

# 항공기용 야간시각시스템의 기초설계 및 인증평가기술\*

김유광\*\*

전 세계 항공산업의 비약적인 발전과 더불어 최근에는 군사용 및 항공수송을 위해 주간뿐만 아니라 야간에도 많은 비행이 요구되고 있으며, 이에 따라 항공기 안전운행의 필요성이 크게 대두되고 있다. 이러한 항공기의 안전운행에는 다양한 기술적인 발전이 진행되어 왔고, 야간시각시스템(NVIS)의 발전 역시 항공기 조종사에게 주간과 유사한 시각적 영상정보를 제공함으로써 심리적인 불안감을 해소시키고, 운항정보에 대한 신뢰성과 적시성을 증대시키며, 야간에 항공기를 안전하게 운항하기 위해 조종사의 업무부하(work load)를 줄이기 위한 노력으로 큰 관심이 되어왔다. 또한, 이러한 NVIS를 활용한 기술은 현재 군용항공기 뿐만이 아니라, 민간용 항공기, 자동차, 카메라, 레저용 등으로 그 범위가 확대되어 보급되고 있으며, 활용도 또한 커지고 있고, 수년 전부터 국내에도 이러한 기술이 적용되어 왔기에 이러한 항공기용 야간시각시스템(NVIS)에 대한 전반적인 내용을 소개하고, 향후 국내에서 개발/적용되는 항공기의 NVIS 기술에 대한 기본적인 평가방향을 제시하고자 한다.

## 목차

- I. NVIS 개요
- II. NVIS 설명
- III. NVIS 역사
- IV. NVIS 설계
- V. NVIS 개조
- VI. NVIS 개조에 대한 평가 및 인증
- VII. 맺음말

\*본 연구에 인용된 일부 자료는 기존의 발간물을 통하여 이미 발표된 자료이며 정책적인 방향에 대해서는 저자의 개인적인 견해를 밝힙니다.

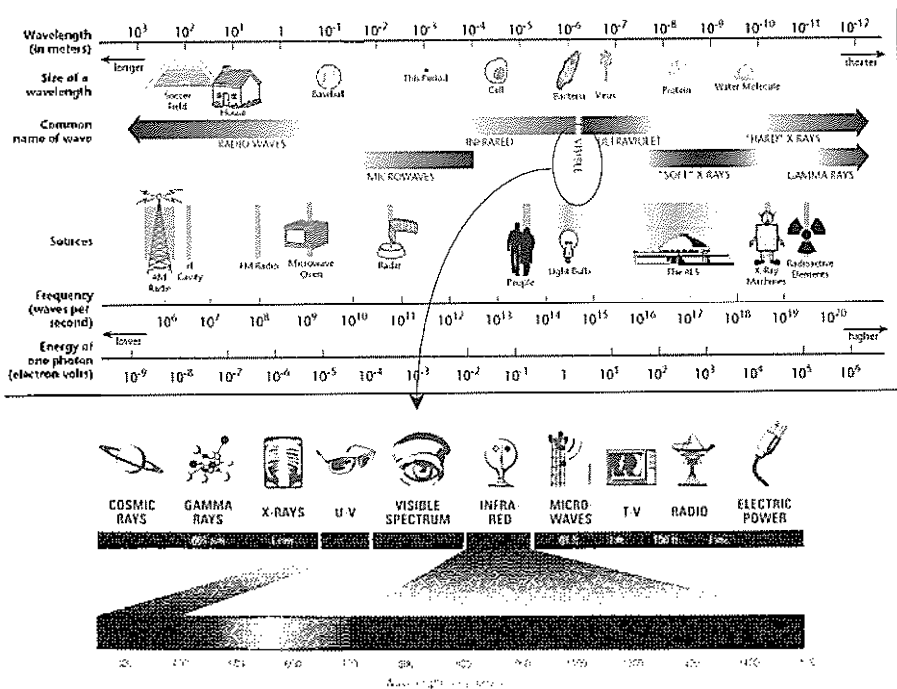
\*\*한국항공우주연구원 품질인증센터 제품보증그룹 연구원

## I. 야간시각시스템 (NVIS) 의 개요

인간의 눈으로 인지할 수 있는 빛의 파장영역은 가시광선영역(400~700 nm)이며, 이 영역대 파장의 빛만을 감지하여 물체를 구별할 수 있고, 빛의 양이 적을수록 인간의 눈은 색깔과 해상도를 구별하기가 어렵다. 특히, 야간에는 인간의 눈으로 물체를 인지하기는 어렵고 색깔을 구별하기란 더욱 어렵기 때문에 다음과 같은 2가지 방법을 이용하여 물체를 식별하는데 도움을 받을 수 있다.

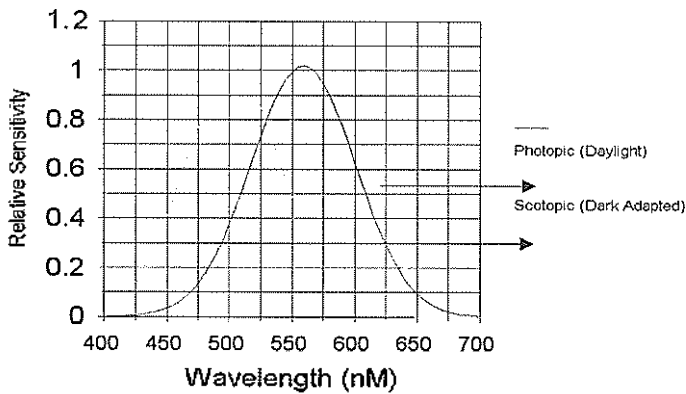
첫 번째는, 광원(光源)을 사용하여 눈에 도달하는 빛의 양을 많게 하여 볼 수 있는 방법이 있는데 이는 인간의 눈이 판별할 수 있는 파장의 영역이 제한되어 있고 관측자의 위치가 노출되는 것이 단점이 있다. 두 번째 방법은 영상 기술을 이용하여 사람이 인지할 수 없는 미세한 빛을 증폭하여 인광체(Phosphor) 스크린에 사람이 볼 수 있는 영상으로 나타내는 방법이 있다. 이는 관측자의 위치가 노출되지 않으면서 물체를 식별할 수 있고 인간의 눈으로 볼 수 없는 빛의 영역을 다양한 기술을 이용하여 표현함으로써 인간의 눈으로 볼 수 있는 영상을 제공해 준다. NVIS는 이러한 기술을 이용하고 있으며 최근 많은 연구가 진행되고 있다.

< 그림 1-1 > 빛의 파장영역 (nm)

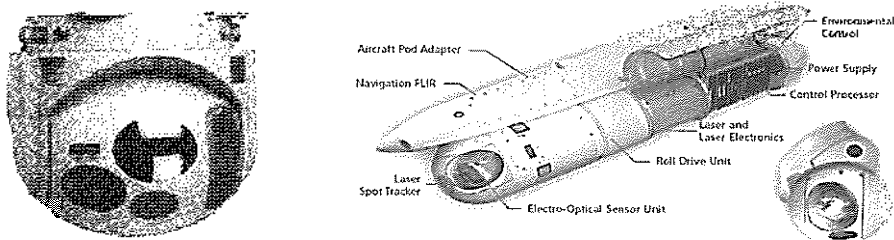


인광체 스크린에 영상을 나타내는 기술 중에는 NVIS(Night Vision Imaging System) 기술과 FLIR(Forward Looking Infrared Camera)기술이 있다. NVIS 기술은 관찰자가 야간투시경(NVG; Night Vision Goggle)을 착용하고 이를 통하여 가시광선과 적외선(700~1,500 nm) 중 930 nm 파장의 빛을 영상화하여 인간의 눈으로 보는 것이고, FLIR은 적외선 센서에서 획득한 정보를 조종석 내부의 스크린을 통해 영상을 시현해 주는 것으로 부피가 크고 무게가 무거움으로 항공기에 고정 장착되어 사용하는 열상장비라고 부른다. FLIR 파장은 8,000~16,000 nm이고 열을 이용하여 영상을 나타내어 준다. 구형 FLIR은 NVIS와 비교하여 조종사의 머리이동에 따라 물체를 볼 수 없다는 것이 단점으로 지적되었으나 최근 조종사의 시각 움직임에 따라 물체를 추적할 수 있는 기술이 등장하였다. 하지만, NVIS는 FLIR에 비교하여 악천후, 섬광 등의 몇 가지 제약 조건이 있지만 소형 및 경량화할 수 있고, 가격이 저렴한 장점으로 인하여 NVIS와 FLIR은 상호 보완적으로 발전되고 있는 추세이다.

