

군용 열영상장비 최소분해가능온도차의 정량적 측정 방법 및 탐지거리 예측에 관한 연구

정영탁*, 임재성, 이지혁
국방기술품질원

A Study on the quantitative measurement methods of MRTD and prediction of detection distance for Infrared surveillance equipments in military

Yeong-Tak Jung*, Jae-Seong Lim, Ji-Hyeok Lee
Defense Agency of Technology and Quality (DTaQ)

요 약 대한민국 군의 K 계열 전차에 장착되어 있는 열영상장비의 목적은 시계가 제한된 환경에서 외부의 적외선 영역의 정보를 인간이 인지할 수 있는 시각 정보로 변환하는 것이다. 열영상장비의 시계, 배율, 분해능, 변조전달함수, 잡음등가온도차, 최소분해가능온도차 등의 지표 중에서 최소 분해 가능 온도차(MRTD)는 공간주파수와 온도분해능을 복합적으로 표현할 수 있기 때문에, 열영상장비의 성능 표현에 있어 가장 중요한 파라미터이다. 그러나 NATO의 MRTD 표준 측정 방법은 많은 주관적인 요소를 포함하고 있다. 즉, 측정자의 정신 상태, 시력 등의 차이와 측정환경에 따라 측정 결과의 오차가 발생하므로 MRTD의 측정결과는 안정적이지 못하다. 따라서 본 논문에서는 정성적인 MRTD 측정 방법을 *gray scale*을 바탕으로 이미지 연산을 통한 정량적인 지표로 변환하였다. 흑상과 백상의 *Gray scale* 차이의 평균을 최소분해가능온도로 변환하여, 국방규격서에서 요구하는 성능요구조건에 충족여부를 판단할 수 있다. 또한 *gray scale*은 MRTD의 탐지/인지/식별의 판별기준으로 활용할 수 있다. 전차에 열영상장비가 탑재되어 작전을 수행할 때의 탐지 가능 거리를 안개, 폭우, 맑은 날씨 등의 다양한 환경조건에 따라 분석하였다.

Abstract The purpose of the thermal imaging observation device mounted on the K's tank in the Republic of Korea military is to convert infrared rays into visual information to provide information about the environment under conditions of restricted visibility. Among the various performance indicators of thermal observation devices, such as the view, magnification, resolution, MTF, NETD, and Minimum Resolvable Temperature Difference (MRTD), the MRTD is the most important, because it can indicate both the spatial frequency and temperature resolvable. However, the standard method of measuring the MRTD in NATO contains many subjective factors. As the measurement result can vary depending on subjective factors such as the human eye, metal condition and measurement conditions, the MRTD obtained is not stable. In this study, these qualitative MRTD measurement systems are converted into quantitative indicators based on a gray scale using imaging processing. By converting the average of the gray scale differences of the black and white images into the MRTD, the mean values can be used to determine whether the performance requirements required by the defense specification are met. The (mean) value can also be used to discriminate between detection, recognition and identification and the detectable distance of the thermal equipment can be analyzed under various environmental conditions, such as altostratus, heavy rain and fog.

Keywords : thermal imaging observation device, infrared ray, Minimum Resolvable Temperature Difference(MRTD), quantitative indicators, detectable distance, environmental conditions

*Corresponding Author : Yeong-Tak Jung(Defense Agency of Technology and Quality)

Tel: +82-53-757-3047 email: amadaws@dtq.re.kr

Received February 10, 2017

Revised (1st March 27, 2017, 2nd March 28, 2017)

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

1. 서론

현대전에서 센서 분야 무기체계의 핵심 요소는 적군보다 다양한 정보를 상대적으로 빠르게 인식하여, 선제 타격 하는 것이다. 따라서 무기체계에 대한 관측장비 기술 개발의 흐름은 군사적 목적으로 위성, 무인기, 항공기, 전자, 장갑차 및 개인화기에 적용되어 고분해능과 탐지거리의 확대에 초점이 맞춰져 있다. 무기체계에 탑재된 관측장비는 야간 감시, 정찰, 사격통제장치 등에 정확한 영상정보를 제공하여, 효율적인 작전 수행을 가능하게 하는 것을 목표로 한다. 관측장비는 가시광 영역대 파장을 활용한 광학장비와 적외선 영역을 활용한 열영상장비(적외선 탐지장비)로 구분된다.

