군용 EO/IR장비의 시험평가 기준 정립방안

박종완^{*,1)}

¹⁾ 건국대학교 방위사업학과

Establishment of Test & Evaluation Criteria in the Military Electro-Optical / Infrared Devices

Jong Wan Park^{*,1)}

¹⁾ Department of Defense Acquisition Program, University of Konkuk, Korea

(Received 15 February 2016 / Revised 31 May 2016 / Accepted 19 August 2016)

ABSTRACT

Development-concerned parties, business managers and test evaluators have experienced conflicts among themselves due to the absence of standardized criteria for military electro-optical(EO) and infrared(IR) devices in test evaluation planning and evaluation phases. Therefore, establishment of objectified test and evaluation criteria for EO/IR devices is required. This paper applies South Korea's weather measurement average of minimum 15 km for visibility range, 3 bar from Johnson criteria for EO device and 4 bar from NATO's STANAG-4347 for IR device for target type, and 50 % probability for evaluation criteria, respectively. Based upon these criteria, this paper will establish suitable criteria that are improved for development weapon system in consideration of required capability of demanding forces and field environment.

Key Words : Test & Evaluation(시험평가), Electro-Optical/Infrared Devices(전자광학/열상장비), Visibility(시정), Johnson Criteria(존슨 기준), STANAG-4347(나토열상장비 규격서)

OCIS codes : (040.1880) Detection ; (040.3060) Infrared ; (040.6808) Thermal IR Detectors, Arrays and Imaging ; (110.4850) Optical Transfer Functions ; (230.0230) Optical Devices

1. 서론

군사적으로 운용하고 있는 EO(광학)/IR(열상)장비는 야군이 상대방의 위치나 활동에 관한 정보를 비교적

장거리에서 부터 탐지 및 대응함으로써 전투의 승패를 좌우하는 핵심적인 기능을 수행하고 있다.

미래 네트워크 중심전(NCW)의 패러다임은 “Sensor to Shooter”로 상대방보다 빠른 탐지 및 감시를 하고 정밀타격을 통해 전장의 승리를 주도한다는 의미이다. 여기서 Sensor의 역할을 하는 광학 및 열상장비의 수준은 군사 과학기술의 비약적인 발전으로 전장 가시

* Corresponding author, E-mail: jwpark1206@naver.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

화에 중요한 부분을 담당하고 있다.

이러한 광학 및 열상장비를 포함하여 군의 모든 무기체계는 DT&E(개발시험평가)와 OT&E(운용시험평가)를 거쳐 성능을 보다 면밀하게 검증하며, 신뢰성을 확보하고 있으며, 합참에서 전투용 적합 판정을 받은 후 야전부대에서 사용을 하고 있다. 그래서 무기체계 개발간 중요한 과정은 성능을 확인하는 ‘시험평가’ 단계라 할 수 있으며, 이 과정을 통해 무기체계의 진정한 성능이 검증된다고 볼 수 있다.

군사용 광학 및 열상장비도 이와 같은 시험평가를 거쳐 수준 높은 장비가 개발되고 있다. 그런데 현재 EO/IR장비 시험평가간 적용하고 있는 시험기준들이 일부 상이하고 표준화된 기준이 부재하여 개발 및 사업 관리시 혼란이 발생하고 있고, 시험평가간에도 IPT, 개발업체, 시험평가관들간 분쟁의 소지들이 노출되고 있다. 따라서 본고에서는 EO/IR장비에 적용된 시험평가 기준현황 및 실태를 알아보고, 보다 적합한 시험평가 기준을 알아보고자 한다.

2. 장비별 시험평가 기준적용 실태

전장에서 적과의 교전시 보다 우위에 점하고 상대방을 먼저 보기 위해 군사용 EO/IR장비 수준은 군사과학 기술개발과 함께 지속적으로 발달되어 왔다. 그리고 군에서 운용하는 EO/IR장비도 인원, 차량 등 다양한 표적을 탐지하기 위해 장비별 고유의 특성을 갖고 개발되고 있다. 그러나 성능을 검증하는 DT&E 및 OT&E 단계에서 적용된 조건 및 기준들은 동일하게 적용되어야 개발 및 운용시 신뢰성이 있다고 본다.

