항공기 야간투시경 운용

Operation of Night Vision Goggle for Aircraft

권 종 광* 김 환 우**
Kwon, Jong-Kwang Kim Whan-Woo

ABSTRACT

This paper describes the general considerations and operational applications of aircraft night vision goggle(NVG). The operators should recognize the NVG characteristics, natural night light sources and interoperability between them. And they have to keep attention to the method to take steps to avoid misperceptions, illusions during flight, and the negative impact on the effectiveness and safety of the mission. The considerations based on the interoperability between NVG and night operation suggest the evaluation items of NVG field test and flight test.

주요기술용어(주제어) : Night Vision Goggles(야간투시경), Night Environment(야간 환경), Compatibility(호환성), Night Vision Imaging System(야시조명계통), Field of View(시계), Panoramic NVG(파노라믹 야간투시경), NVG Field Test(야간투시경 필드 시험), Flight Test(비행시험), Night Operation(야간 운용), flight safety(비행 안전), Misperceptions(오인), Illusion(착시).

1. 서 론

1970년대 야간작전을 보다 원활하게 수행하기 위한 노력으로 야간투시경(Night Vision Goggle)이 개발되었다. 초창기 야간투시경은 가시광선과 적외선 전 영역의 파장 대에서 작동하였기 때문에 항공기에서 적용하기에는 제약이 많았다. 이와 같은 1세대 야간투시경의 제한 조건을 극복하기 위하여 2세대 야간투시경이 개발되었고 이때부터 헬리콥터에서 선별적으로 사용하게 되었다. 2세대 야간투시경 성능을 보완한 3세대 야간투시경이 개발되면서 실제 전장에서 많은 부분 효과를 볼 수 있었다[1].

그러나, 3세대 야간투시경의 한계는 협소한 시계(Field of View)였으며 이것을 극복하기 위해 1990년대 후반부터 개발되기 시작한 파노라믹(Panoramic) 야간투시경(PNVG)은 현재 미 공군에서 운용되고 있으며 계속 성능이 향상되고 있는 중이다[2].

야간투시경 개발과 함께 항공기 조명계통을 야간투시경에 적합(Compatible)하도록 개조하는 기술인 야시조명계통(Night Vision Imaging System)의 도입으로 조종사의 심리적 불안감을 해소하고, 입체적인 야간 특수비행, 적지 근접지원, 저고도 침투 등의 야간작전을 효과적으로 수행할 수 있게 되었다.

조종사가 착용하는 야간투시경은 항공기 운용에서 몇 가지 제약조건들이 있으며 그 제약조건들을 효과

† 2006년 3월 13일 접수~2006년 5월 4일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
** 충남대학교(CNU)
주저자 이메일 : kjk2317@add.re.kr

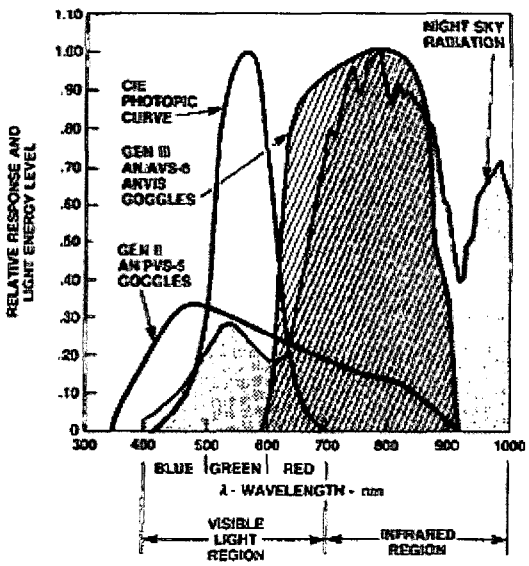
적으로 극복하기 위해서, 운용자는 야간투시경 작동 원리 및 자연환경에서 방사되는 에너지와 야간투시경과의 관계, 항공기 조명 특성, 조종사 심리상태 등의 특성들을 인지하고 있어야한다.