적외선 탐지장비의 원리는 절대 온도 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상인 사물, 물체 등의 고유한 온도에 따라 적외선 형태로 방출하는 복사 에너지를 물체의 단위 면적당, 단위 시간당 방출되는 복사에너지 즉, 복사에미턴스(radiant-emittance)의 차이를 인간이 인지할 수 있는 디스플레이 장비로 영상화한다. 열영상장비의 가장 큰 장점은 외부의 빛이 공급되지 않는 환경에서도 장비를 통하여 물체를 관찰할 수 있는 것이다. 적외선 영역의 $3\sim 5\mu\text{m}$, $8\sim 12\mu\text{m}$ 대역 파장은 대기에 매우 높은 투과도를 갖고 있어, 대부분의 물체에서 방출하는 적외선 최대값의 검출이 가능하며, 이 대역에서 반응도가 높은 소자를 이용하여 적외선 방출파장을 탐지한다.[1]열영상장비(thermal imaging system)는 야간이나 시계가 존재하지 않는 대기조건에서도 양호한 표적의 탐지능력을 보유하고 있어, 대한민국 전차에서는 광학장비와 함께 열영상장비를 탑재하여 무기체계의 생존성과 작전 능력을 극대화 하고 있다.

열영상장비의 성능을 측정하는 주요 파라미터로 시계(field of view), 배율(magnification), 분해능(resolution), 변조전달함수(MTF), 잡음등가온도도차(NETD), 최소분해능온도차(MRTD)등의 지표가 사용되고 있다.[2] Minimum Resolvable Temperature Difference(MRTD)는 열영상장비의 적외선 광학계, 검출기, 전자회로, 영상전시체등을 모두 포함한 파라미터로, 시스템의 열 분해능과 공간 분해능의 관점에서 열영상장비의 성능을 종합적으로 나타내는 지표로 높은 활용도를 가진다.

MRTD의 기본적 개념은 특정 크기 표적과 배경이 온도차를 가질 때 공간주파수에 따라 최소분해가능 온도차를 측정하여, 탐지(detection)/인지(recognition) / 식별

(identification)이 가능한가를 공간 주파수의 함수로 표현한 것이다.[3]장비의 성능 측정은 source로부터 방출되는 적외선 영역의 빛과 배경의 온도차를 줄어가며 측정자의 판단에 따라 source를 구별할 수 있는 분해 가능한 최소 온도차를 판별한다. 측정방법에 있어 NATO (STANAG 4347: Nato Standardization Agreement)에서 제시된 대로 숙련된 측정자의 시각정보에 의존하여 결과를 산출한다.[4]MRTD의 측정 결과는 측정시스템 반복성(Repeatability)와 재현성(Reproducibility)의 변동 요인에 따라 측정간의 오차가 발생한다. 즉, 같은 환경에서 장비의 성능을 측정하는 측정자들 서로간의 측정 평균 차이와 주관적 개입에 따라 다른 측정결과를 도출해낸다. 또한 조도등과 같은 측정 환경 요인에 의해서도 같은 장비의 다른 성능 측정결과가 도출된다. 제품의 측정 시스템에 영향을 미치는 측정 변동 요인을 최소화하기 위하여, 주관적인 판단의 개입요소가 많은 정성적인 평가 지표를 대신하여 영상의 gray scale을 바탕으로 한 정량적인 MRTD 성능 평가 방법의 적용이 장비의 성능 데이터의 높은 신뢰도를 확보 할 수 있다.

대한민국 전차의 국방규격서에서 군용 열영상장비의 성능은 배율, 시계, 시계 변환 조준점 변위 및 MRTD를 요구한다. 실제 K 계열의 열영상장비의 중요한 성능요소는 관측거리에 따른 사물의 열 분해능을 측정할 수 있는 관측거리로 평가되어야한다. 표적의 특성, 대기조건, 장비의 성능 등을 조합하여 열영상장비의 관측거리에 대한 예측이 가능하므로, gray scale의 영상처리를 활용한 정량화된 MRTD의 도출은 매우 중요한 요소가 된다. 군의 작전 운용 환경에서 MRTD를 활용한 탐지거리 예상은 군사 작전 시 매우 효율적인 전투를 위한 기본 바탕으로 사용이 가능하다.

