

AESA 레이더 최대탐지거리의 통계적 접근

탁대석 신경수*

국방과학연구소

Statistical Approach for AESA Radar Maximum Detection Range

Daesuk Tak, Kyung Soo Shin*

Agency for Defense and Development

Abstract : Statistical hypothesis tests are important for quantifying answers to questions about samples of data. The Step Process of Statistical Hypothesis Testing; state the null hypothesis, State the alternate hypothesis, State the alpha level, Find the z-score associated with alpha level, Find the test statistic using this formula, If the calculated t distribution value from the data is larger than the t distribution value of alpha level, then you are in the Rejection region and you can reject the Null Hypothesis with $(1-\alpha)$ level of confidence.

Key Words : Test of hypothesis, null hypothesis, alternative hypothesis, p-value, significance probability

Received: May 8, 2019 / **Revised:** July 16, 2019 / **Accepted:** July 16, 2019

* 교신저자 : Kyung Soo Shin, dstak@add.re.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

특정 무기 체계 개발을 위해서는 기술적 측면 또는 운용 관리적 측면에서 소요 제기에 명시된 제반 요구 조건을 충족하는지 확인하고 검증하는 절차를 통해서 연구 개발 무기 체계의 과정에서 시험 평가를 수행한다. 요구 성능에 대한 기술적 도달 정도에 중점을 두는 개발 시험 평가와 요구 성능 및 운용상의 적합성과 연동성에 중점을 두는 운용 시험 평가를 위하여 불확실한 상황 하에서 가장 현명한 의사결정을 하도록 하는 방법으로 통계학(statistics) 접근을 통해 자료를 수집하고 정리하여 분석하며 그 분석 결과를 토대로 현명하고 합리적인 의사결정을 하도록 하는 과학적 방법으로 이용한다.

AESA 레이더에서 최대탐지거리는 레이더의 성능을 대표하는 가장 중요한 요구항목이다. 요구항목에 대한 시험평가 방법은 시스템 획득과정에서의 의사결정에 많은 논란거리가 된다. 적절한 정도의 비행횟수의 시험평가인지, 측정과정에 적합하게 획득된 자료인지에 대한 논란은 의사결정에 걸림돌로 이어진다. 대부분의 항공기 레이더에 대한 최대탐지거리의 시험평가는 비행횟수(Test Run)에 의해 결정한다[1]. 그러나 이러한 접근은 레이더의 성능 확보를 위한 비행조건에 따라 비행횟수를 증가시킬 때 가능한 방법이다[2]. 오늘날 시험평가를 위한 제한된 시험평가 비용증가와 제약된 일정에서는 접근은 현실적으로 가능하지 않아 지상에서시물레이션을 통한 방법과 최소한의 비행횟수를 측정된 자료를 이용하여 최대탐지거리의 값을 구하고자 노력해왔다[3]. 그러나 누적탐지확률을 계산할 시에 다양하게 산출한다[4].

오늘날 시험평가를 위한 통계적 접근은 표본(sample)으로부터 획득한 자료(표본통계량)를 통해서 모집단(population)의 특성 치(모수)를 평가하기 때문에 상대적으로 정확한 평가를 위해서는 많은 수의 표본 수집이 요구되는데 이는 장시간의 시험이 요구된다. 적절한 시험을 위한 표본 수는 요구조건의 충족과 운용 적합여부를 합당성을 판정하는데 중요한 요소이다.

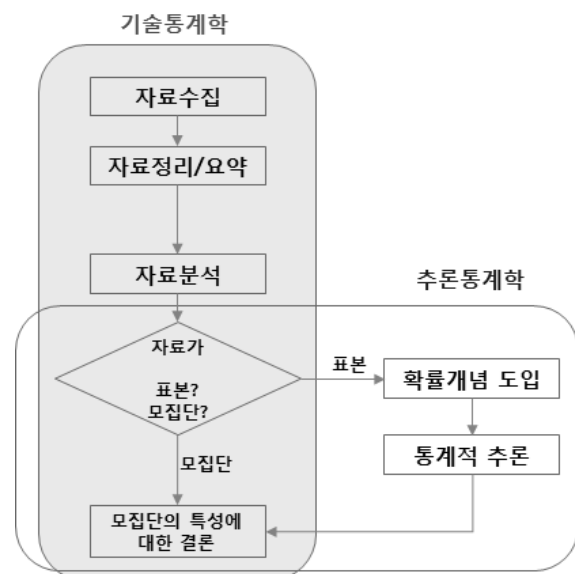
본 논문에서는 비행횟수를 최소한으로 하여 측정된 값을 통계적 추론을 통한 방법을 통해 최대탐지 거리를 제시하고 의사결정과정에서 실제 성과와 차이의 범위를 제공하고 비행횟수에 대한 증가에 따른 수렴과정을 제시하고자 한다.