본 논문에서는 항공기 야간투시경 운용을 효과적으로 수행하기 위해서 야간투시경 원리, 야간 조명원들의 종류 및 특성, 야간 조명원과 야간투시경 상호 운용성, 항공기 조명원과 야간투시경 상호 운용성, 운용자 신체상태 및 피로상태, 야간투시경 운용 파장대역 에너지 와 항공기 캐노피 재질 간 영향성 등에 관하여 고찰하고 야간투시경 필드(Field) 평가 항목 및 야간투시경을 위한 항공기 비행시험 평가 요소들에 관하여 제안하고자 한다.

2. 야간투시경

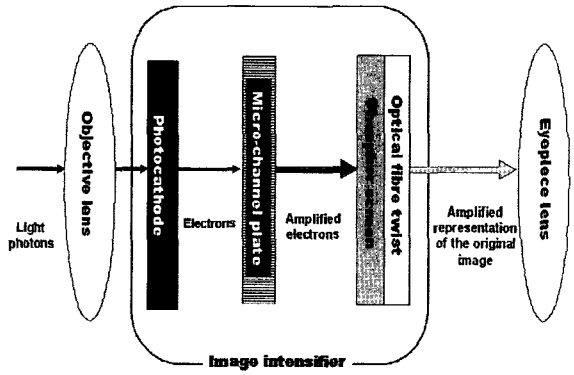
가. 에너지원 및 야간투시경 원리

야간투시경 운용 파장대역은 야간에 방사되는 에너지 중 최고의 상대특성을 가지고 있는 파장대의 에너지를 사용한다. 2세대(Generation 2), 3세대(Generation 3) 야간투시경 파장대 별 응답 특성, 주간 육안 응답 특성(CIE Photopic Curve) 및 야간 자연 방사 에너지를 파장대별로 나타내면 그림 1과 같다.



[그림 1] CIE Photopic 곡선에 대한 GEN II, GEN III 야간투시경 상대응답 및 야간 자연 방사 패턴

야간투시경은 자연 방사 조명원(달, 별빛 등)의 에너지를 대물렌즈(Objective Lens)로 집광시켜 광음극(Photocathode)을 통해 전자로 변환시키며 이때 영상은 180도 위상 변환된다. 그 다음 단계인 미세채널(Microchannel)을 거치면서 증폭된 전자가 형광체막(Phosphor Screen)에서 광자로 전환되며 광섬유꼬임(Optical Fibre Twist) 단계에서 영상 위상이 180도 재 반전된다. 증폭관을 거쳐 증폭된 영상은 접안렌즈(Eyepiece Lens)를 통해 인지할 수 있게 된다. 야간투시경 기능적 도해도를 그림 2에 나타내었다.



[그림 2] 야간투시경 기능적 분해도

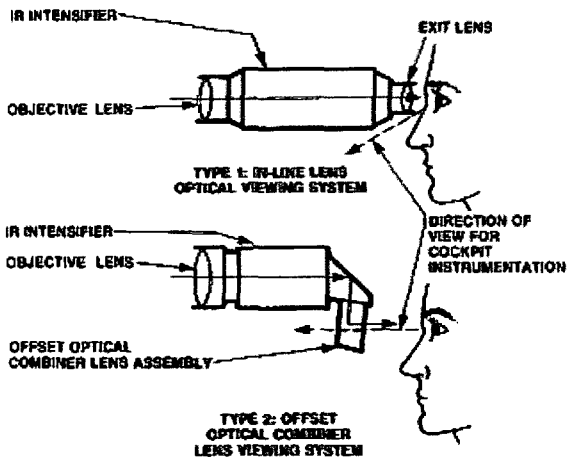
야간투시경 세대 구분은 영상증폭관의 사용 재질에 따라 분류되며, 2세대 야간투시경에서 사용된 영상증폭관 소재는 Tri-alkali이며 3세대 야간투시경은 Gallium Arsenide를 영상증폭관 소재로 사용하였다[3].