현재 적외선 탐지장비가 사용되고 있는 대표적인 무기체계는 K 계열전차, TAS, PKX EOTS, UAV, KHP등이 있다. 이들 장비마다 다르게 적용되고 있는 MRTD 측정방안에서 본 연구에서 제시되는 정량적인 MRTD 측정방법이 적용될 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1절에서는 MRTD 개념 및 기존 MRTD 측정 절차를 설명하고, 2.2절에서는 gray scale을 이용한 정량적 MRTD 측정방안을 제시하고, 2.3절에서는 영상처리를 바탕으로 장비의 실제 탐지 가능한 거리를 계산하였다. 3절에서는 결론에 대하여 설명한다.

2. 본론

2.1 기존 MRTD 측정 방법

열영상장비는 적외선광학계, 수직/수평주사기, 검출기, 신호처리기, 영상재현장치 등 다양한 하위 구성품으로 이루어져있다. 다양한 성능지표 중에서 온도 분해능과 공간 분해능을 종합적으로 나타내는 지표로 최소분해가능온도차(MRTD)가 널리 활용된다. MRTD는 탐지하고자 하는 표적이 배경과의 온도차를 인지적 관점에서 식별 가능한 최소 온도차를 의미한다.

최소분해가능온도차는 공간주파수(spatial frequency)의 함수로 표현하며, 실제 열영상 시준기를 통한 균등한 온도를 가지는 4-bar Target에 ∇T 온도 차이를 가지는 단일 또는 여러 가지의 표적을 사용한다. STANAG 4349 : Nato Standardization Agreement에서 사용되는 표적은 4-bar Target이며, 측정 source로 사용한다. MRTD 측정을 위한 구성은 Fig 1과 같다.

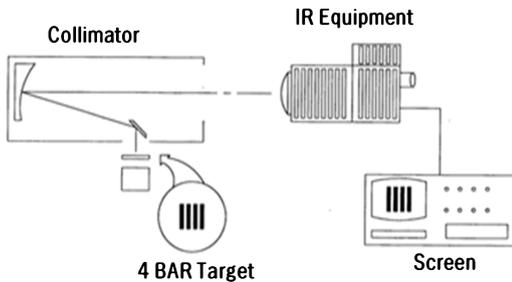


Fig. 1. MRTD Measurement System

광학시준기(collimator)는 4-bar Target에서 방사하는 적외선 에너지 경로를 평행 상태로 전환하여 실제 물체가 무한대의 거리에 있는 것으로 인식하여, 무한대의 공간에서 측정하는 것과 동일한 효과가 나타난다. 즉, 공간 주파수를 변화시킴으로써 실제 열영상장비의 거리 변화에 따른 MRTD 측정이 가능하다. 열영상장비로부터 분석된 적외선 영역의 신호는 스크린에 전시되며, 이를 측정자가 측정하여 최소 분해가능 온도차를 측정한다.[5]

대한민국 K 계열 전차등의 국방규격서의 MRTD 측정시스템은 공간주파수를 2 cycle/mrad으로 고정시키고, 중횡비가 7:1의 비율인 표준막대표적 4개를 열영상표적 시준기에 위치하여, 규정한 공간주파수에서 표적을 주시 하면서, 표적의 온도차가 충분히 높은 상태에서 서서히 온도를 내리면서 표적이 사라지기 직전의 온도 T_a 와 표

적의 온도차가 충분히 낮은 곳에서 표적의 영상을 확인한 후 서서히 올려 표적이 사라지기 직전의 온도 T_b 의 온도를 측정한다.[6]4-bar Target의 온도가 배경 높은 상태를 백상이라고 하며, 이를 ∇T_{white} 라고 하며 4-bar Target의 온도가 배경 낮은 상태를 흑상이라고 하며 ∇T_{black} 으로 표현한다. 타겟과 주변 환경의 온도에 따라 측정하고자 하는 물체의 영상은 백색과 흑색으로 시현될 수 있으므로, 이에 대한 평균값과 시준기의 효율계수를 곱하여 MRTD를 계산한다.[7]

