

회전익 항공기 충돌방지등의 이상점등에 대한 설계 개선

김영목¹ · 서영진¹ · 이윤우¹ · 이주형² · 최두현^{3,†}

¹국방기술품질원

²한국항공우주산업

³경북대학교

Design Improvement about Abnormal Lighting of Anti-Collision Light for a Rotary-wing Aircraft

Young Mok Kim¹, Young Jin Seo¹, Yoon Woo Lee¹, Joo Hyung Lee² and Doo-Hyun Choi^{3,†}

¹Defense Agency for Technology and Quality

²Korea Aerospace Industries

^{3,†}Kyungpook National University

Abstract

An anti-collision light of a rotary-wing aircraft is used for the purpose of preventing collision during the operation of an aircraft and is a key component to ensure flight safety. The anti-collision lights of the Korean Utility Helicopter (KUH) consist of upper and lower lights, and the power supply of anti-collision lights mounted on the aircraft. The anti-collision light is designed as a dual structure capable of brightness control and selective lighting. During the operation after delivery of the aircraft, abnormal lighting of anti-collision light occurred. In this paper, a comprehensive review of the aircraft system and component level was conducted to solve these phenomena at first. Then, the causes of anti-collision light anomalies were analyzed and the design changes are presented. The validity of design changes has been verified through the component and aircraft system ground/flight test

초 록

회전익 항공기의 충돌방지등은 항공기 운용 중 충돌을 방지하기 위한 목적으로 사용되며, 비행 안전성을 확보하기 위한 핵심 구성품이다. 한국형 기동헬기(KUH)의 충돌방지등은 상부등과 하부등으로 구성되며, 충돌방지등 전원공급기와 항공기에 함께 장착되어 운용된다. 그리고 충돌방지등은 밝기 조절 및 선택적 점등이 가능한 이중 구조로 설계되었다. 항공기 납품 후 운용 과정에서 충돌방지등의 이상점등이 발생하였고, 이러한 현상을 해소하기 위하여 항공기 체계/구성품 단위의 종합 검토를 수행하였다. 본 논문에서는 충돌방지등의 이상점등이 발생한 원인을 분석하였고, 설계 개선방안을 제시하였다. 그리고 설계 개선방안에 대한 타당성을 구성품 및 항공기 체계 지상 및 비행시험으로 입증하였다.

Key Words : Rotary-wing aircraft(회전익 항공기), KUH(한국형 기동헬기), Lighting system(조명계통), Anti-collision light(충돌방지등), Abnormal lighting(이상점등)

1. 서 론

한국형 기동헬기(KUH; Korean Utility Helicopter)의 조명계통은 항공기 인식, 식별 및 이착륙 시 필요한

내부조명과 외부조명으로 구성된다. 내부조명은 조종실과 승객실의 필요한 곳에 누름 단추식 조명 스위치, 다용도등, 병력/화물실등, 인양 고리등이 장착되어 상황에 맞게 밝기 조절이 가능하도록 구성되어 있다[1]. 외부조명은 착륙 시 착륙지점에 대한 식별 능력을 높이기 위한 착륙등과 야간 또는 시야 확보가 불가능한 경우 탐색/구조 임무를 수행할 수 있는 탐색등이 장착된다. 그리고 위치 식별 또는 방향성 제

Received: Apr. 25, 2019 Revised: Aug. 28, 2019 Accepted: Oct. 05, 2019

† Corresponding Author

Tel: +82-53-950-7576, E-mail: dhc@ee.knu.ac.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

