition and operations of high-reliability PGMs by MND and its field-users.

Key Words : Precise Guided Missiles, Test and Evaluation(T&E), Statistical Methodology, Number of Sample Size, Accuracy Rate

#### 1. 서론

국산 어뢰 ‘홍상어’ 미사일 시험평가의 경우 단순히 4발 사격 중 3발 명중으로 ‘합격’ 판정을 받았으며, 이후 실전 배치되어 만족스럽지 못한 결과(3발 모두 불발)로부터 우리는 다음과 같은 두 가지 핵심적인 문

\* Corresponding author, E-mail: bombslee@naver.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

제를 고민하게 되었다. “과연 몇 발의 미사일을 시험 해봐야 하는가?”, “이 중 몇 발이 명중해야 명중률이 달성되었다고 볼 수 있고, 결과에 대해서는 얼마나 신뢰할 수 있는가?”. 기존 재래식 무기로서 유도무기에 비해 상대적으로 저가인 일반투하폭탄(Bomb)에 대해서는 수많은 투하시험을 수행한다. 반면, 정밀유도무기의 경우는 고가의 시험비용이 소요되고, 장기간의 생산기간이 요구되며, 사용의 일회성 등을 고려할 때, 일반폭탄과 동일한 시험 접근법을 적용하는 것은 적절치 않다. 근본적으로 향후 생산될 전체 수량에 대한 대표성을 보장할 수 있는 시험 발수의 결정이 필요하다. 명중률의 검증도 시험수량 대비 명중수량의 비율로 요구 명중률 달성여부를 검증하는 단순 일차원성을 탈피해야 할 필요가 있다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 기본적인 통계학적 방법론인 신뢰수준과 검정력 개념의 적용 하에 정밀유도무기 사업 관련 비용과 개발일정 등의 절충사항(Trade-off)을 고려한 합리적인 운용시험평가 수량 산정 기준과 명중률 검증 방법론을 제시하고 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 국내 유도무기 운용시험평가 현황

국내 개발 정밀유도무기체계 시험평가 수량을 결정하는 핵심요소는 ‘요구성능(Requirement of Capability, 이하 ROC)상에 명시된 명중률이다. 이 명중률은 무기체계 소요결정 간 제시된 기준이며 이의 달성 여부는 관련 기관 담당 요원의 협의 하에 설정된 시험수량을 가지고 단순히 산술평균의 결과값 만으로 판정한다. 즉, 시험수량 대비 명중수량(이를 ‘획득명중률’로 정의)이 요구명중률 이상의 결과를 얻을 경우에 기준 성능을 만족한 것으로 판정하는 것이 현재의 절차라 할 수 있다.

그러나 이러한 수량산정 기준 및 명중률 판정 기준은 다음과 같은 문제를 안고 있다. 첫째, 설정된 시험수량이 내포하는 객관성이 결여되어 있다. 요구명중률이 달성되었는지를 산술적으로 계산 가능하도록 하고자 한다면 어느 수량이든 결정하여 시험이 가능하겠지만, 시험수량이 전체 생산량과 차이가 커질수록 대표성이 줄어들어 의사결정 오류 또한 증가할 수 있는 것이다. 그러므로 시험수량이 생산될 전체수량을 대표할

수 있는 최소 수량을 결정할 필요가 있다. 둘째, 단 한 번의 시험결과를 가지고 전체 체계의 특성을 결정짓는 오류를 범할 수 있다는 점이다. 즉, ‘매 훈련 때마다 기존 시험평가 이상의 결과를 보장할 수 있겠는가?’라는 물음에 대해서 어느 정도 확신할 수 있는지 답할 수 없다면 판정 결과에도 의문점이 남을 수밖에 없을 것이다.

결국, 시험평가 전 단계에 걸쳐 위와 같은 오류가 잠재되어 있다는 것을 고려한다면, ‘홍상어’와 같은 사례는 앞으로도 계속 반복될 가능성이 높다.