2. 통계적 추정

2.1 통계적 가설검정

통계적 추론과 가설 검정에서 표본으로부터 주어지는 자료를 이용하여 모수에 대한 예상 및 주장 등의 옳고 그름을 판정하는 과정으로 연구의 결과나 조사를 통한 의견 수렴을 하는 경우에 그 대상이 되는 전체 집단을 모집단(population)에서 시험평가를 정확성을 위해서는 모집단을 모두 조사해야 한다. 대부분의 경우에는 모집단의 일부인 표본만을 조사할 수밖에 없는데 그 주된 이유는 모집단을 모두 조사하려면 비용과 시간이 무척 많이 들기 때문이다.

Figure 1과같이 수집된 자료 자체가 모집단 전체를 자료분석이 가능하지 않는 경우에 기술적통계의 한계를 극복하고자 추론적 접근을 위한 모집단으로부터 표본을 뽑는 방법을 표본추출방법(sampling



[Figure 1] Technical statistics and inference statistics

method)이라는 방법을 이용한다. 통계적 가설 검정 (Statistical Hypothesis Testing)의 정의에서 통계적 추측의 하나로서, 모집단 실제의 값이 얼마가 된다는 주장과 관련해, 표본의 정보를 사용해서 가설의 합당성 여부를 판정하는 과정이다.

통계적 추론(statistical inference)은 표본이 모집단의 아주 작은 일부이기 때문에 이 표본만을 가지고 모집단 전체에 대해 정확히 알아낼 수는 없다. 그러나 표본추출절차를 정확하게 준수하여 표본을 뽑으면 우리는 작은 오차 범위 내에서 모집단 전체에 대해 추측할 수 있다. 이러한 모집단에 대한 통계적 추측방법을 통계적 추론이라고 한다. 추론방법으로는 신뢰구간에 의한 방법과 가설검정방법 두 가지가 있다. 신뢰구간(흔히 95% 신뢰구간)이란 모집단의 한 특성의 값을 신뢰구간 내에서 추측하는 구간을 말한다. 그리고 가설검정 방법은 모집단에 대한 가설을 세워 놓고서 이 가설이 옳거나 그르다고 추측하는 방법이다. 시험평가를 위한 기술 성능 및 운용의 적합성 등에 대한 신뢰구간을 설정하기보다는 모집단의 특성에 대한 결론을 도출하기 위한 추론을 통해 표본 수를 설정하는 방법이 시험의 시간과 비용에 대한 범위 내에서 표본통계를 추정하는 것이 바람직하다.

가설 검정(Hypothesis Testing)은 많은 통계분석 방법(T 검정, 분산분석, 회귀분석 등) 가설검정 방법을 통해 추측을 한다. 가설검정에 의한 추측은 가설을 귀무가설(H_0 로 표기)과 대립가설(H_1 으로 표기), 두 개의 통계적 가설을 세운다. 가설은 모두 모집단에 대한 기술이어야 한다. 예상하거나 새로 알아내고자 하는 명제를 대립가설(alternative hypothesis)로하고 대립가설에 반대되는 명제를 귀무가설(null hypothesis)로 설정한다. 귀무가설(영가설)은 흔히 '동일하다', '차이가 없다', 등으로 표현되고 대립가설은 연구가설, 목적가설이라고 하고 자료와 주장을 비교한다.

검정통계량(test statistics)은 가설을 검정하기 위한 통계량 값이다. T 검정통계량, X제곱 검정통계량, F 검정통계량 등이 있는데, 이것은 표본 자료

값을 가지고 계산된다. 이러한 가설검정에서의 오류(error)가 발생하는데 표본으로부터 주어지는 자료를 이용하여 의사결정을 할 때 잘못된 의사결정을 하는 것을 가설검정의 오류로 구분하여 아래와 같이 두 가지 확률로 구분한다.