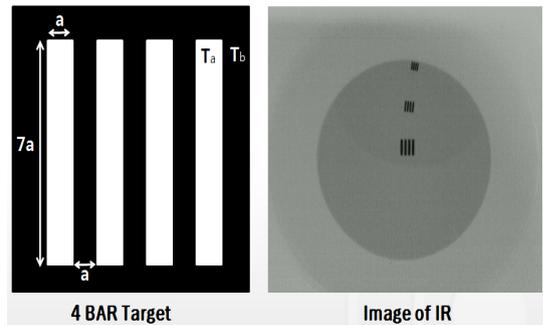


Fig. 2. 4-bar Target & image of IR camera

$$\nabla T: |T_a - T_b|$$

T_a : 표적의 온도, T_b : blackbody 온도

$$MRTD = \frac{\nabla T_{white} + \nabla T_{black}}{2} \times K \quad (1)$$

K = collimator correction efficiency

실제 K 계열 전차의 MRTD 측정 시험 구성은 열영상 장비와 열영상장비의 신호처리 및 통제를 위한 사격통제 컴퓨터와 성능시험을 위한 검사장비로 구성되어 있다. MRTD를 측정하기 위한 4-bar Target의 black body는 0.01°C의 resolution을 가지며, black body가 방사하는 온도는 균일하게 분포된다. black body emissivity는 97%±3%이며, 광학시준기를 포함한 보정계수(K)는 95%이다. 열영상장비를 시준기의 적외선 빔에 직각이 되도록 정렬시킨 후 초점을 맞추어 적외선 영상을 촬영한다. Fig 3은 실제 시험에서 사용되는 시준기의 사진이며, Fig 4(a)에 설치되어 있는 열영상장비의 측정 결과는 Fig 4(b)와 같이 시험장비에 영상으로 전시된다.



Fig. 3. IR collimator

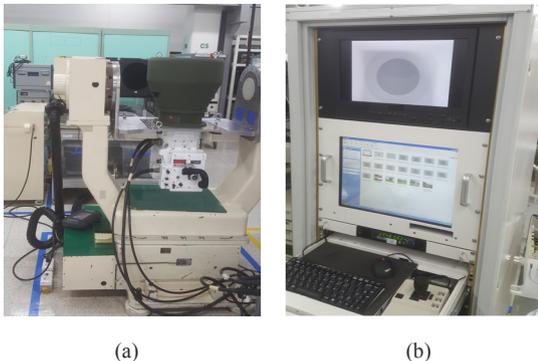


Fig. 4. (a) IR test set up (b) IR test equipment

Fig 5는 국방규격에 따라 관측한 K 계열의 포수열영상조준경(Gunner's Primary Tank Sight)의 MRTD 측정 결과이며, Fig 6은 전차장 조준경(Commander's Panoramic Sight)의 MRTD 측정결과이다. 측정자의 주관적인 판단을 기초로 한 MRTD의 측정값은 측정자의 상태와 환경에 따라 상이한 결과가 도출됨을 파악 할 수 있다.

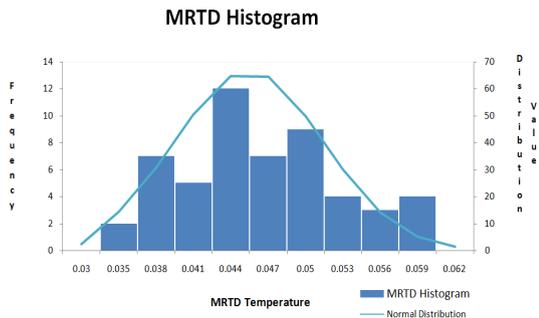


Fig. 5. K*GPS MRTD histogram & distribution

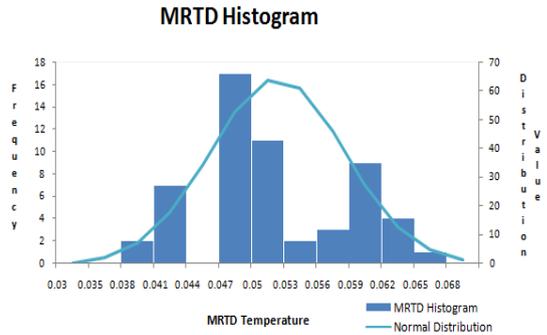


Fig. 6. K*CPS MRTD histogram & distribution

2.2 정량적 방법을 이용한 MRTD 측정

적외선 관측 장비의 MRTD 성능 측정은 열영상장비가 전차에 탑재되어, 성능을 측정하는 대신 FAT(factory acceptance test)에서 수행되며, 장비를 사용하기 위해서는 국방규격서에서 요구되는 성능특성치 이상의 결과가 측정되어야 한다. 측정자 중심의 정성적인 MRTD 측정 방법은 인간의 인지적 관찰시스템에 의존 하므로 다양한 주관적인 외부 요인의 개입가능성이 존재한다. 따라서 측정시스템이 제품의 실질적 특성 변동에 미치는 영향을 최소화하기 위한 정량적인 측정 방법이 필요하다.

