

야간 투시 영상시스템의 Green A에 적합한 작은 형태인자를 가진 LED에 관한 연구

김태훈** · 유창한* · 윤현주** · 김민평** · 윤호신**

*†(주)사이언, **(주)포스포

A Study on LED with Small Form Factor Suitable for Green A of Night Vision Imaging System

Tae Hoon Kim^{*†}, Chang Han Yu^{*}, Hyeon Ju Yoon^{**}, Min Pyung Kim^{**} and Ho Shin Yoon^{**}

^{*†}PSIONdsp Co., ^{**}FORCE4 Co.

ABSTRACT

In this study, we have successfully developed an unique NVIS Green A compatible LED by combining two technologies. One is white LED made with a black EMC (epoxy molding compound) lead frame. The other is NVIS Green A filter that shields the near infrared region made in the film method. The form factor of the developed NVIS Green A compatible LED was 2.0 x 2.0 x 0.95 mm. And it is possible to satisfy NVIS radiance and color limit specified in MIL-STD-3009 by controlling the concentration of Green A dye and the thickness of the NVIS filter as well as adjusting of color temperature of the white LED. From these results, we are expected that the developed NVIS Green A suitable LED is a promising solution for the weight reduction and the cost reduction of avionic applications.

Key Words : NVIS Green A compatible LED, black EMC lead frame, near infrared absorption filter, form factor

1. 서 론

항공 조명기술에서 야간 투시 영상시스템(Night Vision Imaging System, NVIS) 규정 준수의 핵심은 조종사가 야간 투시경(Night Vision Goggle)을 착용했을 때 조종석의 조명 조건에서 항공전자 시스템을 정상적으로 작동할 수 있도록 하는 것이다. 야간 투시경은 나안으로 인식이 어려운 미약한 밝기의 외부영상을 영상증폭장치(Image Intensifier Tube)를 통해 식별할 수 있도록 하는 장비로서 1990년대 부터 항공기 무기체계에 도입하기 시작하였다[1].

야간 투시경은 형식(Type)과 등급(Class)에 따라 구분된다. 형식은 야간투시경의 물리적인 형상에 따른 분류이고 등급은 대물렌즈의 차단필터(Minus-blue Filter)의 종류에 따

른 분류이다. 야간 투시경 Type I은 회전익 항공기에 주로 사용되는 NVIS 장치의 형식으로서 조종실 외부의 시각정보는 야간투시경을 통해 직접 보고, 조종실 내부는 보통 나안으로 본다. 야간투시경 Type II는 고정익 항공기에 주로 사용되는 NVIS 장치의 형식으로서 조종사가 보는 시각영상을 대물렌즈에서 받아 영상증폭장치를 통과하여 조합된 렌즈를 통해 영상을 볼 수 있게 해주며, 조종사는 조종실 내/외부의 시각정보를 조합렌즈를 통하여 본다. Class A는 대물렌즈의 차단필터를 채택하여 625 ~ 930 nm 파장영역에서 최대 응답 특성을 나타내며, Class B는 665 ~ 930 nm 파장영역에서 최대 응답특성을 나타내는 NVIS 장치이다. NVIS Class A는 헬기와 같은 회전익 및 저고도 항공기에 사용되며, NVIS Class B는 고정익 항공기에 주로 사용된다. 그리고 조종실 내에서 NVIS Class A는 붉은색 빛의 사용을 규제하지만 NVIS Class B에서는 붉은색 빛의 사

[†]E-mail: thkim@psiondsp.com

용을 허용한다.

NVIS 호환성은 조종실 내/외부 조명시스템이 야간투시경의 작동을 방해하지 않는 범위의 빛을 방출하는 것을 말한다. 일반적인 백색 LED를 조명용 광원으로 사용하는

Table 1. NVIS radiance (NR) requirements of Type I and Class B. Where, fL is footlamberts

Lighting components	NVIS radiance (NR _B)		
	Not Less Than	Not Greater Than	fL
Primary		0.17	0.1
Secondary		1.7×10^{-10}	0.1
Illuminated controls		1.7×10^{-10}	0.1
Compartment		1.7×10^{-10}	0.1
Utility, map, work and Inspection lights	Green	1.7×10^{-10}	0.1
	White	1.0×10^{-9}	0.1
Caution and advisory lights		1.7×10^{-10}	0.1
Jump lights	1.6×10^8	4.7×10^8	5.0
Warning signal	4.7×10^8	1.4×10^7	15.0
Master cation signal	4.7×10^8	1.4×10^7	15.0
Electronic and electro-optical displays (monochromatic)		1.6×10^{-10}	0.5
Electronic and electro-optical displays (multi-color)	White	2.2×10^{-9}	0.5
	Max.	1.1×10^{-8}	0.5
HUD systems	1.6×10^9	4.7×10^9	5.0