유의수준[α(알파)] : 1종 오류를 범할 확률

Probability of committing a Type I error is called a significant level, or level, or level of significance, denoted by α(알파).

유의수준[β(베타)] : 2종 오류를 범할 확률

Probability of committing a Type II error is called a significant level, or level, or level of significance, denoted by β(베타).

α : 1종 오류를 범할 확률

$$\alpha = \Pr\left(\frac{\text{We reject hypothesis}}{\text{Hypothesis is true}}\right)$$

$$\alpha = \Pr(\text{Commit Type I error})$$

β : 2종 오류를 범할 확률

$$\beta = \Pr\left(\frac{\text{We accept hypothesis}}{\text{Hypothesis is false}}\right)$$

$$\beta = \Pr(\text{Commit Type II error})$$

표본에 의한 의사결정을 Table 1과 같이 유의확률로 표시하는데 p값(유의확률)(p-value, significance probability)은 귀무가설이 참(true)일 경우, 검정 통계량에서 계산된 검정통계량 값이 얼마나 빈번하게 일어날지에 대한 확률 값이다. 만약 p값이 작으

<Table 1> Decision of Significance probability

표본에 의한 의사 결정	$[H_0]$ 가 진실(불합격) $P \leq 0.XX$	$[H_1]$ 가 진실(합격) $P > 0.XX$
$[H_0]$ 을 채택 $\hat{P} \leq 0.YY$	No Error 확률 : $1 - \alpha$	2종 오류(Type II error) 확률 : β
$[H_1]$ 을 기각 $\hat{P} > 0.YY$	1종 오류(Type I error) 확률 : α	No Error 확률 : $1 - \beta$

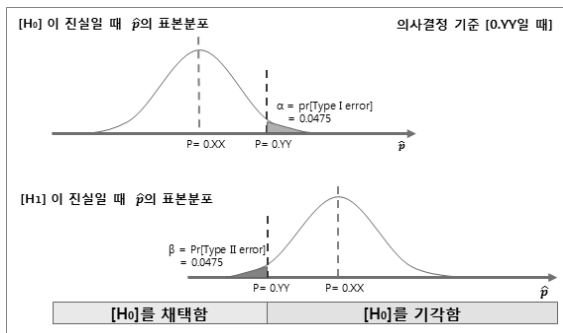
면 귀무가설 하에서 일반적인 현상이 아니므로 귀무가설을 기각하고 연구가설(대립가설)을 채택하게 된다. 이때의 기준으로 유의수준 알파를 사용한다. 유의수준으로는 1%, 5%, 10%를 일반적으로 설정하는데 이 중에서도 5%수준이 가장 널리 사용된다.

모집단에 대한 어떠한 주장 및 추측을 가설로 설정한 뒤에 통계량 정보로 모집단의 어떠한 성질에 대한 가설의 진위를 판단하는 통계적 방법. 귀무가설과 대립 가설로 단계를 설정하며, 가설의 형태는 양측 가설과 단측 가설로 나눌 수 있다.

2.2 가설검정의 분류

통계적 가설 검정의 특징 (1종 오류, 2종 오류)은 가설 검정은 전체 데이터가 아닌 샘플 데이터로 해석하기 때문에 오류 발생은 필연, 즉, 가설 검정의 판정 결과가 틀릴 수도 있다는 것을 전제하고 설계된 분석 기법이므로 오류를 범할 확률 1종과 2종을 Figure 2과 같이 1종 오류와 2종 오류에 해당되는 확률을 도식화 할 수 있다. 이중 1종 오류의 확률을 유의 수준이라고 하고 1종 오류는 귀무가설이 옳지만, Data 해석으로 귀무가설 기각하는 오류로 실제로 불합격인데 표본 시험결과 합격으로 판단하는 경우를 기술하고, 2종 오류는 귀무가설을 기각해야 하나, Data 해석상 기각하지 못하는 오류로 실제로 합격인데 불합격으로 판단하는 오류로 정의하는 것으로 그래프로 볼 수 있게 된다.