### 2.2 기존 연구 고찰

통계학적 개념 및 기타 객관적인 방법을 적용하여 이러한 문제를 해결하기 위한 연구로는 원신우 등<sup>1)</sup>의 실험계획법을 통한 무장투하정확도 시험평가에 대한 설계 방법의 연구가 있었으며, 정재환<sup>4)</sup>은 미국의 문헌정보<sup>10)</sup>를 바탕으로 원형공산오차(Circular Error Probability, 이하 CEP)<sup>1)</sup>를 고려한 일반투하폭탄의 시험수량을 산출하는 방안을 연구하였다. 또한 현준호 등<sup>6)</sup>은 일반투하폭탄 시험발수 산출을 위해 기존 축적데이터를 활용한 통계적 임계치(Critical Value)를 적용하는 방법을 제안하였으며, ‘위험수준에 의한 평가’방법을 적용한 명중률 판정 방안에 대해 제시하였다.

그러나 위 연구들은 일반투하폭탄의 시험수량을 결정하는 문제에 대한 연구결과로서 정밀유도무기 시험시체의 생산비용 및 기간을 고려할 때 현실성을 반영하지 못한 수량이 도출된다. 그러므로 위 연구결과를 정밀유도무기 분야에 곧바로 적용하기에는 적합하지 않다.

최근 국내에서 수행된 정밀유도무기 명중률 사전에 대한 연구 중 대표적인 사례는 다음 두 가지이다. 첫째, 권대홍 등<sup>3)</sup>은 시험수량 결정에 있어서 ‘이항확률분포(Binomial Probability Distribution)’의 누적확률 값으로 ‘신뢰수준(Confidence Level, 이하 CL)’을 산출하는 수식 (1)을 통해 시험수량 및 명중률 판정을 하는 방법을 제시하였다.

$$1 - P(X \geq j) = P(X < j) = \sum_{i=0}^{j-1} C_i p^i (1-p)^{n-i} = CL \quad (1)$$

1) CEP : 원형표적의 원점을 기준으로 탄착군의 50%가 포함되는 반경을 의미하며, 통상 meter단위를 적용하고, CEP값이 작은 값을 갖는 무기일수록 정밀한 명중률을 갖는 체계라 할 수 있다.

여기서,  $X$ 는 확률변수를,  $n$ 발 사격하여  $j$ 발 이상 명중한 발수를 나타내며  $i$ 는 0에서  $j-1$  발이며,  $p$ 는 해당 유도무기의 명중률이다.

김탁곤<sup>[2]</sup>은 ‘T-검정(T-test)’을 이용한 소량 시제 시험에 대한 명중률 판정에 대한 기준을 제시하였다.

$$\text{검정통계량} : T = \frac{(n/N) - p_0}{\sqrt{p_0(1-p_0)/N}}$$

$$\text{기각역} : T < -t_\alpha$$

여기서  $p_0$ 는 요구명중률,  $N$ 은 시험수량,  $n$ 은 명중수량을 나타낸다.

상기한, ‘이항확률분포 적용 방법론’ 및 ‘T 검정 적용 방법론’ 등은 정밀유도무기 시험평가 분야에 적용 가능한 이론적 특성들이 있으나, Table 1과 같이 몇 가지 제한사항으로 인해 직접적인 적용은 어렵다고 판단된다.

