

항공기 외부 안테나 전자기파에 의한 계기 결함 원인 분석 및 개선 방안 연구

최형준*, 이경찬, 김지홍
국방기술품질원

A Study on the Instrument Defect Cause Analysis and Improvement Methods by Aircraft Outside Antenna Electromagnetic Wave

Hyoung Jun Choi*, Gyeong Chan Lee, Ji Hong Kim
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 연구는 U/VHF Radio 외부장착 안테나의 전자기파 영향에 따른 항공기 구성품 결함 사항의 원인을 분석하고 품질개선을 수행하였다. 외부 안테나의 전자기파에 의한 결함에 대하여 현상 확인, 구성품 점검, 신호 분석, 안테나 출력 분석, 차폐 분석, 접지 및 본딩 검토를 통해 결함원인을 분석하였다. 명확한 원인 분석이 완료되면 결함을 해결하기 위하여 설계 검토 및 품질 개선을 수행하였다. 품질개선 사항에 대한 검증은 설계 영향성 및 시험평가를 통해 확인하였다. 항공기 운용 중 발생할 수 있는 전자기파에 의한 결함 사항에 대한 원인 분석 절차를 확립하였다. U/VHF Radio 누름통 화송신버튼 작동시 비상유압시스템(E-HYD) 경고등이 비정상 점등되는 결함에 대한 원인 분석을 위해 관련 구성품 및 체계 검토를 수행하였다. 관련 구성품, 신호, 본딩, 접지 점검 결과 특이사항이 없었다. 안테나 출력 점검에서 반대파가 설계 기준을 벗어난 높은 수준의 전력이 확인 되었다. 또한, 차폐 시험 결과 외부 안테나에 의한 전자기파 영향이 결함 원인임을 확인하였다. 항공기 외형 구조 내부에 전자기파 차폐를 위한 알루미늄 테이프를 최적화 적용하여 품질개선을 수행하였다. 점검 및 시험평가 결과 기준 전압 조건에서 비정상 점등이 발생하지 않았다.

Abstract For quality improvement, this study analyzes the cause of defects in aircraft components due to the electromagnetic wave effect of UHF/VHF externally mounted antennas. For defects caused by such electromagnetic waves, causes were analyzed through phenomenon confirmation, component inspection, signal analysis, antenna output analysis, shielding analysis, and grounding and bonding reviews. After a clear cause analysis was completed, design review and quality improvement were performed to solve defects. Verification of quality improvement in configurations was confirmed through design impacts and test evaluations. The cause analysis procedure for defects caused by electromagnetic waves that may occur during aircraft operation was confirmed. When operating the UHF/VHF Press to Talk button, related components and systems were reviewed to analyze the cause of defects in which the emergency hydraulic (E-HYD) system warning lamp abnormally lights up. There were no specifications resulting from related components, signals, or bonding. In the antenna output check, a high level of power was confirmed in which the opposite wave exceeded the design criteria. In addition, as a result of the shielding test, the cause of the defects was an external antenna. Quality improvement was achieved by applying optimized aluminum tape in the aircraft skin inner structure. As a result of inspections and test evaluations, no E-HYD system warning lamps lit up abnormally under the reference voltage conditions.

Keywords : Instrucment Defect, Cause Analysis, Outside Antenna, Electromagnetic Wave, Quality Improvement

*Corresponding Author : Hyoung Jun Choi(Defense Agency for Technology and Quality)

