

초음속 항공기 항법등 교체 적용에 따른 구조적 결함 및 품질개선 연구

박세웅*, 이진원, 최상훈
국방기술품질원

The Study on Structural Defects and Quality Improvement by Replacing Supersonic Aircraft Navigation Lights

Se Woong Park*, Jin Won Lee, Sang Hun Choi
Defense Agency for Technology and Quality

요약 초음속 항공기에 장착되는 외부조명은 충돌방지등, 착륙등, 항법등으로 구성되며, 항공기의 위치 및 비행 방향 식별 능력을 높이는 역할로 중요한 구성품이다. 항공안전법 제 54조에 따라 항공기 등불은 의무사항으로 야간 비행 시 위치를 나타내거나 비행장에 주기(駐機) 또는 정박(碇泊)시키는 경우는 반드시 점등되어있어야 한다. 그러나 초음속 항공기 윙팁 항법등의 깜박거림 현상으로 인해 잦은 램프 교체 소요가 발생하였다. 이를 개선하기 위해 본 연구에서는 결함을 원인을 분석하고 항법등 램프 타입을 LED로 변경하여 정비성을 확보하였다. 개선된 항법등 장착과정에서 항법등과 날개 구조물 사이 Gap이 생기는 구조적 결함이 발생하였고, 이를 해결하기 위해 3가지 개선방안을 수립하여 타당성을 검토하였다. 그 결과 Shim을 신규 제작하여 날개 끝단 Gap에 장착하는 방안을 선정하였고, 이에 대한 항공기 영향성을 검토하였다. 항공기 공력/조종안정성/성능/구조 측면에서 영향성 검토를 진행하여, 추가 구성품 장착에 문제가 없음을 입증하였다. 해당 품질개선을 통해 타 기종 초음속 항공기에서 동일 결함 발생 시 해결 방안을 제시할 수 있고 정비성을 확보할 것으로 판단된다.

Abstract External lighting on supersonic aircraft consists of anti-collision lights, landing lights, and navigation lights and is an important component for enhancing the ability to identify the direction and location of the aircraft. In accordance with Article 54 of the Aviation Safety Act, aircraft lights are classified as mandatory equipment and must be turned on to indicate their location during night flights or when parked or docked at an airfield. In this study, quality improvement was performed due to frequent replacement of lamps in wingtip navigation lights on supersonic aircraft. By replacing the navigation light lamps with LEDs, defects were reduced, and maintainability was improved. In the process of installing an improved navigation light, a structural defect that caused a gap between the navigation light and the wing structure was discovered. To address this issue, three improvement plans were proposed, and their effectiveness was evaluated. As a result, the option of manufacturing and installing a new shim in the wingtip gap was selected, and the impact of this modification on the aircraft was assessed. The effects on aircraft aerodynamics, stability, performance, and structure were reviewed, and it was confirmed that there would be no issues with installing the added components. This quality improvement initiative could provide a solution for similar defects on other types of supersonic aircraft and enhance maintainability.

Keywords : Supersonic Aircraft, Wingtip, Navigation Light, LED(Light Emitting Diode), Shim

*Corresponding Author : Se Woong Park(Defense Agency for Technology and Quality)

email: psw0186@daum.net

Received October 31, 2023

Accepted December 8, 2023

Revised November 29, 2023

Published December 31, 2023

1. 서론

고속으로 운항하는 항공기를 육안으로 관측하여 충돌을 회피하는 것은 불가능에 가깝기 때문에 항공기는 다양한 충돌 회피 장치를 탑재하여 운용한다[1]. 따라서 항공기 주변 상황에 대한 감시 및 근접비행사고 위험시 조종사에게 알림을 주는 공중충돌방지장치(TCAS : Traffic Alert Collision & Avoidance System) 등이 항공기의 안전 운항을 지켜주고 있다. 특히 야간에는 충돌을 방지하기 위해 비행 중이거나 주기 중인 항공기는 항법등(Navigation Light)이라 불리는 조명을 밝히도록 하고 있다[2].