Table 1. The evaluation state of the electro-optical devices

구분	기상상태	표적형태	평가기준
A사업	무월광, 청명	인원	50 m and 1,000 m에서 표적탐지여부 확인
B사업	맑음 (시정 4 km)	삼각형·사각형·원	1회 탐지식별 (추가 2회 부여)
C사업	청명 (시정 2 km)	인원	10회중 8회 이상

Table 1은 EO장비별 시험평가 기준을 실시한 기준으로 기상상태중 시정을 A사업은 미적용, B 및 C사업은 2 km, 4 km를 각각 적용하였다. B, C사업의 시정 2 km, 4 km에 맑음 및 청명조건은 기상학적으로 발생할 수 없는 현상으로 소요제기 및 결정시 업무담당자의 전문성이 필요로 하는 부분이다. 청명은 생활상 용어이고, 시정은 기상학적 용어로 대기의 혼탁도를 나타낸다. 예를 들어 시정이 5 km의 의미는 5 km 지점이 아주 희미하게 보이는 정도를 말하는 것으로 맑음 상태에서는 발생할 수 없는 현상이다. 그래서 사업추진 및 시험평가간에 시정관련 개념 및 기상현상의 지식부족으로 관련부서간 논쟁이 계속 발생하는 것이다.

이러한 논쟁은 소요제기 및 결정시 업무담당자 시정의 의미를 정확히 인지하지 못한 부분이 있고, 표준기준이 없어 선행사업을 토대로 기준을 설정한 이유도 있다.

그리고 사업별 평가기준도 장비별로 거리 또는 횡수를 적용했는데 유사한 개발장비가 평가부서별로 각각 다른 기준을 적용함으로써 업체들의 개발간 혼돈을 가중시켜 신뢰성있는 평가가 진행되었다고 볼 수는 없다.

그리고 현재 적용하고 있는 기상조건, 탐지거리 등에 있어서 우리나라의 야전환경 조건을 현실적으로 고려한 기준들인지 검토가 필요하다.

Table 2. The evaluation state of the Infrared devices

구분	기상상태	표적형태	평가기준
A사업	청명	2.3 m × 2.3 m	시험인원 50 % 이상이 표적탐지
B사업	청명	2.3 m × 2.3 m	주야간 관측가능
C사업	청명 (시정 15 km)	자주포/장갑차	70 % 이상 탐지
D사업	투과율 82 %	전술차량/헬기	70 % 이상 탐지 (20회 시험)
E사업	청명	인원/차량	10회 시험
F사업	청명 (시정 17 km)	탱크 (3 × 6 m)	표적인지
G사업	청명, 투과율 82 %	탱크/장갑차 (3 × 6 m)	표적인지
H사업	시정 2 km	인원	10회중 8회 이상

IR장비는 광학장비보다 기상조건의 영향이 비교적 적지만 설정된 조건들이 각각 상이하며, 대기투과율 82 %는 시정(visibility)이 15~20 km로 개발시험시 주로 사용하고 있다. A, B사업은 대상표적을 사각형, 오각형, 원형으로 설정하였고, 나머지 사업들은 해당 무기체계가 주로 탐지하는 표적들을 대상으로 설정하였다.

그리고 평가기준도 어느 사업은 탐지비율이 50~70 %로 설정을 하였고, 다른 사업은 인지여부 또는 횡수로 평가기준을 설정하는 등 표준화된 기준이 없는 관례로 자의적인 해석의 논란 발생 가능성이 있다.

또한 열상장비 측정시 중요한 요소인 표적온도차가 2~15 ℃까지 사업별로 다른 범위를 나타내고 있어 장비 성능상의 유효한 평가기준이 되기 위해서는 논리적인 검토가 필요하다.