경우 근적외선 파장영역의 빛을 방출하기 때문에 NVIS 호환 조명기술을 사용하여 근적외선 복사 정도를 현저히 낮추는 것이 필요하다[2,3]. MIL-STD-3009은 NVIS 호환성을 위한 항공기 조종석 조명을 규정한다. Table 1에 나타난 NVIS 복사 휘도(Radiance, NR)와 Fig. 1에 나타난 색상 제한(Color Limit)을 가장 중요한 지표로서 요구하고 있다[4,5].

최근 LED는 NVIS 호환 조명시스템의 광원으로서 급격하게 적용범위를 넓히고 있다. 조종석 조명용 백색 LED를 NVIS 호환 조명시스템의 광원으로 적용하기 위해서는 백색LED에서 방출되는 근적외선 영역의 방사에너지를 야간투시경의 감도를 저해하지 않기 위해 최대한 차단하여야 한다. 특화된 NVIS 호환 LED는 근적외선 영역을 흡수하는 염료와 PC (Poly Carbonate), PMMA (Polymethyl Methacrylate)를 혼합하여 만든 모제를 CNC (Computerized Numerical Control) 정밀가공 하거나 금형을 사용하여 몰딩 방식으로 가공하여 cap 형태로 백색 LED 전체를 둘러싸는 방식으로 제작된다. 이 경우 면적 및 부피뿐만 아니라 중량이 커지는 단점이 있어 실내의 항공조명 분야에 응용하기 위해서는 작은 형태인자(Form Factor)를 가진 NVIS 호환 LED 개발이 절실하게 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 차별화된 NVIS 호환 LED를 개발하기 위해 작은 형태인자를 가진black EMC (Epoxy Molding Compound) 리드프레임으로 제작된 백색 LED와 필름방식으로 제작된 근적외선 영역을 차폐하는 NVIS필터를 조합하여 실내의 항공 조명분야에 가장 많이 폭 넓게 사용되고 있는 NVIS GreenA에 적합한 LED를 개발하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험

앞서 언급했듯이 작은 형태인자와 LED 측면으로부터 방출되는 빛을 차폐하기 위해 Fig. 2에 나타난 것처럼 고신뢰성 소재인EMC로 만들어진 black 리드프레임을 적용하여 백색LED를 자체 제작하였다. 제작된 백색LED는 GaN기반의 청색 칩($W_p = 450 \text{ nm}$, 동작전류 = 20 mA)과 황색 형광체인 YAG (Yttrium Aluminum Garnet)를 사용하여 일반적인 LED패키징 공정으로 제작하였으며, 황색 형광체의 농도 조절을 통해 백색LED의 색온도를 조절하였다. Black 리드프레임은 근적외선 영역의 빛을 차단하기 위한 필름방식의 NVIS 필터를 실장하기 용이하고 또한 NVIS 필터를 실장 했을 때 측면으로 빛샘(Light Leakage)을 방지하기 위한 일정한 두께로 테두리를 가진 차별화된 구조로 설계되어 있다. 이러한 차별화된 소재 선정 및 구조는 NVIS 호환 LED 관련 해외 특허들을 회피 또는 대응할 수 있을 것으로 판단된다[6,7].

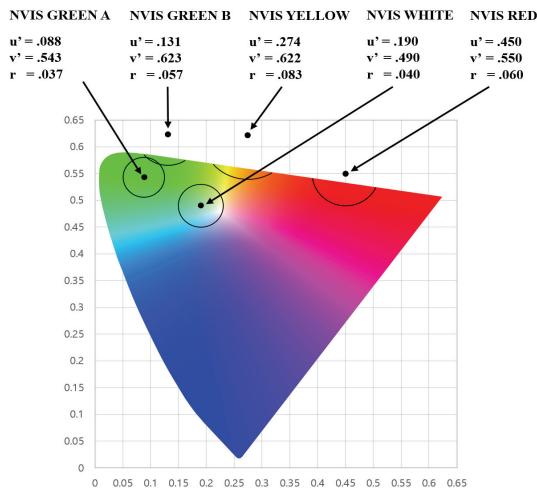


Fig. 1. NVIS lighting color limits in CIE 1976 chromaticity diagram.