MRTD 측정표준에 의한 적외선 영상의 관독은 장비에 성능을 미치는 모든 단계의 sub-assembly의 특성에 따라 변화할 수 있으므로, 조립 후 최종단계에서 사용자가 확인 할 수 있는 데이터를 기준으로 선정하여야 한다. 현재 장비의 적외선 스펙트럼은 TFT LCD의 흑백 화면으로 테스트 장비에 전시된다. 테스트 장비와

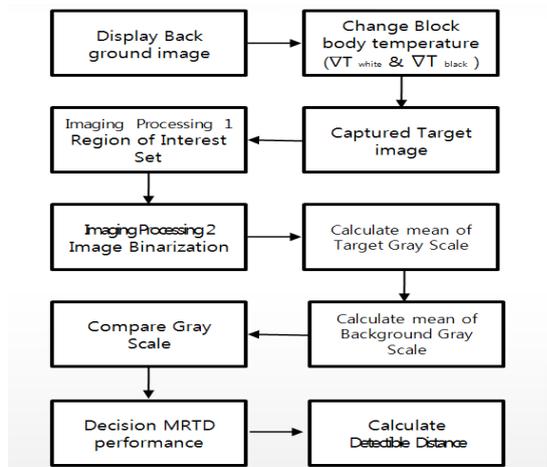


Fig. 7. MRTD performance decision algorithm

열영상장비의 스크린에서 측정할 수 있는 gray scale 값은 동일하므로, 테스트 장비에 입력되는 영상을 이미지 프로세싱 처리를 이용하여, 장비의 성능 요구 조건 만족을 확인한다.

MRTD의 정량적인 성능측정을 위한 이미지 처리방안은 먼저 원본 영상으로부터 배경 잡음성분을 값을 계산하기 위하여, black body에서 4-bar 영역과 배경의 온도차가 0 °c인 이미지를 전시한다. 국방규격에서 요구하는 K*CPS의 MRTD 성능의 요구조건은 2.0 cycle/mrad의 공간주파수 표적에 대하여 0.10 °c 이하이다. 따라서 black body에서 4-bar 영역의 온도차를 0.10 °c로 설정한다. 4-bar 영역을 구하기 위하여 두 이미지의 차를 구한다. gray scale값을 계산하기 위하여, 4-bar 영역의 주변으로 ROI를 설정하고, 영상의 이진화를 위하여 Otsu threshold를 적용한다.[8] 모폴로지를 사용하여 잡음을 제거한 4-bar를 얻은 다음, 영상에서 이 영역 1로 적용하고, 그 외 부분을 배경잡음으로 가정하여 0으로 적용한 후 gray scale의 평균을 계산한다. 계절과 환경조건에 따라 타겟의 온도가 배경보다 높은 경우와, 낮은 경우가 있으므로, 흑상과 백상의 MRTD의 값을 계산하여 이를 평균값을 가진다. 2 dimension MRTD를 계산하기 위한, STANAG 4347 : Nato Standardization

