

항공 무장정확도 시험평가 방법에 관한 연구

(A Study on the T&E Method for the Aircraft
focused on Weapon Accuracy)

현 준 호(Jun-Ho Hyun)*, 강 성 진(Sung-Jin Kang)**

초 록

무장정확도는 무기체계 획득의 기본 지표가 되는 성능으로 이에 대한 정확한 개념 정립과 시험평가 방법의 설정이 요구된다. 기존의 항공무장의 정확도 시험평가 방법은 무장의 탄착형태를 정확하게 고려하지 않았다. 본 연구는 확률 및 통계기법을 이용하여 최적 CEP 계산법과 각 시험평가 단계별 평가방안을 제시하였다. 먼저, 알려진 여러 무장정확도 계산법 중 항공무장의 탄착형태를 반영하는 최적 CEP 계산법으로 록히드마틴 CEP법과 존슨 CEP법을 추천하며, 시험평가 단계별 최적의 시험평가 방법을 제시하였다. 본 연구결과는 항공 무장의 정확도 평가에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

The weapon accuracy is a basic measure of performance in the area of weapon system acquisition. It requires the establishment of correct concept and the T&E methods. Existing T&E method for aircraft weapon systems have not considered types of exact hitting area for various weapons. This study intends to suggest an optimal T&E methods in Korean T&E environment. In order to sampling and to test aircraft weapon accuracy, we need probability and statistic theories. There are many types of CEP(Circular Error Probable) methods. We recommend 2 types of CEP methods which are Lockheed Martin CEP method and Johnson CEP method. Also, suggest some other T&E methods. These methods can be used to accuracy test in the area of weapon system acquisition in the future.

Keywords : DT&E, OT&E, Sampling, Circular Error Probable, Weapon Accuracy

* 공군 소령, 공군 제52시험평가전대

** 국방대학교 교수

1. 서론

인간의 모든 의사결정과정은 오류를 범할 가능성을 내포하고 있다. 특히 무기체계 시험평가에서 합격을 불합격으로 판정하는 오류는 전력화 일정 및 개발자가 큰 타격을 받으며, 이는 결국 잠재적 비용 상승 요인이 된다. 반대의 경우, 사용군은 막대한 예산을 투입했음에도 불구하고 막상 전투력 상승에는 도움을 얻지 못한다.

현재 수많은 무기체계들이 작전배치 되어 운용중이나, 이들 무기체계에 대한 시험평가 기준, 절차 및 방법 등이 명확하게 정립되어 있지 않으며, 무기체계의 운용개념이 다름에도 불구하고 각 군별 평가기준이 대동소이하여, 이를 준용 및 혼용하여 사용하기도 한다. 이러한 문제점으로 인하여 시험평가를 수행하면서 적잖은 시행착오를 겪고 있으며, 시험평가 결과의 해석에 있어서도 개발자와 사용자간의 이견이 대립될 때도 있다.

따라서, 제한된 일정이나 비용으로 작전요구성을 평가해야 하는 시험평가 시 이러한 시행착오 및 상호간 마찰의 감소를 위해서 시험평가 방법론에 대한 연구가 요구된다. 특히 무장투하정확도 시험의 경우 무기체계의 향후 운용성에 중대한 영

향을 미치는 시험평가이므로 정확한 시험평가 방법이 설정되어야 한다.

그동안 시험평가 방법론을 다룬 몇몇 연구들이 있었지만, 이들 연구는 시험평가 일반사항에 관한 연구가 대부분이었으며, 정확도를 다루더라도 실제 항공무장의 정확도보다는 일반적인 정확도 개념을 적용하여 평가하는 방법을 제시하였다.¹⁾

본 연구에서는 항공무장 시험평가 중 무장투하 정확도 시험에 대해 확률이론 및 통계적 기법을 적용하여 제한된 자원 하에서 신뢰할 수 있는 시험평가 결과를 얻을 수 있도록, 최적 원형오차확률(Circular Error Probable, CEP)을 선정하고, 목표 신뢰수준과 CEP 허용오차를 고려한 시험평가 수행방안을 제시하였다.

2. 무장시험평가 실태 분석

시험평가(Test & Evaluation)는 시험과 평가의 복합어로 특정 무기체계가 기술적 측면 또는 운용관리적 측면에서 소요제거서에 명시된 제반 요구조건의 충족여부를 확인 검증하는 절차이며, 요구 성능에 대한 설계 및 기술적 도달정도에 중점을 두는 개발시험평가와 작전요구성능, 운용상의 적

〈표 2-1〉 개발시험평가와 운용시험평가의 차이

구분	개발시험평가(DT&E)	운용시험평가(OT&E)
통제권자	· 사업관리자	· 독립적인 기구
시험방법	· 영역 확장	· 다중 동시시험
시험환경	· 제한된 환경조건	· 운용 시나리오에 의한 현실적, 전술적 환경
참여범위	· 계약자 참여	· 제한된 시스템 계약자만 참여
시험자	· 훈련되고 경험있는 운용자	· 장비에 대해 최근에 훈련된 사용군
시험기준	· 정확한 성능목표와 기준 측정	· 운용효과와 적합성 측정
시험대상	· 규격서(Specification)를 시험평가	· 요구도(ROC)를 시험평가

1) 정재환(2005)은 시험평가 설계 방법론을 제시하였으며, 김성우와 성덕용(2002)은 공대지 무장투하 정확도 해석 시 무장의 탄착 편차형태를 동일($\sigma_x = \sigma_y = \sigma$)하다고 가정하였다.

합성 및 연동성에 중점을 두는 운용시험평가로 구분한다.[1]

의사결정을 지원하는 시험평가는 획득 과정의 진행을 위한 가장 중요한 수단이다. 그러므로 획득단계에서 수행되는 시험평가의 결과는 새로운 시스템이 사용군에게 효용성이 있는지를 예측하기 위한 완전하며 신뢰성 있는 자료가 제공되어야 하고, 사업의 지속여부에 대한 의사결정 지원을 위한 형태로 제공되어야 한다. <표 2-1>은 개발시험평가와 운용시험평가의 차이를 간략히 보여준다.[2]

무장시험평가는 항공기의 전투사용 가능성을 판단하는 데 있어 가장 중요시 되는 시험으로, 무장 운용조건에서의 안전성을 보장함과 동시에, 성능 요구조건을 만족할 수 있는 결과이어야 한다.

무장정확도 시험평가는 두 가지의 비행영역에 대하여 실시된다. 첫 째는 무장과 항공기 유동장(free-stream)과의 관계에 대한 시험이며, 운용시험평가에서는 일반적으로 고려되지 않는다. 둘째는 무장특성이나 투하조건에 의해 좌우되는 일반적인 개념의 비행시험으로, 시험평가의 결과는 무기체계의 효용성을 판단하는 궁극적인 기준이 되며, 결과물은 사표(bomb table)이다.

한편, 무기체계의 획득단계에서 여러 가지 작전요구성능이 제시되어 평가되지만, 이러한 기준자체가 다음과 같은 여러 가지 문제점을 내재하고 있다.

첫째, 현재의 시험평가는 요구도의 만족여부를 검증하고 판단하기 위해 단지 정해진 무장 발수만을 소모하는 경향이 있으며, 전수조사가 아닌 표본조사임에도 불구하고 표본 수 선정, 신뢰구간 및 신뢰수준 등의 통계적 개념의 적용이 다소 미흡한 상황이다.

둘째, 어떤 무장 시험평가를 실시할 때 객관적·통계적 자료에 근거하지 않고 과거의 값을 준용하여 평가하는 경우가 빈번하다. 과거의 값을 준용할 때 생기는 문제점은 무기체계의 실제 성능

에의 접근을 어렵게 하여, 그릇된 결과판정을 야기할 수 있다는 점이다. 물론 대상 무기체계가 기존 체계에서 일부분의 성능만을 개량할 시 과거의 평가 근거를 준용하여 사용할 수 있다. 그러나 신규 무기체계에 성능개량의 범위가 큰 경우에는 심각한 문제점을 야기할 수 있다.