나. 야간투시경 종류

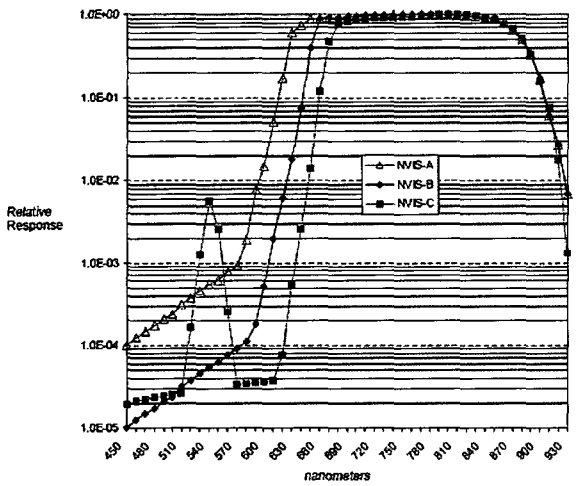
MIL-STD-3009[4]에 따르면 야간투시경은 외형에 따라 Type I 과 II, 대물렌즈에 사용된 청감산(Blue-minus) 필터의 종류에 따라 Class A, B 및 C로 분류된다(그림 3).

다. 야간투시경 정렬, 단색광 및 시계

야간투시경 성능을 최대로 하기 위하여 광학축(Optical Axis)과 시각축(Visual Axis)의 정렬이 최

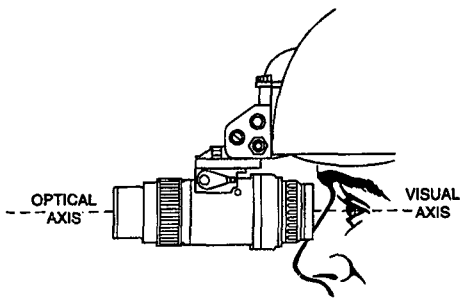


(a)



(b)

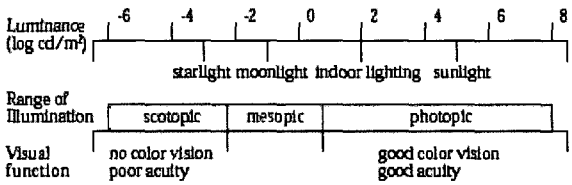
[그림 3] 야간투시경 종류 (a) 외형에 따른 구분
(b) 필터특성에 따른 구분



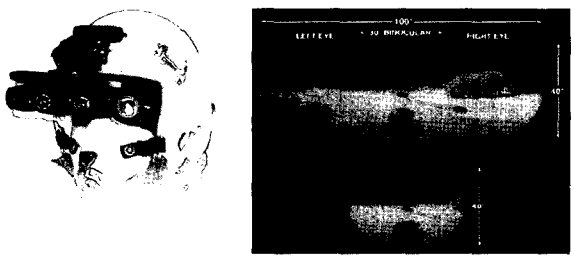
[그림 4] 야간투시경 정렬

적화 되도록 하여야 한다(그림 4). 또한, 색깔을 구별할 수 있는 인간의 눈과는 달리 야간투시경은 그렇지 못함을 인지하여야 하며 야간투시경 영상은 녹색의 단색광(Monochrome)임을 알아야 한다. 그림 5의 자연 환경 휘도(Luminance)에 관한 인간 시각 함수에 나타나 있는 바와 같이 색깔 구별이 되지 않는 야간(Scotopic) 조건에서 인간의 눈은 야간투시경과 마찬가지로 단색광 특성을 나타냄을 알 수 있다.

최근까지 3세대 야간투시경 시계(Field of View)는 40°의 한계를 극복하지 못했다. 이와 같은 야간투시경 시계의 제한은 공격적인 기동성 한계, 적 탐지 능력 부족, 운용자 피로감 등을 유발하는 요인으로 작용하였다. 이러한 야간투시경 시계의 확장 기술 들은 최근에 접어들면서 연구가 활발히 진행되고 있으며 수평 시계를 100°까지 확장한 야간투시경(Panoramin NVG, PNVG)을 선진국에서 개발하여 운용 중에 있다[2]. 그림 6에서는 PNVG 외형 및 시계가 40°인 야간투시경과 비교된 영상을 나타내고 있다.