시험평가 기준은 체계개발 단계에서 구체화되고, 장비별로 성능 검증 기준들이 위와 같이 각각 상이함에 따라 개발자들이 최초 개발단계부터 평가기준을 심도 있게 고려하여 설계 및 성능개발을 하는데는 많은 어려움이 있다고 본다. 그리고 장비별로 시험평가 기준에 대한 해석이 개발자, 사업관리자, 시험평가관 등이 서로 상이한 부분이 있어 시험평가 결과가 대외적인 객관성을 갖추는데 부족함이 있다. 따라서 시험평가 계획수립부터 안정적으로 관련기준들을 조정 및 통제하면서 군 운용에 최적화된 무기체계를 개발하는데 제한사항이 발생할 수가 있다.

3. 광학(EO) 및 열상(IR)장비 시험평가 기준 개선 방향

시험평가는 개발시험평가(DT&E)와 운용시험평가(OT&E)로 크게 구분이 된다. 개발시험평가는 기술적 충족 상태를 검증하기 위해 부품 및 체계별로 기술적 성능 달성도를 입증하는 시험이고, 운용시험평가는 군 사용자가 무기체계, 장비, 또는 탄약들의 품목에 대해 전투와 유사한 야전환경을 조성하여 성능을 확인하는 시험이다.

개선방향에서는 EO 및 IR장비에 대해 DT&E와 OT&E 수행간 기상조건, 표적형태, 평가기준 등에 대한 유효한 기준 및 조건들을 설정해보기로 한다.

먼저 기상조건중 시정기준의 선택에 대해 알아볼 필요가 있다. 우리나라 시정은 북한군 전력이 밀집되어 있는 문산 일원의 중서부전선 지역이 연평균 15 km

수준을 나타낸다¹⁾. ADD도 운용요구도를 설정시 이 기준을 사용하므로 무기체계 시험평가때도 동일한 기준을 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 그리고 시정거리는 최소한의 기준을 제시한 것으로 15 km 이상으로 표시하고, 대기투과율은 가능한 개발시험시 적용하고, 만약에 운용시험평가시 명시할 때는 투과율과 시정과의 관계치를 명확히 제시하는 것이 바람직할 것 같다.

대기투과율 : $\tau(R) = \exp(-\delta R)$,

δ : 감쇄계수(km⁻¹),

R : 거리(km)

$\delta = 0.2 \text{ km}^{-1}$ good condition(81.8 %/km),

$\delta = 1.0 \text{ km}^{-1}$ limited condition(36.7 %/km)

대기투과율을 계산하는 MODTRAN²⁾에서 일반적인 좋은 조건은 km당 80 %이며, 시정거리로는 약 15 km에 해당한다.

그리고 시정 관련해서 소요제기 담당요원의 실무지식을 구비하고 소요제안서에서부터 합리적인 시정 조건이 반영되도록 하고, 개발 및 시험평가시 불필요한 분쟁이 발생되지 않도록 해야 한다.

IR장비는 시정조건에 추가하여 표적의 공간주파수에 대해 분해가 가능한 수준을 온도로 나타내는 최소 분해가능온도차(MRTD : Minimum Resolvable Temperature Difference) 개념을 적용하여 배경표적과의 온도차를 2 ℃로 설정한다³⁾.

다음 표적형태는 EO장비의 품질적도는 현재 여러 가지가 있으나, 군사용으로는 1958년에 설정된 Johnson's criteria를 대부분 준용하고 있다. 이 기준이 현재에도 계속 유효성있게 적용하고 있는 것은 당시 실제 대상장비를 야전지형에 배치하고 환경조건, 거리 및 측정회수 등에서 많은 확률적 시험을 통한 결과로 타당성이 높게 입증되었다고 볼 수 있다. Johnson은 영상장비에 대한 관측 가능 수준을 아래와 같이 표적을 보고 판단하고, 표적 옆에 있는 분해능이 어떻게 보이는지 측정을 하였다.

1) ADD, 국방과학기술아카데미 책자, 2015, p. 483.

2) MODTRAN(Moderate spectral resolution Transmission) 美 공군연구소에서 개발하여 전 세계적으로 널리 사용되는 대기투과율의 계산 소프트웨어이다.