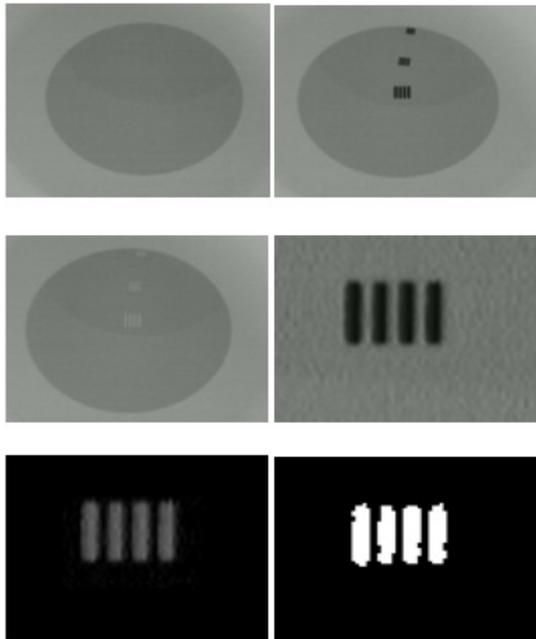


Fig. 8. MRTD image processing

Agreement은 기존 CRT 모니터의 주사방식을 고려한 시험 방식이므로 현재 사용되고 있는 LCD 방식의 영상 장비에는 고려할 필요가 없으므로 제외한다. 열영상장비의 성능 측정을 위한 gray scale의 평균값은 식 (2)과 같다. Fig 8는 영상으로부터 4-bar 영역의 gray scale의 평균을 구하는 과정이다.

$$f_{mrt d}(x, y) = \frac{\left| \frac{\sum Gray_{black}}{D_{target}} - \frac{\sum Gray_{background}}{D_{background}} \right| + \left| \frac{\sum Gray_{white}}{D_{target}} - \frac{\sum Gray_{background}}{D_{background}} \right|}{2} \quad (2)$$

Table 1. Mean gray scale of 4-bar, background, K*CPS

Property (T =0.10°C, 2.0 cycle/mrad)	Gray scale
$\frac{\sum Gray_{black}}{D_{target}}$	139.33
$\frac{\sum Gray_{white}}{D_{target}}$	134.00
$\frac{\sum Gray_{white-background}}{D_{white-background}}$	100.07
$\frac{\sum Gray_{black-background}}{D_{black-background}}$	104.00

Table 2. Mean gray scale of 4-bar, background, K*GPS

Property (T =0.10°C, 2.0 cycle/mrad)	Gray scale
$\frac{\sum Gray_{black}}{D_{target}}$	167.3
$\frac{\sum Gray_{white}}{D_{target}}$	162.08
$\frac{\sum Gray_{white-background}}{D_{white-background}}$	76.60
$\frac{\sum Gray_{black-background}}{D_{black-background}}$	82.62

K*CPS의 경우 gray scale의 차이가 4.63이상의 값이 검출될 경우, 0.10 °c의 분해능 이상의 성능을 나타낸다고 할 수 있으므로, 국방규격에 제시한 성능요구조건 보다 높으므로, 만족한다고 할 수 있다. K*GPS의 경우도 마찬가지로 5.57을 기준점으로 한다.

Table 3. K*CPS gray scale difference per state ranges

Temperature difference	Gray scale difference			State range
	Black	White	Mean	
0.05	3.07	2.38	2.73	Detection range
0.1	5.33	3.93	4.63	Recognition range
0.15	6.75	4.94	5.85	Identification range
0.2	8.20	6.32	7.26	
0.25	10.85	9.12	9.99	
0.3	11.79	10.17	10.98	
0.4	15.27	12.37	13.82	
0.5	18.61	13.981	16.30	

Table 4. K*GPS gray scale difference per state ranges

Temperature difference	Gray scale difference			State range
	Black	White	Mean	
0.05	4.01	5.46	4.74	Detection range
0.1	5.22	5.92	5.57	Recognition range
0.15	6.74	6.30	6.52	
0.2	7.10	7.27	7.19	Identification range
0.25	7.72	8.20	7.96	
0.3	9.27	8.93	9.10	
0.4	10.29	10.50	10.40	
0.5	12.13	11.75	11.94	

온도 변화에 의한 탐지/인지/식별 상태는 Table 3과 Table 4와 같다. 판별수준 탐지의 정의는 표적의 존재유무를 확인할 수 있는 정도이며, 인지는 사람, 나무, 전차 등 표적이 속한 종류를 확인할 수 있는 정도이고, 식별의 정의는 전차의 세부 종류를 확인할 가능한 상태를 의미한다.

2.3 열영상장비 탐지가능 거리 연구

MRTD를 바탕으로 열영상장비의 탐지 가능한 거리를 예측할 수 있다. 국방규격에서 요구하는 고정된 공간주파수에서 온도의 변화에 따른 MRTD를 수치를 활용하는 대신, 공간주파수를 변화시켜 탐지 가능한 MRTD를 확인하였다.