[그림 5] 자연 방사 조명원과 시각 파라메타 간 휘도 범위



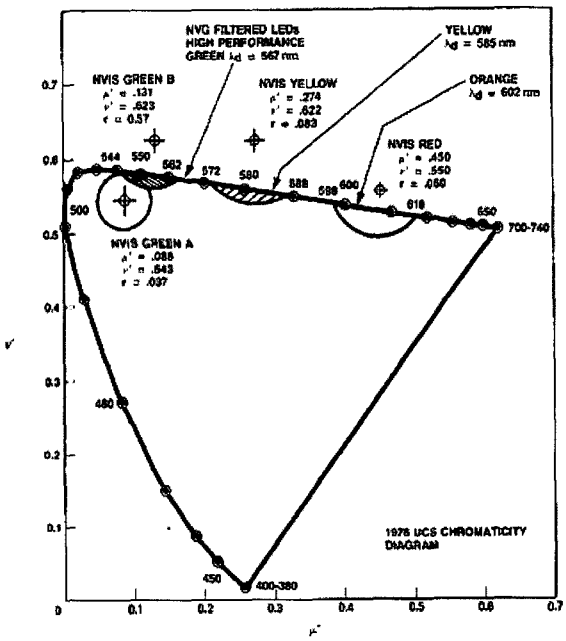
(a) (b)

[그림 6] PNVG (a)외형 (b) 시계 비교
(아래 그림, 기존 NVG 시계)

라. 야시조명계통

항공기에서 야간투시경 운용을 하기 위해서는 야

간투시경에 적합한 항공기 내, 외부 조명체계가 구축되어야 하며 이에 대한 조명체계규정은 색도(Chromaticity), 휘도 및 방사휘도(NVIS Radiance) 값으로 표현하고 있다[4]. 특히 색도 부분에서 운용자의 주의력(Attensity)을 고려하여 한정된 색깔(NVIS Green A/B, Yellow, Orange, Red)을 이용하여 야시조명계통을 구축하여야 한다. 그림 7에서 야시조명계통에서 사용하는 색깔을 1976 UCS 색도좌표계로 나타내었다[3].