초음속 항공기에 장착되는 외부조명은 크게 충돌 방지 등, 착륙등, 항법등 3가지로 구분되는데 충돌 방지등은 항공기 비행 시 충돌 방지 역할, 착륙등은 착륙 시 착륙 지점의 식별 능력을 높이는 역할을 한다. 그리고 항법등은 항공기 날개 양쪽 끝단에 장착된 적색(좌측), 녹색(우측) 조명으로 비행 방향 및 항공기 식별 또는 편대비행 등을 보조하는 역할을 하는데 일반적으로 항공기의 항법등은 좌/우측 및 날개 끝에 장착되지만, 초음속 항공기 항법등은 Fig. 1과 같이 좌/우측 엔진 흡입구 외부에 추가로 장착되어 있다[3].

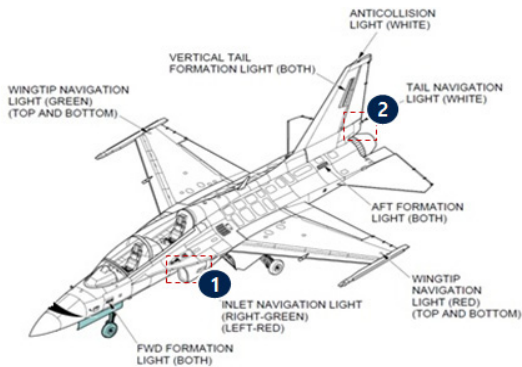


Fig. 1. Supersonic Aircraft Light System

국방기술품질원은 국방전력발전업무훈령 5장에 따라 다빈도 고장 발생 등 운용상 문제가 되는 품목에 대해 원인분석을 진행한다. 이에 따라, 초음속 항공기 운용 중 엔진 흡입구 및 꼬리날개에 장착된 항법등에서 조명이 깜박거리는 현상이 발생하여 원인분석을 진행하고 전원 공급변경 및 슬드 케이블 적용을 통해 결함을 개선한 사례가 있다[4,5].

이와 비슷한 사례로 Fig. 2와 같이 초음속 항공기 날

개 끝에 장착되는 항법등이 깜박거리는 현상이 발생하였다. 원인을 검토한 결과, 전원 공급이 불안정하여 BRT모드(최대발전출력) 이상 인식으로 플리커 현상이 발생함을 확인하였다. 이와 같은 결합에 의해 잦은 램프 교체 소요 발생으로 정비성이 감소하는 문제가 발생하였다.

본 연구에서는 이를 해결하기 위해 항법등 전구 타입을 LED로 변경하고, BRT모드 동작 시 HV(High Voltage), LV(Low Voltage) 모두 115Vac로 공급해 전원을 안정화하여 깜박임을 개선하였다. 또한, 변경된 항법등을 장착하는 과정에서 구조물과 조명 사이 Gap이 발생하는 추가적인 문제로 인해 LRU (Line Replacement Unit) 변경(개조), 장착부 구조 변경, 구조물 추가 등 3가지 방안을 검토 및 제시하여 개선하였다. 이후 항공기 운용환경을 고려한 영향성 검토를 통해 도출한 개선방안에 대해 입증하였다.

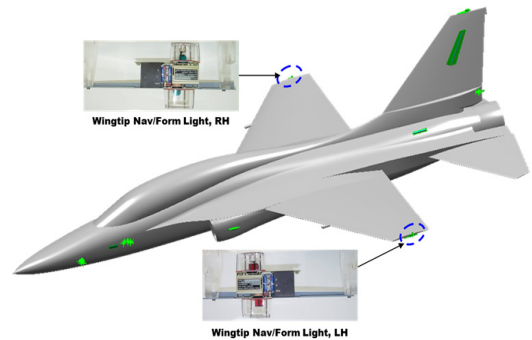


Fig. 2. Wingtip Navigation Light(LH/RH)

2. 본론

2.1 결함 현상 개요

초음속 항공기 날개 끝에 장착되는 외부조명인 항법등에서 비정상적인 깜박거림 현상인 플리커 현상이 발생하여 잦은 램프 교체 소요가 제기되었다. 이에 따라, Table 1과 같이 기존 항법등을 대체 적용할 수 있는 조명을 조사 및 분석하였고, 정비성 개선을 위해 항법등을 전구 타입에서 LED 타입으로 변경하였다.