Figure 3과 같이 그래프의 빗금면적은 오류 값으로 표본에 기초한 의사결정에는 언제나 오류의 가



[Figure 2] Graph of Significance probability

능성이 있게 된다. 따라서 통계적 가설검정에서는 이와 같은 오류의 가능성을 줄이는 방법, 다시 말하면 표본을 이용하여 모집단의 속성을 탐구하는데 있어서 오류를 최소화할 수 있는 방법을 이용하여 검정하게 된다. 통계적 결론은 'H₀을 기각한다.'나 'H₀를 기각할 수 없다'의 두 가지인데, 시험평가의 통계적 결론을 바탕으로 시험평가의 결론을 내리게 된다. 즉, 표본 데이터에 의거해서 의 목적하던 바를 옳다고 받아들이거나, 받아들이지 않다고 기술한다.

3. AESA 레이더 시험자료 분석

AESA(Active Electronically Scanned Array/ 능동 전자주사식 위상배열) 레이더는 최신예 전투기에 탑재되는 것으로 하나의 평면 안테나를 전투기 전방부에 고정하여 전자적으로 레이더 빔을 조향함으로써 정해진 탐색공간을 탐색하고 탐지된 표적을 추적한다. 레이더 시험은 Table 2와 같이 공대공,

<Table 2> AESA Radar Test for Air-to-Air and Air-to-Ground

Air-to Air	Air-to Groud
Scan Rate	Scan Rate
Scan Angle Limits	Scan Angle Limits
Elevation Angle Limits	Elevation Angle Limits
Tracking Rate Limits	Antenna Stabilization Limits
Antenna Stabilization Limits	Doppler Beam Sharpened Notch Width
Minimum Range	Range and Bearing Accuracy
Range and Bearing Accuracy	Range and Bearing Resolution
Range and Bearing Resolution	Maximum Detection Range
Maximum Detection Range	Mapping Quality and Consistency
Maximum Unambiguous Range	Mission Utility and Integration
Maximum Acquisition Range	
Blind speeds	
Groundspeed/Course/Altitude Accuracy	
Velocity Resolution	
Air Combat modes	
False Alarm Rate	
Track File Capacity	
Mission Utility and Integration	

공대지(공대해 포함)로 구분하여 시험은 수행하게 된다. 시험은 반복을 요구하는 시험으로 통계적 추정을 통해 분석을 하게 된다. 가설검정을 통하여 시험자료를 분석을 6단계를 거친 접근방법을 제시하고자 한다.

3.1 가설검정의 절차

AESA 레이더의 공대공 및 공대지(해) 시험의 대한 가설검정의 일반적인 절차는 다음과 같다.

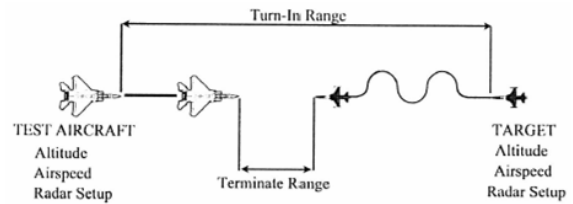
- ① 귀무가설(H_0), 대립가설(H_1) 설정
- ② 유의수준 결정
- ③ 검정통계량 설정 (Z 분포, t 분포, 카이제곱 분포, F 분포 등)
- ④ 각 분포 표를 이용하여 임계치, 기각역 설정
- ⑤ 임계치 및 검정통계량 결과 비교 : 귀무가설 기각/채택 결정
- ⑥ 검정 결과에 대한 결론

3.2 최대탐지거리 시험을 위한 접근방법

본 논문에서는 항공기용 AESA 레이더의 통계적 가설검정으로 최대탐지거리에 대한 시험자료 분석의 예를 제시하고자 한다. 최대탐지거리를 분석하기 위해서는 Figure 3과 같이 비행시험을 통해 자료를 획득한다[5],[6],[7],[8]. 자료 수집은 여러 형태로 획득이 가능한데 비행시나리오, 획득 자료 테이블의 형태에 따라 방법이 다르다. 자료를 획득하기 위해서는 표적을 마주보고(Nose Aspect) 최대탐지거리에 약 120%에 해당되는 거리에서 시험을 시작한다. 운용모드, 비행(레이더 장착된 비행기) 및 표적 속도, 비행 및 표적 고도, 탐색영역 등에 따라 자료를 획득한다.