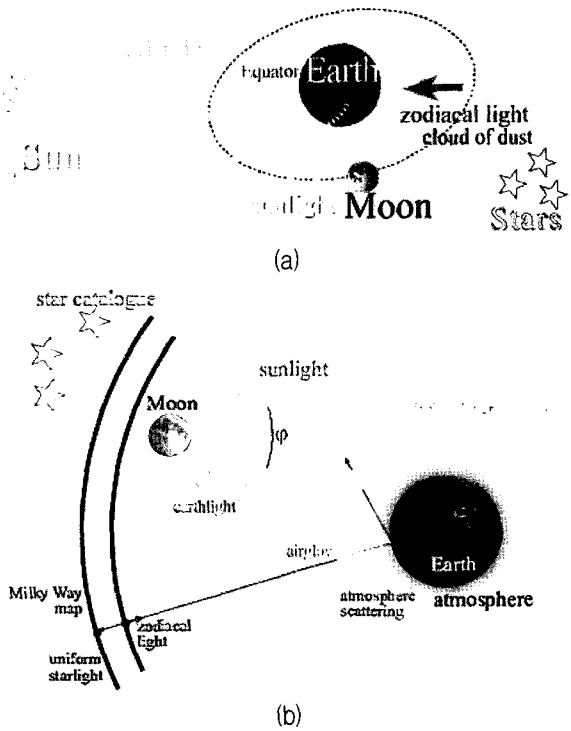


[그림 7] 야시조명계통 구축 색깔

3. 자연 환경

가. 자연 조명원

야간 자연 조명원으로서는 태양광, 달빛, 행성(Planets), 별빛, Zodiacal, Airglow, Diffuse Galactic, Cosmic Light 등이며 이와 같은 조명원들의 에너지는 지구로 유입되는 과정 속에서 산란(Scattering)과 흡수(Absorption) 과정을 거쳐 지구에 도달하게 된다. 이와 같은 조명원들은 태양, 달빛의 위치에 따라 조명원의 조도가 큰 차이가 나며 야간투시경 운용자는 이와 같은 자연 환경을 인지하여 작전 임무 및 비행 시간대를 설정하여야 한다. 그림 8은 야간 자연 환경 조명원 및 반응 메카니즘을 나타내었다. 또한, 표 1에서는 일반적인 야간 조명원들의 방사조도(Irradiance) 값을 나타내었다[5].



[그림 8] 야간 조명원 (a) 구성 (b) 반응 메카니즘

[표 1] 야간 조명원 방사조도

Components	Irradiance[W/m^2]
Sunlight	$1.3 \cdot 10^{4}$
Full Moon	$2.1 \cdot 10^{-3}$
Bright planets	$2.0 \cdot 10^{-6}$
Zodiacal light	$1.2 \cdot 10^{-7}$
Integrated starlight	$3.0 \cdot 10^{-8}$
Airglow	$5.1 \cdot 10^{-8}$
Diffuse galactic light	$9.1 \cdot 10^{-9}$
Cosmic light	$9.1 \cdot 10^{-10}$

1) 태양광

지구 가장자리 주위에서 산란되는 태양 빛은 야간에 인지되며 특히, 북, 남위 48° 이상에서는 중요한 요소가 된다. 백야(白夜) 현상이 이것으로 기인하기 때문이다. 이 지역에서 야간투시경 운용은 제한된다.

2) 달빛

지구에서 보여지는 달빛의 근원은 태양 빛에서 유래한다. 달에 입사되는 태양 빛은 모든 방향으로 산란된다. 달의 반사 메카니즘은 저 알비도(Albedo), 적색(Reddish Color), 후산란(Backscattering) 특성을 가지고 있기 때문에 보름달(Full Moon)일 때 더욱더 밝아 보이는 것이다. 달의 크기에 따라 방사휘도가 달라지기 때문에 야간투시경 운용자는 달의 형태 및 위치를 인지하고 있어야 한다.

3) Planets and Star

야간에 달이 없는 상황에서는 행성 및 별들로부터 방사되는 빛이 중요한 요소가 된다. 하늘에서 빛을 방사하는 별들은 약 9,000개 정도이며 육안으로 인지되는 별 들은 대략 6,000여개 정도이다.

4) Zodiacal Light

태양계는 미세먼지들을 포함하고 있어 태양 빛이 지구로 도달할 때 까지 많은 부분 산란된다. 이와 같이 산란된 빛들은 야간 상공에서 또 다른 조명원으로 사용되며 이것은 지구 궤도와 유사하게 띠 먼지를 태양 주위에 이룬다. 이러한 미세먼지에 산란되어 보여지는 태양 빛을 Zodiacal Light라고 한다(그림 9).

[그림 9] Zodiacal Light

5) Airglow

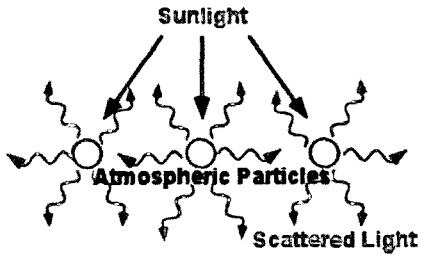
대기는 전리층에서 원자와 중성자로부터 광화학 루미네선스(Photochemical Luminescence) 현상으로 인하여 가시광선영역에서 고유의 방사 특성을 가지고 있다. 이것은 달이 없는 야간 상공에서 약 1/6의 빛을 방사하는 역할을 한다. Airglow는 약 110km 고도위에 주 층을 이루어 대기권 상층부위에서 방사하는 특성을 가지고 있다.