email: googsoon@naver.com

Received September 16, 2022

Accepted December 7, 2022

Revised October 20, 2022

Published December 31, 2022

1. 서론

최근 항공기의 성능 및 임무 능력을 결정하는 전기전자 기술이 급속히 발전하고 있다. 항공기에 탑재되는 전기전자 장비는 다양한 역할을 수행하고 있다. 특히, 통신 및 식별, 항법, 비행조종 등 중요한 역할을 수행하는 장비들은 Digital 및 RF 신호 등 송·수신을 통해 충분한 기능이 보장된다. 전기전자 장비는 MHz 대역에서 GHz 대역까지 넓은 대역의 주파수 영역을 이용하고 있다. 또한, 항공기에는 수십여 종의 전기전자 장비의 안테나가 외부에 장착되어 동시에 작동하고 있으므로 눈에 보이지 않는 전자기파의 상호간섭 및 항공체계에 미치는 영향성을 확인하는 것이 중요하다[1]. 항공기 체계 및 세부 장비에 대한 전자기 환경에 관한 기준을 참고하여 U/VHF Radio 외부장치 안테나의 전자기파 영향에 따른 항공기 구성품 결합 사항의 원인을 분석하고 품질개선을 수행하고자 한다[2,3]. 항공기 조종석 내부의 추력조절장치에 장착된 U/VHF Radio 누름통화신버튼 작동 시 외부 안테나에서 발생하는 전자기파에 의해 비상유압계통 경고장치 신호체계가 간섭 영향을 받는 것이 확인되었다. Fig. 1은 항공기 조종석 추력조절장치의 U/VHF Radio 누름통화신버튼 형상 및 통합경고장치 구성을 보여주고 있다[4].

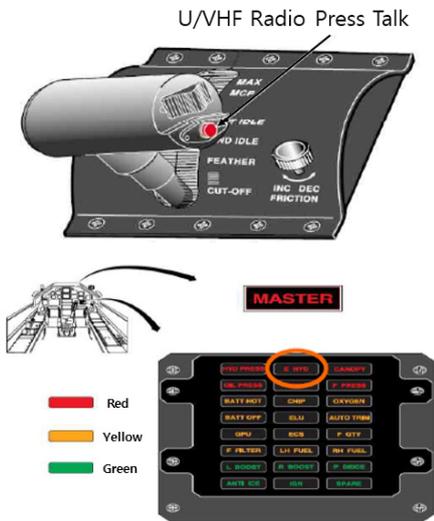


Fig. 1. Press to Talk and Master Caution

비상유압시스템은 정상 유압시스템의 사용이 불가능할 경우, 비상축압기의 충전유압(Charging Pressure)를

통해 착륙장치(Landing Gear)의 내림 및 플랩 조종면 작동을 할 수 있도록 설계되어 있다. 유압펌프를 통해 생성된 압력이 Fig. 2와 같이 비상축압기에 충전되고 충전 압력은 비상축압기의 Gas(N2) Chamber의 압력변화를 감지하는 Pressure Transducer를 통해 확인된다. 또한, Fig. 3과 같이 Pressure Transducer로 감지된 비상축압기의 충전유압이 전압(mV)로 변환되어 비상유압지시계로 전달된다. 비상유압지시계(Pressure Indicator)는 바늘침을 통해 시각적으로 압력을 지시하며, 기준 이하의 압력 전압이 감지되면 통합경보장치의 비상유압시스템 경고등(E-HYD)이 점등 신호를 보내는 체계로 구성되어 있다.