비행시험 조건에 따른 최소화된 비행을 10 Test run을 통해 시험한 결과로 가정하고 이에 따른 기술적 통계방법은 표본통계량에 대한 평균, 분산, 표준편차 및 표본 확률은 다음과 같이 계산한다.

$$R_{90} = \bar{X} - ts \tag{1}$$



Radar Pulse Search R_{90}				
Test Run No.	Turn-in Range	Target RCS	Target Altitude	Target
Detection				
Range (Per radar)	Target Latitude	Target Longitude	Test Aircraft Latitude	Test Aircraft Longitude

[Figure 3] Test data for Maximum Range Detection

$$R_{90} = \bar{X} - ts$$

$$R_{90} = \bar{X} - ts$$

s = standard deviation

t = standardized Student's variable

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \tag{2}$$

\bar{X} = mean value of the test data

x_i = value of the specific measured variable

N = number of test points

$$S = \left[\left(\frac{1}{N-1} \right) \left(\sum_{i=1}^N x_i^2 \right) - \left(\frac{N}{N-1} \right) \bar{X}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$= \left[\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$x_{iS} = \left(\frac{\sigma_r}{\sigma_r'} \right)^{\frac{1}{4}} \times x_i \tag{4}$$

x_{iS} = range normalized for target size

x_i = actual range demonstrated in flight

σ_r = specification-defined RCS(Radar Cross Section) (5m^2)

σ_r' = actual test target RCS

$$x_{iSR} = \frac{x_{iS}}{S_R} \quad (5)$$

x_{iSR} = range normalized for target size and range rate

S_R = scaling factor that is a function of range rate

(NOTE : S_R is provided by the radar vendor)

x_{iS} = range normalized for target size

$$x_{iA} = x_i - \text{inv} \left\{ \log(x_i) - S_A \times \frac{x_i}{20} \right\} \quad (6)$$

x_{iA} = incremental range for atmospheric attenuation

S_A = scaling factor that is a function altitude

(NOTE : S_A is provided by the radar vendor)

$$x' = x_{iSR} + x_{iA}$$

첫 번째는 가설검정 절차에 따라 귀무가설과 대립가설을 최대탐지거리인 XX Nautical Mile로 기준으로 정한다. 합격수준은 최대탐지거리 XX[NM]보다 커야한다. 시험결과자료를 바탕으로 판정(의사결정)을 위해 가설검정 절차에 따라 추정할 수 있다. 시험평가의 두 가지 가설(hypothesis)이 발생하는데 이 가설은 사실일수도 있고 사실이 아닐 수도 있는 주장을 한다. 즉 평가를 하는 팀의 주장은 AESA 레이더 최대탐지거리는 합격이 아니다 라고 하고 평가를 받는 팀은 'AESA 레이더의 최대탐지거리는 합격이다.'라고 주장한다. 이를 각각 귀무가설(H_0), 대립가설(H_1) 설정한다.

두 번째는 유의수준을 결정한다. 여기에서의 유의수준은 오류를 범할 확률을 설정함으로 의사결정 기준치를 정한다. 신뢰도 95%를 기준으로 하여 α 값을 0.05으로 추정하여 계산하였다. 즉 유의 수준 0.05라는 것은 귀무가설이 사실임에도 기각할 확률이 5%를 허용한다는 것으로 평균 최대탐지거리가 사실상 XX Nautical Mile보다 크지 않음에도 불구하고 평균 최대탐지거리 XX Nautical mile보다 크다고 판정할 확률을 5% 허용하고 있다는 의미이다.

세 번째는 최대탐지거리를 추정을 위한 모 평균 점 추정을 통해 구하게 되는데 평균 최대탐지거리의 추정 값을 비행시험 자료를 그림 5에 의거 구한

다. 그리고 모평균의 구간추정을 분산(σ^2)을 모르고 표본수가 작은 관계로 t 분포를 이용한다. 검정통계량 설정으로 포본 수(Sample)가 20 Runs 이상일 경우에는 Z 분포에 접근하므로 표본 수에 따라 분포 표를 결정한다.(본 논문은 표본 수가 10 Runs으로 t 분포를 사용) 모평균의 95% 신뢰구간을 구하기 위해서는 표본평균 및 표준편차를 구해 범위를 구할 수 있다.