6) Diffuse Galactic and Cosmic Light

하늘 상공에 떠 있는 은하수에 의해 발생되는 빛을 말한다.

7) 산란과 흡수

야간 상공에서 빛이 지구로 도달하는 과정에서 대기 중에 떠 있는 미분자 및 에어졸(Aerosols) 입자들은 빛 에너지 형태 변환에 중요한 역할을 한다. 미분자에 의해 산란되는 형태는 레일레이(Rayleigh) 특성을 가지며 에어졸(먼지, 물방울입자 등)에 의해 산란되는 형태는 미(Mie) 형태를 가진다. 레일레이 산란은 빛 파장에 크게 좌우되며 확산성 산란을 나타내고 있으며(그림 10) 미 산란은 빛 파장에는 영향을 받지 않으며 빛 진행방향으로 강한 피크가 발생하는 비 확산성 특성을 나타낸다[5].



[그림 10] 레일레이 산란 메카니즘

나. 인공 조명원

도시 조명원 및 산불 등은 야간투시경 운용에 지대

한 영향을 미칠 수 있으며 이와 같은 환경에서 비행을 할 때에는 항공기 외부 좌우 스캔 및 육안 식별의 빈도를 높여 운용을 하여야 한다.

4. 상호운용성(Interoperability)

야간투시경 상태, 야간환경 하에서 조명원, 항공기 내/외부 조명원, 항공기 캐노피 재질 및 운용자 심리상태 등이 복합적으로 이루어져 운용되는 야간투시경 착용 비행은 각 항목 별 상호운용성을 충분히 인지하여야 한다.

가. 야간투시경 상태

운용자는 비행전 야간투시경 상태를 점검하여야하며 외부 형상 손상여부, 대물렌즈 및 접안렌즈 이물질을 확인하여 적절한 조치를 취해야 하며 착용 후 영상 색, 해상도 등을 점검하여야 한다. 이것은 비행전 야간투시경 초점 조절 절차에 의거 수행 되어져야 한다[6].

나. 자연 및 인공 조명원

자연 조명원의 대부분을 차지하는 달의 크기 및 위치(시간)를 비행 점검표에 기록하여야 하며 비행 공역 정보를 사전에 점검하여 야간투시경 운용을 효과적으로 하여야 한다.

다. 항공기 캐노피 재질

항공기 캐노피 재질은 야간투시경 작동 파장대역의 에너지를 잘 투과할 수 있도록 하여야 한다. 납 성분이 포함된 캐노피는 이러한 에너지를 차단하는 성질이 있어 야간투시경을 적용하기에 많은 애로점을 유발한다. A-10 항공기의 경우 납 성분이 포함된 캐노피에서 그렇지 않은 캐노피(폴리카보네이트)로 개조하였다. 이렇게 함으로써 Snellen Acuity가 20/90에서 20/40으로 변경되는 효과를 획득할 수 있었다[1].

라. 운용자 심리상태

운용자는 24시간 주기리듬(Circadian Rhythm) 및 피로 상태 등을 고려하여 비행 일정을 결정하여야 한다. 운용자의 24시간 주기리듬에 영향을 주는 수면, 연습 숙련도, 동기부여 등을 적절히 인지하여야 한다. 임무수행 능력과 수면박탈/피로와의 연관성은 이미 실험을 통해서 입증되었다[1]. 특히, 공통적으로 적용되는 새벽 03시~06시에는 비행을 피하는 것이 추천되고 있다[1].

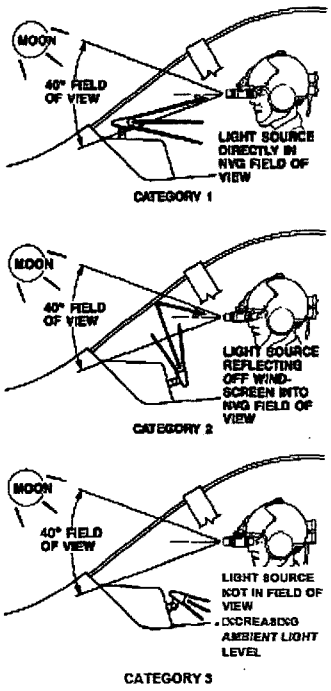
마. 야간투시경 시계와 조명원 호환성

야간투시경 시계와 조명원 방사조도에 따른 특성들을 카테고리로 분류하여 표 2와 그림 11에 나타내었다.