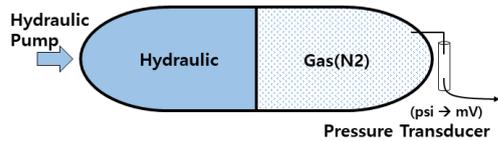


Fig. 2. Emergency Accumulator System

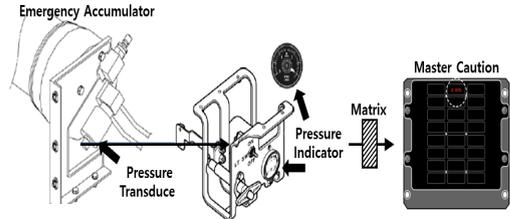


Fig. 3. E-HYD Signal Flow

운용 항공기에 발생할 수 있는 전자기파에 의한 결합에 대한 원인 분석 및 품질개선은 일반적으로 Fig. 4와 같이 수행된다. 외부 안테나의 전자기파에 의한 결합에 대하여 현상 확인, 구성품 점검, 신호 분석, 안테나 출력 분석, 차폐 분석, 접지 및 본딩 검토를 통해 결합원인을 분석하였다. 명확한 원인 분석이 완료되면 결함을 해결하기 위하여 설계 검토 및 품질을 개선한다. 품질개선 사항에 대한 검증은 설계 영향성 및 시험평가를 통해 확인한다. 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 항공기 형상 및 관련 계통, 구성품의 장착위치를 기준 대상으로 하며, 본문의 내용에 적용되고 있다.

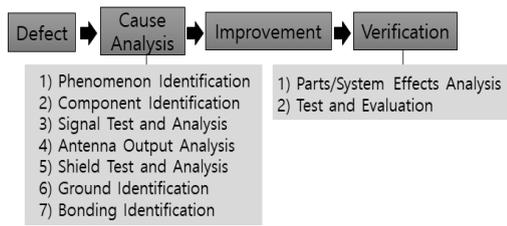


Fig. 4. Quality Improvement Flow

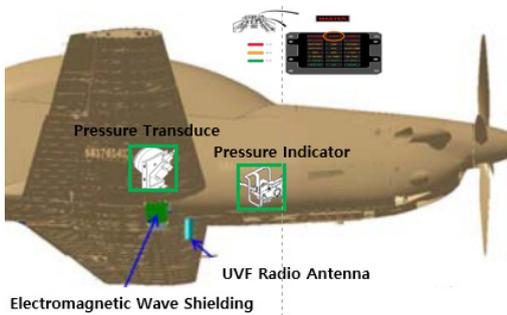


Fig. 5. Aircraft Configuration and Components

2. 본론

2.1 결함현상

항공기 운용 중 U/VHF Radio 누름통화송신버튼 작동시 비상유압시스템(E-HYD) 경고등이 점등되는 현상이 결함 대상 항공기에서 발생되었다. 관련 계통 고장탐구 결과 결함 재현되지 않았으며, 전기전자장비 및 외부 안테나 관련 전자기 적합성 검토 결과 Table 1과 같이 결함 현상이 재현되었다. U/VHF Radio 누름통화송신버튼 작동 후 음성 인가시 특정 주파수 대역과 채널에서 경고등이 점등되었고, 추력조절장치 및 항공기 전원인가시 E-HYD 경고등이 점등되는 유사 현상이 발생되었다.

Table 1. Aircraft Defects Phenomenon

Aircraft	E-HYD Warning Signal
A#1	Press to Talk Button On and Make Voice at above 30.000Mhz
A#2	Press to Talk Button On and Make Voice at Chanel 9
A#3	After Aircraft Power On at Operate Power Control Lever
	Press to Talk Button On and Make Voice at Chanel 9
A#4	E-HYD Warning Signal On and Off after Aircraft Power On

2.2 원인분석

2.2.1 유압계통의 E-HYD 점등 조건

유압펌프에서 공급되는 압력이 부족할 경우 기체의 압력이 감소하고 Transducer에서 압력변화를 감지하여 전기 신호로 변환 및 출력된다. 출력(Output)되는 신호 규격은 2900psi를 기준으로 최대 0 이하 최소 60 이상 의(+0/-60) 허용변화에서 28VDC를 생성한다. 따라서, 정상 압력 3000psi 보다 적은 조건인 2840psi ~ 2900psi (3500mV ~ 3625mV)으로 강해질 때 E-HYD 경고등이 점등된다.

설정된 규격의 오차범위를 통해 압력의 극한 상황을 분석하였다. 유압펌프에서 토출되는 압력은 3000psi 기준으로 +50/-0 허용압력을 가지며, 비상축압기에 충전되는 압력은 동일하다. 비상축압기의 Pressure Transducer의 오차는 +60/-60psi (+75/-75mV)이며, 비상유압감지기의 경고등 신호 발생 압력을 고려하면 최대 270psi(337.5mV)에서 최소 40psi(50mV)의 여유 압력을 가진다.