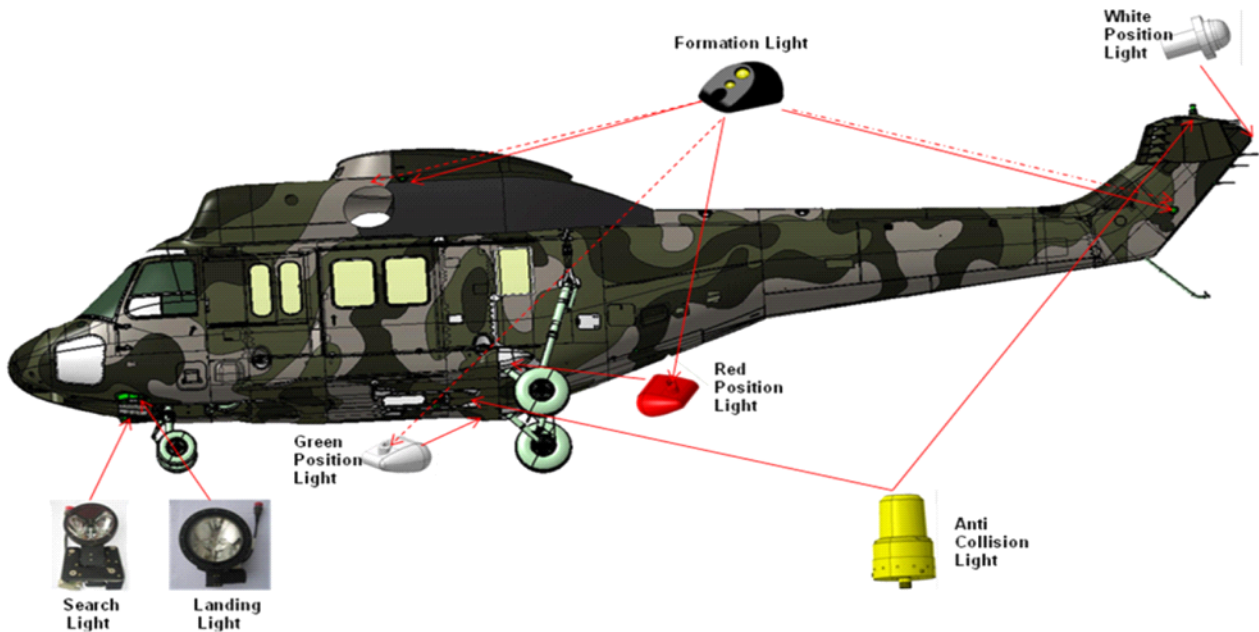


Fig. 1 The external lighting system of KUH

공을 위한 위치등과 편대 비행 중 편대 간의 방향 상실을 방지하기 위한 편대등, 항공기 운용 시 충돌 방지를 위한 충돌방지등이 함께 장착된다[1-2]. KUH 항공기 체계에 장착되는 외부조명의 종류와 위치를 Fig. 1에 요약하였다.

KUH 충돌방지등은 항공기의 테일 파일린 상부(상부등)와 전원동체 하부(하부등)에 장착되며, 충돌방지등 전원공급기와 함께 장착되어 운용된다. 충돌방지등은 적색의 가시등(Visible light)과 적외선등(IR light)이 하나의 유닛에 부착된 이중구조로 되어 있다. 적색 가시등은 주/야간 항공기의 식별을 위하여 사용하고, 적외선등은 야간 운용과 전시 운용조건에서 사용한다. 특히, 전시에는 적군의 지상 관측을 회피하기 위하여 상부등만 켜진 상태(UPPER 모드)로 운용한다. 충돌방지등은 적색 가시등을 사용하는 'NORM' 모드와 적외선등을 사용하는 'IR' 모드를 지원하고, 상/하부 공통, 상부, 하부(BOTH, UPPER, LOWER) 모드로 동작한다. 충돌방지등이 상/하부 공통(BOTH) 모드로 동작 시 분당 40~100회 교차 점멸되고, 밝기는 'BRT/DIM' 모드로 조정된다. KUH의 충돌방지등은 항공기 수평면의 상방/하방 30° 범위 내의 전 방향에서 볼 수 있어야 하고, 맑은 날씨에 명확하게 식별할 수 있어야 한다. 그리고 적색 가시등은 150 cd 이상의 밝기 조건을 만족하고, 적외선등은 최소 3 NM의 거리에서 식별되도

록 설계되어야 한다[2-7]. 충돌방지등과 충돌방지등 전원공급기는 Fig. 2와 같다.