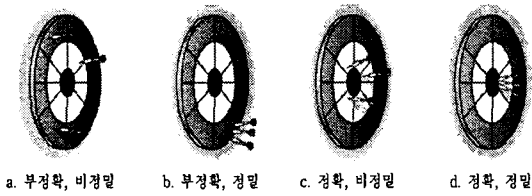
셋째, 평가기준과 평가방법이 모호하며, 평가에 임하는 관련부서들 간에 그 기준에 대한 이해의 정도가 다르다는 점이다. 예를 들면 어떤 무기체계의 사거리가 20km로 제시되었다면 평가자는 모든 시험의 결과가 20km 이상일 때 시험결과가 만족스럽다고 판단한다. 그러나 피평가자의 입장은 다르다.

또 다른 문제점은, 현재 무장시험평가에 제시되는 정확도는 평균탄착점(Mean Impact Point, MIP), CEP, 명중률 등으로 다르게 제시되고 있으나, 평가기준의 구체화 및 세분화가 미흡한 실정이다. 즉, 정확도의 개념은 사용군의 무장운용 개념에 따라 조금씩 다르므로, 그 계산법 또한 달라야 하나 획득규정이나 시험평가계획서에 명시되지 않고 있다.

3. 무장정확도와 확률/통계론

3.1. 정확도와 정밀도

시스템의 성능을 나타낼 때 종종 정확도와 정밀도가 혼용되어 사용된다. 그러나 무기체계 획득시 대상 무기체계의 특성과 운용목적에 따라 정확도와 정밀도 차이는 확연히 달라지므로 두 의미는 분명히 구분되어야 한다. 정확도는 참값에 대한 예측 값이 얼마나 가까이 있는가의 정도이며, 반면에 정밀도는 평균에 관측 값들이 얼마나 가까이 있는가의 정도이다.[3] 즉, 정확도는 데이터에 내재하는 오차의 정도를 나타내는 것으로서 예측되는 정확성을 나타낸다고 볼 수 있다. 이러한 정확도는 과대오차, 정오차, 확률오차에 의해 영향을



〈그림 3-1〉 측정시스템의 오차

받는다.)

<표 3-1>은 정확도와 정밀도에 대해 잘 설명해 주고 있다.[4]

3.2. 오차

측정자가 측정기구를 이용하여 어떤 물리량을 잰다고 할 때, 세심한 주의를 기울여 측정자의 과실이 없도록 측정하더라도 측정결과는 참값에 가까울 뿐 참값은 아니다. 참값은 정확히 알 수 없는 값이므로 오차도 정확히 알 수는 없고 추측할 수 있는 수치일 뿐이다. 측정에서 이러한 오차를 야

기하는 원인은 여러 가지가 있으나, 크게 계통오차와 우연오차로 분류할 수 있다. 일반적으로 계통오차가 없을 때는 측정의 결과가 정확하다고 말하고, 우연오차가 작을 때는 정밀하다고 말한다.)

시험평가자의 궁극적인 목적은 오류가 없는 완벽한 결과를 산출하는 것이다. 그러나 전수조사가 아닌 표본에 의한 시험평가로부터 그러한 목표를 달성하는 것이 불가능하기 때문에 현실적으로 어느 정도의 오류를 감수해야 하며, 감수할 오류의 신뢰수준으로 오차의 크기를 결정할 수 있다. 이러한 오류의 종류에는 제1종 오류(α)와 제2종 오류(β)가 있다.)

일반적으로 오류의 설정기준은 반복 가능한 실험에서는 오류를 크게($\alpha=0.10, \beta=0.20$) 하지만 반복이 불가능한 실험에서는 오류를 작게($\alpha=0.01, \beta=0.05$) 설정한다.[5] 가장 보편적인 접근법은 $\alpha < \beta$ 로 두는 것이나 제2종 오류의 결과가 제1종 오류의 결과보다 덜 심각하다는 이유가 있는 경우에만 적용한다. 통상, 제1종 오류를

〈표 3-1〉 정확도와 정밀도

구분		내용
정확도	Stability	시간 경과 후에도 어떻게 정확하게 수행되는지를 측정, 계측이 시간과 공간에 따라 변화되는 환경 속에서 동일제품을 측정할 때 발생하는 변동
	Linearity	측정범위 내에서의 측정 일관성을 벗어나는 변동
	Accuracy	Bias(측정 평균치와 기준치와의 차이) 변동
정밀도	Repeatability	동일 측정자가 동일 측정기로 동일제품을 측정하였을 때 발생하는 측정기 변동
	Reproducibility	다수 측정자가 동일 측정기로 동일제품을 측정 시 발생하는 측정자의 변동

- 2) 과대오차는 관측자의 실수와 장비의 불완전성으로 발생되며, 정오차는 환경요인과 장비의 원인, 인간의 능력한계로 발생하는 오차로, 과대오차 및 정오차는 훈련과 장비의 교정을 통해 오차요인을 제거하거나 오차 보정을 위한 수학적 모델을 적용하여 최소화할 수 있다. 확률오차는 관측자와 장비의 측정 한계에 의해 발생하는 오차를 말한다. 확률오차는 반복측정을 통한 통계적 분석에 의해서 조절이 가능하다.
- 3) 계통오차는 개인오차, 장비오차, 환경오차 등으로 세분된다.
- 4) 제1종 오류와 제2종 오류를 각각 생산자 위험, 소비자 위험 또는 양성오류(false positive), 음성오류(false negative)라고도 한다. 제1종 오류나 제2종 오류는 모두 오류이므로 이러한 오류를 범하지 않는 것이 최상이지만 그러한 가능성을 완벽히 제거할 수 없으므로 가능한 한 최소로 하는 것이 좋다.

범할 확률 α 가 커질수록 시험으로 인한 시간과 비용의 손실은 크기 때문에 α 가 0.01, 0.05 또는 0.10 정도의 낮은 수준에서 가설검정을 실시한다.

3.3. 투하발수

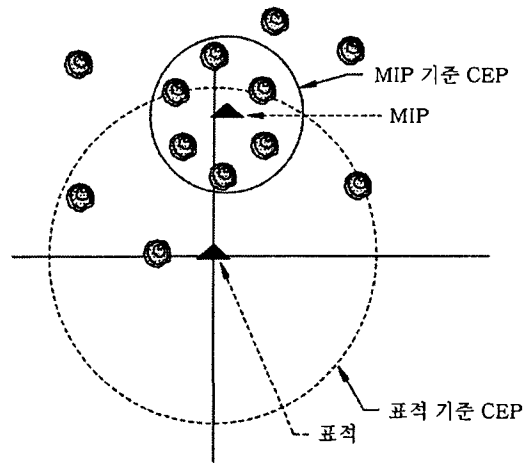
통계적 분석이나 실험설계 방법에 따라 표본 수에 대한 여러 공식이 존재하며, 이 공식들은 일반식(rules of thumb)을 유도할 수 있는 공통된 특성을 공유한다. 대부분의 수학적 가정은 모집단이 정규분포할 것이라는 가정 하에서 출발하며 표본 수를 결정하는 대표적인 방법은 다음과 같다.

$$\text{단측검정} : n = \left[\frac{(Z_\alpha + Z_\beta)\sigma}{\mu_a - \mu_0} \right]^2 \quad (3-1)$$

무기체계의 정확도 시험평가에서는 기준 충족 또는 미충족이 관심의 대상이 되므로 몇몇 경우를 제외하고 단측검정이 주로 사용된다. 단측검정은 양측검정보다 덜 보수적이지만 제1종 오류를 범할 가능성이 그만큼 증가한다. 위험 감수에 대한 결정은 통계적 고려사항보다는 사업의 여러 가지 상황을 고려하여 과학적, 논리적 판단 기준에 의해 결정되어야 한다. 참고로, 군용시험에서 대부분의 경우 $\alpha = 0.05 \sim 0.10$, $(1 - \beta) = 0.85 \sim 0.90$ 이 적당하다.[6]

3.4. 무장 정확도

무장정확도 분석의 기본 목적은 각각의 투하오차 원인을 식별하고 최종적으로 투하오차의 크기를 결정하는 것이다. 발사 또는 투하 시 항공기 진행방향으로 많은 전진 요소를 가지는 항공무장의 경우 육·해군의 무장정확도와 다른 방법으로 분



〈그림 3-2〉 MIP와 표적에 대한 CEP

석이 이루어져야 한다. 항공무장의 정확도 분석을 위해 요구되는 자료는 항공기 투하 조건 즉, 고도와 사거리이며, 항공무장의 경우 대체로 조종사의 조준점을 기준으로 분석하는 것이 바람직하다.