2.2.2 결함 관련 구성품 및 체계 분석

비상유압지시계 구성품 자체 점검은 수락시험결과 이상이 없었으며, Fig. 6과 같이 분해 후 내부 기판에 대한 전자현미경 검사 결과 교체 소요 품목은 없었다[5].

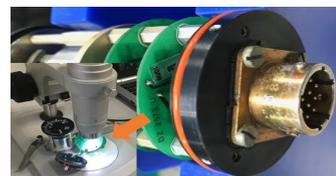


Fig. 6. Inspection of Electronic Circuit Board

신호에 대한 연결상태 점검 및 계측은 비상유압시스템(E-HYD) 점등 한계 부분의 압력 전압 인가 상태에서 E-HYD 점등 및 소등 시 경고등 패널로 전달되는 전압을 측정하였다. 측정결과경고등(Light) 점등 전 0V 및 점등 시 28V이며, 이는 MIL-STD-704의 항공기 전력시스템 요구조건의 설계 기준을 충족하였다[6].

안테나 출력 및 케이블 상태 분석은 UHF Radio 송신 출력시 안테나의 진행파 및 반사파를 확인하였다[7]. 설계 기준은 진행파 5W~12W 및 반사파 최대 1W로 설정되어 있다. Table 2와 같이 출력 계측 결과 진행파는 기준에 충족하지만, 반사파의 경우 기준을 벗어난 높은 수

준의 전력이 형성되는 것을 Table 3과 같이 확인하였다. 각 구성품 중 Radio 패널, RF Cable, 안테나를 교체 장착하여 반사파 시험을 수행한 결과에서도 기준을 벗어난 것이 확인되었다. 따라서 과도한 통신 음성 품질확보를 위한 설계 기준 이상의 안테나 사용으로 항공기에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 추가적으로 안테나를 완전 분리 후 경고등 점등 여부 점검 결과 점등이 되지 않는 것을 확인하였다.

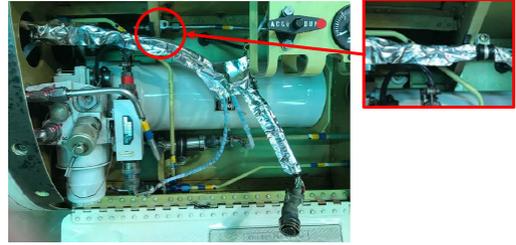


Fig. 7. Wire Shielding and Clamp

Table 2. Aantenna Output Analysis of Traveling Wave

Condition	Channel-Results
Load 50Ω	1-11.5W, 2-10.0W, 3-10.5W, 4-10.5W, 5-11.6W, 6-11.2W, 7-11.0W, 8-11.0W, 9-11.5W, 10-10.3W, 11-10.5W, 12-11.0W, 13-10.5W
Connected Antenna	1-10.5W, 2-10.0W, 3-10.5W, 4-10.0W, 5-10.0W, 6-10.5W, 7-10.5W, 8-11.2W, 9-10.5W, 10-10.4W, 11-10.0W, 12-11.3W, 13-10.5W

Table 3. Aantenna Output Analysis of Reflected Wave

Condition	Channel-Results
-	1-1.8W, 2-0.6W, 3-1.0W, 4-1.4W, 5-2.2W, 6-2.0W, 7-2.0W, 8-1.3W, 9-1.9W, 10-0.8W, 11-1.5W, 12-1.5W, 13-1.3W
Changed Panel	1-1.8W, 2-0.7W, 3-1.5W, 4-1.5W, 5-2.4W, 6-1.7W, 7-1.8W, 8-1.2W, 9-1.7W, 10-0.8W, 11-1.5W, 12-1.5W, 13-1.2W
Changed RF Cable	1-2.6W, 2-0.4W, 3-1.2W, 4-1.8W, 5-2.4W, 6-2.7W, 7-2.4W, 8-1.4W, 9-2.6W, 10-0.9W, 11-1.6W, 12-1.2W, 13-0.9W
Changed Antenna	1-1.6W, 2-2.5W, 3-1.0W, 4-2.5W, 5-1.8W, 6-1.7W, 7-1.7W, 8-2.2W, 9-1.6W, 10-0.7W, 11-2.5W, 12-2.7W, 13-0.2W