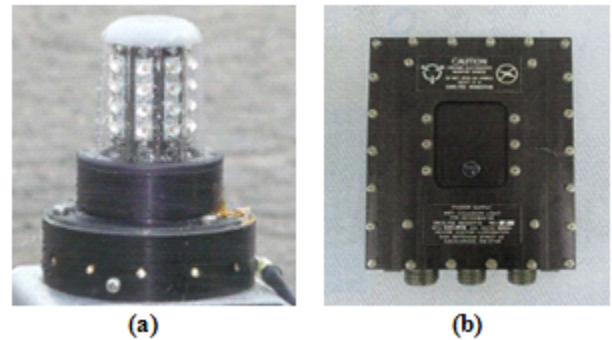


Fig. 2 The shape of an anti-collision light and its power supply : (a) An anti-collision light, (b) its power supply

본 논문에서는 먼저 항공기 운용 과정에서 식별한 충돌방지등 이상점등의 발생원인을 분석하였고, 이를 바탕으로 점멸 구동회로의 설계를 개선하였다. 그리고 항공기 체계 운용 환경을 고려하여 수행한 지상 및 비행시험 결과를 함께 제시하였다.

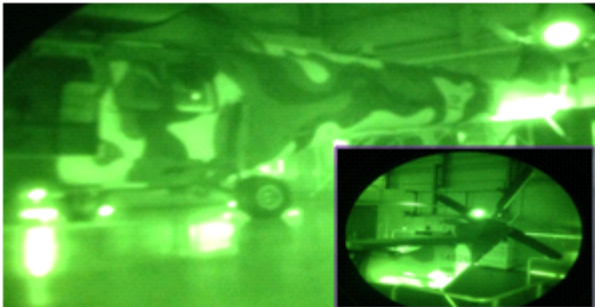
2. 충돌방지등의 이상점등 발생원인 분석 및 설계 개선

2.1 충돌방지등의 이상점등 발생원인 분석

KUH의 충돌방지등은 조종사의 설정에 의하여 상/하부 공통, 상부, 하부(BOTH, UPPER, LOWER) 모드로 동작하여야 한다. 그리고 충돌방지등의 이중구조(적색 가시등과 적외선등)에서 선택적 동작모드(NORM, IR) 설정, 밝기(BRT, DIM) 조절이 함께 가능하여야 한다. 항공기 체계 장착 상태에서 충돌방지등의 동작모드(NORM/IR) 별 점등 형상은 Fig. 3과 같다[8].



(a)



(b)

Fig. 3 Lighting shape for each operation mode of anti-collision lights ((a) NORM mode, (b) IR mode)

KUH 항공기 수락 과정에서 정상 동작을 확인한 충돌방지등은 납품 후 운용 과정에서 이상점등(미점등 또는 간헐적 미점등, 점등은 되지만 점멸이 불가능한 상태)이 다수 발생하였다. 항공기 운용 과정에서 발생한 충돌방지등의 주요 이상점등을 Table 1에 정리하였다.

Table 1 The abnormal lighting phenomena of the anti-collision lights for KUH

No	Details of abnormal lighting phenomena
1	Lighting failure of both anti-collision lights(upper/lower)
2	Intermittent lighting failure of both anti-collision lights(upper/lower)
3	Lighting failure of the upper anti-collision light
4	Non-flashing of both anti-collision lights
5	Lighting failure of the anti-collision lights occurred when switching operation modes
6	Brightness control of the anti-collision light was not possible in the upper or lower mode condition(DIM state is maintained, and transition to BRT state is not possible)

충돌방지등 이상점등의 발생원인을 확인하기 위하여, 충돌방지등과 충돌방지등 전원공급기의 내부 동작 회로를 분석하였다. 동작회로에 대한 분석을 바탕으로 3가지의 원인을 확인하였다.

첫째, 충돌방지등 전원공급기 내부 점멸 제어회로에 사용되는 펄스타이머(pulse timer)의 적용 오류로 인하여, 적색 가시등의 이상점등이 발생하였다. 충돌방지등의 적색 가시등을 제어하기 위한 점멸 펄스 폭(pulse width)은 50 ms 이고, 적외선등의 점멸 펄스 폭은 100 ms 이다. 즉, 적색 가시등과 적외선등의 정확한 점멸 제어를 위하여 각각의 펄스 폭은 서로 다르게 제어되어야 한다. 그러나 충돌방지등 전원공급기에서 충돌방지등의 적색 가시등과 적외선등에 공통으로 100 ms 를 제공함으로써, 적색 가시등 관련 회로가 손상되었고, 이로 인해 이상점등이 발생하였음을 확인하였다. 충돌방지등의 기존 점멸제어 회로에 대한 개념도를 Fig. 4에 정리하였다.