Table 1. Insufficiency of the existing methodology

이항 확률 분포 적용 방법론	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생산된 체계의 ‘명중률’ 기지(既知) 가정 필요</li> <li>• ‘신뢰수준’만 고려한 시험수량 산정</li> <li>• 운용성과가 우수한 기존 체계에 대한 낮은 신뢰수준 산출</li> <li>• 높은 신뢰수준 요구 시 과도한 수량 산출 (예; 요구명중률 90%, 신뢰수준 80% 충족을 위한 시험수량은 1발 불발 전제시 최소 29발 사격 필요)</li> </ul>
T-검정 적용 방법론	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이항분포의 T분포 근사 이론적 근거 부재</li> <li>• 시험수량 산정 불가/명중률 검증만 가능</li> <li>• 일반인들의 검정결과 납득 불가 가능성 (획득명중률 &lt; 요구명중률 경우에도 합격)</li> </ul>

요약하면, 이항확률분포 적용방법론은 신뢰수준만을 고려하고 개발자 입장의 시험수량 산정 방법이라는 측면에서 볼 때 소요군 입장에서는 적절성 여부에 대한 신중한 검토가 필요하다. T-검정 적용방법론 역시 소량 표본일 경우 이항분포가 T-분포에 근사한다는 가정을 전제로 한다는 문제점과 시험수량 산정이 제한되는 문제점이 있다. 또한 요구명중률과 획득명중률 사이에서 발생하는 차이에 의해서 사후 검정결과에 대한 문

제제기의 가능성이 높다는 단점이 있다.

즉, 위와 같은 제한사항으로 인해 현행 정밀유도무기 시험평가 단계에서의 직접적인 적용은 불가할 것으로 판단되며, 이를 보완할 수 있는 추가적인 연구 또는 새로운 방법론이 필요하다.

단, CEP개념의 명중률이 적용되는 공대지 정밀유도무기 체계의 경우에는 시험평가 간 측정되는 변수가 연속성을 갖는 ‘표적중심-탄착점 간 거리’임을 고려할 때 거리오차에 대한 T-검정 적용 방법론을 적용하는 것은 타당하다.

$$\text{검정통계량} : T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{S/\sqrt{n}}$$

여기서  $\bar{X}$ 는 표적중심에서의 오차거리,  $\mu_0$ 는 체계요구오차,  $S$ 는 샘플표본편차,  $n$ 은 샘플수량을 나타낸다.

### 2.3 시험수량 결정

#### 2.3.1 시험수량 산출 방법론

유도무기와 같은 고가·일회성 장비는 많은 수량을 시험 할 수 없다는 제약이 있다. 이는 의료분야에서 신약개발 검증을 위한 임상실험 대상자 수를 선정하는 상황과 유사하다. 통계학적으로 검증이 가능한 최소 신약시험 대상자 수의 산출 절차와 유도무기 시험평가 시 최소 시험수량을 산출 절차의 유사점에 착안하여 본 연구에서는 식 (2)와 같은 유도무기 시험수량 산정 방법론을 제시한다<sup>[11]</sup>.

$$n = \left\lceil \left[ \frac{Z_\alpha \sqrt{p_0(1-p_0)} + Z_\beta \sqrt{p_1(1-p_1)}}{d} \right]^2 \right\rceil \quad (2)$$

여기서,  $p_0$ 는 요구명중률이며 개발자의 입장을 대변하는 값이고,  $p_1$ 은 표본추출로 인해 불가피하게 발생하는 ‘표본오차(Sampling Error)’를 고려한 값으로서 대립가설의 잠재값을 나타낸다. 이는 (3)과 같은 가설의 수립으로부터 기인한 수식이다.

$$H_0 : p \geq p_0, \quad H_a : p < p_0 \quad (3)$$

(귀무가설)                      (대립가설)

또한,  $d$ 는 ‘유효크기(Effect Size)’로서 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d = p_0 - p_1 \quad (4)$$

$\alpha$ 는 개발자 입장에서의 신뢰수준을 나타내는 값이며,  $\beta$ 는 수요자 입장에서 해당 체계의 오차에 대해 어느 정도 양해하는 수준을 의미한다. 이는 제한된 시험수량으로 인해 발생하는 오차의 허용범위로서  $\alpha, \beta$ 는 각각 신뢰수준과 검정력을 결정하는 요소로서 이를 통해 시험수량으로 인해 발생하는 의사결정시 판단 기준으로 볼 수 있다. 다시 말하면 개발자와 사용자간의 협의된 수준으로 해석할 수 있으며,  $Z_\alpha$ 와  $Z_\beta$ 는 표준정규분포의 확률변수 값이다.