항법등 타입 변경을 통해 정비성을 개선하였으나, 변경된 항법등을 장착하는 과정에서 Fig. 3과 같이 구조물과 항법등을 장착하는 위치에 Gap이 발생하여 보강이 필요하였다.

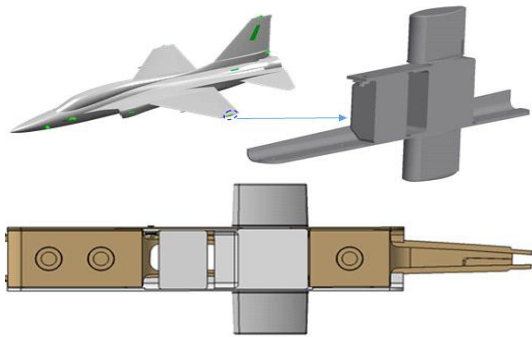


Fig. 3. Location and Geometry of Wingtip Navigation Light(LH)

2.2 결함 원인분석

앞서 서론에 언급한 바와 같이, 항공안전법 제 54조에 따라 항법등은 항공기 야간 비행 중 위치를 나타낼 때나 비행장에 주기(駐機) 또는 정박(碇泊)시키는 경우 반드시 점등되어야 한다. 이를 준수하기 위해 항공기 운용 중 지속성에 주의하여야 하며, 결함 시 원인을 분석하여 내구성을 보장하여야 한다.

이를 충족하기 위해 Table 1과 같이 기존 전구 타입에서 LED 타입으로의 변경을 시도하였다. 해당 과정에

서는 선행된 연구를 활용하였고, BRT모드 전원 공급변경 및 실드 케이블 적용을 통해 플리커 현상 결함개선을 완료하였다. 그러나 신규 품목으로 변경된 항법등을 장착하는 과정에서 항법등 하단과 구조물 사이 Gap이 생기는 추가 결함이 발생하였고 해결을 위한 원인을 분석하였다.

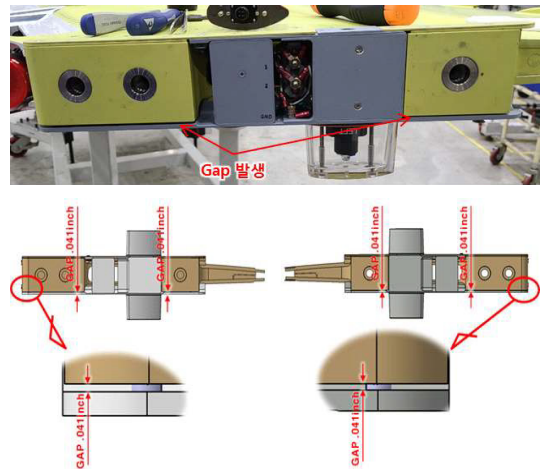
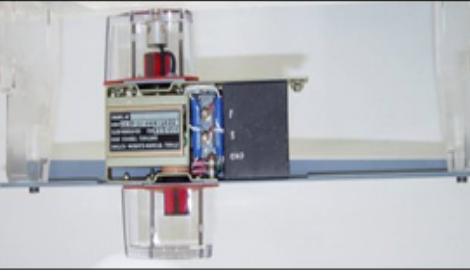
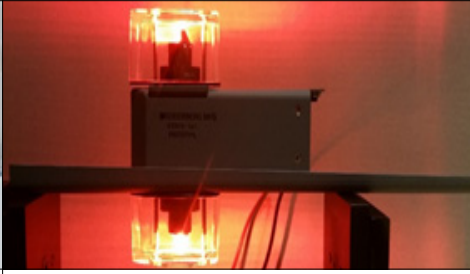


