Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 25, No. 5 pp. 74-79, 2024

https://doi.org/10.5762/KAIS.2024.25.5.74
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

거리측정용 레이저가 야간투시경의 흑점 발생에 미치는 영향 연구

윤장호
국방기술진흥연구소 획득연구부

Effect of the Laser Range Finder on the Occurrence of Black Spot in Night Vision Goggles

JangHo Yoon
Precedent Study Team, Korea Research Institute for defense Technology planning and advancement

요 약 과거에는 무기체계의 개발 및 운용 시 무기체계의 기본성능 외에 다른 장비에 미치는 영향에 대해 거의 고려하지 않았으나, 현대에 들어와서는 무기체계가 점점 복잡해지고, 다양한 장비와 함께 운용함에 따라 무기체계의 개발 및 운용 시 다른 장비와 상호 미치는 영향에 대해 고려하지 않을 수 없게 되었다. 거리측정용 레이저는 각종 관측장비, 대공포 전자광학추적장치를 포함한 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 헬기 조종사의 야간투시경 운용 중에 발생한 흑점이 대공포 전자광학추적장치의 거리측정용 레이저에 의해 발생했을 것이라고 추측된 바 있다. 야간투시경에 발생하는 흑점은 야간투시경 운용 중 발생하는 가장 큰 문제로 알려져 있다. 본 논문에서는 거리측정용 레이저가 야간투시경의 흑점 발생에 미치는 영향을 알아보고, 흑점 발생 방지방안을 제안하여 향후 야간투시경의 개발 및 운용 시 고려해야 할 사항을 모색하고자 하였다.

Abstract In the past, only the basic performance of a weapon system is considered when developing and operating them. On the other hand, as weapon systems become increasingly complex and are operated with various equipment, the mutual impact must be considered. Laser range finders are used in a variety of fields, including various observation equipment and anti-aircraft guns. It has been speculated that during the operation of night vision goggles for helicopter pilots, the laser from the electro-optical tracking system (EOTS) of an anti-aircraft gun is incident on the night vision goggles, causing black spots. Black spots in night vision goggles are the biggest problem while operating them. This study examined the effects of laser range finders on the occurrence of black spots in night vision goggles. This paper suggests ways of preventing black spots when developing and operating night vision equipment in the future.

Keywords : Black Spot, Night Vision Goggle, Night Vision Device, Laser Range Finder

1. 서론

1.1 레이저거리측정기

적외선을 사용하는 레이저거리측정기는 원거리에 위치한 표적과의 거리를 측정하는 목적으로 운용한다. 가까운 거리에서 매우 높은 정확도를 가지는 상용 레이저거리측정기나 달까지의 거리를 측정할 수 있는 레이저거리측정기 등 여러 가지의 레이저거리측정기가 있지만 군용 레이저표적거리측정기는 우천, 안개, 시계불량 등의 악조건 하에서도 성능저하가 적고, 원거리 단일 표적에 대한 정확도 향상을 위해 집진도가 좋아야 하며, 훈련 시 사람 눈에 유입될 소지도 다분하므로 눈에 대한 안정성

*Corresponding Author : JangHo Yoon(KRIT)
email: yjangho@krit.re.kr
Received February 19, 2024 Revised March 4, 2024
Accepted May 3, 2024 Published May 31, 2024

이 요구된다[1]. 거리측정용 레이저의 영향에 대한 연구는 사람 눈 안전에 미치는 영향에 대해 연구가 진행되어 왔으나, 다른 장비 간 상호 미치는 영향에 대해서는 연구가 진행되지 않았다[2].

최초의 군용 레이저거리측정기는 10.6㎛ 파장의 CO_2 레이저가 개발되었으나, CO_2레이저는 우천 또는 고습도 시 대기투과율이 취약한 단점이 있다. 우천 또는 고습도 시에도 대기 투과율이 우수한 네오디뮴야그레이저(Neodymium-doped Yttrium Aluminum Garnet Laser)는 1.06 ㎛파장으로 사람 망막에 데미지를 주며, 대기 중 산란에 의한 감쇄가 크다는 단점이 있다. 라만레이저(Raman Shifted Nd-Yag Laser)는 네오디뮴야그레이저를 라만 산란시켜 1.54㎛의 파장을 가지므로 대기투과율 및 눈 안정성 등 상대적인 성능이 우수하여 현재 대부분의 군용 레이저거리측정기에서 사용되고 있다. 어븀(Erbium) 레이저를 사용한 레이저거리측정기도 개발되었으며, 어븀 레이저의 파장은 1.54㎛로 라만 레이저와 같고 라만 셀이 필요치 않아 무게가 가볍다는 장점이 있다. 국방 분야에서 1.54㎛ 파장대 레이저거리측정기의 사용은 계속될 것으로 예상되어 본 연구도 1.54㎛ 파장대의 레이저를 기준으로 수행하였다.