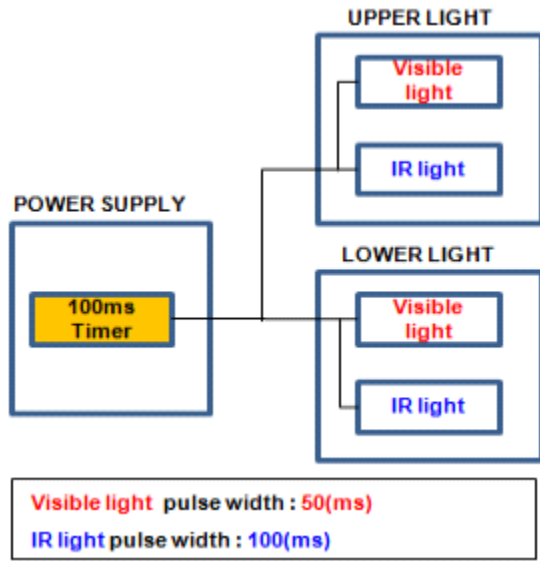


Fig. 4 Block diagram of anti-collision lights' flashing control circuit

둘째, 충돌방지등 및 충돌방지등 전원공급기에 적용된 포토 커플러 타입 릴레이(photo coupling type relay)의 결함을 원인으로 식별하였다. 포토 커플러 타입 릴레이(photo coupling type relay)는 각 구성품(충돌방지등, 충돌방지등 전원공급기)의 동작회로에 공통으로 사용되었고, 충돌방지등의 전원 공급과 점멸 제어를 담당한다. 해당 부품의 결함으로 인하여 전원 공급이 불안정한 경우, 충돌방지등의 미점등 현상이 발생하였다. 그리고 충돌방지등의 동작회로에서 점멸 제어기가 제대로 되지 않을 경우, 적외선등의 지속 점등 현상이 발생하였다.

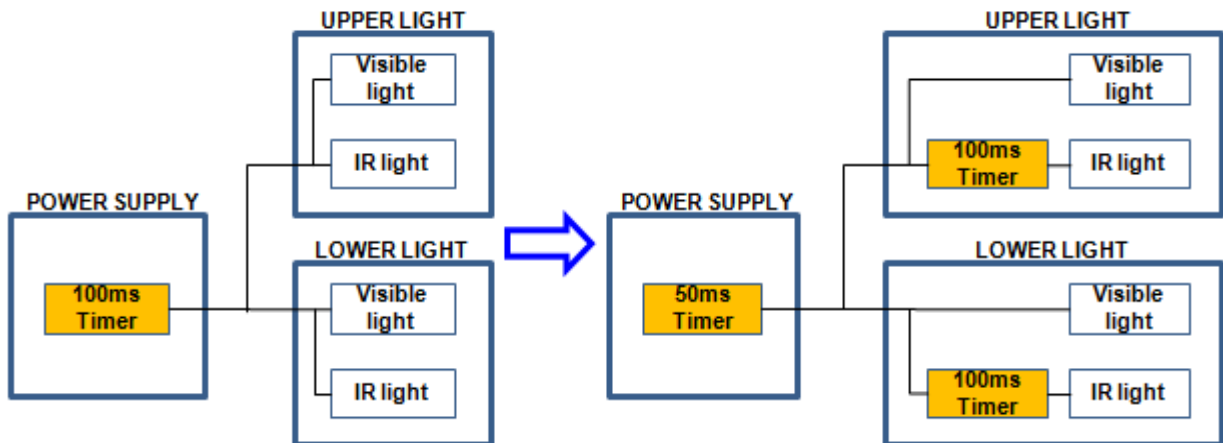


Fig. 5 Design changes of anti-collision lights' flashing control circuit

셋째, 충돌방지등의 최초 전원 인가 시점에서 발생하는 돌입전류(inrush current)와 충돌방지등의 제어 스위치를 전환시킬 때 발생하는 역기전력(counter electromotive force)을 이상점등의 원인으로 식별하였다. 돌입전류는 회로의 개폐기를 투입했을 때, 순간적으로 증가하지만 즉시 정상상태로 복귀되는 과도전류이고, 역기전력은 전기회로 내의 임피던스 양 끝에서 흐르고 있는 전류와 반대방향으로 생기는 기전력이다. 충돌방지등의 동작 모드를 반복적으로 변경(최초 전원 인가(Off→On), 제어 스위치 전환(BOTH↔UPPER/LOWER, NORM↔IR, BRT↔DIM))하면서 돌입전류 및 역기전력의 발생 여부를 점검하였고, 간헐적으로 발생함을 확인하였다.