전자기파 차폐 분석은 안테나 차폐, 비상유압지시계 차폐, Wire 차폐, 외부 차폐를 통해 영향성을 확인하였다. 안테나 차폐의 경우는 전자기파의 영향이 차단되어 경고등이 점등되는 현상이 없어졌으며, 비상유압지시계 차폐의 경우 전자기파 차단과 관계가 없어 경고등이 점등되는 동일 현상이 확인되었다. Wire의 경우는 Fig. 7와 같이 차폐를 하여 점검한 결과 클램프 미 연결시 경고등이 점등되는 동일한 현상이 시연되었으며, 클램프 연결의 경우 경고등이 미 점등되는 현상이 확인되었다. 따라서 전자기파에 의한 과전류 발생과 본딩에 의한 전류의 흐름을 확인하였다.

외부 차폐를 통한 안테나 전자기파 영향을 확인하기 위해 비상축압기 및 비상유압지시계가 장착되어 있는 위치의 항공기 외형(Skin)에 Fig. 8과 같이 (a)는 항공기 하부 및 (b)의 유압계통 격실(Bay)에 알루미늄 테이프를 적용하여 전자기파 차폐를 구현하였다. 항공기 하부 및 유압계통 격실(Bay) 전체 또는 부분 차폐 형상을 보여주고 있으며 전자기파 영향을 확인하였다. 항공기 하부 차폐 적용과 유압계통 격실 차폐를 모두 적용하였을 경우, 경고등이 미 점등되는 전자기파에 의한 영향을 확인하였다. 또한 항공기 하부 차폐를 적용하고 유압계통 격실을 부분적으로 적용하였을 경우 경고등이 미 점등되었다. 따라서 유압계통 격실의 차폐를 위한 최적화가 가능하다.



(a) Bottom of Aircraft



(b) Hydraulic Bay Skin

Fig. 8. Shielding Configuration of Aircraft Skin

조종실 내부 통합경보장치 경고패널, 통신제어장치 제어패널, UHF Radio 제어패널에 대한 본딩(Bonding) 계측 및 분석 결과 설계 기준인 $2.5m\Omega$ 이하로 측정되었다. 반복 측정에서 최대 통합경보장치 경고패널은 $1.9m\Omega$, 통신제어장치 제어패널은 $2.3m\Omega$, UHF Radio 제어패널은 $2.5m\Omega$ 수준으로 확인되었다.

항공기 관련 계통 접지(Ground) 분석은 비상유압지시계통, 통신계통, UHF계통에 대한 점검을 수행하였다. 설계 기준 1Ω 이하 대비 멀티미터 측정 결과 모두 충족을 확인하였다. 유압지시계통의 비상유압감지기 및 비상유압지시계 끝단에서 접지(Ground)로 점검 결과 0.2Ω 수준으로 확인되었으며, 통신계통은 통신제어장치 제어패널에서 접지로의 저항 점검 결과 0.3Ω 수준이다. 또한 초고주파(UHF) 제어장치에서 접지로의 저항 점검 결과 최대 0.3Ω 수준으로 확인되어 설계 기준에 충족되는 접지 성능을 확인하였다.