1.2 야간투시경

야간투시경은 가시광선과 근적외선 파장의 빛을 이용하여 야간에 목표물을 관측한다. 영상증폭관은 이러한 기능을 가진 야간투시경의 핵심 부품으로 성능에 따라 1~4세대로 분류된다[3,4]. 1세대 야간투시경은 영상증폭관 모듈을 3개 직렬 연결한 형태로 1960년대초에 개발 및 사용되었으나, 급작스러운 밝은 빛에 영상증폭관이 손상되거나 영상 품질이 낮고, 영상이 왜곡되는 단점이 있었다. 1960년대 후반에 미세증폭관(Microchannel plate) 개발에 따라 2세대 야간투시경이 개발되었다. 2세대 야간투시경은 1세대 야간투시경과 달리 한 단계 증폭으로 성능을 발휘할 수 있으므로 부피 및 중량을 줄였으며, 영상 품질도 개선되었다. 1970년대 중반 영상증폭관의 재질을 갈륨비소(Gallium Arsenide)로 변경하여 3세대 야간투시경이 개발되었다. 영상증폭관의 미세증폭관에 이온차단막을 적용하여 수명을 연장시켰다. 2000년대의 4세대 야간투시경은 신호대 잡음비를 향상시키고 파장 범위를 확장한 영상증폭관을 적용하였다. 현재 군은 2, 3세대 야간투시경을 주로 사용하고 있으며, 4세대 영상증폭관도 점차 도입 중이다.

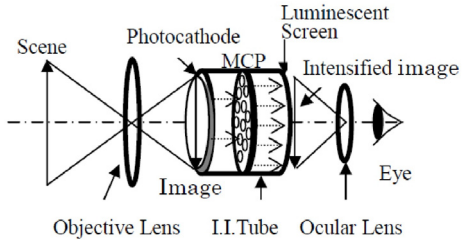


Fig. 1. Stucture of night vision goggles

야간투시경의 일반적인 구조는 Fig. 1과 같다. 야간에는 월광이나 성광이 존재하며, 물체에 반사된 빛이 대물렌즈를 통해 영상증폭관으로 들어오게된다. 영상증폭관의 전단부에는 광음극(Photocathode)이 위치하며, 빛을 받으면 빛의 세기에 따라 전자를 내보내게 된다. 광음극을 지나면 미세증폭관(MCP: Micro Channel Plate)이 있으며, 미세증폭관은 수많은 관 형태의 채널이 합쳐진 구조로 되어있다[5,6]. 미세증폭관에는 전원이 연결되어 있으며, 입력단에 전자에 따라 증폭하여 더 많은 전자가 출력된다. 미세증폭관 이후에는 발광막(Luminescent Screen)이 있어 전자가 충돌하면 화면에 출력된다. 발광막은 대부분 녹색 형광물질을 사용하여 야간투시경의 화면이 녹색화면이 된다.

1.3 야간투시경에 레이저 입사 사례

2, 3세대 야간투시경은 각각 400~850㎚, 550~950㎚ 파장의 빛을 증폭하며, 4세대 야간투시경은 400~900nm 파장의 빛을 이용한다. 군용 거리측정기의 레이저는 1.54㎛의 파장을 이용하므로 야간투시경의 미광증폭 원리와는 직결되지는 않는다. 따라서 레이저거리측정기에 의해 야간투시경에 흑점이 발생한다면 야간투시경의 원리보다는 레이저 에너지로 인해 영상증폭관의 일부분이 타버려 정상 동작을 하지 않게 되어 흑점이 발생하는 것으로 추정된다. Fig. 2은 대공포 전자광학추적장치(EOTS: Electro Optical Tracking System)의 레이저거리측정기에서 발사한 레이저에 의해 헬기 조종사의 야간투시경에 흑점이 발생한 것으로 추정되는 사진이다[7].

거리측정용 레이저가 야간투시경으로 입사되는 경우 중 대공포 전자광학추적장치의 거리측정용 레이저가 헬기 조종사의 야간투시경에 입사되는 경우가 가장 대표적이며, 이외에도 관측장비 또는 전차 등의 거리측정용 레이저가 보병용 야간투시경으로 입사 가능성이 있다.