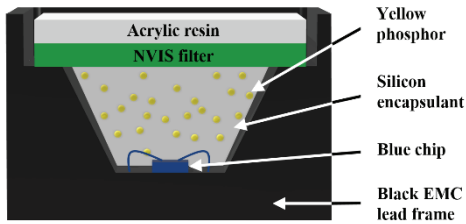


Fig. 2. Schematic diagram of fabricated NVIS Green A compatible LED for this study.

아크릴(Acrylic) 수지에 염료를 혼합하여 NVIS Green A 필터를 제작하였다. 자세한 제작방법은 이미 발표된 선행 연구논문에서 기술되어 있다[23]. 만들어진 NVIS Green A 필터의 두께는 접촉식 방법의 디지털 길이 측정장비(Digimicro MFC-101A, Nikon)로 확인하였으며, 측정오차는 $\pm 2 \mu\text{m}$ 이었다. 아울러 비접촉 방식인 전계 방출 주사 전자 현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM, Hitachi S-4800)을 활용하여 NVIS 필터의 두께 균일도를 확인하였다. NVIS Green A 필터의 UV-VIS-NIR (300-1500 nm) 영역에서의 투과율은 분광광도계(Lambda 750, Perkin Elmer)로 측정하였다. 필름방식으로 NVIS 필터를 제작하기 위한 기판으로 사용된 PET 필름을 이형시켜 제거한 후 Fig. 2에 나타난 것처럼 black EMC 리드프레임으로 제작된 백색 LED 위에 아크릴 레진으로 밀봉방식으로 NVIS 필터를 장착하였다. 실제로 제작된 NVIS Green A 호환 LED의 외형적인 치수 및 시제품 사진을 Fig. 3에 나타내었다.

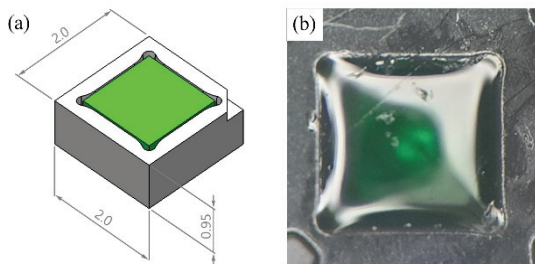


Fig. 3. (a) Dimension of fabricated NVIS Green A compatible LED, (b) photography of fabricated NVIS Green A compatible LED at the top of view.

자체 제작한 백색LED 및 NVIS 호환 LED의 전기광학적 특성평가는 분광복사기(CAS 140CT, Instrument System)로 측정하였다. 아울러, NVIS 측정 시스템(Spectro 320, Instrument System)을 이용하여 색도 좌표(Chromaticity Coordinate)와 NVIS 복사 휘도와 같은 NVIS 호환 LED의 특성을 측정하

여 MIL-STD-3009에 규정된 요구 조건을 만족하는지 평가하였다.

2.2 결과 및 고찰

제작된 NVIS Green A 필터의 염료 농도에 따른 UV-VIS-NIR 영역에서의 투과 스펙트럼을 Fig. 4에 나타내었다. 아울러 제작된 NVIS 필터의 FE-SEM으로 측정된 두께는 Fig. 4에 삽입해서 나타낸 것처럼 $100 \pm 1.45 \mu\text{m}$ 로서 2% 이하의 오차를 가진 균일도를 나타내었다. Green A 염료의 농도가 증가할수록 600 nm 이하의 가시광선 영역에서는 투과 영역의 범위가 줄어드는 동시에 510 nm 근방에서 관측되는 투과율의 peak 또한 급격하게 감소하는 특징을 보이고 있다. 특히 800 nm 이상의 흡수 영역이 염료의 농도가 증가할수록 장파장 영역으로 이동하여 1.5 wt%의 이상의 염료 농도에서는 NVIS 감도에 영향을 주는 600 ~ 900 nm 사이의 투과율이 0%의 값을 나타내었다. 앞서 언급했듯이 NVIS 필터는 근적외선 영역에서의 NR을 최소로 하여 야간 투시경 성능을 최대로 하고 주/야간 가독성(Day-light/Night-time readability)을 고려하여 육안으로 조종실 내부정보가 식별 가능하고, 외부 조명 및 정보는 야간 투시경을 사용해서 식별 가능해야 한다. 따라서 가시광선 영역에서의 투과율을 고려할 때 NVIS 필터의 두께가 100 μm 일 때, MIL-STD-3009에 규정된 Green A 색 제한을 만족하는 염료의 농도는 1.5 wt% 근방일 것이라고 예상된다.