2.2.3 결합 항공기 E-HYD 점등 원인

E-HYD 경고등 점등 원인을 분석하기 위해 결합 대상 항공기의 비상유압지시계 고유의 경고등 신호 발생 한계 전압을 확인하였다. Table 4와 같이 한계 전압은 $2913psi(3642mV)$ 로 경고등 신호 조건 $2900psi(3625mV)$ 보다 $13psi(17mV)$ 높았으며, 비상유압지시계 자체의 설계 기준을 확인하였다.

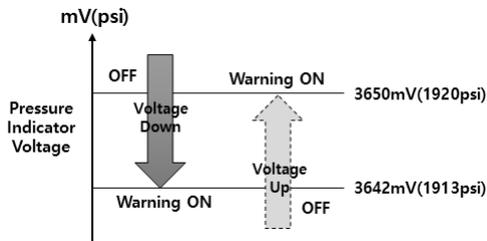


Fig. 9. E-HYD Warning Limit

Table 4. Defects Phenomenon at Warning Limit

No	mV(psi)	E-HYD States	Press to Talk Button
1	3649(2919)	OFF	OFF→ON (Moment)
2	3643(2914)	OFF	OFF→ON (Last)
3	3642(2913)	ON	ON

대상 항공기 U/VHF Radio 누름통화송신버튼 작동 시험 결과 지시되는 최대 압력은 $2941psi(3676mV)$ 이며,

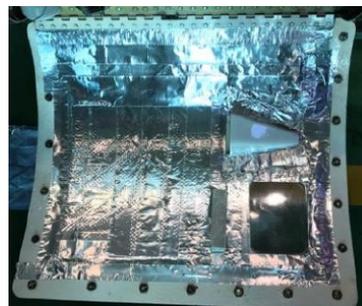
비상유압지시계 경고 신호 발생 전압 대비 $28psi(34mV)$ 높은 수준으로 발생하는 것이 확인되었다. 따라서, 지시계 자체의 경고등 점등 전압 상향 설계 조건과 U/VHF Radio 누름통화송신버튼 작동시 외부 안테나 전자기파에 의한 신호 간섭 영향이 동시에 적용되어 E-HYD 경고등이 비정상 점등된 것으로 판단된다. Fig. 9와 같이 전압을 점차적으로 내림으로서 경고등 신호 발생 부분의 영향을 확인하였다. U/VHF Radio 누름통화송신버튼 작동 시 경고 신호의 재현 여부에 대한 시험 및 분석 결과는 Table 4와 같다.

2.3 품질개선 및 검증

항공기 외부안테나 전자기파 영향에 따른 유압계통 계기 경고등이 비정상 점등되는 결함이 발생하였다. 결함에 대한 다각적 원인 분석 결과에 따라 품질개선을 수행하였다. 전자기파 차폐를 위해 Fig. 10과 같이 항공기 외형(Skin) 내부에 알루미늄 테이프를 적용하였다[8]. 원인 분석을 위한 시험과정에서 항공기 하부 및 유압계통 격실(bay) 부위의 항공기 외형 외부에 전체적으로 적용하였다. 하지만, 항공기 외형 내부 및 차폐 적용 범위에 대한 최적화를 통해 현실화를 수행하였다. (b)와 같이 유압계통 격실(bay) 차폐의 경우, 점검창(Door) 특성을 고려하여 체결부위, 투명창, 외부공기덕트를 제외한 70% 수준의 차폐 성능을 구현하였다. 따라서 최적화 차폐 적용형상에 대한 품질개선 검증을 위해 UHF Radio 통신의 모든 채널을 점검하고 점검 및 영향성을 확인하고자 한다.



(a) Bottom of Aircraft



(b) Hydraulic Bay Skin

Fig. 10. Improvement Shielding Configuration of Aircraft Skin

항공기 외형 내부에 대한 전자기파 차폐 시 1~13 채널에서 U/VHF Radio 누름통화송신버튼 작동시 비상유압시스템(E-HYD) 경고등이 비정상 점등되는 결함 현상이 발생되지 않았다. Table 4의 경고등 점등 제한 조건인 3642mV 대비 3643mV 압력 전압에서 경고등이 지속적으로 점등되는 결함을 확인하였다. 전자기파 차폐를 통한 품질개선 후 압력 전압 3643mV 인가 조건에서 점검 결과 결함 현상이 미 발생되었다.