3) STANAG-4347(NATO, 1995. 7. 18), p. 2.

Table 3. Johnson's criteria

구분	판독기준	
탐지	표적 존재유무를 확인	
인지	표적 형태를 확인 (영상에서 탱크 및 트럭 구분)	
식별	표적 기종 및 모델을 확인 (영상에서 K1, K2 탱크 구분)	

Johnson 기준에 따르면 표적이 영상감지기에서 1 cycle로 분해될 시는 탐지로, 3 cycle로 분해될 시는 인지로 판단했다. 그리고 확률은 Johnson이 수많은 사람들의 실험 경험치를 통해 50 %를 적용하고 있다.

IR장비는 STANAG-4347(Definition of Normal Static Range Performance for Thermal Imaging, 열상장비의 정적 거리성능에 대한 정의)으로 1995년에 나토협의체간 설정된 군사용 장비규격서를 적용하도록 한다. 이는 지상표적을 관측시 다른 열상시스템의 거리성능을 객관적으로 비교하기 위해 표준화된 기술적 기준을 제공하고 있다. 이 규격은 영상장비에 적용한 Johnson's criteria를 열상장비에 응용한 것으로 표적의 크기는 2.3 m × 2.3 m이며, 판단기준은 아래와 같다.

Table 4. STANAG-4347 detection criteria

구분	탐지	인지	식별
정성적 정의	표적존재 유무	표적형태	표적기종
정량적 정의			
	1쌍 흑/백 구분	3~4쌍 흑/백 구분	6쌍 흑/백 구분

위와 같은 표적형태는 개발자가 광학시준기 및 각종 시험장비 등을 통해서 표적영상 및 분해능 등 각종 실험실 자료를 얻는 관계로 DT&E시 적용하는 것이 바람직하다. 그런데 수 km 이내에서는 4 bar 표적설치 및 운용이 용이하고, 바람 및 주변온도, 잡음 등 야전 환경적 요소에 영향요인이 비교적 적게 미치지만, 수

십 km 표적에 대해서는 환경적 영향요인이 크게 나타날 수가 있으므로 실제 표적을 사용하는 것이 바람직하다. 이와 병행하여 영상관측척도(NIIRS)등급표를 활용하여 표적의 질적인 분석도 수준을 높이도록 한다. OT&E시는 EO/IR장비로 관측할 해당표적인 인원, 전차 및 장갑차 등을 실제 야전지형에 배치해놓고 운용요원에게 판단하도록 하는 것이 적절할 것으로 판단한다.

다음은 평가기준으로 Johnson's criteria에서 설정된 50 % 확률을 적용하고 있으며, 우리도 DT&E 및 OT&E에서 동일한 기준을 준용하는 것이 바람직하다. OT&E에서는 실제 대상표적을 탐지하는 것이기 때문에 사업별로 4계절 및 주·야간 등의 전장운용여건을 고려하고, 개인별 편차를 판단하여 충분한 시험인원을 운용함으로써 장비 객관성을 확보하도록 한다.

그리고 기술개발의 수준 향상 및 군사요구도상 보다 높은 수준의 표적 탐지가 필요할 경우에는 표적전달 확률함수⁴⁾(TTPF : Target Transfer Probability Function) 방법을 적용하여 보다 타당성 있는 탐지율 값을 도출하는 것도 의미가 있는 것으로 판단한다.

Table 5. Target transfer probability function

구분	식별확률 값 대 승수						
식별 확률	1.00	0.95	0.80	0.50	0.30	0.10	0.02
승수	3.0	2.0	1.5	1.0	0.75	0.50	0.25

표에서 기준이 되는 50 % 확률에서는 승수가 1로 표적크기당 3 cycle의 분해능을 가지며, 군에서 80 % 이상의 확률이 요구될 시는 승수가 1.5로 표적크기당 4.5 cycle의 분해능이 요구되는데 이와 관련된 식은 아래와 같다.

$$P(\text{확률}) = \frac{\left(\frac{N}{N_{50}}\right)^E}{1 + \left(\frac{N}{N_{50}}\right)^E} \quad E = 2.7 + 0.7\left(\frac{N}{N_{50}}\right)$$

N_{50} : 50 % 확률에서 Johnson's criterion

N : 새로운 확률에서 cycle 개수

E : 실험적으로 얻어진 상수

4) ADD, 국방과학기술아카데미 책자, 2015, p. 463.