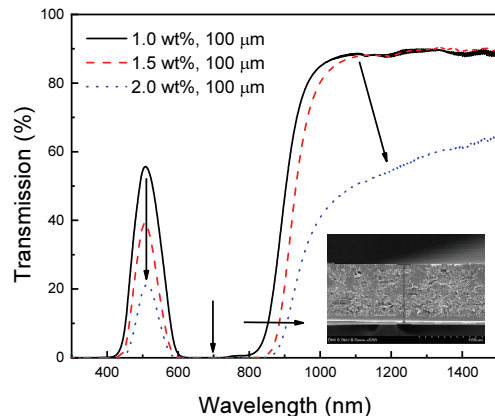


Fig. 4. Transmission spectra of fabricated NVIS Green A filter with different dye concentration at UV-VIS-NIR wavelength region. Inset of Fig. 4 shows field emission scanning electron microscope (FE-SEM) image of fabricated NVIS Green A filter for the measurement of thickness.

필름방식으로 제작된 NVIS필터와 black EMC 리드프레임의 조합으로 제작된 NVIS Green A호환 LED와 상용화된 NVIS Green A 호환 LED [8]를 비교한 외형상의 치수를 Table 2에 나타내었다. Table 2를 보면 상용화된 가장 작은 NVIS 호환 LED와 비교해 보면 면적대비 93%, 체적대비 59%로서 본 연구를 통해 개발된 NVIS 호환 LED는 항공 전자 분야의 응용에 적합한 소형화된 형태인자를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

Table 2. Comparison of our result and commercial NVIS compatible LED in form factor

	Our result	L company ^[8]	Remarks
Area (cm ²)	4.00	4.29	93%
Volume (cm ³)	3.80	6.43	59%

Figure 5에 NVIS Green A필터를 제작하기 위한 염료의 농도가 1 wt%, 두께가 100 μm일 때 black EMC 리드프레임의 만들어진 백색 LED의 색온도 변화에 따른 NVIS 호환 LED의 색도 좌표 변화를 나타내었다. Figure 5에서 실선의 원으로 나타낸 것은 MIL-STD-3009에 규정된CIE 1976 색도 좌표에서 중심점이(0.088, 0.543)이며, 반경이 0.037인 NVIS Green A의 색 제한 영역을 표시하였다. 편의상 Fig. 5에는 나타내지 않았지만 염료의 농도가 1 wt%, 두께가 100 μm일때 NVIS Green A 호환 LED의 측정된 NR값은 백색 LED의 색온도에 상관없이 $1.7 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$ 이하의 값을 가졌다. 하지만 백색 LED의 색온도가 7220 K (0.1921, 0.4631)의 경우는 MIL-STD-3009 색도 좌표 규정을 만족 못하는 반면 6110 K (0.1936, 0.4805), 6780 K (0.2140, 0.4470)의 경우 잘 만족하는 것을 알 수 있다. 앞의 괄호안의 숫자들은 CIE 1976 색도 좌표를 나타내며, 백색 LED의 색온도 조절을 통해 MIL-STD-3009에 규정된 NVIS 호환 LED의 색도 좌표를 조절할 수 있는 것을 알 수 있다.

NVIS 친밀조명 설계시 MIL-STD-3009의 규정을 충족하기 위해서는 최우선적으로 규격 내에서 조명의 NR값을 최소화하여 필터링 되지 않은 빛이 외부로 새어 나오지 않게 설계해야 한다. 그리고 나서 순차적으로 색도 좌표를 만족하도록 설계해야 한다. Figure 6에 Green A 염료의 농도에 따른 NR값을 나타내었다. 표1에 기술했 듯이 NVIS Green A의 NR은 $1.7 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$ 을 충족해야 하며, Fig 6에 실선으로 표시하였다. Figure 6의 NVIS 측정 시스템으로 측정된 결과를 보면, 염료의 농도가 1 ~ 2 wt% 사이에서는 염료의 농도에 상관없이 요구되는 NR값을 만족하는 것을 알 수 있다. 아울러 Fig 7에 나타낸 것처럼 염료의 농도에 따른 색도 좌표 규정도 동시에 잘 만족하는 것

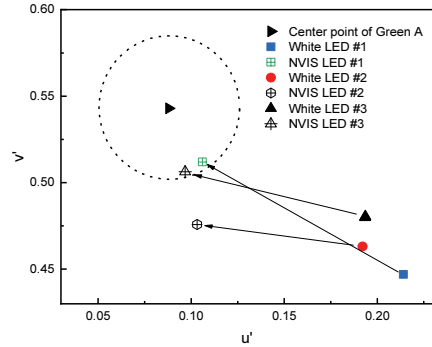


Fig. 5. Variation of CIE 1976 chromaticity coordinate of NVIS Green A compatible LED dependent on the color temperature of white LEDs fabricated with black EMC lead frame.