< 그림 1-2> 주간 및 야간에서 인간의 시각 민감도와 파장과의 관계



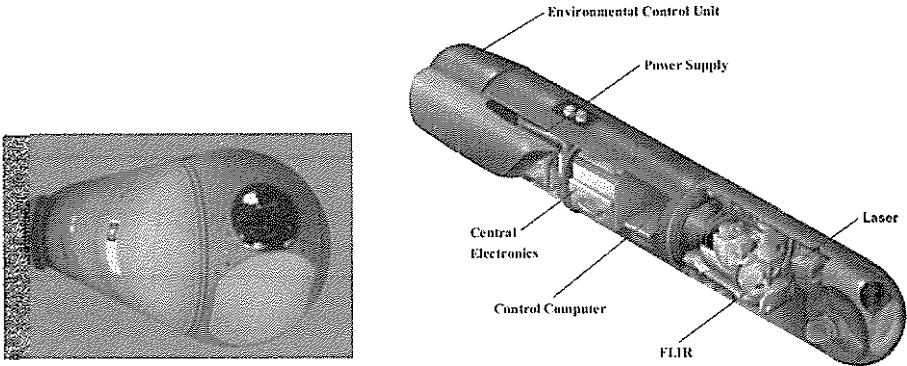
< 그림 1-3> FLIR 예시



&lt; 표 1-1 &gt; 영상증폭장비와 열상장비의 비교

구분	영상증폭장비(Image Intensification Device)	열상장비(Thermal Image Device)
시스템	NVIS (Night Vision Image System)	FLIR (Forward Looking Infra-Red)
응답파장	665~940 nm (근적외선 영역)	8,000~16,000 nm (적외선 영역)
원리	야간에 존재하는 미세한 빛(달빛, 별빛 등)을 이용하여 물체에서 반사된 미약한 빛을 수천에서 수만배 증폭하여 영상화하는 장비	물체 자체가 방출하는 미약한 에너지(온도 등) 차이를 검출하여 영상화하는 장비
장단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>-소형, 경량화에 유리</li> <li>-장비 구성이 단순</li> <li>-비교적 가격이 저렴</li> <li>-저전력 소모</li> <li>-주위의 강한 빛(조명, 선팅)에 관측불능</li> <li>-야간조도에 관측거리가 제한적임</li> <li>-약천후에서 관측이 제한적임</li> <li>-원거리의 관측이 제한적임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-주위의 빛과 무관, 즉, 빛이 전혀 존재하지 않아도 사용 가능 (주야간, 무월광시 관측능력 동일)</li> <li>-연막, 안개(연무) 투시 가능 -장기적 발전 추세</li> <li>-비교적 가격이 고가</li> <li>-장비 구성이 복잡하고 대형임</li> <li>-고전력 소모</li> </ul>

&lt; 그림 1-4 &gt; LANTIRN 예시



주: LANTIRN(Low Altitude Navigation and Targeting Infrared for Night) 시스템 역시 이러한 FLIR(열상 기술)을 이용한 장비이다.

## II. 야간시각시스템 (NVIS) 설명

항공기용으로 사용되는 NVIS는 주간의 시각 비행조건과 유사한 시각조건을 제공하므로써 야간비행시 조종사에게 한 차원 더 나은 비행조건을 제공하여 항공기 조종에 필요한 업무부하를 최소화 시키고 야간 시계비행에 있어서 조종사

에게 신뢰감을 제공하는데 도움을 주는 역할을 담당한다.

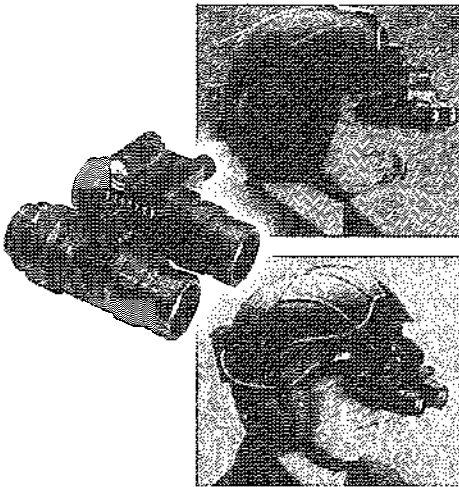
### 가. NVIS의 구성요소

NVIS는 일반적으로 다음의 요소로 구성된다.

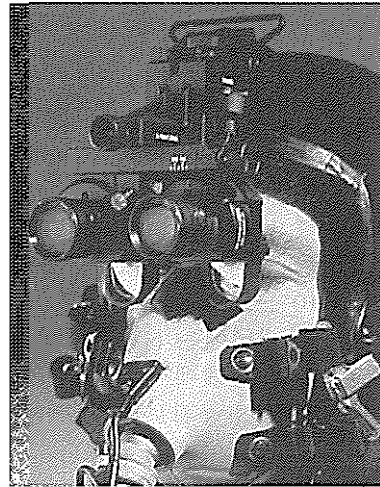
#### 1. 야간투시경(Night Vision Goggle)

NVIS 시스템의 주요 장비로써 조종사가 안경형식으로 사용할 수 있는 야간투시경(NVG)을 착용하여 야간에 외부 시각 정보를 획득할 수 있다. 조종석 밖의 외부 시각 정보는 NVG로 들어오는 적외선 영역의 파장을 증폭하여 인광체(Phospor) 스크린에 나타내주기 때문에 조종석 내부 조명에서 방사되는 적외선 영역 파장이 인광체 스크린에 허상으로 나타나 외부 시각정보를 보는데 방해로 주는 요소

<그림 II-1> 항공기용 NVG (Type I)



<그림 II-2> 항공기용 NVG (Type II)



를 제거하는 것이 관건이다.

#### 2. 내부조명(Interior Light)

NVIS는 조종석 내부조명이 적외선 영역의 파장이 새어 나오지 않게 조명이나 패널들을 NVG에 호환되게 수정해 주어야 한다. 따라서, 조종석을 NVIS 호환 시스템으로 개조시 기존 조명시스템을 절단하고 각종 계기 및 조명들을 필터 처리 및 베젤을 이용하여 개조하며, NVIS 형식의 패널을 장착, NVIS 호환 조명으로 교체하여 NVG에 민감한 빛의 파장 영역을 차단하도록 한다.

### 3. 승무원실 구성품(윈드실드, 창문 포함)

계기 및 패널을 제외하고 윈드실드, 창문 등의 승무원실 구성품은 NVIS 조명 또는 호환등에 의하여 반사된 빛으로 인한 NVG 간섭이 없도록 한다.

### 4. 외부조명(Exterior Light)

항공기에 장착되는 외부 조명은 적외선 영역의 파장만 방사(Radiation)하는 램프나 NVIS 호환(Friendly) 램프로 교체한다. 기존 항공기의 조명은 민/군용항공기가 함께 운용될 수 있는 환경으로 인하여 NVIS 호환 조명으로 장착하여야 한다. 적외선 은밀(IR-Covert) 램프는 특수목적(또는 편대비행) 비행시 일정한 각도에서만 볼 수 있게 하여 사용되는 조명이다. 실제로 항공기 NVIS 외부 조명의 수정은 IR-Covert와 NVIS 호환 조명의 조합으로 사용한다.

## III. NVIS 역사

미 육군은 1960년대 말 이후부터 헬기나 지상에서 NVIS를 사용하였고 미 해군은 1980년대 말부터 A-6, F-18, 그리고 AV-8 중 일부에서 NVG를 사용하였다. 미 공군은 1990년대 초반부터 F-16에 항공기 식별과 마약밀거래 조사임무에 NVG를 사용하였으나 내/외부 조명은 개조를 하지 않고 Light-stick을 사용하여 임무를 수행해 오다가 최근에 야간임무 수행능력을 향상시키고, 작전시 식별, 생존성 향상 및 정확한 공격을 위해 외부조명을 개조해오고 있다. 미 공군의 NVIS 전력화시키는 A-10과 F-16 Block 40을 1998년 초부터 개조하기 시작했다. 현재 새로운 항공기 설계 개념에는 NVIS 개념을 도입하여 설계를 하고, F-22는 NVIS 기술을 처음으로 설계 단계에서부터 적용하여 개발된 항공기로 알려져 있다. 회전익 항공기는 고정익 항공기보다 이전에 NVIS화가 이루어졌으며 또한 일부 민간항공기에도 NVIS 기술이 적용되었다.