[표 2] 야간투시경 호환성 카테고리

Category	Contents
1	Light sources are directly in the field of view of the goggles
2	Light sources are those that reflect off the cockpit windscreen directly into the field of view of the goggles
3	Light sources are not in the field of view nor reflect directly into the field of view of the goggles

카테고리 1은 조종석 내부 조명원에서 방사되는 빛이 직접 야간투시경 시계로 입사되는 것으로 야간투시경 작동 불능 상태 혹은 Blooming 상태를 의미하며 카테고리 2는 조명원에서 방사되는 빛이 캐노피에 반사되어 야간투시경 시계로 입사되는 경우를 말한다. 이 경우에도 카테고리 1과 같이 외부 물체 인식이 용이하지 않게 된다. 카테고리 3은 방사되는 빛이 야간투시경 시계로 직접 혹은 캐노피에 반사되어 입사되는 빛은 없지만 주위 조명 수준을 높여 야간투시경 운용에 방해를 초래할 수 있다. 이와 같이 야간투시경 시계와 조종석 조명원 카테고리 1, 2, 3은 어떤 방법으로든 야간투시경 운용에 영향을 미칠 수 있기 때문에 조종석 조명원들을 야시조명계통으로 전환시켜야 한다.



[그림 11] Categories of Light Sources in an Aircraft Cockpit

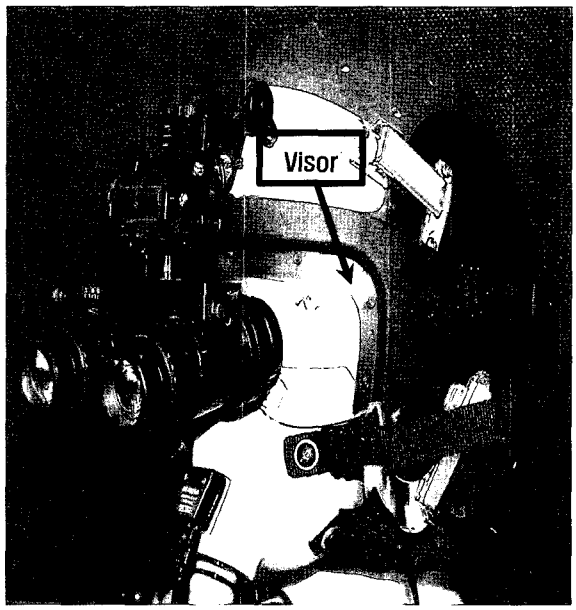
바. 오인(Misperception)과 착시(Illusion)

야간투시경을 착용하고 비행을 하는 운용자 들은 오인과 착시현상을 유발할 수 있는 요소들을 사전에 인지하고 있어야 하며 그와 같은 상황이 도래했을 시에는 적절한 회피 방법을 숙지하고 있어야 한다. 일반적인 오인과 착시 현상을 유발시킬 수 있는 요소들을 아래에 정리하였다.

- Depth and Perception and Distance Estimating Errors
- Terrain Contour Misperceptions
- Undetected or Illusory Motion
- Aircraft Attitude Misjudgements
- Undetected Meteorological Conditions
- Improper NVG adjustment
- Poor mission planning
- Fatigue, high task loading and stress
- Lack of training or currency in training
- NVG image defects
- NVG malfunction at a critical phase of flight

사. 안전 요소

야간투시경을 착용하고 운행 중 비상사태가 발생하여 사출(Ejection)을 시도할 경우에 야간투시경을 탈거하여야 한다. 그렇지 않을 경우 야간투시경 관성 모멘트로 인한 목뼈 골절로 사망에 이를 수도 있다. 또한, 파쇄형태의 캐노피를 가진 항공기에서는 운용자의 눈 보호를 위하여 그림 12와 같은 바이저를 헬맷에 추가하여 사용하여야 한다.