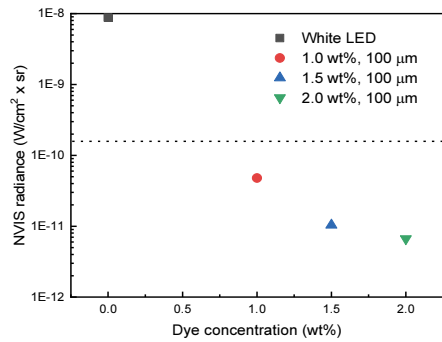


Fig. 6. Variation of NVIS radiance of NVIS Green A compatible LED dependent on the concentration of dye.

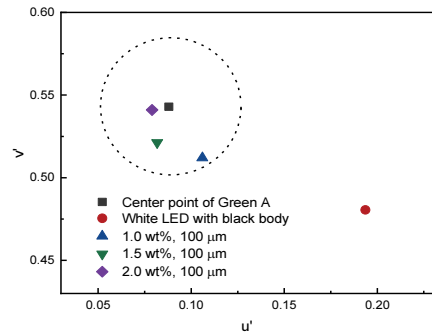


Fig. 7. Variation of CIE 1976 chromaticity coordinate of NVIS Green A compatible LED dependent on the concentration of dye.

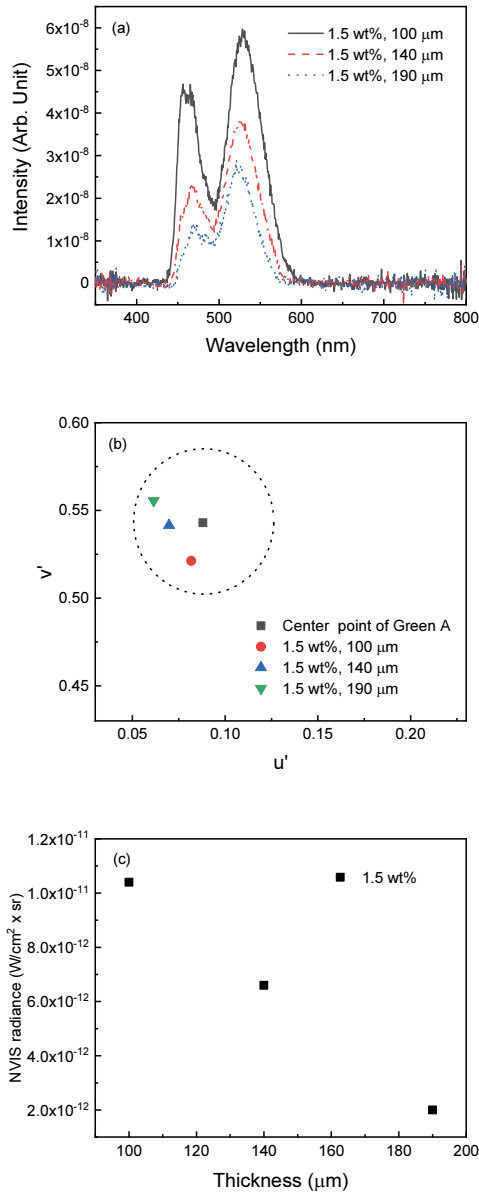


Fig. 8. (a) Electro-luminescence spectra of NVIS Green A compatible LED dependent on the thickness of film, (b) variation of CIE 1976 chromaticity coordinate dependent on the thickness of film (c) Variation of NVIS radiance dependent on the thickness of film. As shown in Fig. 8(b), circle denote the allowable area on the CIE 1976 chromaticity coordinate for the Green A color.

을 알 수 있다. 특히 염료의 농도가 증가할수록 색도 좌표뿐만 아니라 NR 값이 농도에 대해 선형적으로 비례하지 않고 점진적으로 포화되는 특징을 보이고 있다.