2.3.2 적정 유의수준( $\alpha$ ) 및 검정력( $1-\beta$ )

미국의 경우 군용 시험(Military Test)에 적용되는  $\alpha$  및  $\beta$ 는  $\alpha = 0.05$  or  $0.10$ ,  $\beta = 0.10$  or  $0.15$  이라고 알려져 있다<sup>7)</sup>. 단 시험평가 관련문헌<sup>10)</sup>에서는 경험적 데이터에 의해 ‘신뢰수준 80 %( $\alpha = 0.20$ )에서 CEP 허용오차 30 %’를 적용함을 언급하고 있다. 이를 기준으로 시험수량을 산출해보면 Table 2와 같다. 허용오차 30%로 동일하게 고정할 경우 식 (4)의  $d$  값이 증가함에 따라 명중률이 높을수록 표본 수량이 작아지는 결과를 가지게 된다. 즉, 요구 명중률이 낮은 체계가 시험수량이 많아진다는 결과는 합리적이지 않다.

Table 2. Calculating the sample size (1)

요구 명중률	65	70	75	80	85	90	95
요구 시험수량	22	19	15	13	10	8	5

※  $\alpha = 0.10$  and  $\beta = 0.15$ , 허용오차 30 % 일 경우

Table 3<sup>9)</sup>은 실제 미국에서 개발된 유도무기체계의 시험발사 수량이다. 미국의 경우 대부분 10발 이상의 시험발사가 실시된 것을 알 수 있고 특히, ‘7발 ~ 27발’의 분포를 보임으로써 Table 2에서의 결과와 매우 유사함을 알 수 있다.

이러한 방법론을 바탕으로 Table 4는 ‘신뢰수준 80 %, 검정력 80 %’를 적용하여 산출한 결과이다.

최근 개발된 국내 유도무기 요구명중률이 85 % 이상이며, 비용·기간을 고려했을 때, 최소 6발 이상의 시험사격이 가능한 현실<sup>7)</sup>을 고려한다면 Table 4의 결과는 보다 합리적인 시험수량이라고 볼 수 있다.

Table 3. Sample size of the past PGMs tests of U.S.

체계명	운용형태	개발연도	시험수량
JASSM	공대지	2003	7
Hellfire II	공대지	1995	12
ARROW	지대공	2000	12
RAM	함대공	1992	14
ESSM	함대공	2004	15
JSOW	공대지	1999	22
SLAM-ER	공대지	1991	22
AIM-9X	공대공	2008	27
평균			16.3

Table 4. Calculating the sample size(2)

요구 명중률	65	70	75	80	85	90	95
요구 시험수량	18	15	13	10	8	6	5

※  $\alpha = 0.20$  and  $\beta = 0.20$ , 표본오차 30 %

그러나 요구명중률이 높은 체계는 정밀도에 대한 요구수준이 높은 만큼 표본오차를 동일하게 적용하는 것은 타당하지 않다. 이러한 사항을 보완하기 위해 표본오차를 10 ~ 30 % 범위에서 차등 적용하면 현실적 상황을 고려한 시험수량을 산출할 수 있다. Table 5에서는 3 ~ 5 %씩 감소하게 차등적용 한 결과의 예이다. 즉, 명중률이 높은 체계 일수록 개발자와 수요자간의 허용오차 수준도 작게 설정하는 것이 바람직하다.