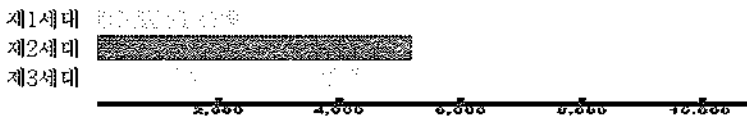
국내 NVIS 기술은 2000년 말 공군 항공기의 NVIS 개조사업이 수행되었고, 한국형 훈련기 KT-1의 저속통제기인 KO-1과 고등훈련기/경공격기인 T-50/A-50이 NVIS 개념을 도입하여 설계된 것으로 알려져 있다. 하지만, 육/해/공군용의 NVIS 기술은 비약적으로 발전하여 왔으나, 현재 개발된 국내 민간 항공기에는 NVIS 기술이 적용되지 않는 것으로 조사되었다.

## IV. NVIS 설계

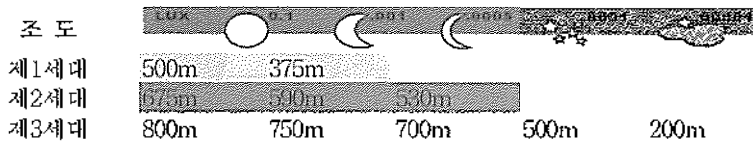
### 가. 항공기용 야간투시경(ANVG : Aircraft Night Vision Goggle)

NVG의 개발단계는 다음 4가지의 세대(Generation)로 분류된다. 제0세대(1940년대)는 외부 은밀(Covert) 광원에 적외선 필터를 씌운 큰 서치라이트와 같이 사용하였고, 제1세대는 1960년대 초에 광섬유기술이 발전하여 연속중폭튜브를 사용하였는데 이러한 장비는 부피가 크고, 중량이 많이 나갔다. 1970년대 초에 마이크로채널판 기술이 개발되어 작고 가벼운 제품을 만들 수 있었고, 1980년대 초에 제2세대 NVG가 개발되었다. 제3세대는 광음극관 물질로 겔륨비소를 사용하는 제3세대 NVG가 개발되었는데, 이 NVG는 적은 양의 광원으로 2세대 NVG 보다 3배 이상 영상을 밝게 볼 수 있도록 하는 기술이 적용되었다. 현재 항공기에는 주로 3세대 NVG가 사용되고 있고, 다양하고 새로운 기술들이 지속적으로 연구/개발되고 있다.

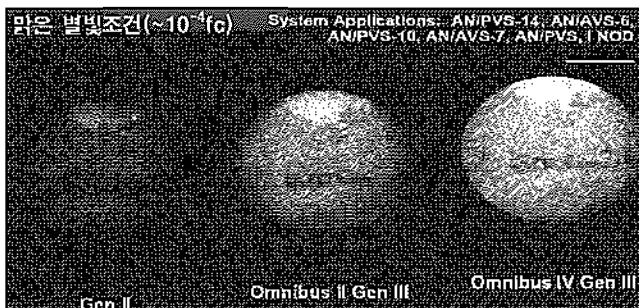
<그림 IV-1> 각 세대별 NVG 운용수명 (시간)



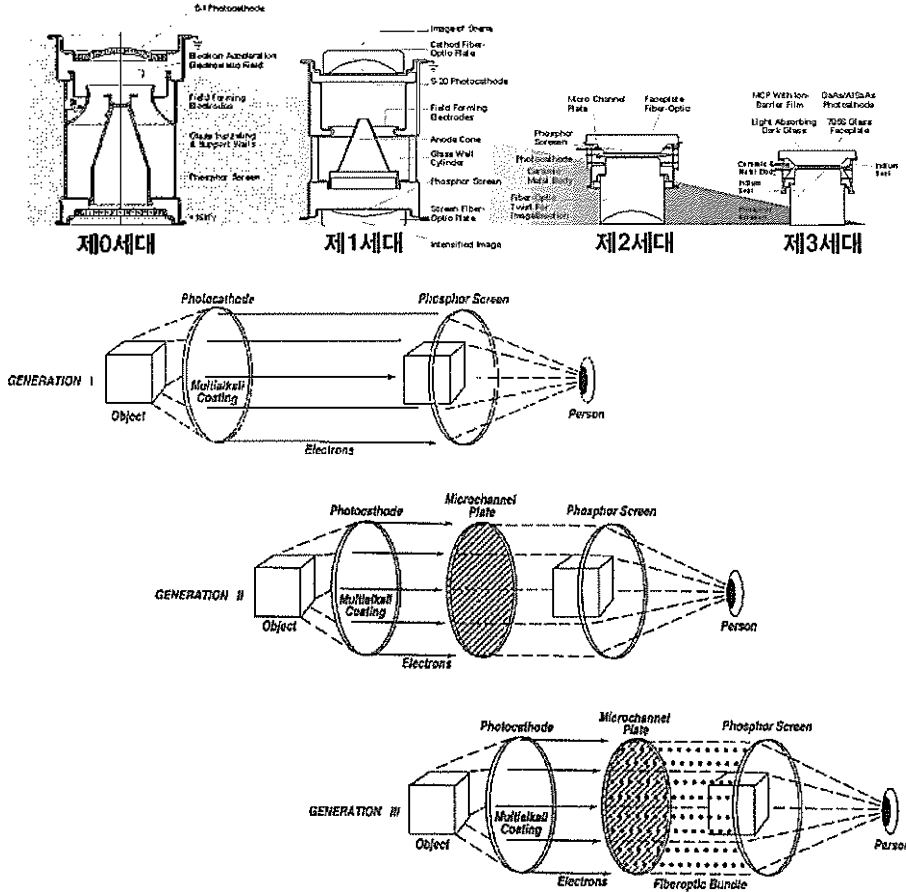
<그림 IV-2> 세대별 NVG의 식별가능거리 (m)



<그림 IV-3> 세대별 NVG 영상의 차이 (예시)



<그림 IV-4> 세대별 NVG 증폭관 기술의 발전



일반적인 ANVG는 사람의 눈에서 렌즈까지 약 2인치 정도 떨어져 있으며 쌍안경 형태의 ANVG의 경우에 좌/우 약 40°의 시야를 제공한다. 사람마다 머리의 크기, 눈의 위치가 다르기 때문에 수직, 수평 조절이 가능하며, 전원은 1시간 용량의 2개 배터리를 사용하고 약 30분의 배터리 수명이 남았을 때 경보등이 작동하여 배터리의 교환을 알려주는 구조로 되어 있다. 군용 ANVG의 경우, 조종사의 비상 사출시 G효과를 최소화하고 머리 보호를 위하여 ANVG를 탈거하고 사출하여야 한다. 이러한 ANVG 역시 최근에 기술발전으로 시야각의 개선 등 다양한 연구가 지속적으로 수행되고 있다. <그림 IV-9>는 최근 진행되고 있는 ANVG의 한 예로써, 과노라마적인 시야각을 조종사에게 제공한다.

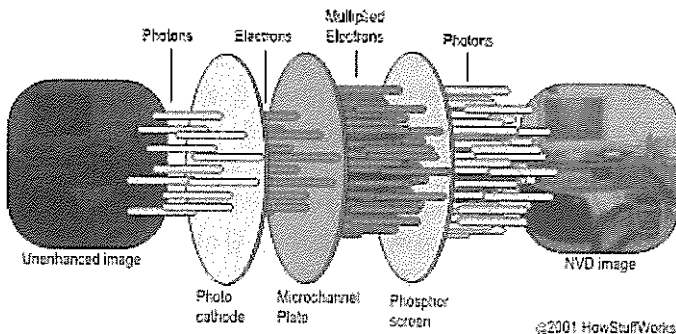


### 1. NVG의 일반적인 구조와 원리

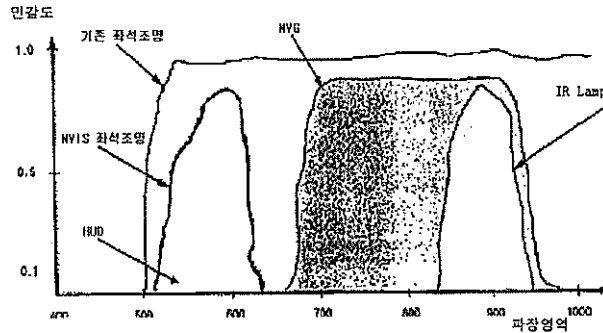
일반적으로 NVG는 대물렌즈(objective lens), 영상증폭관(Image Intensifier Tube), 접안렌즈(eyepiece lens), 건전지, 장착대 등으로 구성된다. 핵심 부품인 영상증폭관은 광음극 수용기(Photocathode Receptor), 마이크로채널판(Micro-channel Plate), 형광스크린(Green Phosphor Screen) 등의 3개 주요부분으로 나누어진다.<그림 IV-5> 참조)