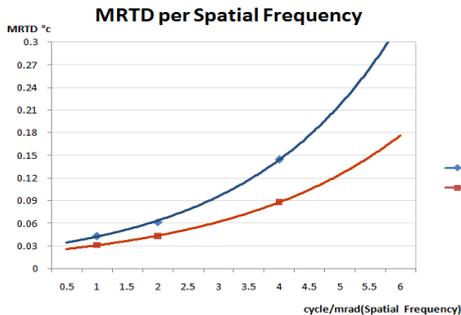


Fig. 9. MRTD per spatial frequency

거리에 따른 열영상장비의 성능을 계산하기 위하여 3가지 파라메타가 필요하다. MRTD, 표적의 크기, 대기 투과율이다. 거리와 공간주파수의 관계식은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$D_{meter} = \xi \cdot \sqrt{\rho_{hor} \cdot \rho_{ver}} \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

식 (3)에서 ξ 는 공간주파수(spatial frequency)이며 cycle/mrad로 표현되며, D_{meter} 는 거리, ρ_{hor} 는 타겟의 가로 크기(meter), ρ_{ver} 는 타겟의 세로 크기(meter)이다.

대기와 대기투과율에 따른 표적 온도의 변화량은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\Delta T(R) = \Delta T_0 \times e^{-(1-\sigma)R} \quad (4)$$

ΔT_0 는 원본 표적의 온도이며, σ 는 대기 투과율로 0.2 ~ 1.0사이의 값을 가진다. 대기 투과율은 대기 모델의 주요 영향을 받는 대기 가스, 수분, 온도에 따라 변화한다. 적외선 영역의 대기 투과율은 1976 US Standard를 기준으로 투과 거리 1Km 기준에서 기후 모델을 변화시켜 투과율을 계산하였다. 고층운(altostratus)에서의 투과율은 0.847/Km, 폭우(heavy rain)에서는 0.045/Km, 맑은 날씨(clean)에서는 0.847/Km, 안개(fog) 0.782/Km로 계산되었다.[9][10]대기 모델 중 수분 함유량에 따른 빛의 산란 및 흡광을 영향으로 인하여 대기 투과율이 변화한다. 맑은 날씨와 안개 상태의 대기는 약 7.6%정도로 적외선의 대기 투과율이 감소한다.

거리에 따른 대기 투과율은 Fig 10과 같다.

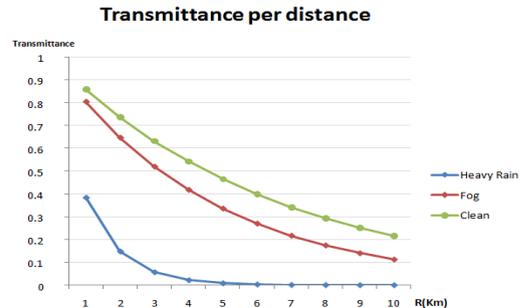


Fig. 10. Transmittance per distance

NATO STANAG 4347의 표준 표적의 크기는 2.3m × 2.3m이며, 공간주파수에 따른 K*CPS, K*GPS의 열영상장비에서 탐지할 수 있는 표적 거리는 적외선 대기 투과율과 공간주파수별 MRTD 측정 결과에 따라 Fig 11와 같이 계산된다. K 계열전차의 맑은 날씨, 안개, 폭우의 환경에 따른 탐지 가능한 거리는 Table 5와 같다.

Detection distance in various atmospheric environments

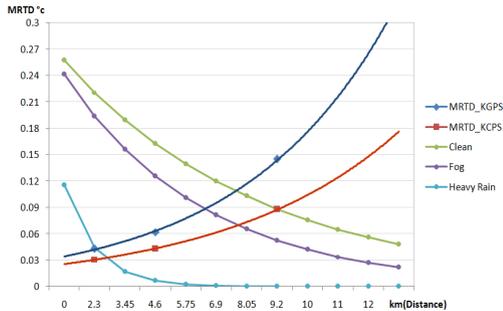


Fig. 11. Detection distance in various atmospheric environments

Table 5. K*GPS distance in environmental conditions

Environmental conditions	Distance(Km)	
	K*CPS	K*GPS
Clean	8.50	6.93
Fog	6.95	5.84
Heavy Rain	2.46	2.11