본 연구에서는 결함에 대한 원인분석을 통해 비상유압시스템 경고등 점등 한계전압의 압력조건에서 현상을 재현하였다. 이러한 결함 현상이 안테나 송신 출력의 전자기파 영향에 따른 것임을 원인분석 및 시험을 통해 확인하였다. U/VHF Radio 누름통화송신버튼 작동시 비상유압시스템(E-HYD) 경고등이 점등되는 것은 안테나 작동에 의해 발생하는 전자기파가 공간으로 방사되어 배선 또는 구성품을 통해 전파되어 비상유압계통에 전자기적 장애를 유발시키는 노이즈 현상으로 판단된다. 본 결함 현상은 비상유압시스템의 기계적 별함과는 별개인 경고등 점등 시스템 문제로 국한되므로 비행 성능에는 영향이 없다.

3. 결론

본 논문에서는 항공기 운용 중 발생한 외부 안테나는 전자기파가 공간으로 방사되어 항공기 내부 배선 또는 구성품을 통해 전파되고 비상유압계통에 전자기적 장애를 유발시키는 노이즈 현상을 확인하였다. 원인분석 절차 수립 및 MIL-STD-461 및 464를 기준으로 다각적인 점검을 통해 U/VHF Radio 누름통화송신버튼 작동 시 안테나에서 발생하는 전자기파 영향으로 비정상 경고창 계기의 경고등 점등 현상의 원인을 분석하였다. 결국, 과도한 통신 음성 품질확보를 위한 설계 기준 이상의 안테나 사용으로 항공기에 영향을 줄 수 있다. 원인 분석 차폐 점검에서 품질개선 효과를 확인하였으며, 항공기 외형 내부 및 점검창 특성을 고려하여 최적화된 차폐 범위를 설정하여 품질을 개선하였다. 개선 현상에 대한 검증은 시험을 통해 경고창 계기의 정상 작동을 확인하였다.

References

[1] T. K. Lee, J. W. Lee, "EMI/C trend of electronic devices on board aircraft," *The Proceeding of the*

Korea Electromagnetic Engineering Society, Vol.18, No.1, p.51-64, 2007.1.

[2] MIL-STD-461G, "Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment," Dec. 2015.

[3] MIL-STD-464D, "Military Standard Electromagnetic Environmental Effects Requirements For systems," Dec. 2020.

[4] Cary R.Spitzer "Digital Avionics Systems," Prentice Hall, 1987.

[5] RTCA/DO-160D, "Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment," Dec. 2010.

[6] MIL-STD-704F, "Military Standard Aircraft Electrical Power Characteristics," Dec. 2016.

[7] Constantine A. Balanis, "ANTENNA THEORY: ANALYSIS AND DESIGN," 2001.

[8] S.Y. Kim, "Trend of EMC technology for Aircraft," *The Proceedings of the Koera Electromagnetic Engineering Society, Vol.31, No.1, p.60-71, 2020.1.*

최 형 준(Hyoung-Jun Choi)

[정회원]



- 2012년 2월 : 경상대학교 항공우주공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 ~ 2015년 7월 : 국방과학연구소 연구원
- 2018년 11월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원 재직

<관심분야>

항공우주, 체계공학, 유체

이 경 찬(Gyeong Chan Lee)

[정회원]



- 2013년 2월 : 경상대학교 항공우주공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원 재직

<관심분야>

항공공학, 재료공학

김 지 홍(Ji Hong Kim)

[정회원]



- 2018년 8월 : 경상대학교 전자공학
학과 (공학석사)
- 2019년 1월 ~ 현재 : 국방기술품
질원 연구원 재직

〈관심분야〉

항공공학, 전자공학