NVG의 작동원리는 입사된 빛 에너지가 영상증폭관의 광음극(Photo Cathode)을 때리면 광음극에서 전자(Electrons)들이 방출되는데 이 전자들은 고압의 전위차에 의해 마이크로채널판(Microchannel Plate)을 통과하면서 전자 수가 수천/수만 배로 증가하게 된다. 증폭된 전자들은 형광면(Phosphor Screen)에 부딪치면서 시각적으로 관측할 수 있는 신호(Photons)로 변환되어 대상영역을 녹색 빛의 영상(Image)으로 나타난다. NVG는 빛을 수 천/만배(약 20,000배 가량) 증폭하기 때문에 NVG에 민감하게 반응하는 전자파를 방출하는 밝은 광원은 심한 산란광을 만들어 전체적인 NVG 영상의 선명도를 저하시킨다. 이를 방지하고 영상증폭관의 형광면의 손상을 방지하기 위하여 NVG는 고휘도 광원으로부터 자체 보호기능을 내장하고 있다. 이것은 전자들이 갑자기 증가하면 전압을 낮추어 전자를 줄여주고 갑자기 전자가 줄어들면 전압을 올려 전자수를 증가시키는 자동이득조정장치(AGC ; Automatic Gain Control) 기능이다. AGC는 NVG가 밝은 광원에 노출될 때 자동적으로 작동하여 영상증폭관의 감도를 줄인다. 이와 같은 자체 보호기능을 갖는 NVG는 조종실내 계기조명에서 보다 미묘한 문제를 발생시킬 수 있다. 즉, 조종실내 계기조명으로 인하여 NVG의 AGC 기능이 작동하면 감도가 줄어들어 외부 지형 식별이 어려워진다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 NVG의 대물렌즈에 청색차단필터(minus blue filter)를 사용하여 조종석 조명에서 방출되는 광파장 625 nm 또는 665 nm 이하의 빛을 차단시키고 조종실 내부를 청록색 필터를 사용하여 개조하는 것이 일반적이다. <그림 IV-6>은 기존 조종실 조명 및 NVIS 개조 후 조

< 그림 IV-5> NVG 영상증폭관의 일반적인 구조



&lt; 그림 IV-6 &gt; NVIS 조명 스펙트럼

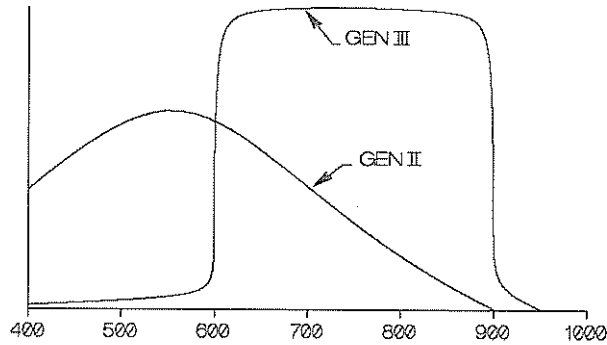


명, NVG에 대한 파장의 응답특성을 나타낸 그래프이다. 미국은 1983년 조종사의 NVG 사용과 관련된 위와 같은 문제를 해결하기 위하여 Joint Aeronautical Commanders Tri-Service Committee를 설립하여 ANVIS 운용을 위한 조종실 내부조명에 대한 규격인 MIL-L-85762 (Light, Aircraft, Interior, Night Vision Imaging System(NVIS) Compatible)를 개발하였다. 이 규격은 1986년 채택되었으며 ANVIS 운용을 위한 조종실 내부조명 부품의 허용 변수, 부품확인에 필요한 측정장비 및 기술, 수행절차, 방법 등을 정의하고 있다. 최근에는 1988년에 개정된 MIL-L-85762A와 함께 2001년에 제정된 MIL-STD-3009가 함께 이용되고 있다.

## 2. 제2세대와 제3세대 NVG 성능 비교

영상증폭관은 크게 2가지 종류로 분류된다. 다중알칼리족(Multi-Alkali) 광음극을 사용한 제2세대와 갈륨비소(Gallium Arsenide) 광음극을 사용한 제3세대 형식이다. 제2세대 NVG의 응답파장은 400~930 nm이고 최고치의 상대응답은 550 nm이며 전체영역(Broadband) 영상증폭장치라 부른다. 제2세대 NVG는 조종석 계기에서 방사되는 가시광선 빛에 응답하기 때문에 조종석 밖의 물체로부터 반사되는 적외선 빛의 응답성능을 저하시킨다. 제2세대 NVG는 전체영역에 응답특성을 가지므로 NVG를 착용하고 조종실 내부와 외부 모두를 볼 수 있지만 적외선이나 가시광선의 빛에 반응하기 때문에 사용자는 어느 한쪽의 중요한 시각 정보를 잃을 수도 있는 단점이 있다. 제3세대 NVG는 조종실 외부는 2세대 NVG와 마찬가지로 NVG를 통해서 보고, 조종실 내부에 나타나는 정보는 눈(Type I 참조)이나 렌즈(Type II를 참조)를 통해서 본다.(<그림 IV-8> 참조) 제3세대 NVG를 사용하는 항공기는 조종실 내부의 빛을 적외선이 방사되지 않도록 해야 한다. 제3세대 NVG의 응답파장은 450~930 nm이며, 최고치 응답이 차단필터에 따라 650~850 nm 혹은 700~850 nm에 해당하는 2가지 형태가 있다. 제2세대와 제3세대의 광파장에 대한 응답곡선은 <그림 IV-7>과 같다.

< 그림 IV-7> 제 2 세대와 제 3 세대 NVG 의 응답특성

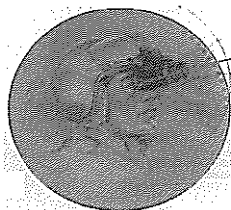


이 차단필터(Minus-Blue Filter)는 조종실에서 방사되는 가시광선 빛을 최대한 억제하고 적외선 부근의 빛을 최대화하기 위해 대물렌즈(Objective Lenses)에 추가된다. 제2세대 차단필터는 적외선 영역보다 가시광선 영역에서 더 민감하고, 제3세대 차단필터는 적외선 영역의 응답이 좋다. 제3세대 영상증폭관은 제2세대 영상증폭관보다 통상적으로 3배 정도 가격이 비싸지만 수명은 3배 이상 더 길며 아주 낮은 빛의 파장에서도 해상도의 저하 없이 형광면에 영상을 생성한다.

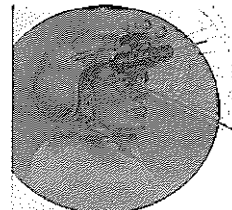
### 3. NVG의 형태에 따른 분류

MIL-L-85762에서 NVG는 형식(Type)과 등급(Class)으로 구분된다. 형식(Type)은 NVG의 물리적인 형상에 따른 분류이고, 등급(Class)은 대물렌즈의 차단필터의 종류에 따른 분류이다. NVG Type I은 조종실 외부의 시각정보는 NVG를 통하여 직접 보고, 조종실 내부는 보통 나안으로 본다.(<그림 IV-8> 참조). NVG Type II는 조종사가 보는 시각영상을 대물렌즈에서 받아 증폭장치를 통과하여 조합된 렌즈를 통해 영상을 볼 수 있게 해준다. 조종사는 조종실 내/외부의 시각정보를 조합 렌즈를 통하여 본다. <그림 IV-8>에서 Type II는 일명 “Cats Eyes NVG” 라고 부른다. 최근 이러한 ANVG에 대한 다양한 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

< 그림 IV-8> NVG 의 형식 (Type)

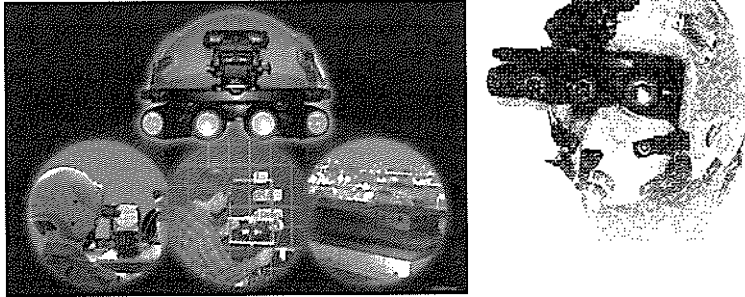


Type I : Direct View Image



Type II : Project View Image

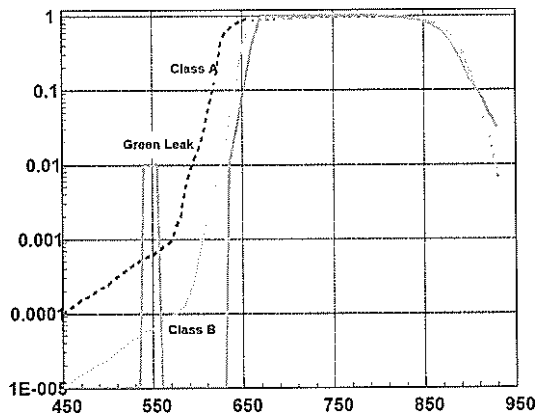
< 그림 IV-9> 최근 개발되고 있는 PNVG(Panoramic Night Vision Goggle)