Fig. 4. Analysis of 3D Modeling and Gap Occurrence Location of Wingtip Navigation Light(LH/RH)

Table 1. Comparison of Navigation Light Specifications

Features	Before	After
Manufacturer	CPC(CONTROL PRODUCTS CORP.)	SODERBERG
Geometry(LH)		
Interface	Wingtip Mounting/115Vac Power Input	Wingtip Mounting/115Vac Power Input
OTS	F-16 OTS	F-16 OTS
NVIS	Friendly & Covert	Friendly & Covert
Lamp	Electric Bulb	LED
Weight	1.5 lbs. (Max.)	1.5 lbs. (Max.)
Note	LH(Red)/RH(Green) Symmetry	LH(Red)/RH(Green) Symmetry

기존 SCD(85VE8030-673) 및 변경 SCD(85VE 8030-903) 항법등을 비교하여 결합 발생 원인을 분석한 결과, 높이 치수가 2.565 inch로 동일하나 측정 기준이 상이하여 기준 차이만큼인 0.04 inch 길이 차가 발생한 것을 확인했고 이에 따라 Fig. 4와 같이 Gap이 발생하여 보강을 통한 결합개선이 필요함을 확인하였다. 이를 해결하기 위해 ①LRU 변경 및 개선, ②항법등 장착부(RIB) 구조 변경, ③Shim 추가 방안 등 3가지 개선방안을 도출 하였으며 각 방법에 대한 타당성을 검토하였다.

3. 개선방안 도출 및 검증

3.1 개선방안 도출

3.1.1 LRU 변경(개조) 방안

먼저 발생한 Gap을 해결하기 위해 LRU 변경 및 개조를 검토하였다. 정비성 개선을 위해 변경된 LED 항법등은 Soderberg사(미국)에서 초음속 항공기에 적용하기 위해 개발된 품목으로 현재 한국항공우주산업(KAI)에서 구매하여 사용하는 기존개발품목이다. 따라서, LRU를 변경하는 경우에는 개조 개발이 필요한 사항이므로 일정 및 비용 영향성이 발생하기 때문에 적절하지 않은 방법으로 판단하였다.

3.1.2 항법등 장착부 구조(RIB) 변경 방안

두 번째 Gap 해결 방안으로 장착부인 85W1292-013/014(RIB, WINGTIP-BL-179.25, LH/RH)의 구조를 개조하여 항법등 장착 시 Gap 발생하지 않도록 하는 방안을 고려하였다. 윙팁 구조물의 형상은 Fig. 5와 같다.

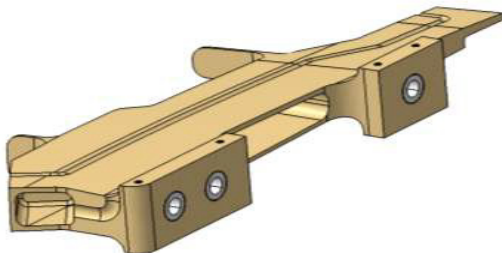


Fig. 5. Wingtip Structure(85W1292-013, LH)

그러나 해당 방법 또한 개조 시 현재 제작이 완료된 주위에 전체적인 재작업이 필요하므로 일정 및 비용 영향성이 발생하였다. 그뿐만 아니라 현재 운용 중인 타 계열 초음속 항공기에 신규 항법등을 적용할 시, 구조 변경

방안 적용이 불가하므로 기종별 호환성 측면에서 해당 방법은 적절하지 않다고 판단하였다.

3.1.3 Shim 추가 방안

개선방안 검토 결과 위 2가지 방안이 적절하지 않은 것으로 판단하여 구조물과 항법등 사이의 Gap 발생 위치에 Shim을 추가하는 방안을 고려하였다. Shim은 발생한 작은 틈 사이에 끼우는 얇은 물체로 항공기 구조 변경의 필요성이 없고 일정 및 비용 영향성이 적을 뿐 아니라, 타 기종에도 적용할 수 있으므로 호환성 측면에서도 해당 방안이 효율적이라 판단하였다.