2.2 충돌방지등의 이상점등 관련 설계 개선

충돌방지등의 이상점등에 대한 발생 원인을 3가지로 정리하였으며, 각 원인에 대한 설계 개선방안을 도출하였다.

첫째, 충돌방지등의 점멸제어 회로를 개선하였다. 충돌방지등의 적색 가시등과 적외선등에 공통으로 사용하였던 펄스타이머(pulse timer)를 분리하였다[9-10]. 각 등의 규격에 맞는 펄스타이머가 적용될 수 있도록 설계를 수정하였다. 이를 구현하기 위하여, 충돌방지등 전원공급기에 적용되는 펄스타이머의 펄스 폭을 100ms에서 50ms로 변경하고, 충돌방지등 내부 점멸 제어회로에 적외선등 전용으로 펄스 폭이 100ms인 펄스타이머를 추가하였다. 충돌방지등 점멸제어 회로에 대한 개선사항을 개념도로 정리하면 Fig. 5와 같다.

둘째, 충돌방지등과 충돌방지등 전원공급기에 적용된 소자를 변경하였다. 각 구성품(충돌방지등, 충돌방지등 전원공급기)에서 전원 공급과 점멸 제어를 담당한 포토 커플러 타입 릴레이(photo coupling type relay)를 전계 효과 트랜지스터 회로(Field Effect Transistor Circuit)로 변경하였다. 그리고 충돌방지등의 이상 점등 현상(적외선등의 지속 점등)으로 인하여, 과열 손상된 10개의 저용량 전력 소자(5.6W)를 2개의 고용량 전력 소자(61.6W)로 교체하였다. 충돌방지등과 충돌방지등 전원공급기의 회로 변경사항을 Fig. 6에 정리하였다.

셋째, 충돌방지등 내부에 돌입전류 차단 회로와 역기전력 방지회로를 추가하였다. 기존 동작회로에 정상 범위를 초과하는 전류가 흐를 경우, 이를 차단하는 회로를 추가하였다[11-13]. 그리고 동작모드 전환 시

간헐적으로 발생하는 역기전력을 방지하기 위하여, 기존 동작회로에 다이오드를 추가하였다[14-15]. 이러한 설계 개선사항을 적용하여 충돌방지등 회로의 안정성을 향상시켰다. 충돌방지등의 이상점등에 대한 발생 원인과 설계 개선방안을 Table 2에 정리하였다.

3. 충돌방지등의 설계 개선에 대한 검증

충돌방지등의 이상점등에 대하여 원인분석과 설계 개선을 수행한 후, 성능 검증을 진행하였다. 충돌방지등 및 충돌방지등 전원공급기의 개선품에 대한 성능 검증은 구성품과 항공기 체계 단위로 구분하여 진행하였다. 단계 별 성능검증 과정을 Fig. 7에 정리하였다.