4. 대물렌즈의 차단필터에 따른 분류

제3세대 NVG는 2종류의 차단필터(Minus-Blue Filter)가 있으며 파장의 상대 투과율(Relative Transmittance)을 50% 이상 차단한다. Class A는 625 nm 이하의 영역대 파장을 차단시키며, Class B는 665 nm 이하의 영역대 파장을 차단한다. Class A 차단필터를 사용한 NVG는 청색(blue), 녹색(green), 황색(yellow)을 조종실 조명으로 사용할 수 있으나, 오렌지(orange)와 적색(red)은 NVG와의 파장간섭으로 사용하지 못한다. 이것은 저속의 저고도 항공기의 지상 관측용 NVG에 사용되는 필터로써 주로 헬기에 사용된다. Class B 차단필터를 사용한 NVG는 Class A 필터의 응답파장에 적색(red)까지 포함한 색상을 조종실 조명으로 사용가능하고, 고정익 항공기에서 주로 사용한다. <그림 IV-10>은 Class A와 Class B 필터의 응답 특성을 나타낸 그래프이다.

< 그림 IV-10> 청색차단필터의 Class A 와 Class B 의 응답특성 그래프

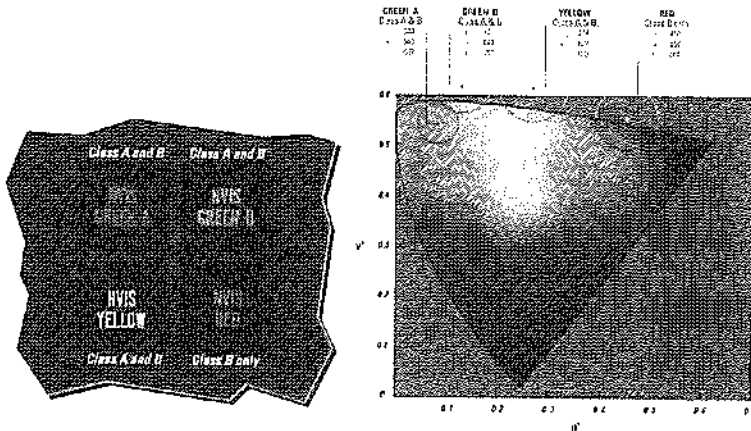


나. NVIS 호환성(NVIS Compatibility)

NVIS 호환성은 조종실 내/외부 조명시스템이 NVG의 작동을 방해하지 않는 범위의 빛을 발산하도록 하는 것을 말한다. NVIS 개조시 중요하게 고려해야 할 광원은 NVG 응답범위 안에서 적외선을 방사하는 백열등(Incandescent), EL (Electroluminescent), 및 LED(Light Emitting Diode)에서 방사되는 빛이다. 이러한 광원은 NVG가 민감하게 반응하는 파장영역의 빛을 방사하므로 빛 번짐(Blooming) 현상이나 케노피의 앞부분(Windscreen)에 적외선 상이 나타나서 NVG에 허상(Ghost Image)을 발생시키기 때문에 조종사 시각정보의 감도를 떨어뜨리고 AGC를 작동시켜 전체적인 NVG의 감도나 해상도를 저하시킨다. NVG 부근에 필터처리 되지 않는 백열등이 켜져 있는 경우, NVG 사용자에게 미치는 효과는 나안으로 손전등(Flashbulb)을 보는 것과 유사한 영향을 미친다. 또한, 엄청난 섬광은 NVG 고장의 원인이 되고, 부적절하게 설계되거나 제작된 NVIS 호환 시험기들은 NVG의 AGC를 작동시켜 목표물의 감도와 해상도를 떨어뜨리고 허상이나 상이 변지는 현상의 원인이 된다. NVIS 호환성의 측정단위는 MIL-L-85762에 정의된 ANVIS Radiance(AR)이며 영상증폭관에 도달하는 광원에 의해 방사되는 스펙트럼 휘도의 양으로 나타난다. AR은 1988년 MIL-L-85762A로 개정되면서 NVIS Radiance (NR)로 변경되었다. NR은 NVIS 상대 스펙트럼 응답에 의해 광원의 스펙트럼 휘도를 곱함으로써 발생하는 곡선의 조합으로 정의된다. NR은 NVIS의 응답을 기본으로 하며 Class A NVG에는 NRA, Class B NVG는 NRB로 나타낸다.

NVIS 호환성과 색도의 필요조건은 특정 휘도값으로 정의된다. NVIS 호환성과 색도는 Green A, Green B에서는 0.1fL(Foot Lambert), 그리고 황색과 적색에서는 15fL의 조도(Illumination) 레벨이다. 0.1fL와 15fL에서 색도 필요조건은 CIE 1976 UCS에 나타나 있다.(<그림 IV-11> 참조)

<그림 IV-11> NVIS 색상비교 및 CIE 1976 UCS



### 다. NVIS 설계시 고려사항

NVIS 설계시 MIL-L-85762A의 규정을 충족시키기 위해서는 3가지의 중요한 설계목표가 있다.

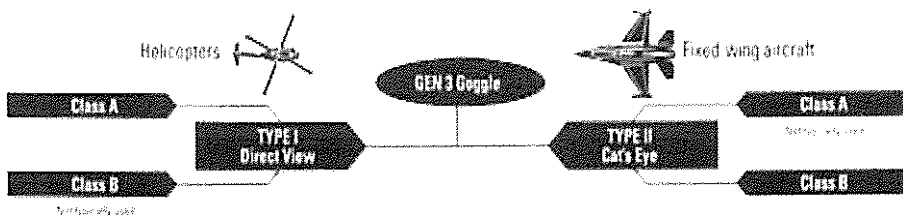
- 규격 내에서 조명의 NR을 최소화하여 필터링되지 않는 빛이 외부로 새어나 오지 않게 한다.
- 색도(Color) 규격을 충족시킨다.
- 투과율을 최대화하여 조도, 색도, 주/야간가독성(Daylight/Nighttime Readability)을 향상시킨다.

이러한 설계목표는 상호연관성이 있으며 필터와 마킹 설계는 정확한 제질의 검증, Trade-Offs 분석, 생산품의 품질안정성을 엄격히 고려해야 한다. 생산품에 대한 정확한 평가를 위해서 고해상도 스캐닝이 가능한 Spectro-photometer를 사용하기도 한다.

#### 1. 색상 (Color)

NVIS 색상은 규정된 표준비행에 사용되는 색상과는 달리 NR의 한계값 때문에 특수한 색깔로 표현된다. Class A 적색은 Class A NVIS 응답곡선 범위 안에 포함되지 않기 때문에 적용되지 못한다. Class A, Class B의 Green A와 Green B 색상은 응답곡선에 포함되므로 적용 가능하다. 동시에 Green A와 Green B는 광순응 응답에서 최대의 대역(Band)을 갖고 있기 때문에 상대적으로 적은 에너지로 다른 색깔과 비교하여 많은 조도를 생성시킨다. Class A에서 황색(Yellow)은 녹색 쪽 파장을 방출하지 않게 제한시켜서 의도하지 않는 NR 값을 최소화시키며 이것은 NVIS 응답 차단 파장에 가깝도록 적색 투과성을 최적화하여 필터를 설계하므로써 가능하다. 따라서, Type I, Class A NVIS 조종석 시현기는 회전익 항공기에 주로 사용하고, Type II, Class B NVIS 조종석 시현기는 고정익 항공기에 주로 사용한다.