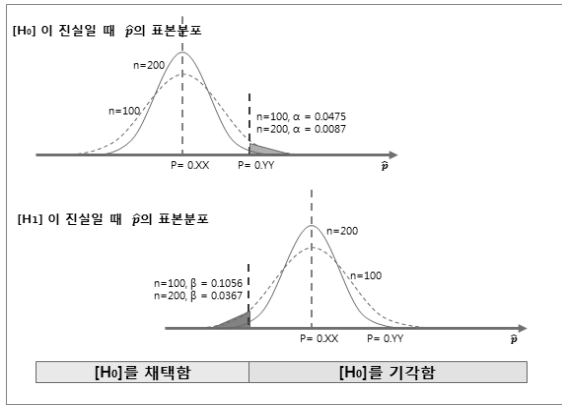
네 번째는 분포 표를 이용하여 임계 치, 기각 역 설정하는 것으로 t 분포에 따른 0.05 임의 수준은 t 값은 3. 250[조건이 표본 수 10 Runs, 유의수준 0.005 일 경우]으로 결정된다. 이에 따른 평균 최대탐지거리의 추정 값이 계산되어 t값이 임계치가 되고 기각역이 계산된다.

다섯 번째는 임계 치 및 검정통계량 결과 비교하는 과정으로 귀무가설 기각/채택 결정한다. 작전운용성능(ROC)로부터 나온 기준치와 모평균으로 시험평가 기준 값을 비교하여 임계 치를 초과하는 3.250보다 높으면 귀무가설(H_0)를 기각하게 되고 적으면 기각할 수 없게 되어 귀무가설이 기각이 되는 기준치를 재계산 하였다.

마지막으로 t값을 이용하여 평균 최대탐지거리를 추정 값을 역으로 계산하여 3.250보다 적은 검정 결과에 대한 결론에 도달 되어 XX Nautical Mile 이 아닌 XX + YY Nautical Mile 값으로 산출되었다. 산출된 XX + YY Nautical Mile 값은 10 Runs 을 시험비행하고 임의 수준에 0.005에 따른 결과치로 계산된 값으로 귀무가설로 기각되는 수준으로 평균 최대탐지거리를 제시하였다.

3.3 표본크기에 따른 α , β

AESA 레이더는 다기능 레이더로 새로운 제품을 개발하여 시험평가를 위해 동일 시험 조건에 따라 수 십 차례 수행하는데 이 때 비용과 시간이 소비되어 표본크기를 최소화 하는 과정이 필요하다. 최대 탐지거리를 분석하는 과정에서 보는바와 같이 적정 표본크기에 따라 결과 치는 달라진다. Figure 4과 같이 표본 수를 증가할 때의 표본 확률의 표준분포



[Figure 4] Graph of no of sample and sample proportion

<Table 4> No of sample for α and β

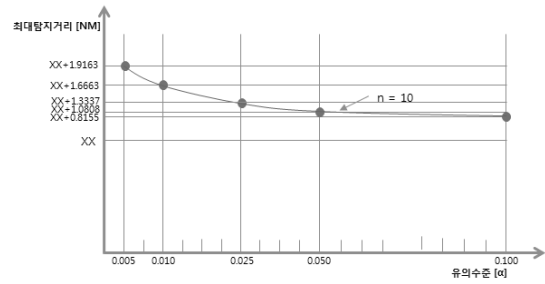
시험평가에 α , β 를 적용한 표본 수				
표준편차 : $\sigma = 4.16$				
	0.05	0.10	0.15	0.20
0.05	47	37	32	27
0.10	37	29	24	20
0.15	32	24	19	16
0.20	27	20	16	13

는 증가할수록 허용오차는 줄어들게 된다.

적정 표본크기를 증가시키면 α , β 를 감소시킬 수 있는데 궁극적으로는 α , β 의 값은 작을수록 바람직하다. 주요고려사항은 비용과 일정에 따라 최대한 α 값은 낮은 수준에 고정시키고 가능한 표본의 크기를 증가시켜서 β 값을 낮추어 관리를 해야 한다.