무장투하 비행시험 결과는 목표점 대비 탄착오차 거리로 측정되므로 이를 다시 MIL 단위로 변환하여 결과판정을 실시한다.5) 항공기의 공대지 무장투하 시스템은 일반적으로 4~40 MIL인 시스템 오차를 가진다.6)

탄착 정확도 분석의 두 기준은 MIP와 표적이며, MIP에 대한 CEP는 시스템의 산포도를 나타내고, 표적에 대한 CEP는 시스템의 정확도를 나타낸다. 만약 시스템에 어떤 bias가 존재한다면, <그림 3-2>처럼 MIP 주위의 CEP가 표적 주위의 CEP보다 작다.

무장정확도의 계산에 앞서 항공기로부터 투하된 무장의 일반적인 탄착점의 분포 형태를 정리해보면 <표 3-2>와 같다. 시간, 비용, 가용자원 등의 제한된 환경 하에서 탄착점이 정확히 어떤 분포인지를 확인하기는 쉽지 않으나, 대략적으로 정규분포한다고 가정한다.

5) MIL(milliradian)은 각도 단위로서 1MIL은 원주의 1/6400과 같으며, 1도는 대략 17.78MIL과 같다.

6) 김성우와 성덕용(2002)은 4~40MIL을 주장하였으나, 무장의 운용 목적에 따라 요구되는 정확도는 차이가 있으며, 동일한 무장이라도 투하조건에 따라 다른 정확도를 갖는다.

〈표 3-2〉 무장 탄착점의 형태

구분		평균	분산
bias 무	경우 1	$x_0 = y_0 = 0$	$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma^2$
	경우 2	$x_0 = y_0 = 0$	$\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$
bias 유	경우 3	$x_0 \neq 0, y_0 \neq 0$	$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma^2$
	경우 4	$x_0 \neq 0, y_0 \neq 0$	$\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$

또한, 조준점을 표적에 대해 보정($x_0 = y_0 = 0$)하고 x 와 y 방향으로의 탄착 형태는 각각에 영향을 미치지 않는다고 가정하면, 항공기에서 투하되는 무장의 전형적인 탄착형태는 지표면의 영향으로 항공기 진행방향으로 약간 긴 타원형의 형태를 가지므로 일반적인 탄착의 특성은 x 와 y 방향으로 각각 다른 분산의 형태를 가지는 경우 2로 가정하는 것이 추천된다.

관측점들의 수평위치 정확도를 평가할 경우 대부분의 경우 CEP 개념을 이용한다. CEP는 관측점들의 요구되는 확률이 포함되는 원의 반경으로 정의된다. 일반적으로 지도의 위치정확도평가에서는 90%, 무장의 탄착정확도 평가에서는 50%를 적용한다.[7] CEP에 대한 공식은 통계학자의 수만큼 많으며, 일반적인 CEP 산출방법은 다음과 같다.[8]

탄착점에 대한 오차거리의 분포함수를 x 와 y 축에 대한 독립된 이변량정규분포로 보면 이것은 다음 식(3-2)와 같이 표시될 수 있다.

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left[-\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (3-2)$$

만약, 측정장비로부터 야기되는 잠재적인 bias가 없고, $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ 로 가정하면 위 식은 원형 정규분포함수로 표현된다.

$$f(r) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3-3)$$

여기에서 r 은 원점 즉, 표적으로부터 오차거리의 반경을 말하고, 위 식을 이용하여 CEP를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{2\pi\sigma^2} \int_0^{CEP} \int_0^{2\pi} \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right] r d\theta dr = 0.5 \quad (3-4)$$

식 (3-4)로부터 반경 r 내에 측정값의 50%가 위치할 확률인 CEP는 다음과 같이 간단히 계산된다.

$$CEP = 1.17741\sigma \quad (3-5)$$

탄착형태가 정규분포를 따른다고 가정하더라도, 이변량정규분포가 갖는 다섯 개의 모수 즉, 각각 두 개의 평균과 분산, 한 개의 상관계수 때문에 현실적으로 이 식을 해결하는 것이 쉽지 않아서, 여러 가지 가정사항들이 추가된 간략화 방법들이 연구되었다. 다음은 현재까지 연구·개발된 대표적인 CEP 공식들 중 항공무장의 특성($\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$)을 반영하는 CEP 계산법의 예이다.

① 미공군 시험비행학교 CEP법(CEP_{AFTPS})

독립인 두 정규분포가 결합한 결합 이변량정규분포에 대한 이중적분의 해석 시간의 단축을 위해 미공군 시험비행학교에서 다년간의 경험에 의해 고안된 근사식이다.[9]

$$CEP_{AFTPS} = \begin{cases} 0.562\sigma_L + 0.615\sigma_S & \sigma_S/\sigma_L > 0.28 \\ 0.5887(\sigma_L + \sigma_S) & \sigma_S/\sigma_L < 0.28 \end{cases} \quad (3-6)$$

여기서, $\sigma_S = \min(\sigma_x, \sigma_y)$

$\sigma_L = \max(\sigma_x, \sigma_y)$

② 록히드마틴(LM) CEP법(CEP_{LM})

미공군 시험비행학교 CEP법과 유사한 LM CEP법은 항공기 제작업체인 미국의 록히드마틴에서 개발한 수식이다.[7]

$$CEP_{LM} = \begin{cases} 0.562\sigma_L + 0.615\sigma_S & \sigma_S/\sigma_L > 0.28 \\ \sigma_L \left(\frac{\sigma_S^2}{1.2\sigma_L^2} + 0.6745 \right) & \sigma_S/\sigma_L < 0.28 \end{cases} \quad (3-7)$$

③ Seek Eagle CEP법(CEP_{SeekEagle})

미공군 무장개발센터(Seek Eagle), 국방과학연구소(ADD) 및 AIAA Education Series에서 추천하고 있는 방식이다.[10]

$$REP = 0.6745\sigma_{range}, \quad DEP = 0.6745\sigma_{cross} \quad (3-8)$$

$$CEP_{SeekEagle} = 0.873(REP + DEP) \quad (3-9)$$

④ 개량 Rand-234법(CEP_{Rand})

1977년 미국 Rand 연구소에서 개발되었으며, CEP table의 3차 다항 회귀분석의 해석 결과치이다.[11]

두 표준표차가 동일하지 않을 경우, 크기에 따라 각각 σ_S, σ_L 이라고 할 때,

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{S_x^2 + S_y^2 - \sqrt{(S_x^2 - S_y^2)^2 + 4\rho^2 S_x^2 S_y^2}}{2}} \quad (3-10)$$

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{S_x^2 + S_y^2 + \sqrt{(S_x^2 - S_y^2)^2 + 4\rho^2 S_x^2 S_y^2}}{2}} \quad (3-11)$$

MIP에 대한 개량 Rand-234 CEP_{MPI}는 다음과 같다.

$$CEP_{MPI} = 0.563\sigma_L + 0.614\sigma_S, \quad \sigma_S/\sigma_L > 0.25 \quad (3-12)$$