<그림 IV-12> MIL-L-85762A 에서의 NVG 분류



주기 : Type I, Class B와 Type II, Class A는 일반적으로 잘 사용되지 않음

&lt; 표 IV-1 &gt; 광원 (Illumination Source) 과 NVIS 호환성

조명원	NVIS 색상
광(Incandescent)	청색*, 백색*, 녹색 A&B, 황색, 적색
LED backlight	녹색 B에 가까운 색
LED programmable display	녹색 B에 가까운 색
EL(Electro Luminescence)	청색*, 녹색 A&B

주 : \*표시는 MIL-L-85762A에 규정되어 있지 않으며, 다른 색상은 모두 MIL-L-85762A에 규정되어 있음

## 2. 조도와 색상

MIL-L-85762A에 정의된 조도와 색상의 값은 모든 광원의 단품에서 주/야간 모두에 적용한다. 스위치와 지시계는 MIL-PRF-22885F(이전의 MIL-S-22885E는 취소됨)의 색상 항목에서 규정된다. 그러나, NR 조건을 유지하기 위해서는 사용 가능한 조도를 가진 일부 시현기의 밝기와 색깔을 조절해야 한다. 시현기가 off 되었을 때 주간가독성(Sunlight Readability)을 증가시키고, 마킹이 번져 보이는 현상을 방지하기 위해 특수한 확산기(Diffuser)와 코팅(Coating) 기술이 사용되기도 한다.

## 3. 광원과 NVIS 호환성(Compatibility)

아래 <표 IV-1>은 여러 가지 광원의 NVIS 호환성을 요약한 것으로, MIL-L-85762A 조건에 대한 NR을 만족하는 색상을 나타낸 것이다.

# V. NVIS 개조 (Modification)

## 가. 조종석 내부조명(Interior Lighting)의 개조

NVIS 조종석의 내부조명은 적외선영역의 파장이 방사되지 않도록 해야 하며 가시광선 영역, 주로 상대응답특성이 가장 좋은 녹색파장이 방사되도록 설계하여야 한다. 계기조명의 개조는 두 가지 방법이 있으며, 계기의 내부 램프를 NVIS와 호환되게 바꾸어주는 방법과 기존 계기들의 조명시스템의 전원을 차단시키고(Wire를 절단하고), 계기의 베젤(Bezel)을 수정하여 포스트라이트(Postlight) 형식으로 바꾸어 주는 방법이 있다. 패널 조명의 개조는 기존 패널들을 NVIS 형식(Type)으로 교체하고 장착된 스위치는 NVIS 캡(Cap)으로 교체한다. 전자식 계기는 폴리 카보네이트(Polycarbonate) 등의 필터를 사용하여 개조하고, 주의/경고를 나타내는 마킹과 경고패널(Annunciator Panel)은 NVIS 녹색(Green), 황색(Yellow), 적색(Red)

을 나타내는 부품들로 교체한다.

### 1. 제어패널 개조

기존의 패널인 Type IV(Imbedded Type), Type V(Removable Printed Circuit Board Type) 및 Type VII(Light Emitting Diode Type) 패널은 SAE AS 7788(이전의 MIL-P-7788F는 취소된)에 규정된 NVIS Type IV, V, VII 패널로 교체한다. 만일, 구형패널인 Type III(front relampable Type) 패널이 개조 대상 항공기에 사용되고 있다면 NVIS Lamp holders를 가진 Type III Lamp holders로 교체하여 개조한다. 그러나, 이런 경우에는 교체 작업을 한다 하더라도 밝기(Brightness)와 휘도(Luminance)가 좋지 않기 때문에 Type 자체를 변경하는 것이 바람직하다. 신규로 설계가 가능하다면 유용성이 뛰어난 Type V 패널이 좋다.

< 표 V-1> 항공기용 패널의 형식 (Type)

패널 형식	패널의 특징
Type III	MS25010 조립체 등을 이용한 플라스틱 패널. 이 패널을 NVIS와 호환되게 개조하려면 Lamp holders를 교환한다.
Type IV	플라스틱 안에 백열램프와 전기회로를 포함시킨 패널
Type V	교체할 수 있는 램프를 장착한 패널, 혹은 PCB(Printed Circuit Board)에 납땜 가능한 (Soliderable) 램프를 가진 패널
Type VI	패널 안에 보호된(Encapsulated) EL 램프, 혹은 EL과 백열램프의 조합된 패널
Type VII	패널 뒷면에 제거 가능한 PCB에 납땜한 LED를 가진 패널

### 2. 계기조명의 개조

계기조명의 개조는 내부조명을 NVIS 호환 조명으로 교체하는 Integral 방식 또는 기존 조명시스템의 전원을 차단하고(Wire를 절단하고), 계기 외부의 NVIS용 베젤을 추가로 장착하여 램프를 외부에서 비추어주는 방식(Postlight) 등으로 개조한다. 비용측면에서 베젤을 변경하여 Postlight 형식으로 설계하는 것이 계기 내부 램프를 교체하는 것보다도 10배 정도 저렴하기 때문에 베젤 방식이 선호되는 추세이다. 또한, 계기 직경이 2인치(inch) 이하의 계기는 Postlights 방식을 주로 사용하며, 3인치 이상의 계기는 Open Ring Bezel, Bridge Bezel, Eyebrow Bezel 방식을 많이 사용한다. 베젤 조명 방식을 사용하면 기존 계기에 영향을 주지 않고 작업이 가능하며 내부 램프의 열 부하를 줄일 수 있기 때문에 계기 수명이 길어진다. 장점도 있으나, 조종석 계기판으로부터 계기의 두께가 증가하여 주/야간에 다른 조명들로 인한 그림자 발생으로 계기의 판독이 어려워지는 문제가 발생할 수 있는 단점도 있으므로 계기 조명의 개조 설계 시 주의하여야 한다.



### 3. 경보등/주의등/권고등의 개조

기존 항공기의 NVIS 조명 개조 중에서 가장 힘든 부분 중에 하나가 경보/주의/권고(Advisory) 조명에 대한 개조이다. 구형 항공기에 사용된 램프나 빛을 내는 스위치는 NVIS 호환되게 설계되어 있지 않다. 대다수는 NVIS 호환 부품들로 변환이 되지 않는다. 그러나, 기술개발을 계속하여 최근에 단일결정(Monolithic) 기술이 개발되므로써 경보/주의/권고 조명의 개조가 가능하게 되었다. 이 기술은 스위치나 램프를 캡(Cap)으로 씌우는 기술이며 이러한 조립체들은 램프, 반사기(Reflectors), 조명관(Light Pipes) 등으로 구성되어 있다. 항공기 조종사들의 대부분이 NVG를 사용했을 때 주의등(Warning Light)의 색깔로 적색을 선호하며, 이것은 Class A에서 문제가 되므로, NVG와 크게 간섭현상이 발생하지 않으면 NVIS 적색(Red) 조명을 장착하기를 권한다.

### 4. 다용도 조명(Utility Lights)의 개조

다용도 조명은 지도 관독을 포함하여 대다수의 임무에 유용하게 사용된다. NVIS Green A, Green B 조명은 황색과 적색 성분을 포함하지 않기 때문에 지도의 다양한 색상을 관독하는 것은 불가능하다. 따라서, 전체 파장을 포함하고 있는 NVIS 백색 조명은 다양한 색상으로 표시된 지도를 읽을 수 있도록 조도의 차이를 제공하여 유용하게 사용된다.

### 5. 전자시현기(Electronic & Electro-Optical Displays)

최근 단색 시현기(예, Multi Function Displays)나 컬러 시현기를 NVIS와 호환될 수 있도록 하는 폴리탄산에스테르 필터(Polycarbonate Filters)와 유리필터(Glass Filters)를 기존 계기 유리 위에 덮어씌우는 기술이 개발되었다. 비행안전상의 이유로 폴리탄산에스테르 필터가 3개의 노치(Notch) 필터를 사용한 유리필터보다 더 많이 선호되고 있는 추세이다.

### 나. 외부조명(Exterior Lighting) 개조

외부조명은 기존항공기의 조명전원을 그대로 사용하고, 사용 중인 외부조명을 적외선만 방사하는 램프(IR-LED)로 교체 장착하거나 NVIS 친밀성(NVIS Friendly) 램프로 교체하여 개조하는 방법을 이용한다. 기존 외부조명은 NVIS와 호환되지 않는 빛을 방사하여 NVG의 작동을 방해하므로, 외부조명 호환성은 내부조명 호환성과 반대되는 개념으로 적외선 빛을 수만 배 증폭하여 보는 개념과 눈으로도 외부조명을 볼 수 있고 동시에 NVG를 통해서도 볼 수 있는 개념의 외부조명 방식이 적용된다. 최근, 비행기지의 특성상 민/군용 항공기가 동시에 동일한 활주로에서 이/착륙할 수 있도록 하기 위해서 NVIS-Friendly한 방식이 주로 사용되며 특수한 목적으로 IR-LED를 사용하여 조합된 방식으로 외부조명을 설계하고 있다.