Table 5. Calculating the sample size(3)

요구 명중률	60	65	70	75	80	85	90
표본오차	30 %	21 %	24 %	21 %	18 %	15 %	10 %
요구 시험수량	31	32	33	35	37	40	42

※  $\alpha = 0.20$  and  $\beta = 0.20$

위 결과는 국내 시험환경을 고려했을 때 다소 과다한 수량이다. 그러므로 신뢰수준 및 검정력의 적용 값

을 각각 80 % 보다 낮게 조정함으로써 현실적인 수량을 도출해야 할 필요가 있다.

Table 6에서 볼 수 있는 바와 같이 ㉠ 국내 정밀유도 무기 체계개발비용이 최대 4,000억원 소요되었던 사실 및 ㉡ 발당 시험평가가 최대 50억원의 비용이 들었던 기존 개발 사례, 그리고 ㉢ 체계개발 예산에서 운용시험평가예산이 차지하는 비중이 체계개발비 대비 최대 20 %였던 점과 ㉣ 단발시험비용이 점차 증가하는 추세를 고려하여 ㉠ ~ ㉣ 등을 근거로 기존 개발사례를 종합 분석한 결과, 시험수량이 20발 이하의 범위 내에서 산출되도록 하는 적정 신뢰수준(검정력)은 60 ~ 70 %임을 확인할 수 있다.

참고적으로 신뢰수준과 검정력은 개발자와 소요군의 위험부담의 크기를 동등하게 하는 것이 타당하므로 두 값은 같은 값으로 적용하였는데, 즉 앞의 식 (2)에서  $Z_\alpha$ ,  $Z_\beta$ 를 같은 값을 대입하여 계산한 것이다.

Table 6. Analysis of the adequate of the confidence level(power of test)

구 분	체계 개발비	운용시험평가 비중	발당 시험비용	최대 신뢰수준
Case 1	1,000	20 %	10억원	70 %
Case 2	1,500	20 %	25억원	65 %
Case 3	4,000	6 %	50억원	60 %

이와 같은 결과를 근거로 하여 단발시험비용의 증감 여부를 기준으로 시험발수를 결정할 수 있는 개념을 아래와 같이 절충관계(Trade-off)를 적용하여 수립할 수 있을 것이다.

- 발당시험비용 高 ⇒ 시험발수 축소 ⇒ 신뢰수준 (검정력) 60 %
- 발당시험비용 小 ⇒ 시험발수 증가 ⇒ 신뢰수준 (검정력) 70 %

2.3.3 시험수량 산출 결과

시험비용 및 신뢰수준에 따른 요구명중률 별 시험발수를 도출해 보면 Table 7과 같이 정리할 수 있다.

예를 들어, 요구명중률 90 %, 발당 시험비용이 약 15억원 정도 소요되는 체계의 경우는 시험발수가 13발이라고 산출할 수 있고 이때 이 시험수량을 통해 실시

한 시험 결과에 대한 신뢰수준은 68 %라는 것을 알 수 있다.

위의 결과를 통해 00-II미사일의 경우처럼 시험비용이 고가인 체계의 시험평가에 대해 적은 수량 시험으로도 기존 연구<sup>[3]</sup>에서 제시한 신뢰수준 산출치보다 높은 신뢰수준을 확보할 수 있다는 장점이 있으며 예산을 고려한 현실적 시험수량 결정이 가능할 것이라 판단된다.

Table 7. Sample size by the level of the test cost and confidence level for each Accuracy rate

표본오차	30%	27%	23%	20%	18%	16%	14%	12%	10%
요구명중률	50	55	60	65	70	75	80	85	90
발당 시험비용 : 10억 미만 (신뢰수준/검정력 70%)	12	12	12	13	13	14	15	16	17
발당 시험비용 : 10억~20억 미만 (신뢰수준/검정력 68%)	9	9	9	10	10	11	11	12	13
발당 시험비용 : 20억~30억 미만 (신뢰수준/검정력 66%)	8	8	8	8	8	9	9	10	10
발당 시험비용 : 30억~40억 미만 (신뢰수준/검정력 64%)	5	5	6	6	6	6	7	7	7
발당 시험비용 : 40억~50억 미만 (신뢰수준/검정력 62%)	4	4	4	4	5	5	5	5	6
발당 시험비용 : 50억 이상 (신뢰수준/검정력 60%)	3	3	3	3	4	4	4	4	4