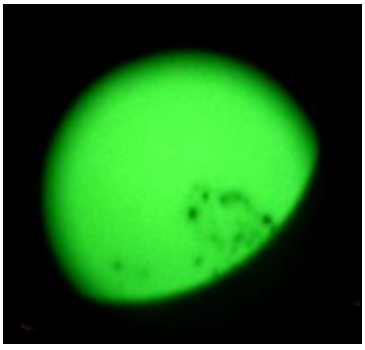


Fig. 2. Presumed to be a black spot caused by anti-aircraft gun EOTS's laser

영상증폭관에서 발생하는 흑점은 야간투시경의 가장 큰 문제로 수리가 불가능하여 한번 흑점이 발생하면 흑점이 발생한 부분은 영구적으로 사용하지 못하게된다. 운용이 어려울 정도로 큰 흑점이 발생하거나 여러 흑점이 발생하게 되면 영상증폭관을 교체하여야 하며, 비용 측면에서도 가장 고가의 핵심 부품이므로 흑점 발생을 방지하여 운용하여야 한다.

거리측정용 레이저도 흑점이 발생하는 여러 가지 원인 중 하나일 것이라는 추측이 있었지만 실제로 레이저거리측정기에 의해서 흑점이 발생하는지 여부는 확인되지 않았다. 따라서 본 논문에서는 거리측정용 레이저에 의한 야간투시경의 흑점 발생 가능성 여부를 확인하고, 흑점 발생 방지방안을 제시하여 향후 야간투시경과 유사장비의 개발 및 운용 시 고려해야할 사항을 모색하고자 하였다.

2. 본론

2.1 레이저에너지의 감소율

현재 군에서 운용 중인 일반적인 레이저거리측정기의 펄스 출력 에너지는 장비에 따라 일부 차이는 있으나, 10~20mJ 수준이며, 빔 발산각은 0.65mrad 수준이다. 실제로 야간투시경의 운용 중 레이저가 입사하는 경우 대부분 일정 거리에서 이상에서 입사하게 되며, 거리에 따라 대기투과율과 빔 발산에 의한 감소율이 달라지게 된다.

2.1.1 대기투과율에 의한 에너지 감소율

적외선의 대기투과는 파장에 따라 변화가 크며 대기 중에 분포되어 있는 공기분자와 물분자, 연무질에 의한 산란 및 흡수에 의해 결정된다. 대기 감쇄 계수는 다음식과 같이 나타낼 수 있으며, 연막이나 그 외의 요소에 의한 감쇄가 추가될 수 있다.

$$\sigma = K_m + \sigma_m + K_a + \sigma_a + \sigma_{H_2O} + \sigma_{rain} + \dots \quad (1)$$

Where, K denotes absorption, σ denotes dispersion, m donates molecule, a donates aerosol

$$W = W_p e^{-\sigma R} \quad (2)$$

Where, W_p denotes pulse energy, R denotes range

2.1.2 빔 발산에 의한 에너지 감소율

일반적인 군용 레이저거리측정기의 빔 발산각은 0.65mrad 수준으로 1km 떨어진 곳에 도달하게 되면 레이저 빔의 구경이 약 650mm로 증가하게 된다. 반면 야간투시경의 대물렌즈 구경은 일정하므로 레이저 펄스 출력 에너지의 일부분만 야간투시경으로 입사하게 된다. 레이저의 에너지 밀도는 일반적으로 가우시안 빔 모델을 사용한다. 레이저 빔이 가우시안 빔이며, 야간투시경에 정면으로 입사하였다고 가정하면 레이저 에너지의 감소율은 가우시안 분포를 이용해 계산할 수 있다.

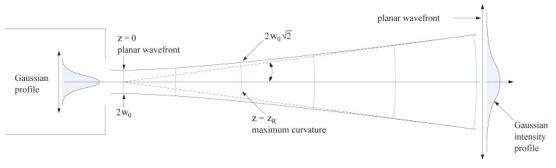


Fig. 3. Gaussian beam propagation

$$I(r,z) = \frac{P}{\pi w(z)^2/2} exp(-2\frac{r^2}{w(z)^2}) \quad (3)$$

Where, P denotes light power

$$w(z) = w_0[1+(\frac{\lambda_z}{\pi w_0^2})^2]^{\frac{1}{2}} = w_0\sqrt{1+(z/z_R)^2} \quad (4)$$

Where, w_0 denotes radius of minimum light, z_R denotes rayleigh range

레이저 빔의 입사 구경은 빛의 세기가 $1/e^2$로 감소되는 지점(가우시안 빔의 반경)이라고 할 수 있으며, 야시장비 구경에 대한 가우시안 누적 분포를 계산하여 야간투시경에 입사하는 에너지의 양을 구할 수 있다.