## &lt; 그림 V-1 &gt; 항공기용 NVIS 외부 조명



## 1. 은밀등(Covert Lights)의 개조

Covert Lights 방식의 개조는 두 가지 방법이 있으며, 하나는 IR-LED를 기존의 램프와 교체하는 방법과 기존 외부램프에 적외선 필터를 추가로 씌우는 방법이 있다. IR-LED 광원(Source)과 발광체(illuminator)는 주로 편대등(Formation Lights)에 사용되며, IR-LED 발광체는 방향성이 있어서 특정한 방향에서만 볼 수 있도록 위치시킨다. 편대 비행시 서로 볼 수 있게 하면서도, 다른 항로의 항공기에서나 지상에는 NVG를 사용하여도 볼 수 없게 위치한다. 이러한 Covert Lights는 특수 임무 시에만 작동할 수 있도록 조종석에 별도의 스위치가 있어서 일반 정상적인 비행에는 사용하지 않는다.

## 2. NVIS 친밀 조명(NVIS-Friendly Lights)

나안으로도 볼 수 있고, NVG를 착용하여도 볼 수 있게 되어있는 방식의 조명이다. NVIS-Friendly 조명의 장점은 민간항공기에서도 빛을 인지할 수 있는 것이다. 이런 조명방식은 연방항공청(FAA)의 강도, 항법등, 충돌방지등(FAR 25.1401)의 해당 규정에 따른 분포 패턴을 유지하여야 한다. NVIS-Friendly 조명으로 교체시 기존 비행 조명 색도에서 NVIS 색도로 변경되며 변경되는 색도의 정도는 광원과 필터의 종류에 따라 달라진다.

· Interference filter(2 incandescent point source) : 가장 적게 색깔이 바뀌어 보인다. 축을 기준으로 보았을 때 백색은 청색에 가까워 보이며 100ft 거리의 축에서 벗어나서 보았을 때 청/녹색으로 보인다. 축에서 벗어나면 색 투과율은 감소한다.

· Absorption filter(2 incandescent point source) : 색깔이 가장 많이 바뀌어 보인다. 백색은 150 ft 거리에서 어떤 각도로 보더라도 녹색처럼 보인다. 먼 거리에서는 Whiter White (Ice White) 색깔로 보인다. 기존의 적색은 NVIS 적색으로 보인다.

· LED 램프와 필터처리 되지 않은 조명기 (unfiltered) : LED는 기존의 항공기 녹색과 적색으로 보인다. 백색 LED는 blue-white 색깔에 가깝게 보인다. NVIS-Friendly 조명에 대해서는 정량적 기준이 명확하지 않고 일반적으로 NVG을 통해 50ft 떨어져서 보았을 때 농구공 만한 크기가 되면 정성적으로 평가되었다고 본다. 필터 처리된 백색등이나 적색등은 기존의 항공기가 가지는 녹색의 조명보다 더 큰 상을 나타낸다. 평균 NRA은 녹색이  $2.0 \times 10^{-8}$ , 필터처리된 백색은  $2.0 \times 10^{-8}$ , 그리고 적색은  $2.0 \times 10^{-6} \sim 10^{-5}$ 로 나타난다.

### 3. 조합등(Combination Lights)

Covert 조명이나 NVIS-Friendly 조명방식은 같은 조명 조립체로 구성되는데, 이 두 가지 방법을 조합하여 사용할 수 있는 방법은 기존 전원선(Wire)을 그대로 사용하여 스위치로 조명방식을 선택하는 방법과 기존 전원선은 그대로 두고 전원선을 추가로 설치하여 사용하는 방법이 있다.

## VI. NVIS 개조에 대한 평가 및 인증

### 가. NVIS 설계 규정

NVIS 설계에 대한 최소성능표준(MPS)은 RTCA DO-275(통합 야간 시각 시스템 장비)에 규정되어 있으나, 현재로서는 NVG에 대한 미국의 기술표준품지시서(TSO)는 발행되지 않았다. 참고적으로 군용항공기에 적용되는 NVIS 관련 규격은 다음과 같다.

- 조명시스템 : MIL-L-85762A, MIL-STD-3009
- 품질보증 : MIL-I-45208A
- EMI/EMC 시험 : RTCA DO-160D, MIL-STD-464(이전의 MIL-E-6051D는 취소됨)
- 시스템 안전성 : MIL-STD-882D
- 솔리브 : SAE AMS DTL 23053(이전의 MIL-DTL-23053E는 취소됨)
- 배선 : SAE AS 5088(이전의 MIL-W-5088L은 사용되지 않음)
- 식별표식 : MIL-STD-130L, MIL-L-85762A
- Exterior, Intensity Distribution & Field for Coverage : MIL-L-6503H

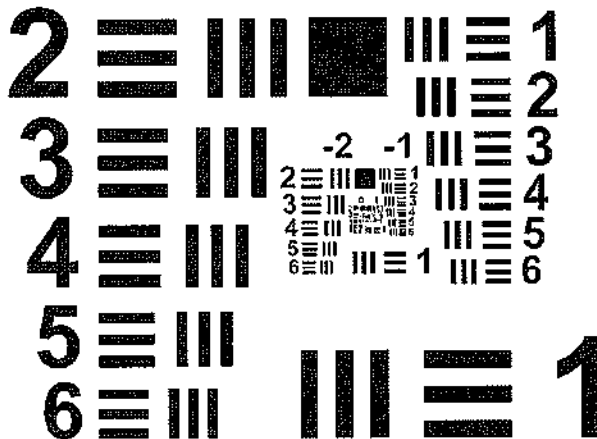
### 나. NVIS 평가(Evaluation)

NVIS 지상시험평가 항목으로는 기능시험 및 야간투시경 호환성시험으로 나누어지며 호환성시험에는 주간가독성시험, 야간가독성시험, 야간투시경시험, 시각민감

도(VA) 측정, NR 측정 등으로 구성된다. NVIS 개조에 대한 평가는 개략적으로 다음에 나타난 내용에 대하여 수행한다. 이러한 NVIS 평가에 대한 세부내용은 각 단계별, 해당 항공기별(고정익, 회전익 등), 적용항공기(민간, 군용)별로 각기 다를 수 있고, 또한 사용되는 평가장비와 항공기에 적용된 계기 등에 따라 상이할 수 있으므로, 일반적인 내용만을 간략히 서술하였다. 이러한 세부적인 평가기술과 절차 등의 내용은 향후 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

- 단품 검증(MTBF, SPEC 만족여부 등)
- NVG 검증(규격 만족여부 등)
- 개조작업 수행(Aircraft Modification) 이후 부품의 합치성 검사
- 지상시험(round Test)
  - 암실조건(spectrophotometer로 NR Scanning)
  - 항공기 조종석 내부조명 평가(Aircraft Cockpit Interior Light Evaluation)
    - :  $1.7 \times 10^{-10}$  NR 이내
  - NVG 착용하고 캐노피(Canopy) 또는 창문(windshield) 반사 및 NVG 영향성 평가
  - 항공기 외부조명 평가(Aircraft Exterior Light Evaluation)
  - 시험자가 NVG 착용하고 20ft 떨어진 장소에 USAF 1951 Tri-Bar Resolution Chart 또는 Snellen Chart 등을 설치하여 시각민감도(Visual Acuity : VA) 시험을 실시
  - 주/야간 가독성 시험(Daylight/Nighttime Readability Test)
    - (Bezel 및 Post-light 등으로 인한 그림자(shadow) 영향성, 계기의 식별성, 경고등 확인 가능성 유무 등)
- 시스템 안전성 분석(SSA : System Safety Analysis), 고장모드 및 영향성 분석(FMEA : Failure Mode & Effects Analysis)
- 지정된 주/야간 비행시간 동안의 비행시험(Flight Test)

< 그림 VI-1 > USAF 1951 Tri-Bar Resolution Chart



< 표 VI-1 > Class B, Type 1 또는 Type 2 NVG 의 NVIS 조명의 색도 (Chromaticity), 휘도 (Luminance) 및 NVIS Radiance(NRB) 요구조건