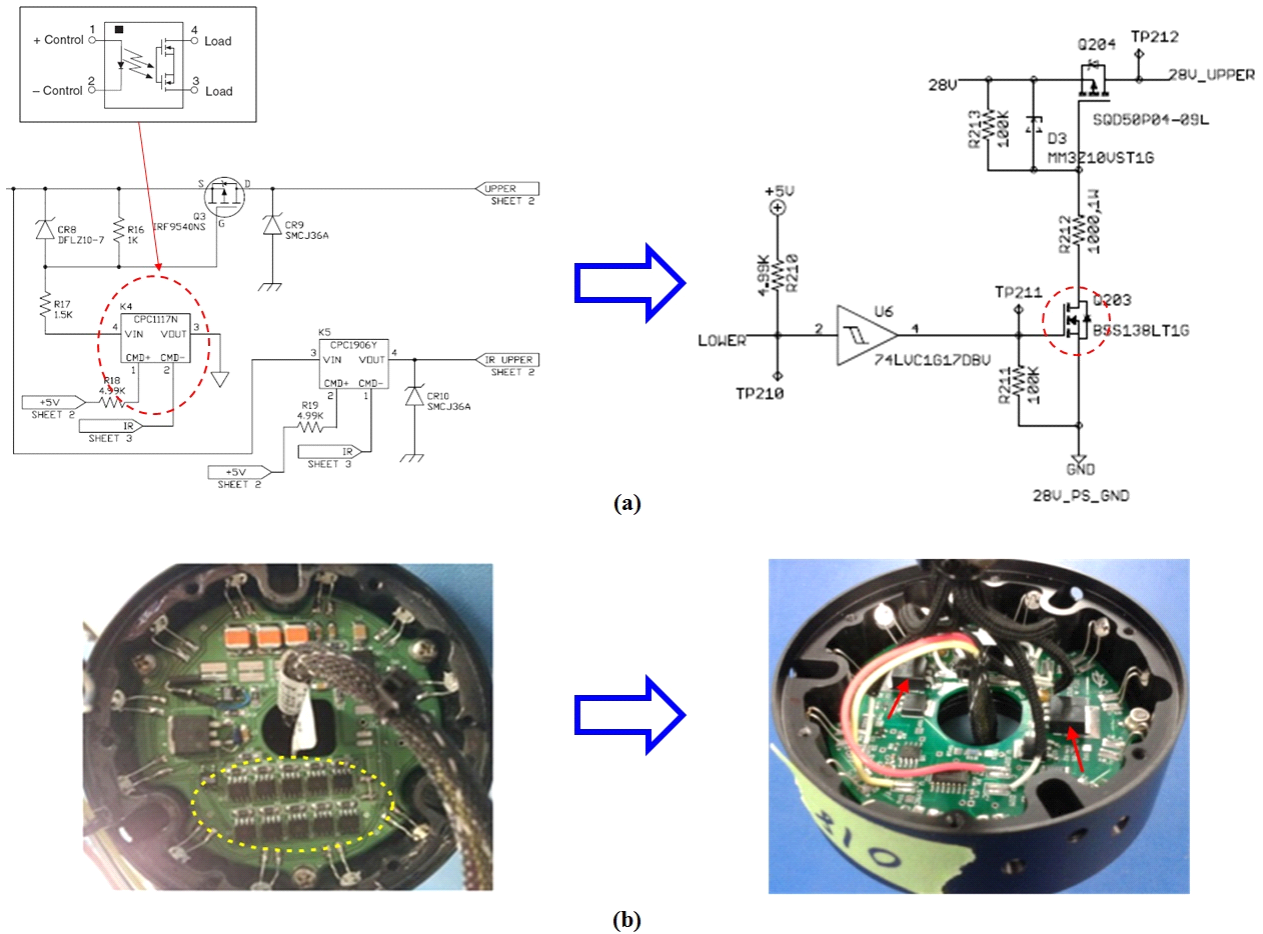


Table 2 The causes and solutions on the abnormal lighting phenomena of anti-collision lights for a KUH

No	Causes of abnormal lighting	Solutions about the causes
1	Application error of pulse timer used in flashing light controller	Change the flash control circuit(Apply the pulse timer according to each light's standard)
2	Defect of photo coupling type relay	Change photo coupling type relay to FET circuit
		Change low capacity power module(5.6W) to high capacity power module(61.6W) in anti-collision lights
3	Inrush current at power on	Add inrush current shut-off module in the circuit
	Counter electromotive force at operation mode change	Add diodes in the circuit

3.1 구성품 단위 성능 검증

충돌방지등에 대한 구성품 단위의 성능 검증은 기능 시험(Function test), 작동 반복 시험(Endurance test), 고/저전압 동작 시험(High/Low voltage operation test)을 통하여 수행하였다. 기능시험(Function test)을 통하여 동작모드 별 정상 동작 여부를 확인하고, 밝기(BRT/DIM)에 따른 전류 값을 측정하였다. 각 동작 모드 별 정상 동작을 확인하였고, 'NORM/IR' 동작 모드에서 BRT 상태의 전류 측정 값이 'DIM' 상태보다 2배임을 확인하였다. 작동 반복 시험(Endurance test)은 'On/Off' 제어시험과 밝기(BRT/DIM) 전환 시험을 각 200회 반복 수행하면서, 정상 동작 여부를 점검하였다. 각 항목에 대한 점검