[그림 12] 눈 보호를 위한 바이저 착용 헬맷

5. 야간투시경 운용성 평가 항목

가. 야간투시경 필드 평가 항목

개발된 야간투시경 필드 평가는 비행안전에 저해될 수 있는 요소들을 검증하는 시험으로서 그 항목들을 아래와 같이 제시한다.

- Inertial Properties Testing
- Vertical Impact Testing
- Visor Ballistics Testing
- Ejection Windblast Testing
- Quick Disconnect Functionality
- Comfort

- Communications and Sound Attenuation
- Cockpit Compatibility Testing
- Electromagnetic Compatibility Testing
- Emergency Ground Egress Testing
- Electrical Shock Analysis
- Optical Performance Testing
- Symbology Analysis
- Helmet Impact Testing
- Helmet Penetration Testing
- Rapid and Explosive Decompression Testing
- Hanging Harness Testing

나. 비행시험 평가 항목

야시조명계통이 적용된 항공기에서 야간투시경과의 호환성시험을 수행하기 위해서는 야시조명계통 지상시험 평가 및 야간투시경 성능이 충족되어야 한다.

[표 3] 야간투시경 운용을 위한 비행시험 평가 항목

Lighting	Evaluation factors
Interior	주간가독성(Daylight Readability) 휘도(Display Luminance) 조도(Illuminance) 대조(Contrast) 균광성(Uniformity) 색도 차이(Color cueing) 야간투시경 호환성(NVG Compatibility) 간섭(Interference) 시야 가림(Obscuration) 조작성(Controllability) 조종석 반사(Crewstation Reflections)
Exterior	강도(Intensity) 색상(Color) 야간투시경 친밀성(NVG Friendliness) 조종석 간섭(Cockpit interference) 분광 폭(Distribution, Coverage) 조정(Controls) 섬광 주기(Flash Frequency)

야간투시경 운용을 위한 비행시험 평가 항목들을 표 3에 나타내었다[6].

6. 결 론

항공기 야간작전 임무효과를 증진시키기 위하여 야간투시경을 사용하는 것이 현 추세이다. 이러한 야간투시경을 사용하여 비행임무를 수행하기 위해서는 야간투시경 특성, 야간환경 하에서 자연/인공 조명원 특성, 항공기 내/외부조명계통 특성 및 야간투시경과 주변 야간 환경과의 상호운용성 등을 고려하여야 한다.

본 논문에서는 항공기 야간투시경 운용과 관련된 야간환경, 야간투시경 특성에 관하여 고찰하였으며 이와 같은 특성들을 고려한 야간투시경 필드 평가 항목 및 야간투시경 운용을 위한 항공기 비행시험 평가 항목을 제시하였다. 이와 같이 제시된 평가 항목에 관한 세부 연구가 지속적으로 필요하며 야간투시경 운용에 따른 인간공학적인 요소들에 관한 연구도 병행되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] 권종광, "항공기 야간투시경(NVG) 운용", MADC-501-020109, 2002.

[2] Timothy W. Jackson, Jeffrey L. Craig, "Design, Development, Fabrication, and Safety-of-flight Testing of a Panoramic Night Vision Goggle", ASC99-0653, 1999.

[3] Agilent Technologies Application Note 1030 "LED Displays and Indicators and Night Vision Imaging System Lighting", 1999.

[4] "*Lighting, Aircraft, Night Vision Imaging System(NVIS) Compatible*", MIL-STD-3009, Feb., 2001.

[5] H. W. Jenson, et. al. "A Physically-Based Night Sky Model", Proc. of SIGGRAPH, 2001.

[6] 권종광, 조재호, 홍재영, "저속통제기 야시조명계통 비행시험 결과", MADC-301-040481. 2004.