4. 결론

적외선 관측 장비의 성능 평가 지표는 시계, 배율, 분해능, 변조전달함수, 잡음등가온도도차, 최소분해가능온도차 등이 있다. 공간분해능과 온도분해능을 종합적으로 표현할 수 있는 최소분해가능온도차는 측정환경과 관측자에 따라 측정결과가 변화하는 정성적인 측정방법이다. 따라서 본 논문에서는 MRTD의 성능을 정량적인 방법으로 측정하기 위하여 4-bar의 온도변화에 따라 시스템 최종단인 영상전시기에서 출력되는 화면의 배경과 4-bar의 온도차를 gray scale의 차이를 활용하여 장비의 성능 충족여부를 판단하였다. 제안한 방법의 결과 K*CPS의 성능적합성의 기준의 gray scale 값은 4.63이며, K*GPS는 5.57으로 계산된다. Gray scale 차이에 의한 탐지/인지/식별의 단계를 확인할 수 있다. MRTD의 공간주파수 측정 결과를 바탕으로 K 계열 전차의 열영상장비의 탐지 가능한 거리를 대기 모델에 따른 대기 투과율을 계산한 결과 맑은 날씨 조건에서 K*CPS는 8.50Km의 거리에서 2.3m × 2.3m의 물체를 탐지할 수 있으며, K*GPS는 6.93Km의 거리가 관측 가능한 범위임을 확인하였다.

향후 과제는 TAS, PKX EOTS, UAV, KHP등에 탑재되어 있는 다양한 열영상장비의 정량적인 성능측정의 표준화 방안에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

References

- [1] Seokmin Hong, "A introduction of Thermal equipment", Technical Report, Agency for Defense Development, May, 1992.
- [2] Night Vision Thermal Imaging Systems Performance Model, Rev 5, U.S Army Night Vision and Electronic Sensors Directorate Modeling & Simulation Division, Mar. 2001.
- [3] NATO Standardization Agreement, STANAG 4347, Definition of nominal static range performance for thermal imaging systems, Edition 1, Military agency for standardization(MAS), 1995.
- [4] NATO Standardization Agreement, STANAG 4349, Measurement of the minimum resolvable temperature difference(MRTD) of thermal cameras, Edition 1, Military agency for standardization(MAS), 1995.
- [5] Cao Miao, Cui Wenjie, Yao qinghua, "The Study on the MRTD Measurement System of Medical Infrared Thermal Imager Based on Sub-Pixel Edge Detection Algorithm", International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering Vol. 11, No. 7, pp. 119-126, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.14257/ijmue.2016.11.7.12>
- [6] Defence specification, Korean Commander's Thermal Panoramic Sight, KCPS, KDS 1240-****, Defense Acquisition Program Administration, June, 1999.
- [7] An American National Standard, Test Method for Minimum Resolvable Temperature Difference for Thermal Imaging Systems, Designation: E 1213 -97, February, 1998.
- [8] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histogram", IEEE Trans. on System Man Cybernetic, vol. SMC-9, No. 1, 1979.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
- [9] Eugene Chong, ByeongHwang Park, Youngil Kang, "Atmospheric Transmittance for Korea climate in the LWIR from both Modeling and passive Type FTIR measurements", Technical Report, Agency for Defense Development, Sep. 2013.
- [10] "US Standard Atmosphere 1976", US Government printing office, Washington DC, 1976.

정 영 탁(Yeong-Tak Jung)

[정회원]



- 2011년 2월 : 경희대학교 공과대학 전자전파과 (공학사)
- 2011년 2월 ~ 2014년 8월 : 한국항공우주산업
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

적외선 탐지 장비, 영상처리

임 재 성(Jae-Seong Lim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한양대학교 공과대학 전자통신공학과 (공학사)
- 2014년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2015년 6월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 연구원

<관심분야>

영상 처리, 적외선 영상 표적 탐지

이 지 혁(Ji-Hyeok Lee)

[정회원]



- 2004년 2월 : 연세대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 2006년 6월 : USC(University of Southern California) M. S. in Electrical Engineering.(공학석사)
- 2010년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원(DTaQ) 선임 연구원

<관심분야>

정보처리, 영상 표적 추적