이때 ν 를 CEP_{MPI}에 대한 bias의 비율로 보면,

$$\nu = \frac{bias}{CEP_{MPI}} = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{CEP_{MPI}} \quad \text{단, } \nu \leq 2.2 \quad (3-13)$$

$$CEP_{Rand} = CEP_{MPI}(1.0039 - 0.0528\nu + 0.4786\nu^2 - 0.0793\nu^3) \quad (3-15)$$

⑤ Valstar법(CEP_{Valstar})

Valstar법은 미공군 시험비행학교 CEP법 및 LM CEP법과 유사하며, MPI에 대한 CEP에 bias를 수정한 값이다.[12]

$$V_{MPI} = \begin{cases} 0.562\sigma_L + 0.615\sigma_S & \sigma_S/\sigma_L \geq 0.369 \\ 0.675\sigma_L + \frac{\sigma_S}{1.2\sigma_L} & \sigma_S/\sigma_L < 0.369 \end{cases} \quad (3-16)$$

$$CEP_{Valstar} = \sqrt{V_{MPI}^2 + x^2 + y^2} \quad (3-17)$$

⑥ Johnson CEP법(CEP_{Johnson})

Pitman은 CEP 타원의 비율이 이심율에 따라 일부 구간에서 선형적으로 변함을 수치해석으로 밝혀내었고, Johnson은 이를 이용하여 다음과 같은 CEP 공식을 제시하였다.[13]

$$CEP_{Johnson} = \begin{cases} 0.558\sigma_L + 0.622\sigma_S & \sigma_S/\sigma_L \geq 0.3 \\ 0.67\sigma_L - 0.015\sigma_S + 0.888\frac{\sigma_S^2}{\sigma_L} & \sigma_S/\sigma_L < 0.3 \end{cases} \quad (3-18)$$

⑦ 기타 CEP법

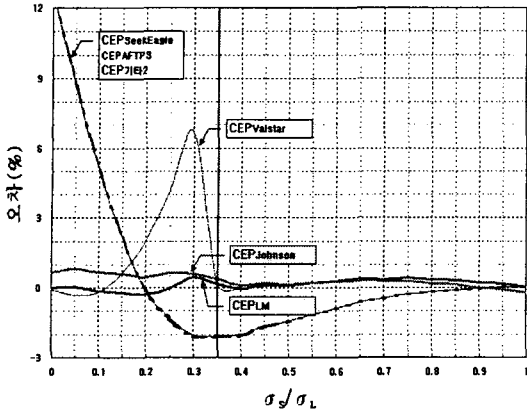
기타 CEP법은 1961년 Groves에 의해 개발되었으며, 분산 합의 중앙값이나 표본편차의 중앙값을 이용한다.[14]

$$CEP_{기타1} = 1.17741 \left(\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}{2} \right)^{0.5} \quad (3-19)$$

$$CEP_{기타2} = 1.17741 \left(\frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} \right) \quad (3-20)$$

위의 알려진 공식들은 타원형태의 탄착형태를 고려하고 있으나, 각 이심율 영역에서 다른 CEP

7) LM에서 다년간의 시험평가로부터 유도한 식이며, F-16계열 및 T-50 OFP에 반영된 값이다.



〈그림 3-3〉 분산비율에 따른 오차율 비교

값을 가진다. 무장정확도 시험평가의 기준 설정을 위해 제시된 공식에 대하여 Harter에 의해 계산된 CEP 값[15]과 공식에 의한 계산된 CEP 값이 어떤 차이를 보이는지를 비교한 결과는 <그림 3-3>과 같다.

대부분의 공식들은 분산비율(σ_S/σ_L) 0.35이상에서 비교적 True CEP에 근접한 값을 보였으며, LM CEP법과 Johnson CEP법은 전 이심률 영역에서 오차율 1% 이내를 보여 주었다. 이 결과로부터, 시험평가 결과판정을 위한 최종 CEP 계산법으로는 비교적 계산이 용이하며 전 분산비율 영역에서 잘 피팅되는 LM CEP법과 Johnson CEP법을 추천한다.

한편, 동일한 무장이라도 투하형태에 따라 정확도를 판단하는 기준은 달라야 한다. 특히, 무기체계의 사용목적에 따라 CEP보다 각각 x 와 y 축에 대한 거리와 편차에 대한 오차확률인 REP(Range Error Probable)나 DEP(Deflection Error Probable)가 더 큰 의미를 가질 때가 있다. 즉, 강하각이 작은 상태에서 투하되는 무장의 경우, CEP는 강하각이 감소될수록 무의미해지므로 REP와 DEP가 대상 무기체계의 특성을 더 정확히 나타낸다. 정규확률 분포 공식을 이용하여 REP와 DEP를 구해보면 다음과 같다.

$$REP = 0.6745 \sigma_y, \quad DEP = 0.6745 \sigma_x \quad (3-21)$$

일반적으로 CEP가 Mil로 표시되는 것과 달리 REP와 DEP는 지표면에 대한 거리 차를 feet로 표시한다.

표본을 이용하는 시험평가로부터 계산된 CEP는 무기체계의 실제 특성치를 완전하게 나타내지 못한다. 즉, 계산된 CEP는 하나의 정보를 주는 유일한 파라미터이지만, 사용된 표본수에 따라 주어지는 정보의 양은 천차만별이다. 그러므로 예산과 일정 등의 문제로 무한정 많은 폭탄을 사용할 수 없는 시험평가자는 표본 수에 신뢰수준의 개념을 적용하여 통계적 CEP 수준을 고려하여야 한다. 탄착영역의 CEP가 이루는 신뢰구간을 구하기 위해서 다음과 같은 통계적 개념을 적용할 수 있다. 만약 Z_i 가 평균 μ , 분산 σ^2 인 모집단으로부터 추출된 확률변수이라면, $\sum (Z_i - \mu)^2 / \sigma^2$ 은 자유도 n 인 카이제곱분포를 따른다. 동일한 방법으로 탄착점 X_i, Y_i 가 평균 0, 분산 σ^2 인 정규모집단으로부터 추출되었다고 가정하면 이들이 이루는 분포는 자유도가 $2n$ 인 카이제곱분포를 따른다.

$$\sum_{i=1}^n \frac{(x_i^2 + y_i^2)}{\sigma^2} \sim \chi_{2n}^2 \quad (3-22)$$

시험평가의 대상이 작은 경우, CEP 신뢰수준의 계산에는 일반적으로 카이제곱분포가 사용되며 표적과 MIP에 대한 CEP 신뢰수준은 다음과 같으며 신뢰상한(UCL, Upper Confidence Limit)만 고려한다.⁸⁾

$$TGT : CEP_{CL} = \frac{CEP_C}{\left[\frac{1}{2n} \chi_{1-\alpha, 2n}^2 \right]^{0.5}} \quad (3-23)$$

$$MIP : CEP_{CL} = \frac{CEP_C}{\left[\frac{1}{2n-2} \chi_{1-\alpha, 2n}^2 \right]^{0.5}} \quad (3-24)$$

8) USAF, 『Systems Theory and Flight Test Techniques : Store Certification』, USAF Test Pilot School, 1986, p.4.132.

여기에서 $\begin{cases} CEP_{CL} : CEP \text{ 신뢰수준} \\ CEP_C : \text{계산된 CEP} \\ n : \text{투하발 수} \end{cases}$

만약 10발에 의해 계산된 CEP가 100ft일 때의 90% 신뢰수준을 구해보면 다음과 같음을 알 수 있다.

$$CEP_{CL} = \frac{100}{\left[\frac{1}{2 \times 10} \chi_{0.9, 2 \times 10}^2 \right]^{0.5}} = 126.78 \quad (3-25)$$

즉, 동일한 시험을 반복한다면, 주어진 항공기 및 투하제원에서 투하된 폭탄의 90%는 표적에 대해서 126.78ft보다 크지 않은 CEP를 가진다는 것을 의미한다.