Table 4과 같이 시험평가를 위한 α , β 의 값에 따른 적당한 표본 수를 제시하고 있다[9]. 그러나 무기체계에 따라 제시된 숫자마저도 시험하는데 한계를 가지는 경우가 허다하다. 이러한 표본 수를 수행하지 않는 무기체계에서의 시험은 저시된 표본 수보다 적게 시험을 하게 되는데 이를 위한 시험평가에 따른 α , β 를 적용한 표본 수는 미 국방부 시험평가에서 제시된 숫자는 α 는 0.05에서 0.10을 제시하였고, β 는 0.10에서 0.15가 적절하다고 판단하였다.

산출된 XX + YY Nautical Mile 값은 유의수준에 따라 표본 수에 따라 Figure 5에 따라 일정한 값 즉 XX에 수렴하게 됨을 알 수 있다. 궁극적으로는



[Figure 5] Compare of No of sample and Significance probability

수많은 시험을 할 수 있는 환경 하에서는 수렴이 가능함을 보여준다.

4. 결론

본 논문에서는 AESA 레이더의 최대탐지거리를 측정하는 시험에서 비용과 일정으로 제한된 시험을 가설검정 절차를 통해 통계적 접근 6 단계를 제시했다. 또한 시험평가의 표본 수(비행횟수)에 따른 확률에 의한 오류를 줄이기 위한 적정 평균 최대탐지거리를 제시함으로써 시험평가를 하는 팀과 받는 팀 간의 주장을 실제 성능 차이의 범위를 제시함으로써 의사결정단계에서 수렴 가능여부를 판단 할 수 있도록 제시했다. 마지막으로 적당한 표본 수보다 적은 경우에도 수렴 가능한 수치를 제공함으로써 부득불 최소 표본 수보다 적은 시험이라 할지라도 수렴 가능한 수치를 보임으로써 제한된 비행시험에서 산출된 최대탐지거리라 할지라도 유의수준에 따른 일정한 값으로 수렴함을 보여 주었다.

항공기 AESA 레이더의 성능은 최대 탐지거리 외에도 추적거리, 동시표적 수, 분해 능력, 추적 및 탐지 정확도, RA(Raid Assessment) 기능, CST(Cueing Search and Track) 기능, ACM(Air Combat Maneuvering) 기능, 주파수 Agility 등의 많은 요구사항들이 있다. 이러한 성능들도 마찬가지로 제한된 비행횟수와 일정에 따라 수행하게 되는데 제시된 통계적 추론적 접근을 수행해야 되는데 최대탐지거리의 수치를 해석한 것과 같이 동일한

접근 6단계로 수행하여 요구하는 성능 치를 확인할 수 있게 된다. 따라서 모든 시험평가의 평가분야에 같은 방법으로 이용할 수 있다.

References

1. George W. Stimson, Introduction to Airborne Radar, 2nd Edition, Scitech Publishing Inc, p115-133, 1998.
2. Randall E. Scott, Air-to-Air Radar Flight Test handbook, Air Force Flight Test Center Edwards Air Force base, p 57-74, Oct. 1987.
3. Donald L. Giadrasich, 'Operations Research Analysis in T&E', American Institute of Aeronautics and Astronautics, p 122, 1995.
4. J. D. Mallet, Cumulative probability of detection for targets approaching a uniformly scanning search radar, Proceedings of the IEEE, vol 51, no 4 p596-601, 1963.
5. Robert E. McShea, Test and Evaluation of Aircraft Avionics and Weapon system, 2nd Edition, Scitech Publishing Inc, p580-612, 2014.
6. James N. Clifton, Introduction to Avionics Flight Test, AGARD (Advisory Group for Aerospace Research & Development) Flight Test Techniques Series - Volume 15, p46-48, 108-110, 1996.
7. FA-50 Test Information Sheet for Radar Integration Test Korea Aerospace Industries, p8-35 2011.
8. F-15K Test Information Sheet, Boeing p21-33, 2005.
9. 정밀유도미사일 시험평가 모델, 과정 및 절차 개발, 국방기술품질원 정책연구보고서, p119, 2009. 12.