2.1.3 종합 감소율

대공포 전자광학추적장치의 레이저 출력 펄스 에너지는 10~20mJ이며 레이저의 파장은 1.54㎛, 레이저의 빔 발산각은 0.65mrad 이다. 가시거리 23.5km의 여름 청

명한 날 1km 떨어진 헬기 조종사의 야간투시경(지름 22mm)에 레이저가 정면으로 입사하게 될 경우 에너지는 감소율은 다음과 같이 계산 할 수 있다. 대기투과율에 의한 감소는 94.5%이며, 중심점에서 13.5% 로 감소되는 지점을 650mm라고 할 때 지름 22mm에 들어오는 에너지량은 5.4%이다. 대기투과율에 의한 감소와 레이저 빔 발산에 따른 감소로 총 5.1%(-12.9dB)로 감소하게 되어 약 1.02mJ로 감소한다. 위 조건에서 거리별 대기투과율과 빔 발산에 따른 감소율은 Table 1과 같다.

Table 1. Atmospheric transmittance by distance and reduction rate according to beam divergence (1.54㎛)

Range (distance)	100m	500m	1㎞	2㎞	3㎞
10mJ	99.4%	97.2%	94.5%	89.3%	84.4%
20mJ	50.2%	10.8%	5.4%	2.7%	1.8%
Sum	49.9% -3.0dB	10.5% -9.7dB	5.1% -12.9dB	2.4% -16.2dB	1.5% -18.2dB

2.2 흑점 발생 실험 및 방지방안

2.2.1 실험 구성

레이저거리측정기는 1.54㎛ 파장과 10mJ의 펄스 출력 에너지를 가진 관측장비용 레이저거리측정기를 사용하였으며 대기투과율과 빔 발산에 따른 감소를 위해 Fig. 4과 같이 1.54㎛ 파장에 대해 -10.10dB, -19.83dB 감소가 가능한 감쇄 필터를 사용하였다.

Fig. 4. Light attenuation filter for 1.54㎛ laser

2.2.2 흑점 발생 방지방안

흑점 발생 방지방안으로는 레이저 파장대인 1.54㎛의 투과율은 감소시키며, 야간투시경에서 이용하는 파장대 550~950㎚의 투과율은 높인 광학필터의 적용을 제안한다. 야간투시경에서 사용하는 파장대의 투과율은 높게 설계하여 야간투시경의 성능 유지가 필요하다. 실험을 위해 광학필터를 설계 및 제작하였으며, 파장별 투과율은 Fig. 5과 같다. 1.54㎛파장대의 투과율은 0.2%로 약 -27dB 정도이며, 야간투시경에서 사용하는 가시광선 및 근적외선 550~950nm의 투과율은 90% 수준으로 야간투시경의 성능은 유지할 수 있도록 하였다. 흑점 발생 방지방안은 광학 필터 또는 코팅으로 적용이 가능하므로 기존의 대물렌즈 안에 적용 시 실제 운용 환경에서 내구성 유지가 가능하다.

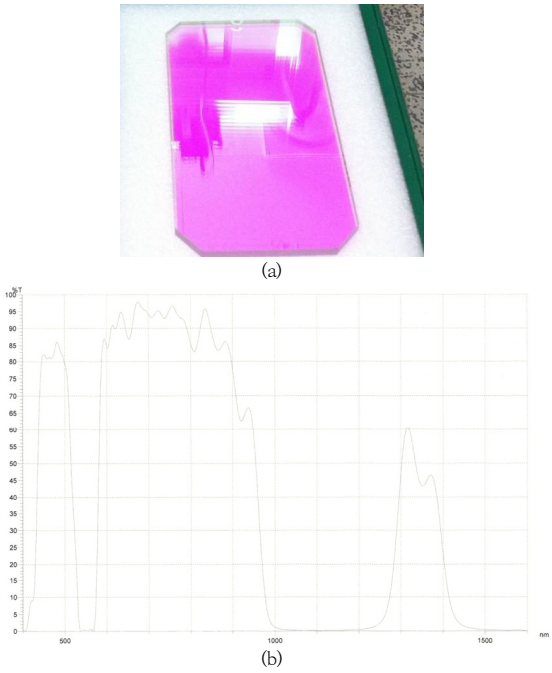


Fig. 5. (a) Light filter for protecting black spots (b) Light filter transmittance by wavelength