단, ‘공대지 유도무기(Air-to-Ground)’처럼 CEP명중률이 적용되는 체계에 대해서는, 위 결과 중 명중률을 50%에 해당되는 결과를 적용할 수 있다. 반면 정밀유도 무기 시험 또는 야전운영 데이터가 충분히 확보되거나 유사 체계의 데이터를 참고할 수 있을 경우에는 Scheaffer의 연구에 근거하여 식 (5)를 통해 시험수량을 결정하는 것이 더욱 적절할 것이다.<sup>[12]</sup>

$$n = \left\lceil \frac{(Z_\alpha + Z_\beta)^2 \sigma^2}{(\mu_0 - \mu_1)^2} \right\rceil \tag{5}$$

여기서,  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 유의수준 및 검정력을,  $\sigma$ 는 기존 유사 유도무기 체계가 형성한 탄착점 데이터의 표준편차를, 그리고  $\mu_0$  및  $\mu_1$ 은 각각 새로 개발되는 체계 및 기존 유사체계의 CEP를 의미한다.

2.4 명중률 검증

2.4.1 명중률 검증 방법론

시험결과가 확보되면 ‘이항검정(Binomial Test)<sup>[11]</sup>’ 방법을 적용하여 명중률 달성여부를 분석할 수 있다. ‘이항검정’은 치유율, 불량률과 같이 변수가 두 가지 결과를 갖는 모집단에서의 특정 결과가 갖는 비율  $p$ 에 관한 가설검정을 하는 방법론으로써, 특히 ‘소량의 샘플2)’에 대한 검정에 사용되며 ‘이항확률분포’에 대한 개념을 기반으로 한다. 본 분포의 확률밀도함수(PDF : Probability Density Function)는 식 (6)과 같다.

$$P(X=x) = {}_n C_x p^x (1-p)^{n-x} \tag{6}$$

여기서,  $x$ 는 확률변수이고 획득 명중발수를 의미하고,  $n$ 은 시험발수,  $p$ 는 요구명중률을 의미한다.

이때 수립하는 가설 및 기각역은 아래와 같다.

Table 8. Hypothesis and rejection-region of the binomial-test

가 설	기각역
$H_0 : p \geq p_0, H_a : p < p_0$	$R : X \leq c$

여기서  $c$ 는 ‘ $P(X \leq c | p_0) \leq \alpha$ 를 만족하는 최대 정수(허용발수)’로 정의하며 유의수준( $\alpha$ )과 함께 기각역을 결정하는 변수이다. 귀무가설은 개발자의 주장으로서 요구명중률 이상을 달성했다는 것을 나타내며, 대립가설은 소비자 주장으로서 달성하지 못했음을 나타내는 것이다.

2.4.2 명중률 검증 사례

예를 들어, 요구명중률 80 %인 체계가 시험비용이 10 ~ 20억 원일 경우 명중률을 달성 했는지 검정을 해 보면 다음과 같다.

위 표에서 각 셀 값은 P-value를 나타내며 ‘귀무가설이 참일 때 이를 지지하는 정도’로 정의한다. ‘P-value

2) 다량의 샘플에 대해서는 정규분포에 의한 가설검정을 해야 한다.

>  $\alpha$ ’이면 귀무가설을 채택하게 된다.

앞선 2.3절에서의 연구결과를 바탕으로 보았을 때, 주어진 조건에 대한 시험발수는 ‘11발’임을 알 수 있고, ‘8발’ 이상 명중한다면  $P-value > \alpha$ 를 만족하여 요구명중률을 달성했다는 주장이 채택됨을 알 수 있다.