4. 무장정확도 시험평가 방안

소요군은 무기체계의 전력화 시점과 향후 운용 개념을 적용하여 미래 지향적 작전요구성능을 제시하나 미래에 대한 불확실성으로 인해 제시된 작전요구성능이 세부적이지 못한 경우가 있다. 반면에 무장정확도는 무기체계 획득의 결정적인 변수이며, 미래 환경변화의 불확실성에 대해서 비교적 자유로운 요구 성능이므로 가능한 한 세부적으로 제시되어야 한다. 즉 대상무기체계의 운용개념, 사용목적에 반영한 요구도가 제시되어야 하며, 이때 확률·통계적 개념이 포함되어야 한다. 또한 제시된 작전요구성능을 평가하기 위해서는 이를 측정하기 위한 적절한 평가장비와 계획의 수립이 필수적이다.

항공기체계 시험평가에서 무장 정확도 시험은 비록 장착물 인증과정의 일부이지만 무기체계 획득의 의사결정 과정에 매우 중요한 영향을 미친다. 정확도 시험의 목적은 무장이 표적으로부터 규정된 거리나 무장의 치명반경 내에 표적이 위치

하도록 투하된다는 것을 입증하는 것이다. 이러한 무장시험평가의 경우 시간이나 비용의 제약이 따르기 때문에, 정해진 기간 동안 최소의 비용으로 작전요구성능을 평가하여야 한다. 또한, 무장시험은 가능한 한 현실성 있는 작전 운용 영역을 반영하여야 하며, 이 영역은 무기체계 운용자에 의해 결정되어야 한다.

4.1. 개발시험평가

항공기의 투하정확도를 결정할 때, 고려되어야 할 중요한 요소 중의 하나는 각 형상에 대해 투하되어야 할 무장의 수를 결정하는 것이며, 획득된 자료가 통계적으로 유의하다는 것을 보장할 수 있는 만큼 충분한 무장이 투하되어야 한다. 항공기(OFPP)는 투하결과가 수락기준을 달성하거나, 사용자가 결과 값을 수락할 때까지 지속적으로 수정되어야 한다.

시방서의 설계기준과 성능 목표의 충족여부를 검증하는 개발시험평가의 경우 표본 수의 결정이 매우 중요하다. 정확한 성능 측정을 위해 많은 표본수를 선택할 경우 자연적으로 비용 상승과 일정 지연을 수반하게 된다. 그러므로 성능, 비용 및 일정의 상관관계 하에서 개발자와 사용자간에 합의된 신뢰수준과 위험을 고려하여 적절한 표본수가 선택되어야 한다. 종종 신규 무기체계에 유사장비의 시험 사례를 적용할 수 있지만, 이 경우는 개조 개발의 범위가 작을 때만 가능하고, 정확한 무기체계 특성 파악을 위해서 추가적인 시험이 요구된다.

가설검정에 의한 방법으로 표본수를 결정할 때 의사결정과정에서 오차를 범할 수 있는 척도인 α 와 β 값을 반드시 설정하여야 하며, 표본 수는 이러한 요구조건을 만족하는 충분한 정보를 제공할 수 있도록 선택되어야 한다.

9) Operational Flight Program의 약어로서, 전반적인 항공기 제어 프로그램을 통칭한다.

시험평가 시 모든 조건이 충족되어 계획된 투하 발수를 모두 투하하는 것이 이상적이지만 기상요 소나 돌발변수 등 여러 조건에 의해 계획된 대로 무장을 투하하지 못할 경우가 발생하며, 투하하였 더라도 평가의 대상이 되지 못하는 경우가 발생한 다. 이를 대비하기 위해 시험평가 계획단계에서 시험방법, 투하발수 등을 결정한 후 재비행율을 고려하여 최종 투하발수 및 비행소트를 산정하여 야 한다.¹⁰⁾

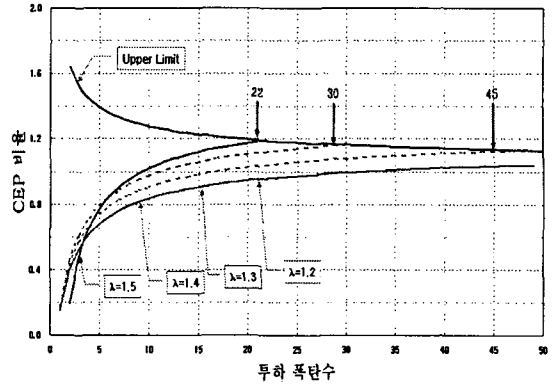
투하발수를 결정하는 몇 가지 방법은 다음과 같 다.

① 위험 수준(α, β, λ)에 의한 결정

신뢰성 검사에서 축차 샘플링 검사는 처음부터 많은 수의 표본을 취할 수 없는 경우에 적용^[16] 되며, 방식은 1개씩 또는 일정 갯수씩의 시료를 시험하면서 그 단계 성적을 그 때마다 판정 기준 과 비교함으로써 합격, 불합격, 검사 속행 중의 어 느 하나의 판정을 하는 검사형식이다.

위험수준에 의한 표본수를 결정할 때 요구되는 파라미터는 사용자 및 개발자의 위험과 판별비 율¹¹⁾이다. 판별비율(λ)은 좋은 시스템의 전지에 서 나쁜 시스템을 묘사한다. 판별비율 $\lambda = 1.4$ 의 의미는 만약 작전요구성능에 의해 규정된 CEP가 100ft이라면, 평가자는 140ft CEP가 작전요구성 능을 만족하는 것으로 수락하겠다는 의미이다. 물론 이러한 위험은 상당히 가변적이며, 시험이 실 시되기 이전에 사용자와 개발자는 불일치된 위험 에 동의하고, 적절한 판별비율이 선택되어야 한 다.

일단 평가를 위한 위험수준과 판별비율이 설정 되었다면 가변적인 표본 수에 대한 그림의 경계선



<그림 4-1> λ 와 표본 수의 관계($\alpha = \beta = 0.1$)

은 다음과 같이 계산할 수 있다.¹²⁾

$$\text{기각역} : \sqrt{\frac{\chi_{\alpha, n-1}^2}{n-1}} \quad (4-1)$$

$$\text{수락역} : \lambda \sqrt{\frac{\chi_{1-\beta, n-1}^2}{n-1}} \quad (4-2)$$

위 <그림 4-1>에서 보듯이 판별비율이 증가함 에 따라 수락영역이 증가하게 되고, 반대로 의사 결정을 위한 최대 표본 수는 감소하게 된다. 이것 은 판별비율을 증가시킴으로써 사전에 규정된 CEP보다 더 큰 CEP를 좋다고 할 의지가 있음을 보여준다.

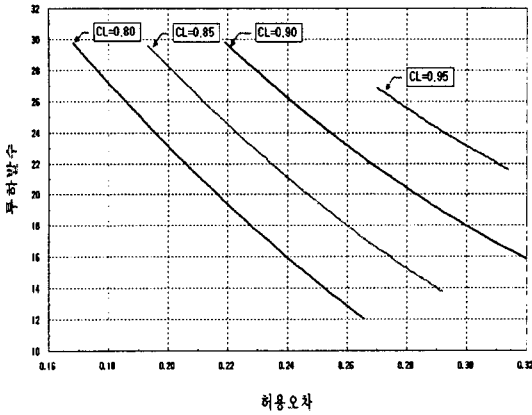
② 문헌 정보

새로 개발된 항공무장의 정확한 CEP를 확인하 기 위해 전수조사를 할 수 없으므로, 적절한 표본 수 선정을 위한 여러 연구가 수행되어왔다. 무장 투하정확도 시험에 필요한 투하발수 결정에 대한 내용은 AGARD AG300 Vol. 10에서 그 근거를 찾아볼 수 있다. 경험적으로 항공무장의 CEP는

10) 미 공군의 경우 경험적으로 20% 가량의 재비행율을 적용. T-50의 체계개발 기간 중 최초 계획된 재비행율은 20%이었으 나, T-50의 실제 재비행율은 31% 수준이었다.