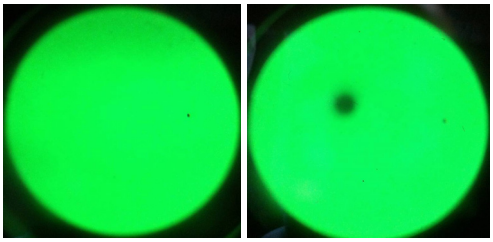
2.2.3 흑점 발생 및 방지 실험

3세대 단안형 야간투시경을 사용하여 흑점 발생여부에 대한 실험을 실시하였다. 대물렌즈의 지름은 약 22mm이며 보병 및 헬기조종사용으로 사용된다.

Fig. 6. 3rd generation night vision goggle black spot occur test

거리가 멀어질수록 대기투과율과 빔 발산에 따른 감소

율이 증가하는데 레이저파장(1.54㎛)에 대해 -10.10dB, -19.83dB 감소가 가능한 감쇄 필터를 사용하여 레이저의 에너지를 감소시켜줌으로 거리에 따른 감소율만큼 감쇄시켜 실험하였다.



(a) (b)

Fig. 7. 3rd gen night vision goggle
(a) before black spot occurred (b) after black spot occurred

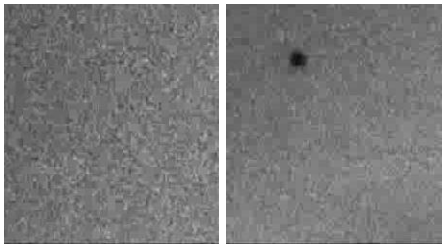
실험 결과 Fig. 7과 같이 -10.10dB 감쇄필터 사용 시 흑점이 발생하였고, -19.83dB 감쇄필터 사용 시 흑점이 발생하지 않았다.

레이저의 빔 발산각은 0.65mrad 이며, 야간투시경의 대물렌즈 지름을 지름 22mm라고 가정했을 때 -10.10dB, -19.83dB의 감쇄필터의 흑점 발생 여부를 거리로 환산하면 Table 2와 같다.

Table 2. Black spot occurrence depending on the distance

Laser Energy	Black spot occur (-10.10dB)	Black spot not occur (-19.83.dB)
10mJ	approx. 500m	approx. 4km
20mJ	approx. 1km	approx. 5km

2세대 영상증폭관에 대해서도 흑점 발생 및 방지 실험을 하였으며, Fig. 7과 같이 3세대 영상증폭관과 마찬가지로 흑점 발생 및 방지가 가능함을 확인하였다.



(a) (b)

Fig. 8. 2rd gen image intensifier tube
(a) before black spot occurred (b) after black spot occurred

흑점 발생 방지방안인 1.54㎛ 레이저 파장에 대한 보호 필터를 적용하였을때는 흑점이 발생하지 않았으며, 야시장비의 성능도 유지됨을 확인할 수 있었다.

2.2.4 실험 결과 고찰

레이저 에너지가 대기투과율와 빔 발산에 따라 감소되는 만큼 감쇄필터를 사용하여 감쇄시켜 실험을 하였으며, 실험 결과 레이저가 근거리(10mJ 레이저 기준 500m)에서 야간투시경으로 입사하는 경우 흑점이 발생하였고, 원거리(10mJ 레이저 기준 4km)에서 야간투시경으로 입사하는 경우에는 흑점이 발생하지 않았다. 흑점 발생 방지방안으로 레이저의 투과는 막으며, 야간투시경의 성능은 유지할 수 있는 광학필터의 사용을 제안하였으며, 흑점 발생 방지가 가능함을 실험을 통해 확인하였다. 가장 대표적인 경우는 헬기 조종사의 야간투시경에 대공포의 전자광학추적장치의 레이저가 입사하는 경우로 헬기의 고도가 높아짐에 따라 레이저 에너지가 감소하게 되므로 낮은 고도로 비행 시 흑점 발생이 가능하다. 이외에도 레이저 출력과 거리에 따라 관측장비 또는 전차의 거리측정용 레이저가 보병용 야간투시경에 입사할 경우 흑점이 발생할 수 있다.