Figure 8에 Green A 염료의 농도를 1.5 wt%로 일정하게 유지하며 필름 두께를 각각 100, 140, 190 μm로 조절하는 경우 NVIS 호환 LED의 전계 발광스펙트럼, 색도 좌표 및 NR 값의 변화를 나타내었다. Figure 8에 표시한 두께는 접촉식 또는 비접촉식으로 실제로 측정된 두께를 표시하였다. 염료의 농도는 1.5 wt%로 일정하면서 두께가 증가하는 경우 백색 LED의 파장분산 특성과 NVIS Green A 필터의 가시광선 영역에서의 투과특성의 중첩에 의해 470 및 525 nm 근방에서 두개의 peak가 관측되었다. 이는 이전의 발표된 연구결과인 두께를 일정하게 하고 염료의 농도를 증가시키는 경우와 유사한 전계 발광스펙트럼의 변화를 나타내고 있다는 것을 알 수 있다[3]. 염료의 농도가 1.5 wt%인 경우 두께 변화에 상관없이 MIL-STD-3009에서 요구되는 색도 좌표와 NR값을 동시에 잘 만족하며, 색도좌표 및 NR 값이 두께에 비례하여 선형적으로 변화하는 것을 알 수 있다. 이 결과를 앞서 언급한 두께를 일정하게 유지하면서 염료의 농도를 조절하는 경우와 비교해보면, 염료의 농도를 조절하는 것보다 필름의 두께를 조절하는 경우가 색도 좌표뿐만 아니라 NR값을 동시에 만족시키는 용이한 방법일 것으로 예상된다. 아울러 염료의 농도와 필름 두께의 적절한 조합을 통해 다양한 요구조건을 충족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 차별화된 NVIS 호환 LED를 개발하기 위해 고신뢰성 black EMC 리드프레임으로 제작된 백색 LED와 필름방식으로 만든 근적외선 영역을 차폐하는 NVIS Green A 필터를 조합하여 작은 형태인자를 가진 NVIS Green A 호환 LED를 성공적으로 개발하였다. 개발된 NVIS Green A 호환 LED의 형태인자는 2.0 x 2.0 x 0.95 mm이 있으며, 전량 수입에 의존하고 있는 상용화된 가장 작은 NVIS 호환 LED와 비교해 보면 면적대비 93%, 체적대비 59%로서 본 연구를 통해 개발된 NVIS 호환 LED는 소형화된 형태인자를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 아울러 개발된 NVIS Green A 호환 LED는 염료의 농도와 필터의 두께 조절뿐만 아니라 백색 LED 색좌표 조절을 통해 MIL-STD-3009에 규정된 색도 좌표뿐만 아니라 NVIS 복사휘도를 동시에 만족시킬 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 산업통상자원부 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다. (사업명 : 항공우주부품기술개발 / 과제명 : 중소형 항공기급 개방형 아키텍처 및 소프트웨어개발 / 과제고유번호 : 20005378).

참고문헌

1. Jong Kwang Kwon and Whan Woo Kim, "Development of Night Vision Imaging System for the KO-1 Aircraft", J. of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 34, pp. 107-116, 2006.
2. Kaiyuan Yang, Lixi Wang and Qitu Zhang, "Preparation and properties of flexible night vision imaging system filter for avionic LED display", J. Mater. Sci. Mater. Electron. Vol. 26, pp. 2222-2229, 2015.
3. Tae Hoon Kim, Chang Han Yu, Hyeon Ju Yoon, Min Pyung Kim and Ho Shin Yoon, "Development of Night Vision Imaging System Green A Compatible LED for Avionic Applications", J. of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 19, pp. 1-5, 2020.
4. Jong-Kwang Kwon, Dae-Yearl Lee and Whan-Woo Kim, "Analysis of Requirements for Night Vision Imaging System", J. of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 10, pp. 51-61, 2007.
5. "Lighting, Aircraft, Night Vision Imaging System (NVIS) Compatible", MIL-STD-3009, Feb., 2001.
6. Benjamin George Phipps and Eric Lemay, "Night Vision Imaging System (NVIS) compatible light emitting diode, US Patent 2012/0146073, Jun. 14, 2012.
7. J. Wegat, "Lighting Systems", US Patent 8,523,372, Sep. 3., 2013..
8. <http://lumentron.com/>, Part number : L-65196-A0603-003 (dimension is 2.41 x 1.78 x 1.5 mm).

접수일: 2021년 11월 2일, 심사일: 2021년 12월 8일,
게재확정일: 2021년 12월 14일