11) Discrimination ratio, 신뢰성 적합 시험에서 합격이라 할 수 있는 최악의 신뢰성 특성 값의 한계값과 가능한 한 불합격 처리하고 싶은 신뢰성 특성 값의 한계값과의 비율을 말한다.

12) USAF, 『Systems Theory and Flight Test Techniques : Store Certification』, USAF Test Pilot School, 1986, p.4.132.



<그림 4-2> 추천되는 투하발수와 허용오차

80%의 신뢰수준에서 true CEP의 30% 범위 내에 있다고 여겨지며, 이때 각 투하조건에 대해 최소 12발을 추천한다.[17] 무장특성에 대한 자료축적이 미흡한 우리나라도 현재 이를 준용하여 사용하고 있다.

AGARD AG300 Vol. 10이 자체 산출 식을 제시하고 있지 않고 투하발수 예측그래프만 제시하고 있어, 표본 수 산출 식의 추정을 위해 111개의 표본을 투하발수 예측그래프로부터 추출하여 종속변수를 투하발수, 예측변수를 신뢰수준과 CEP 허용오차로 선택 후 회귀분석한 회귀식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{투하발수} = & 102.758 \times \text{신뢰수준} & (4-3) \\ & + 405.568 \times \text{허용오차}^2 \\ & - 356.993 \times \text{허용오차} - 3.9147 \end{aligned}$$

<그림 4-2>는 신뢰수준과 허용오차를 갖는 CEP를 추정하기 위해 요구되는 폭탄 수를 회귀식을 이용하여 그린 그림이다.

③ 기타 무장

확산탄, 공대지 유도무기 등 요구도가 명확히 설정되지 않은 무장 등 기타무장은 군 요구도가 투하발수 중 1발 이상 명중해야 하고 성공확률이

50%이며 성공과 실패의 두 가지 결과만이 존재한다고 가정하면, 이항분포를 적용하여 투하발수 계산이 가능하다.[18]

이항분포 적용 시 필요한 자료는 표적에 명중할 확률과 신뢰수준이다. 이 두 가지 값을 정해주면 군 요구도는 최소 1발 이상 명중으로 가정할 때 다음 식을 이용하여 투하발수를 계산할 수 있다.

$$\text{투하발수} : n \geq \frac{\log \alpha}{\log (1-p)} \quad (4-4)$$

여기서, p 는 명중확률이고 α 는 유의수준이다.

4.1.1. CEP에 의한 평가

CEP에 의한 평가법은 인가된 전 가용자원을 이용하여 대상 무기체계에 대한 최종 CEP 결과값을 도출할 때 사용될 수 있다. 앞서 추천된 LM CEP 법이나 Johnson CEP을 이용하여 정확도 분석을 실시할 수 있으며, 이때 조종사의 부주의한 조준, 무장투하를 위한 서브시스템의 고장 등의 시험 외적인 영향으로 인해 큰 오차를 갖는 것이 확인된 폭탄은 시험평가 실시 전에 설정된 적절한 절차를 거쳐 계산에서 제외되어야 한다.

한편, 정확도 분석의 결과는 표본에 의한 시험 평가임을 고려하여 결과값과 이에 대한 신뢰수준을 명시해야 한다. 또한, 무장정확도는 사용된 무장의 특성에 따라 판단기준이 다르게 적용되어야 하므로, 평가된 무장이 전진 벡터가 많은 라켓이나, 저각도에서 투하된 무장일 경우 CEP보다는 REP와 DEP로 무장정확도가 제시되고 평가되는 것이 추천된다.

4.1.2. 위험 수준에 의한 평가

위험수준에 의한 순차비율시험은 신뢰성 검사의 축차 샘플링 검사 방식을 응용한 방법으로, 투하될 발수가 제한되어있을 때 매 투하발수마다 누적 정확도를 평가하고 대상 무기체계 시스템이 미리 정의된 기준을 만족하는지를 판단하는 기준을

제공한다. 이러한 단계별 평가방법은 조기 의사결정을 지원한다.

시험은 요망된 프로파일과 투하모드에서 수행되며, 각 투하시도 당 하나의 무장이 투하되고 각 탄착점에 대해 CEP를 계산한다. 이 CEP로부터 CEP 비율(계산된 CEP/규정된 CEP)을 구하고, CEP 비율이 “지속시험” 영역에 있다면, 수락이나 기각영역에 진입할 때까지 순차적으로 시험을 계속 투하한다. 만약, 24발의 폭탄 투하가 계획되었는데, 19번째 폭탄이 기각영역에 들어갔다면 시험은 중지되어야 하며, 기각영역에서 탈출할 수 있는지를 보기 위해 24번째 폭탄까지의 투하 시도를 중지한다. 수락영역에 진입 시는 사전에 합의되고 정의된 방식을 수행한다.

4.2 운용시험평가

운용시험평가의 목적은 개발시험평가를 통하여 입증된 설계기준 충족성, 감항성 및 전반적인 작전요구성능을 운용환경을 고려하여 세부 작전요구성능의 충족여부를 판단하는 것이다. 시험을 통해서 불만족 사항의 수정과 개선이 가능한 개발시험평가와는 달리 운용시험평가는 그 평가결과 자체가 의사결정의 근거가 된다. 그러므로 운용시험평가를 위해 표본 수를 설정할 때에는 요구된 정확도에 대한 수용 가능한 위험수준과 판정기준을 먼저 결정하여야 하며, 성능뿐만 아니라 비용, 일정 등을 고려하여 잠재적인 비용 상승과 일정 지연을 억제하고 요망된 전투력을 얻을 수 있도록 설정하여, 의사결정자의 조기 의사결정 지원을 도와야 한다.

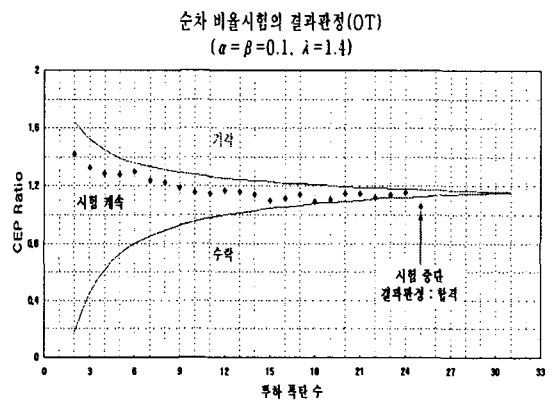
운용시험평가에서는 개발시험평가에서의 평가결과로부터 정확도 평균, 분산 등의 무기체계의 기본특성을 파악할 수 있으며, 이를 근거로 적절한 위험(α, β)을 고려하면 식(3-1)과 같은 방법으로 투하발수를 설정할 수 있다.

의사결정에 요구되는 표본수와 신뢰구간은 모

든 시험계획자들에게 매우 중요한 고려사항이며, 실제로 표본 추출과정은 많은 비용과 시간을 요구하므로, 운용시험평가에서는 표본 추출을 중단하기 위한 정지 규칙(stopping rule)을 정의하여 순차적으로 표본을 추출하고 시험평가를 실시하는 다중표본추출 방법이 추천된다. 다음은 통계적 정지 규칙을 이용한 운용시험평가 방법이다.