3. 결론

본 논문은 거리측정용 레이저가 야간투시경의 흑점 발생에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 흑점은 야간투시경 운용 중 발생하는 가장 큰 문제로 수리가 제한되기 때문에 야간투시경 성능에 크게 영향을 미칠 경우 영상 증폭관을 교체하여야 하며, 가장 고가의 핵심 부품에 해당하여 흑점 발생을 방지하여 운용하여야 한다. 실제 헬기 조종사의 야간투시경을 운용 중에 발생한 흑점이 대공포 전자광학추적장치의 거리측정용 레이저에 의해 발생했을 것이라고 추측된 바가 있으며, 거리측정용 레이저는 다양한 장비에 사용되므로 야간투시경에 레이저가 입사할 가능성은 다분하다. 따라서 거리측정용 레이저에 의한 야간투시경의 흑점 발생 가능성 여부를 실험을 통해 확인하고, 흑점 발생 방지방안을 제시하여 향후 야간투시경과 유사장비의 개발 및 운용 시 고려할 사항을 모색하고자 하였다.

현재 군에서 가장 많이 사용하는 1.54㎛ 파장의 레이저와 2, 3세대 야간투시경을 사용하여 실험을 하였다. 대기투과율과 빔 발산에 따른 에너지 감소율을 계산하여

실험에 적용하였으며, 레이저가 근거리(10mJ 레이저 기준 500m)에서 야간투시경으로 입사하는 경우 흑점이 발생하는 것이 확인되었고, 원거리(10mJ 레이저 기준 4km)에서 야간투시경으로 입사하는 경우에는 흑점이 발생하지 않았다. 거리측정용 레이저와 야간투시경과의 거리가 흑점 발생에 영향을 크게 미치는 요소로 확인되었다. 흑점 발생 방지방안으로 레이저의 투과는 막으며, 야간투시경의 성능은 유지할 수 있는 광학필터의 사용을 제안하였으며, 흑점 발생 방지가 가능함을 실험을 통해 확인하였다. 헬기 조종사의 야간투시경에 대공포의 전자광학추적장치의 레이저가 입사하는 경우로 헬기의 고도가 높아짐에 따라 레이저 에너지가 감소하게 되므로 헬기의 고도가 높을수록 흑점 발생 가능성은 작다. 흑점 발생가능성 고려 시 레이저 출력, 빔 발산각, 거리, 대물렌즈 크기 등에 대한 고려가 필요하다. 향후 야간투시경의 개발 및 운용 시 거리측정용 레이저에 의한 영향을 고려하여 흑점 발생 방지방안 적용 여부를 고려할 필요가 있음을 확인하였다.

References

[1] Kim, H. S., Performance Analysis of Laser Range Finder Focusing on Eye Safe, Agency for Defense Development, Korea, 1993.

[2] E. Gregor, D.E. Nieusma, and R.D. Stultz, 20 Hz Eyesafe Laser Rangefinder for Air Defense, Electro-Optical and Data Systems Group, Huges Aircraft Company, 1991.

[3] Chrzanowski, K., "Review of Night Vision Technology", Opto-Electronics Review, Vol. 21, No. 2, pp. 153~181, 2013.
DOI: http://dx.doi.org/10.2478/s11772-013-0089-3

[4] Kwon, J.-K. Kim, W. W., "Trends of Night Vision Goggle Technologies", Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 34, No 9, pp. 113~120, 2006.

[5] Kwon, W. G, Kim, Y. S., Technology of Night Vision Goggle, Agency for Defense Development, Korea, 1993.

[6] Kwon, J.-K. Kim, W. W., "Aircraft Night Vision Operation", Journal of the Korea Military Science and Technologies, Vol. 9, No 2, pp. 34~41, 2006.

[7] Yoon, J. H., Kim, J. C., "A study on the effect of the laser range finder on the night vision devices", Proceeding of Conference of Institute of Control, Robotics and Systems, pp 225~233, 2011.

윤 장 호(Jangho Yoon) [정회원]

- 2006년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학과 (학사)
- 2009년 2월 : 고려대학교 전기전자공학과 (석사)
- 2009년 3월 ~ 2021년 1월 : 국방기술품질원 선임연구원
- 2021년 1월 ~ 현재 : 국방기술진흥연구소 선임연구원

〈관심분야〉
국방기술, 무기체계, 전기전자