결과, 정상 동작을 확인하였다. 고/저전압 동작 시험(High/Low voltage operation test)은 충돌방지등 전원공급기의 입력 전압을 DC 18~29V로 조정하면서, 충돌방지등의 정상 동작 여부를 점검하였다. 본 시험은 항공기 체계 운용 조건을 고려한 구성품 단위 점검 사항이며, 점검결과 이상 없음을 확인하였다.

3.2 항공기 체계 단위 성능 검증

충돌방지등에 대한 항공기 체계 단위 성능 검증은 항공기 체계 장착 시험(Fit-up check), 체계 전자파 적합성 시험(EMC; Electromagnetic Compatibility), 비행시험(Flight test)을 통하여 수행하였다. 항공기 체계 장착 시험(Fit-up check)은 설계 개선품을 적용하

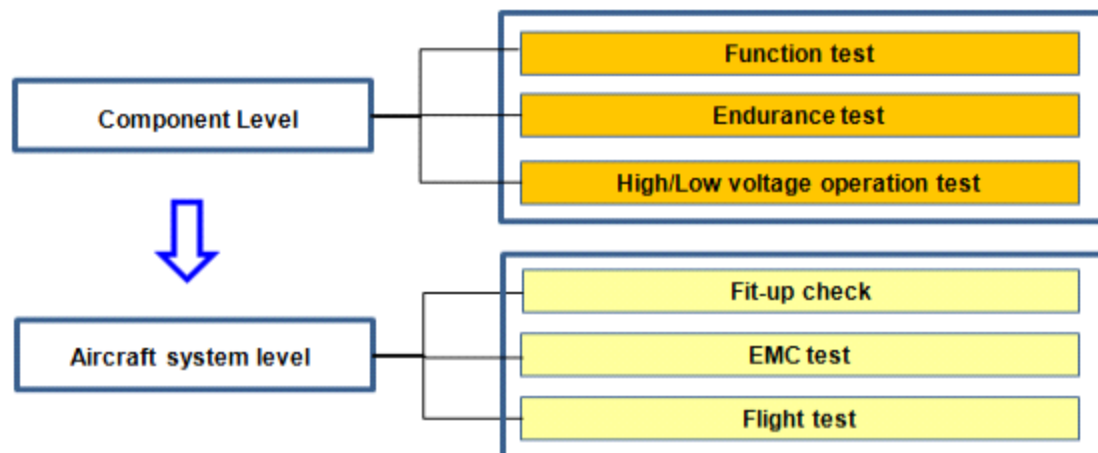


Fig. 7 Verification of the anti-collision lights' design improvement

Table 3 Test result of the anti-collision lights` design improvement

Level	Test item	Detailed test items	Result
Component level	Function test	<ul style="list-style-type: none"> ○ Check normal operation under the all operation modes ○ Measure and compare the current of anti-collision light under the BRT/DIM modes 	pass
	Endurance test	<ul style="list-style-type: none"> ○ Check normal operation at repetitive On/Off control ○ Check normal operation at repetitive brightness change(BRT/DIM) 	pass
	High/Low voltage operation test	<ul style="list-style-type: none"> ○ Check normal operation at high/low voltage(DC 18~29(V)) condition 	pass
Aircraft system level	Fit up check	<ul style="list-style-type: none"> ○ Check normal operation at all operation modes 	pass
	EMC test		pass
	Flight test		pass

고, 각 동작 모드 별 정상 동작 여부를 점검하였다. 충돌방지등 관련 전체 동작 모드에 대하여 점검한 결과, 정상 동작을 확인하였다. 그리고 각 모드 별 전환 과정에서 이상점등 발생 여부를 점검하였고, 이상 없음을 확인하였다. 항공기 체계 EMC 시험은 항공기에 장착된 모든 구성품의 전원을 공급한 상태에서, 개별 구성품의 전원을 차단하면서 수행하였다. 이 시험을 통하여 충돌방지등이 타 장비에 미치는 전자기적 영향, 타 장비가 동작할 때 충돌방지등이 받는 전자기적 영향을 점검하였다. 각 항목에 대한 점검 결과, 충돌방지등 및 타 장비의 정상 동작을 확인하였다. 비행시험(Flight test)은 실제 비행 상황에서 충돌방지등의 각 동작모드에 대한 작동을 수행하며 점검하였고, 점검 결과 이상 없음을 확인하였다.