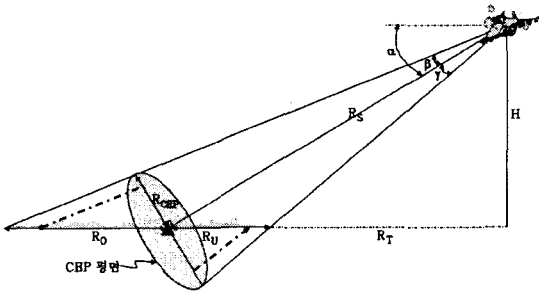
4.2.1. 위험 수준에 의한 평가

개발시험평가의 순차비율시험을 동일하게 적용할 수 있다. 개발자와 사용자의 위험 및 판별비율이 설정된 상태에서 시험평가를 진행하며 기각역에 도달함과 동시에 시험평가를 종료하고 대상 무기체계를 불합격으로 결과판정을 할 수 있다. 또한 사전에 정해진 폭탄 투하발수가 도달되었음에도 불구하고 수락역에 도달하지 못하면 역시 불합격으로 판정할 수 있다. <그림 4-3>은 순차비율 기법을 이용한 운용시험평가 예이다. 전체 30발의 무장투하가 계획되었으나 25발의 무장이 투하된 후 CEP 비율이 “수락” 영역으로 진입하였으므로 의사결정을 위해서 나머지 5발에 투하를 시도하지 않아도 된다.



<그림 4-3> 순차비율시험의 결과판정 예

만약 통계적으로 더 의미있는 CEP가 관심의 대상일 경우에는 계획된 무장 30발을 투하할 수 있



〈그림 4-4〉 CEP 평면 기하학

으나 운용시험평가의 목적 상 추천되지 않는다.

4.2.2. CEP 타원에 의한 평가

항공무장의 정확도에 대한 작전요구성능은 일반적으로 Mil 단위로 제시되는데 이는 무장투하 고도와 강하각에 밀접한 관계가 있으며, 원형보다 타원의 형태에 가깝다.

$$CEP \text{ 타원} = f(\text{투하고도}, \text{강하각}, \text{Mil}) \quad (4-5)$$

평가를 위해 작전요구성능에 제시된 Mil을 거리(ft)로 환산하고, 탄착점의 최대 탄착 허용한계선인 CEP 타원을 먼저 결정하여야 하며, 산술적으로 투하된 발수의 50%가 이 CEP 타원 내에 탄착될 때 합격이라고 판정가능하다.

위의 CEP 평면 기하학로부터 CEP 타원을 구하는 계산식을 정리하면 다음과 같다.

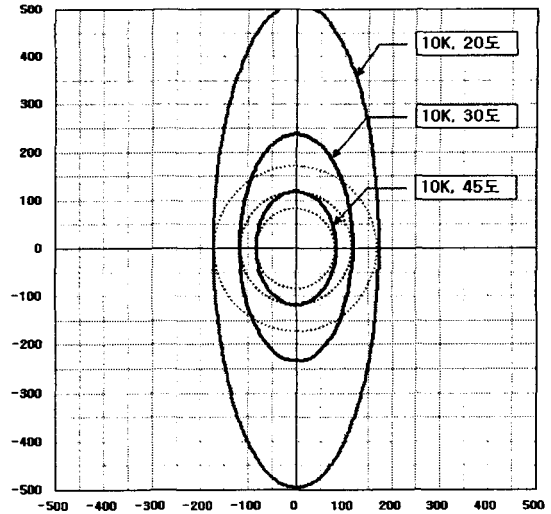
$$R_O = \frac{H}{\tan(\alpha - 0.05625 \times \text{Mil})} - \frac{H}{\tan(\alpha)} \quad (4-6)$$

$$R_U = -\left(\frac{H}{\tan(\alpha)} - \frac{H}{\tan(\alpha + 0.05625 \times \text{Mil})} \right) \quad (4-7)$$

$$R_C = \frac{H \times \tan(0.05625 \times \text{Mil})}{\sin(\alpha)} \quad (4-8)$$

R_O 와 R_U 를 알면 해석기하학의 타원 방정식을 이용하여 CEP 타원을 최종적으로 결정할 수 있다.

〈그림 4-5〉는 각 고도/강하각별 요구되는 CEP 타원의 예이다. 그림으로부터 평가를 위한 CEP가 개념적인 CEP보다 항공기 진행방향으로 편이 되

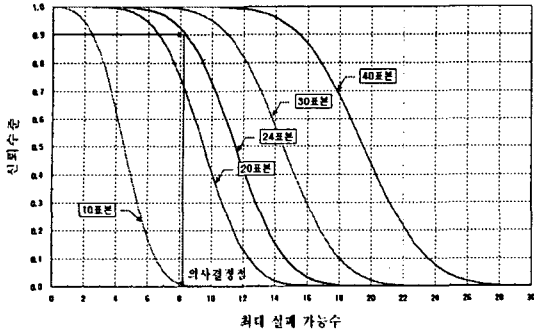


〈그림 4-5〉 강하각별 CEP 면적 비교(6Mil)

었음을 알 수 있다.

또한, CEP 타원의 이심률은 강하각에 가장 많은 영향을 받음을 알 수 있는데, CEP 면적에 의한 정확도 판정의 영향성을 알아보기 위해 면적을 계산해 보면 CEP 타원 면적은 강하각에 반비례하며, 일반적인 사격영역인 30도 강하각에서 2배의 차이가 발생함을 알 수 있다. 그러므로 항공무장의 정확도 시험평가 시 CEP 타원에 의한 평가가 타당하며, 강하각이 낮을수록 CEP법에 의한 정확도 평가보다 REP/DEP에 의한 평가가 유효한 의미를 가지므로, 이를 평가 시 반영하여야 한다.

운용시험평가의 정확도는 투하발수와 CEP 타원이 정해진 상태에서, 투하발수에 대해 최소 몇 발이 명중해야 합격인지 이항순차시험[19]을 통해서 판단할 수 있다. 즉, 투하된 폭탄의 최소 50%는 요구되는 CEP타원 내에 탄착이 이루어져야 한다. 이는 최대 실패 허용발수 개념으로 “One-Shot Devices” 방법을 응용하여 구할 수 있다.[20] 만약, 신뢰수준 80%에서 투하된 24발의 폭탄 중 이미 9발이 CEP 타원 내에 탄착되지 못했다면 더 이상의 투하 시도는 결과에 영향을 미치지 못하므로 시험평가는 중단되어야 하며, 조기 의사결정 지원을 위해 결과는 불합격으로 판정 건



〈그림 4-6〉 신뢰수준에 대한 최대 실패 가능 수

의되어야 한다. <그림 4-6>은 표본별 신뢰수준에 대한 최대 허용 가능한 실패수를 보여준다.

4.3. 사례연구

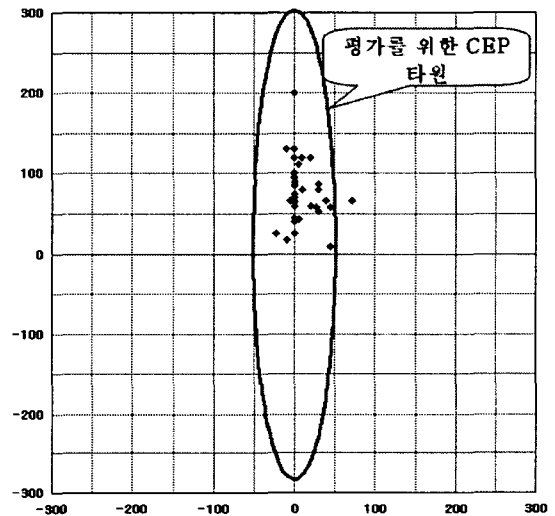
국내에서 항공기 무장투하 정확도 시험은 몇 차례 실시되었으며¹³⁾, 본 연구에서는 TA-50 무장시험자료를 이용하여 CEP분석과 시험평가 방법을 분석하였다.

TA-50 무장시험자료는 보안상의 이유로 무장시험평가 기간 중 일부 3개월간의 탄착결과만 공개되었기에, 이 분석결과는 최종 TA-50 무장정확도 시험평가 판정결과와는 다르다. LM CEP 계산법을 사용하여 CEP를 분석한 결과는 <표 4-1>과 같다. 전체 45발의 MIP는 (8, 75.5)이었으며, CEP_{MIP}는 29.86ft, CEP_{Tgt}는 60.09ft이었다. CEP 결과로부터 표적에 대한 CEP와 MIP에 대한 CEP가 큰 차이가 나며, 표적과 MIP가 잘 일치하지 않는 점으로 미루어 무기체계 시스템 내에 향후 수정이 필요한 고유 bias가 존재한다는 결론을 도출하였다.