지금까지 개선방향에 대해 분석한 3개 요소의 결과를 정리하면 아래 표와 같으며, 이러한 기준을 표준화한 기준으로 적용하되 중요한 것은 무기체계마다 특성 및 야전 운용여건을 고려하여 기상조건, 인지확률 등에 대해 관련기관간 협의하 tailoring(최적화)하는 것이 필요하다.

Table 6. Analysis result of the improvement measure

구분	전자광학장비		열상장비	
	개발시험 평가	운용시험 평가	개발시험 평가	운용시험 평가
기상 상태	시정 15 km 이상, (대기투과율 82 % 이상)		시정 15 km 이상, 표적과 배경온도차 2 °C 이상	
표적 형태	Johnson criteria 3bar	실제 표적	NATO STANAG-4347 4 bar (수십 km 이상은 실제표적)	실제 표적
평가 기준	50 % 이상		50 % 이상	

4. 결론

시험평가가 갖추어야 할 중요한 조건은 장비성능을 구현할 수 있는 신뢰성, 시험평가 절차 및 방법의 합리성, 평가기법 및 기준의 타당성이다. 특히나 EO/IR장비는 환경적 영향요인이 있는 관계로 사업마다 특성이 있지만 적정의 표준화된 기준의 설정이 필요함을 인식하였다.

군용 EO/IR 장비는 국방과학기술의 발달과 소요군의 요구에 따라 지속적으로 성능이 향상되고 있고, 군에서 운용하는 무기체계는 시험평가라는 필수과정을 거치고 있다. 그런데 소요제안단계부터 EO/IR장비의 작전운용성능(ROC) 항목이 구체적으로 설정된 기준이

없고, 특히 시험평가 계획수립 및 평가단계에서도 평가기준에 대한 표준화된 규격들이 없는 관계로 관련기관간에 적지 않은 마찰이 발생하고 있다.

또한 개발된 장비들간의 검증된 기준들의 상이한 관계로 전력화후 소요군이 전술작전 및 야전운용시 효과적인 운용능력이 많이 부족한 실정이다.

따라서 본고에서 제시한 EO/IR장비에 대한 좀더 객관화된 시험평가 기준을 토대로 차후 무기체계 시험평가시 활용의 단초가 되었으면 하는 바램이다. EO/IR장비 평가요소중 중요한 기상조건, 표적형태, 평가기준이 소요제안단계부터 체계적인 검토 및 반영이 되도록 하는 것이 필요하다. 그리고 기상조건중 시정은 우리나라 야전환경 조건을 고려하여 차후 현실적인 기준검토가 필요하다. 차후에는 이러한 기준을 근거로 하여 다른 무기체계 개발시 소요군이 요구되는 성과와 야전운용 여건 등을 종합적으로 고려하여 최적화된 평가기준들을 제정립하는 노력이 있어야겠다.

References

- [1] G. Holst, "Electro-Optical Imaging System Performance," SPIE Optical Engineering Press, p. 420, 2003.
- [2] NATO STANAG-4347, "Definition of Nominal STATIC Range Performance for Thermal Imaging System," pp. 1-3, 1996.
- [3] Defense Acquisition University, "Test and Evaluation Management Guide," pp. 86/122, 2012.
- [4] NATO STANAG-7194, "NATO Imagery Interpretability Rating Scale(NIRS)," 2009.
- [5] Y. Lee, "Dispersion of Average Annual Visibility Range of the Korean Peninsula", Weather Studies, Vol(1), pp. 23-28, 2006.
- [6] ADD, "Defense Science and Technology Academy Textbook," p. 463, 2015.
- [7] C. Lee, "Introduction to Optics and Lasers," Gongju University Press, pp. 206-220, 2013.