4. 결 론

KUH 충돌방지등은 항공기 운용 중 충돌을 방지하기 위한 목적으로 사용되며, 비행 안전성을 확보하기 위한 핵심 구성품이다. 본 논문에서는 충돌방지등의 이상점등이 발생한 원인을 분석하였다. 이를 바탕으로 구성품 및 항공기 체계 단위의 종합 검토를 통하여 도출한 설계 개선방안을 제시하였다. 설계 개선방안에 대한 검증결과(구성품/항공기 체계 단위 성능 검증)를 함께 제시하여 타당성을 입증하였다. 본 논문에서 제

시한 설계 개선방안의 적용을 통하여, KUH 충돌방지등의 이상점등을 해소하고, 제품의 품질 신뢰성을 확보하였다. 설계 개선으로 KUH 항공기 체계의 비행 안전성과 조종사의 임무 수행능력이 향상되었으며, 항공기 가동률 향상을 통한 소요군 전력의 효율적인 운용에도 함께 기여한 것으로 판단된다.

References

- [1] B. J. Yi, J. H. Lee, "Design for Cockpit View and Illumination", *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 5, no. 2, pp.12-17, Jun.2011.
- [2] KDS 1520-4001, "Helicopter, Utility(KUH-1)", Defense Acquisition Program Administration, Mar. 2013.
- [3] MIL-L-6503-H, "Lighting Equipment, Aircraft, General Specification for Installation of", Department of Defense, Apr. 1975.
- [4] MIL-STD-250-D, "Aircrew Station Controls and Displays for Rotary Wing Aircraft", Department of Defense, Aug. 1974.
- [5] MIL-STD-3009, "Lighting, Aircraft, Night Vision Imaging System(NVIS) Compatible", Department of Defense, Oct. 2002.

- [6] FAR Part. 29, "Airworthiness Standards: Transport category rotorcraft", Federal Aviation Administration
- [7] J. W. Lim, "A Study on the Safety of Flight(SOF) Assure through Aircraft Diagnostics Systems", *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 11, no.1, pp.35-40, Feb. 2017
- [8] 88PR0362, "Development ground test evaluation result about electrical system of KUH", Defense Acquisition Program Administration, Oct. 2010
- [9] S. H. Jeong, S. C. Oh and N. H. Lee, "Precise pulse width modulation circuit applied high-speed pulse signal processing circuit", *Proc. of the Conf. Information and Control Symposium*, pp. 448-449, Oct. 2012
- [10] H. B. Lee and K. H. Kwon, "Clock pulse synchronization of MCU timers in embedded systems", *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 18, no. 7, pp. 47-55, Jul. 2013.
- [11] J. B. Yoon and S. H. Ryu, "Operational reliability improvement of power converter by improving the inrush current limiter", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, vol.17, no. 10, pp. 719-724, Oct. 2016.
- [12] J. C. Koo, K. D. Kim, J. U. Park and J. B. Jang, "A study on inrush current control circuit", *Proc. of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall conference*, pp. 942-943, Nov. 2017
- [13] K. H. Park and S. B. Rho, "Restriction of over-current and inrush-current for TOD(Thermal Observation Device)", *Proc. of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall conference*, pp. 1532-1535, Nov. 2013
- [14] M. J. Kim, M. H. Shin, S. C. Choi, J. H. Kim, Y. C. Jung and C. Y. Won, "Reverse current control method of synchronous boost converter for fuel cell", *Proc. of the Power Electronics Conference*, pp. 411-412, Jul. 2013
- [15] M. J. Kim, M. H. Shin, S. C. Choi, J. H. Kim, Y. C. Jung and C. Y. Won, "Synchronous boost converter control method for fuel cell to prevent reverse current with mode boundary detector", *Proc. of the Power Electronics Conference*, pp. 159-160, Nov. 2013