또한, 전체 CEP와 각 투하모드별 CEP간의 차이가 존재하므로, 비록 작전요구성능의 정확도가 한 가지로 명시될지라도 여러 가지 투하모드로 시험될 경우 탄착모드별 CEP 평가가 이루어져야 함

〈표 4-1〉 T-50 무장시험 평가 결과 분석

구분		계산결과	
CEP	전체	CEPMIP	29.86
		CEPTgt	60.09
	10도	CEPTgt	70.33
	20도	CEPTgt	54.64
	30도	CEPTgt	54.31
	45도	CEPTgt	67.82



〈그림 4-7〉 CEP 타원에 의한 평가

을 알 수 있었다.

시험평가 단계별 분석은 공개된 TA-50의 무장시험 자료가 무장시험평가의 일부 자료로써, 본 연구의 분석을 위해 동일한 무장 투하제원(요구정확도 6MIL, 고도 1,500ft, 강하각 10도)에 의한 탄착 자료로 가정하였다. 투하제원에 의한 CEP 타원은 장축 293.4ft, 단축 50.9ft를 갖는 타원으로 <그림 4-7>과 같다. 투하된 45발의 폭탄 중 1발만 CEP타원을 이탈하였으므로 합격으로 판정할 수 있다.

13) XKO 라켓, KT-IC 기총, T-50 무장, A-50 무장시험 등

5. 결 론

우리군은 자주국방의 목표아래 수많은 무기체계를 연구개발하여 왔으나, 아직도 일부 무기체계 분야에서 시험평가 개념 및 기준 설정이 미흡한 상태이다. 국내 여전상 작전요구성능을 검증하기 위한 시험평가에 시간과 비용을 무제한 제공할 수 없음을 자명한 사실이다. 따라서 제한된 기간과 가용 예산범위 내에서 가장 효과적으로 시험평가의 목적을 달성하기 위해서는 시험평가 방법론 연구와 효율적인 시험평가 계획 수립을 통해 최소의 비행으로 최대의 효과를 얻을 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해 충분한 자료 축적이 필수적으로 요구되며, 시험평가 시작 전에 개발자와 사용자간에 서로 동의할 수 있는 위험수준을 정의해야 하고, 확률·통계이론에 입각하여 적절한 작전요구성능이 설정되어야 한다. 또한 조기 의사결정 지원을 위한 평가방법 및 결과판정 방법도 제한된 시험평가 비용의 중요한 고려요소이므로 사전에 명확히 제시되어야 한다. 통계적으로 허용치를 이탈한 범위를 지속 수행하는 것은 비용뿐만 아니라 안전적인 요소에서도 중대한 문제를 야기할 수 있으므로 조기에 차단·제거해야 한다.

본 연구에서는 무기체계 선정의 가장 중요한 변수 중에 하나인 무장정확도 시험평가에 대하여 확률·통계 이론을 적용하여 제한된 자원 하에서 신뢰할 수 있는 시험평가 결과를 얻을 수 있도록, 최적 CEP 계산법, 무장 정확도 시험평가 방법론 및 결과 판정 방안 등을 제시하였으나, 이는 무장시험평가 중 극히 제한적인 영역으로, 전체 무장시험평가를 효율적으로 수행하기 위해서는 무장투하 정확도 이외의 시험평가 분야에 대해서도 체계적인 분석 및 방법론 연구를 통한 시험평가 계획과 수행이 필수적으로 요구된다.

참고문헌

- [1] 공군본부, 『공규12-10 : 개발시험비행 요원 관리 절차』, 2006, p.3.
- [2] 『Test and Evaluation Management Guide』, Defense Systems Management College Press, 1998, p.6-4.
- [3] 『APN-029 Rev 1: GPS Position Accuracy Measures』, NovAtel, 2003, p.1-6.
- [4] 『Six-Sigma 추진자 및 품질 관리자를 위한 MINITAB 실무 완성』, 이레테크, 2001, p.9-1.
- [5] 김 호, “적절한 연구대상수의 산출”, 『대한마취과학회지』, Vol 42, 2002. p.1-10.
- [6] Giadrosich, Donald L. 『Operations Research Analysis in Test and Evaluation』, AIAA, 1995 p.122.
- [7] 김성우, 성덕용, “공대지 무장투하 정확도 해석”, 『항공기 개발기술 심포지움』, 2002.
- [8] Tauh, Andrey E. and Marlin A. Thomas, 『Confidence Intervals for CEP when the Errors are Elliptical Normal』, Naval Underwater Systems Center, 1983, p.3-2.
- [9] USAF, 『Systems theory and flight test techniques - Store Certification』, USAF Test Pilot School, 1986. p.4-120.
- [10] Giadrosich. Donald L, 『Operations Research Analysis in Test and Evaluation』, AIAA, 1995, p.122.
- [11] Puhek. Peter, “A Sensitivity Analysis of Circular Error Probable Approximation Techniques”, Air Force Institute of Technology, 1992. p.3-4.
- [12] Williams. Charles E, “Comparison of Circular Error Probable Estimators for Small Samples”, Air Force Institute of Technology, 1997, p.15.

- [13] Childs. Donald R. et al, 『Error Statistics for Normal Random Variables』, Naval Underwater Systems Center, 1975, p.8.
- [14] Tauh. Andrey E. and Aarlin A. Thomas, “Confidence Intervals for CEP When the Errors are Elliptical Normal”, Naval Surface Weapons Center, 1983, p.3-2.
- [15] Harter. H. Leon, “Circular Error Probabilities”, Journal of the American Statistical Association, Vol. 55, No. 292, 1960, pp.727~728.
- [16] Dod, “MIL-HDBK-781A : Reliability Test Methods, Plans and Environments for Engineering, Development Qualification and Production”, 1996
- [17] AGARD AG300 VOL 10, Weapon Delivery Analysis and Ballistic Flight Testing, AGARD, 1992, p.27, p.A-4.
- [18] 정재환, “연구개발 항공기 무장투하정확도 시험평가 설계 방법에 관한 연구”, 국방대학교, 2005, pp.35~36.
- [19] “Understanding Binomial Sequential Testing”, 『START Sheet』 Vol 12, No 2, RAC, 2005.
- [20] “Analysis of One-Shot Devices”, 『START Sheet』 Vol 7, No 4. RAC, 2000.

현 준 호 (E-mail : kafa40@hanmail.net)

1992 공군사관학교 졸업(이학사)
현재 공군 52시험평가전대
관심분야 시험평가, 최적화

강 성 진 (E-mail : sjkang@kndu.ac.kr)

1974 육군사관학교 졸업(이학사)
1983 미 해군대학원 OR/SA 졸업
1988 미국 Texas A&M University 산업공학과 졸업(박사)
현재 국방대학교 교수부장
관심분야 비용분석, 군사 OR, 자원배분 및 할당

〈주요저서 / 논문〉

- 군사운영분석 이론과 실제, 국방대학교, 1996.
- 무기체계 비용분석시 학습률 적용방안, 교수논총, 2003.
- 군사 OR 이론과 응용, 두남출판사, 2004.
- PRICE 모델을 이용한 무기체계 경제수명 결정방법 연구, 한국국방경영분석학회지, 2004.
- 국방 연구개발 사업의 제도적 비용관리 및 획득단계 비용평가 방안 연구, 정책분석 평가회보 제15권 4호, pp.1-28, 2005.
- PRICE S 모델을 이용한 무기체계 내장형 소프트웨어 비용추정 기법, 정보처리 학회지 제130-5호, pp.717-723, 2006.
- 국방 물류비용 추정모델에 관한 연구, 국방경영분석학회지 제32권 2호, 2006.