Table 9. Acceptance and rejection region of the binomial-test

명중 시험 \	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	0.000	0.000	0.000	0.003	0.020	0.086	0.262	0.564	0.866	1.000			
10	0.000	0.000	0.000	0.001	0.006	0.033	0.121	0.322	0.624	0.893	1.000		
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.012	0.050	0.161	0.383	0.678	0.914	1.000	
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.019	0.073	0.205	0.442	0.725	0.931	1.000

\* 요구명중률 80 %, 신뢰수준 68 % 적용

위 표에서 각 셀 값은 P-value를 나타내며 ‘귀무가설이 참일 때 이를 지지하는 정도’로 정의한다. ‘P-value >  $\alpha$ ’이면 귀무가설을 채택하게 된다.

앞선 2.3절에서의 연구결과를 바탕으로 보았을 때, 주어진 조건에 대한 시험발수는 ‘11발’임을 알 수 있고, ‘8발’ 이상 명중한다면  $P-value > \alpha$ 를 만족하여 요구명중률을 달성했다는 주장이 채택됨을 알 수 있다.

서론에 제기한 “몇 발이 명중해야 명중률이 달성되었다 볼 수 있고, 결과에 대해서는 얼마나 신뢰할 수 있는가?”라는 문제에 대한 답을 본 사례를 통해 도출해 본다면, “8발 이상 명중했을 경우 요구명중률을 달성했다고 할 수 있고, 신뢰수준은 68 % 확보할 수 있다.”라고 답할 수 있을 것이다.

3. 결 론

본 연구에서는 통계학적 방법론과 무기체계 사업특성(사업기간, 시험비용 등)의 질충방안을 적용하여 정밀유도무기의 시험평가에서의 실발사 시험수량 결정과 명중률 검증 방안에 대한 방법론을 제안하였다. 상기 서술한 방법론의 적용 절차를 요약하면 아래 도표와 같다. 현재 운용중인 정밀유도무기 시험평가의 시험발수 결정 절차가 객관적 근거가 미흡하다는 사실을 고려했을 때 향후 시험발수 결정을 더욱 객관적으

로 산출할 수 있는 방법과 근거를 마련하는데 기여할 수 있을 것이다.

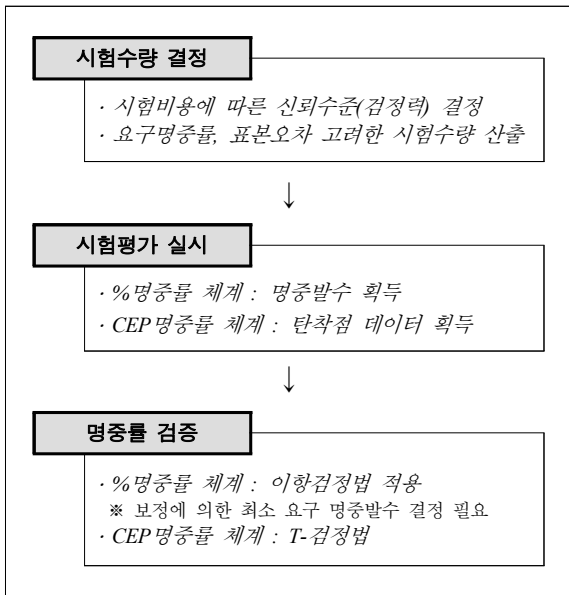


Fig. 1. The PGM's T&E Procedure using the statistical methodologies

또한 '신뢰수준' 및 '검정력'을 적용함으로써 개발자·소요군이 부담하는 상호간 의사결정의 위험(risk)을 가시적으로 확인할 수 있으며, 비용·기간 등 제약요소를 고려한 시험수량이 결정되도록 하여 기존의 방법론보다 더욱 현실적인 적용이 가능하도록 하였다. 그리고 명중률 검증에 대해서 이항검정법 적용에 따른 기존의 시험발수 대비 명중발수를 통한 일차원적 해석과 판정을 탈피하고 더욱 신뢰성 있는 체계가 야전 배치·운용 되도록 하는데 기여할 수 있을 것이다.