따라서 최종적으로 검토한 결과, 작업 효율성을 동시에 고려하여 신규 Part Shim을 제작하여 Fig. 6과 같이 윙팁 하단 구조물과 항법등 사이 좌/우측 Gap 발생 위치에 추가하여 조립하는 방향으로 개선방안을 수립하였다.

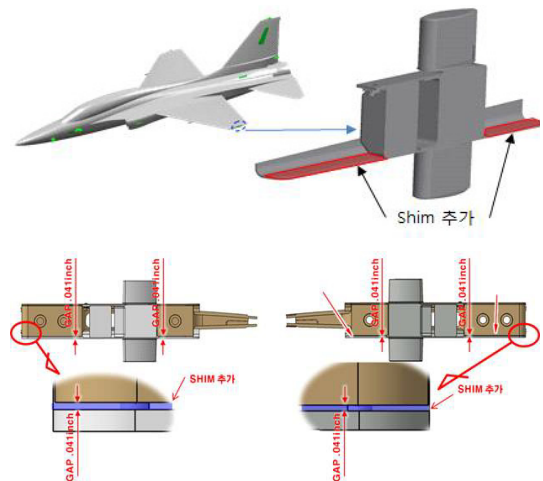


Fig. 6. Analysis of 3D Modeling and Location of Shim added to Wingtip Navigation Light(LH/RH)

3.2 개선방안 적용

먼저 기존 Shim을 LRU 조립품으로 적용하는 방안을 검토하였다. 현 상황에서 Shim을 항법등에 고정하기 위해서는 점착제를 사용하는 방법이 가능하나, 점착제 사용 시 전도체 간 결합에 불안정한 영향을 미치므로 기존 Shim을 LRU 조립품으로 적용하는 방안은 적절하지 않은 것으로 판단하였다.

이를 고려하여 신규 Shim은 날개 끝과 항법등 측, 전도체 간 결합 면 사이 장착을 위해 일반적인 비금속 재질인 라미네이트가 아닌 전도성을 갖는 알루미늄을 사용하여 아래 Fig. 7과 같이 제작하였다.

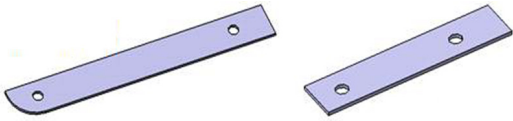


Fig. 7. Geometry of New Shim

이후 신규 Part Shim을 각각 날개 좌/우측 Gap 발생 위치에 추가하여 조립하는 것으로 결정한 후 조립 및 결합 관련 문제와 추가 발생 Gap 확인을 위한 공차 검토를 진행하였다.

공차 검토 결과 날개 구조물의 공차는 ±0.01 inch이고, 항법등의 공차는 ±0.03 inch임을 고려하면 Gap의 크기는 최대 0.08 inch까지 발생할 수 있음을 확인하였다. 신규 제작된 Shim의 두께가 0.04 inch임을 고려하였을 때, 공차가 0.05~0.08 inch일 경우는 신규 Shim 이외에 추가로 Solid Shim을 추가하여 보강하는 것으로 결정하고 장착도면에 표기하였다.

또한, 0.04 inch 미만 공차의 경우 신규 Shim을 추가 하더라도 장착했을 때 문제가 발생하지 않고, Shim 추가에 따른 상단의 Gap은 윙팁 미사일을 장착한 후에는 외부로 노출되지 않아 문제가 없음을 확인하였다.

3.3 개선방안 검증 및 영향성 검토

다음으로 항공기 공력/조종안정성/성능 영향성을 검토하였다. 항법등 장착부 Gap 발생 위치에 대한 Shim 추가 영향성을 검토한 결과, 앞서 언급한 바와 같이 Gap 발생 위치는 미사일 장착 시 외부로 노출되지 않는 영역이므로 공력/조종안정성/성능에 대한 영향성은 없는 것으로 판단하였다.