조명 구성품	NVIS 색상(Color)	시험 구성품의 휘도(Luminance)	NVIS Radiance(NRB)	
			최소(Min)	최대(Max)
주조명 (Primary)	Green A, Green B. 또는 White (주 1)	0.1 (fL)	--	$1.7 \times 10^{10}$
보조조명 (Secondary)	Green A, Green B, 또는 White (주 1)	0.1 (fL)	--	$1.7 \times 10^{10}$
객실조명 (Cabin Lighting)	Green A, Green B, 또는 White (주 1)	0.1 (fL)	--	$1.7 \times 10^{10}$
주 주의신호 (Master Caution Signal)	Amber/Yellow	15.0 (fL)	$4.7 \times 10^{-8}$ (주 2)	$1.4 \times 10^{-7}$
주의신호 (Caution Signal)	Amber/Yellow	0.1 (fL)	--	$1.7 \times 10^{-9}$
권고신호 (Advisory Signal)	Green A, Green B. 또는 White (주 1)	0.1 (fL)	--	$1.7 \times 10^{10}$
주 경고신호(Master Warning Signal)	Red	15.0 (fL)	$4.7 \times 10^{-8}$ (주 2)	$1.4 \times 10^{-7}$
경고신호(Warning Signal)	Red	15.0 (fL)	$4.7 \times 10^{-8}$ (주 2)	$1.4 \times 10^{-7}$
비상탈출조명 (Emergency Exit Lighting)	--	15.0 (fL)	$4.7 \times 10^{-8}$ (주 2)	$1.4 \times 10^{-7}$
전자시현기(흑백) (Electronic & Electro-optical Displays)(Monochromatic)	--	0.5 (fL)	--	$1.6 \times 10^{10}$
전자시현기(컬러)(Electronic & Electro-optical Displays)(Multi-Color) -백색(White)	--	0.5 (fL)	--	$2.2 \times 10^{-9}$
전자시현기(컬러)(Electronic & Electro-optical Displays (Multi-Color) -최대(Maximum)		0.5 (fL)	--	$1.1 \times 10^{-8}$

주: 1. 조명 구성품은 NVIS Green A, NVIS Green B 또는 NVIS White에서 선택되어지지만, 색상의 선택은 각 조종실의 조명설계 개념에서 균일성과 동질성을 바탕으로 규정되어야 한다.  
2. 최소 NVIS Radiance(NRB)는 Type 2 NVG 사용시에는 적용되지 않는다.

&lt; 표 VI-2&gt; 휘도 (Luminance) 수준 (Level)

구성조명	휘도(Luminance)	
	주간(Day Mode)	야간(Night Mode)
주 계기조명(Primary Instrument Lighting)		0.01~1.3 (fL)
보조 계기조명(Secondary Instrument Lighting)		0.01~1.3 (fL)
주 콘솔조명 (Primary Console Lighting)		0.01~1.3 (fL)
보조 콘솔조명 (Secondary Console Lighting)		0.01~1.3 (fL)
전자식 시현기 (Electro & Electro-optical Displays)		0.05~1.7 (fL)
주 경고/주의조명 및 경고조명 (Master Warnings/ Master Cautions, Warnings)	≥ 150 (fL)	15 ± 3 (fL)
주의/권고조명 (Caution/Advisory Lights)	≥ 150 (fL)	1 ± 0.5 (fL)
비상 탈출조명 (Emergency Exit Lightings)		15 ± 3 (fL)

#### 다. NVIS 운용에 대한 인증(Certification)

미연방항공청(FAA)은 NVIS로 개조한 민간항공기를 운용하기 위해서 운용자는 14 CFR Part 91(일반 운용 및 비행 규정)과 14 CFR Part 135(운용 요구조건; 커뮤터급 항공기 승무원 규정과 요구되는 운용) 등의 모든 해당 요구사항을 만족하여야만 한다고 규정하고 있다. NVIS 장착을 위한 승인은 단지 형식증명(Type Certificate : TC), 형식증명의 개정 또는 부가형식증명(Supplement Type Certificate : STC)의 절차를 통해서만 수행된다. 이러한 인증단계에서는 NVIS 장비 장착 이후에 항공기가 의도된 기능을 수행할 수 있는지 여부와 NVIS 작동이 항공기와 장착된 장비의 성능에 악영향을 주지 않는지 여부를 결정하게 된다. 현재, 전 세계적으로 NVIS 및 NVG 관련 부품은 수출제한품목으로 규제되어 있고, 그러한 기술 역시 거의 공개가 되어 있지 않은 것이 현실이다. 또한, 이러한 NVIS 기술에 대한 세부 인증절차 역시 공개되어 있지 않고 있으며, 국내 항공 관련 규정에도 아직 NVIS는 정의되어 있지 않아서 이에 대한 명확한 인증근거를 제시하기 어렵다. 그리고, 다양한 민간 규격 및 정부 소속의 연구기관들의 평가보고서가 있으나 아직까지 전 세계적으로 공식화된 평가절차서는 확정되지 않은 것으로 조사되었다. 따라서, 해당 부품의 국내 개발 및 인증을 위한 세부적인 규정과 절차의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

## VII. 맺음말

앞서 설명한 NVIS 기술은 현재 국내에서도 군용으로 다양하게 활용되고 있고, 향후 한국형 다목적 헬기(KMH) 등의 최신 기종에서도 채택될 예정이므로 많은 관심이 집중되고 있으며, 세부기술에 대한 연구가 지속적으로 진행될 것으로 판단된다. 따라서, 본 내용에서는 이러한 NVIS의 전반적인 개념을 설명함으로써 전체적인 각각의 단계(설계/제작 또는 개조/인증)에서 NVIS의 원리를 이해하고, 평가 및 인증단계에서 보다 쉽게 기술적으로 접근하고자, 일반적인 개요에서부터 NVIS의 형태와 작동원리, NVIS 내/외부 조명의 개조, NVIS 개조에 대한 평가 및 운용, 인증 등을 전반적으로 살펴보았다. 본 내용을 통하여 NVIS에 대한 기본적인 개념을 정리하고, 향후 NVIS 기술의 적용에 있어서 인증 및 평가에 대한 기초 자료로 활용하고자 한다. 또한, 이러한 NVIS 기술에 대한 지상 및 비행시험에 대한 세부적인 인증요건과 평가방법 및 안전성에 대한 입증요건 등은 항공선진국의 세부기술을 바탕으로 향후 지속적으로 연구할 계획이다.

## [참고문헌]

1. 홍태기 외 4인(2000), 『항공기 야시장치계통(NVIS) 개조방안 연구』, 항공기 개발기술 심포지엄
2. 하성욱 · 권종광 · 홍재영(2002), 『저속통제기 야시조명계통(NVIS) 태칼페널 제작』, 항공기 개발기술 심포지엄
3. 권종광 외 4인(2002), 『항공기 야시조명계통 지상시험 평가』, 항공기 개발기술 심포지엄
4. H. Lee Task, Alen R.P.(2002), “Night Vision Imaging System Lighting Compatibility Assessment Methodology”, *technical Report*, AFRL Wright-Patterson AFB
5. Alan Pinkus(1998), “Measuring Observers Visual Acuity Through Night Vision Goggles”, ASC98-1884
6. Task, H. L., & Griffin, L. L. (1982). *PAVE LOW III: Interior lighting reconfiguration for night lighting and night vision goggle compatibility*, Aviation, Space & Environmental Medicine, 53, 1162-1165.
7. Reising, J. D., Antonio, J. C., & Fields, B. (1995), “Procedures for conducting a field evaluation of night vision goggle-compatible cockpit lighting”, Report No. AL/HR-TR-1995-0167.
8. Reetz III, F. (1987). Rationale behind the requirements contained in military specs MIL-L-85762 and MIL-L-85762A. Technical Report NADC-87060-20. Warminster, PA: Naval Air Development Center.
9. ASC/ENFC 96-01 REV 1, 22 March (1996), “Interface document, lighting, aircraft, interior, Night Vision Imaging System (NVIS) compatible”, Wright-Patterson AFB, OH: ASC ENFC.
10. FAA Order 8400.10, *Night Vision Imaging Systems*
11. RTCA/DO-275, 12 October 2001, *Minimum operational performance standards for integrated night vision imaging system equipment, prepared by SC-196, Washington, DC.*
12. MIL-STD-3009, 2 February 2001, *Dept of Defense interface standard for lighting, aircraft, Night Vision Imaging System (NVIS) compatible.*
13. MIL-L-85762A, 26 August 1988, *Military specification, lighting, aircraft, Night Vision Imaging System (NVIS) compatible.*
14. RTCA DO-268, 27 March 2001, *Concept of Operations, Night Vision Imaging System for Civil Operators.*
15. RTCA DO-275, 12 October 2001, *Minimum Operational Performance Standards for Integrated night Vision Imaging System Equipment.*
16. Inter-Agency Agreement DTFA01-02-X-02017(02.2002), “Theoretically Acceptable Alternative NVIS Assessments”, FAA & AFRL/HECV