본 연구와 관련한 향후 발전사항으로는 첫째, CEP명중률을 적용하는 '공대지' 체계 등에 적용 가능하도록 'T-검정' 방법론을 정립할 필요가 있다. 이는 실제 정밀유도무기의 운용, 실험에서 획득한 탄착점 데이터를 필요로 하므로 향후 공군 운용부대 또는 시험부대의 훈련발사 간 계측장비의 지원을 통해 표적-탄착점 간 이격거리 데이터를 충분히 획득함으로써 기준 데이터( $\sigma$ )가 확보되어야 할 것이다. 둘째는, 발당시험비용이 상대적으로 적게 소요되는 체계의 시험을 위한 충분한 예산확보 마련 방안에 대한 연구이다. 특히, 발당 시험비용이 10억 이상으로 소요되며 명중률이 높은 고정밀

체계의 경우는 미국의 평균 시험발수(16.3발)에 육박하는 시험을 실시해야 하는데 이것이 실현될 수 있는 제도적 근거가 마련될 수 있는 방안이 모색되어야만 현실적이고 신뢰성 있는 시험이 이루어 질 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구가 시험평가 관련 분야에 제도화되어 적용된다면 앞으로 더욱 객관적이고 체계적인 정밀유도무기 시험평가 절차를 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 국내개발 유도무기의 수출 전략 측면에서 고신뢰성 유도무기의 시험평가 결과 근거를 대외적으로 제시할 수 있어 방위산업 분야 발전에 기여를 할 것으로 기대한다.

## References

- [1] D. H. Kim, Decision Measure of Sample Size of Test and Evaluation for Hit Rate of Guided Munition, Weapon System T&E Seminar Proceedings, pp. 464~475, 2013.
- [2] T. G. Kim, An Approach of Applying M&S Technique to Test and Evaluation, DAPA(Defense Acquisition Procurement Agency) Test and Evaluation Seminar Proceedings, 2014.
- [3] H. G. Kim and D. H. Kweon, Understanding of Test Sample Size of Guided Missile, Agency for Defense Development, 2013.
- [4] J. H. Jung, A Test and Evaluation Design Approach for Accuracy of Aircraft's Weapon Delivery, Korea National Defense University, 2005.
- [5] G. W. Jeon, S. O. Won and J. I. Ko, Test and Evaluation Design Methodologies for Weapon Delivery Accuracy by using Experiment Design Method, Research Information Center for Defense Science & Technology Vol. 1 No. 2, pp. 69~82, 2008.
- [6] J. H. Hyeon, A Study of Test and Evaluation Design Approach for Aircraft's Weapon Delivery Accuracy, Korea National Defense University, 2006.

- [7] R. J. Arnold and J. B. Knight, Weapon Delivery Analysis and Ballistic Flight Testing, 『AGARD AG300』 Vol. 10, pp. 25~26, 1992.
- [8] B. C. Yoon, H. W. Bae and J. Y. Kim, Probability and Statistics, Chong-mun Gak, Seoul, pp. 156~159, 1999.
- [9] F., Bernard, B., Michael, C. G., John and Y., Obaid, Test and Evaluation Trends and Costs for Aircraft and Guided Weapons, RAND Corporation, pp. 145~177, 2004.
- [10] Donald L. Giadrosich, Operations Research Analysis in Test and Evaluation, AIAA, p. 122, 1995.
- [11] Fleiss, Joseph. L, Bruce Levin, and Myunghee Cho Paik, Statistical Methods for Rates and Proportions (3rd), John wiley & Sons, New York, pp. 18~36, 2013.
- [12] Scheaffer, R. L. and McClave J. T., Probability and Statistics for Engineers(4th), Duxbury Press, California, pp. 424~425, 2003.