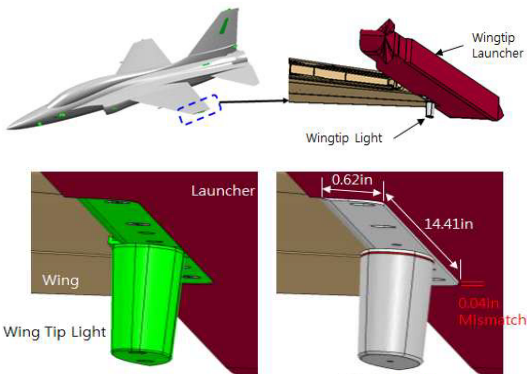


Fig. 8. Lower Part of Wingtip Launcher

이 외에도 Fig. 8과 같이 윙팁 미사일 장착 시 미사일 하단 두께 0.04 inch 돌출부에 따른 영향성을 아래 Eq.

(1)과 같이 경험식을 기반으로 예측하였다.

$$\begin{aligned}
 C_{D_0} &= 0.4(\text{Forward Step Mismatch}) \\
 \text{Frontal Area} &= 0.62 \times 0.04 \\
 C_D &= C_{D_0} \times \text{Frontal Area} / \text{Ref. Area} (255 \text{ft}^2) \\
 &= 0.4 \times 0.62 \times 0.04 / 39720 \\
 &= 2.7e^{-7} = 0.0027 \text{cts}^* \\
 &\rightarrow 0.014 \text{cts} \\
 * C_D : 0.0001 &= 1 \text{cts} (\text{count})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

항공기 전방영역(폭 0.62") 불일치에 따른 항력 영향성을 경험식 기반으로 예측한 결과, 아음속 항력 0.005 cts, 초음속 항력 0.014 cts 증가로 나타났다. 이는 전기체 초음속 항력 대비 0.003%로 미미한 수준이므로 항공기 공력/조종안정성/성능 영향성은 없다고 판단하였다.

다음으로 구조 영향성 검토를 수행하였다. 윙팁 하단 구조물과 항법등을 체결하는 패스너 직경(0.19 inch) 대비 신규 Shim 체결 부 홀 직경을 (0.244 inch)을 더 크게 설계하여 패스너 하중을 전달하지 않도록 고려하였기 때문에 구조 영향성은 없는 것으로 확인하였다.

자세히 살펴보면 패스너 직경과 Shim 체결 부 홀의 직경 차이는 0.054 inch인데, 이는 공차를 고려한 수치일 뿐만 아니라 하중 전달까지 고려하여 구조 영향성을 배제할 목적으로 설계되었다. 이에 따라, Shim이 장착된 상태에서 직경 차이로 인해 고정되지 않고 움직이는 상황은 발생하지 않을 것으로 판단하였다.

끝으로 Shim 추가 장착 및 조립을 수행하면서 패스너 길이의 적절성을 검토하였다. 기존 사용된 패스너 모델은 MS24693-S272로 길이가 0.5 inch이고, 이보다 길이가 긴 패스너 모델은 MS24693-S273으로 길이가 0.625 inch이다. MS24693-S273 패스너의 경우에는 추가되는 Shim의 길이를 고려하더라도 구조물 홀의 깊이보다 길어져 완전한 장착이 불가하므로, 기존 사용했던 MS24693-S272을 유지하는 것으로 결정하였다.

4. 결론

초음속 항공기 장착되는 외부조명 중 항법등은 항공기 날개 양쪽 끝단과 엔진 흡입구에 장착된다. 특히 윙팁에 장착되는 적색(좌측)과 녹색(우측) 조명은 비행 방향, 항공기 위치 식별 또는 편대비행 등을 보조하는 중요한 역할을 하는데 이는 비행 안전성을 확보하기 위한 핵심 구성품이다.

본 연구에서는 초음속 항공기 날개 끝단에 장착하는 항법등 램프 결합에 의한 잦은 교체 소요 발생으로 정비성이 감소하는 문제를 개선하고자 하였다. 이를 위해 전구 타입 분석 및 개선방안을 모색하였고 선행연구 적용과 LED 타입으로 변경을 통해 정비성 문제를 개선하였다.

그러나 항법등을 변경 및 장착하는 과정에서 구조물과 조명 사이 하단에 0.04 inch의 Gap이 발생하는 추가적인 문제가 발생하였다. 이를 해결하기 위해 LRU 변경 및 개선, 항법등 장착부(RIB) 구조 변경, Shim 추가 방안 등의 3가지 개선방안을 도출하였고 각 방법에 대한 타당성을 검토하였다. 이후 항공기 운용환경을 고려한 영향성 검토를 통해 도출한 개선방안에 대해 적절성을 입증하였다.

위 3가지 개선방안을 각각 검토한 결과 Shim을 신규 제작하여 구조물과 항법등 사이 Gap 위치에 추가 조립하는 방안이 일정 및 비용 측면에서 효율적이고 적절하다고 판단되어 최종 선정하였다.

이 과정에서 전도체 간 결합 안정성을 위해 기존 Shim 재질을 라미네이트(비금속)에서 알루미늄(금속)으로 변경하였고, 신규 Shim 부착 및 조립에 따른 비행 영향성 검토를 통해 개선방안 적절성을 입증하였다.

본 연구의 결과는 향후 초음속 항공기에 사용되는 전구 타입 항법등 교체 소요로 인한 LED 타입으로 변경 시 구조적 결합개선에 활용할 수 있으며, 비행 안전성 및 정비성 확보에 이바지할 수 있다. 또한, 해당 과정에서 품질개선 노하우를 확보하여 타 기종 항공기에 유사 결합 발생 시 Gap의 크기가 다르더라도 Shim의 단순 형상 변경을 통해 해결 방안을 제시할 수 있다. 이 뿐만 아니라 장착된 항법등 모델이 F-16 OTS임을 고려했을 때, 동일 구성품을 사용하는 대부분의 고정의 항공기에 적용할 수 있다. 따라서 활용도 높은 연구결과를 통해 항공기의 품질 수준을 높이는데 이바지할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] <https://aerosavvy.com/airplane-lights/>
- [2] B. J. Yi, J. H. Lee, "Design for Cockpit View and Illumination", Journal of Aerospace System Engineering, vol. 5, No. 2, pp. 12-17, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.20910/JASE.2011.5.2.012>
- [3] M. K Kim, J. P. Kim, Y. S. Son, J. Y. Jang, J. J. Kim,

"Practical Aerial Warfare written from T-50 Aircraft Development Experience", Chung Moon Gak, p.128-152.

- [4] S. H Park, J. H. Choi, J. W. Lee, N. E. Kwon, "A Study on the Improvement of Abnormal Lighting of Supersonic Aircraft Navigation Light", Journal of the Korea Academia -Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 8, pp. 215-221, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.8.215>
- [5] Il-Hwan Seol, Kyu-Hyoung Choi, "Screening Effects of Double-track Electric Railway and Shielded Cables on Communication-Line Inductive Interference", Journal of the Korea Academia- Industrial cooperation Society, Vol. 14, No. 10, pp. 5148-5155, 2013.
DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.10.5148>

박 세 웅(Se Woong Park)

[정회원]



- 2021년 2월 : 경상대학교 기계항공공학부 (공학석사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원 재직

<관심분야>

항공우주, 전산해석, 공력

이 진 원(Jin Won Lee)

[정회원]



- 2022년 2월 : 경상대학교 기계항공공학부 (공학석사)
- 2019년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원 재직

<관심분야>

항공우주, 체계, 세부계통

최 상 훈(Sang Hun Choi)

[정회원]



- 2018년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)
- 2020년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학석사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원 재직

〈관심분야〉

항공우주, 연소/추진, 전산해석