

회전의 항공기 통신잡음 저감을 위한 음성접속장치 설계 개선

손원애*, 김정민, 정혜수
국방기술품질원

Design Improvement of AIU to Reduce Communication Noise of Rotorcraft

Wonae Son*, Jung Min Kim, Hyesoo Jung
Defense Agency for Technology and Quality

요약 회전의 항공기의 음성접속장치(AIU : Audio Interface Unit, 이하 AIU)는 통신계통의 구성품 중 하나로 항공기 내 조종사 및 승무원 간 통신을 수행하거나 항공기 내부와 외부 간의 통신을 수행한다. 이러한 회전의 항공기에서 '20년 11~12월 사이에 통신이 불가능할 정도의 잡음이 다수 발생했다. 본 연구에서는 이러한 통신 잡음현상을 해결하기 위한 설계 개선을 수행했다. 고장 탐구를 통해 AIU의 결함을 인지하고 결함 재현을 위해 각종 검사를 수행했다. 그 중 결함발생 상황과 유사한 환경인 저온환경에서의 잡음이 발생함으로써 결함을 재현했다. 이어서 AIU 내의 수신기 보드의 출력을 확인한 결과, 출력 파형의 왜곡 및 코덱값 변화가 정상과는 다름을 인지하고 수신기 보드를 심층적으로 분석했다. 4M1E 검토, 정상품과의 교체시험 및 주변회로 검토 등을 통해 코덱 IC의 SCLK 출력라인의 왜곡을 인지했다. 이는 신호라인의 임피던스 매칭 미흡으로 반사파의 영향이 커져 신호가 왜곡된 것으로, 임피던스 매칭을 맞추기 위한 댐핑저항을 장착을 개선책으로 도출했다. 개선책을 검증하기 위해 댐핑저항 장착 전후의 반사계수를 비교하여 이론적으로 개선됨을 확인했다. 또한 구성품 단위의 시험 및 항공기 장착 시험을 통해 개선사항의 유효성을 입증했다.

Abstract The rotorcraft AIU system performs internal/external communications, but between November and December 2020, excessive noise made communication extremely difficult. In this study, a design improvement was made to reduce communication noise. A defect in the AIU was identified by troubleshooting and reproduced in a low-temperature environment duplicating the defect situation. Checking the output of the receiver board in the AIU revealed that the output waveform and codec conversion were abnormal, and thus the receiver board was analyzed. Distortion of the SCLK output of the codec IC was identified by 4M1E review, replacement testing with a normal product, and circuit review. Distortion was attributed to increases in the reflected wave due to insufficient impedance matching, which was addressed by installing a damping resistor to improve impedance matching. Improvement was confirmed theoretically by comparing reflection coefficients before and after installing the damping resistor and verified by component and rotorcraft testing.

Keywords : AIU, ICS(Inter Communication System), Communication System, Communication Noise, Rotorcraft

본 논문은 국방기술품질원 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Wonae Son(Defense Agency for Quality and Technology)

email: xing5025@naver.com

Received September 8, 2022

Accepted November 4, 2022

Revised October 14, 2022

Published November 30, 2022

1. 서론

1.1 회전익 항공기 통신계통 소개

회전익 항공기의 통신계통은 U/VHF-AM, VHF-FM,

본 연구에서 해당 현상에 대한 원인 분석을 통해 개선 방안을 도출하고, 산식을 통해 설계 개선이 적합함을 이론적으로 입증하고, 구성품 및 체계 단위에서 성능 시험을 통해 개선사항을 검증했다.

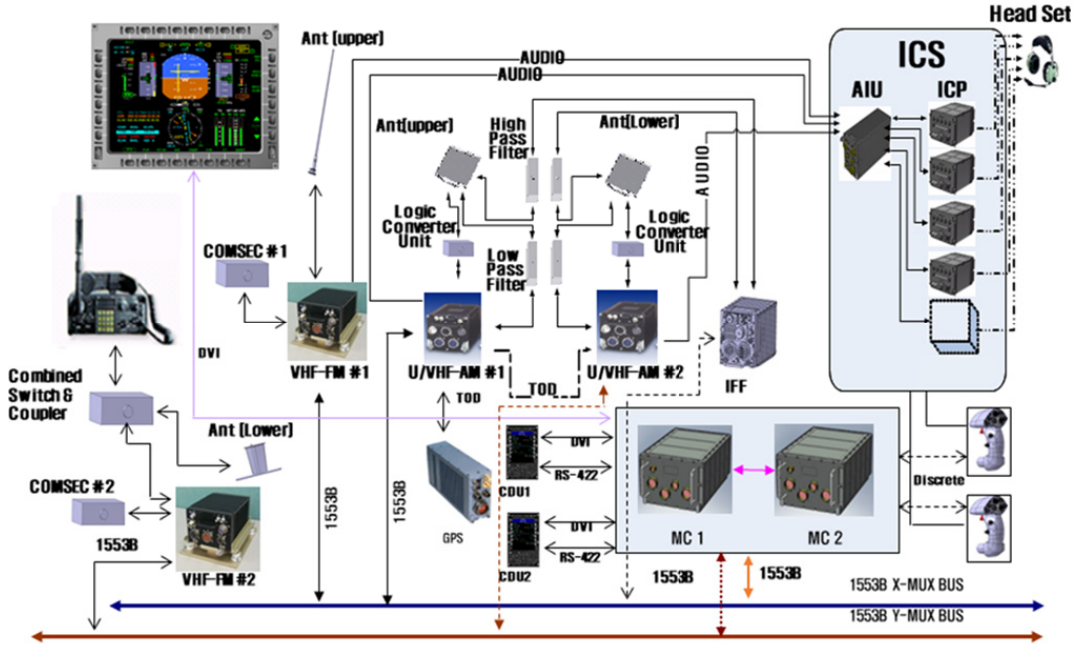


Fig. 1. Communication System of Rotorcraft

내부통신장치, 비화장비로 이루어진다. 이 중 내부통신장치(ICS : Inter Communication System, 이하 ICS)는 내부통신 제어패널(ICP : Inter Communication Panel, 이하 ICP)과 AIU로 구성된다. 회전익 항공기의 통신계통 구성도는 위 Fig. 1과 같다. AIU는 아래 Fig. 2와 같으며 ICP는 조종사석, 보조종사석 및 승무원실에 장착되어 각 사용자가 통신방식(AM, FM, ICS 등)을 변경하거나 통신 음량을 조정하는 등 사용자와 통신장비 간 인터페이스 역할을 하는 패널이다. AIU는 ICP와 연결되어 외부통신, ICP 간 내부통신, 임무 컴퓨터와 통신 및 항공기 내 경고사항 발생 시, 경고음 발생 기능을 수행한다[1-3].

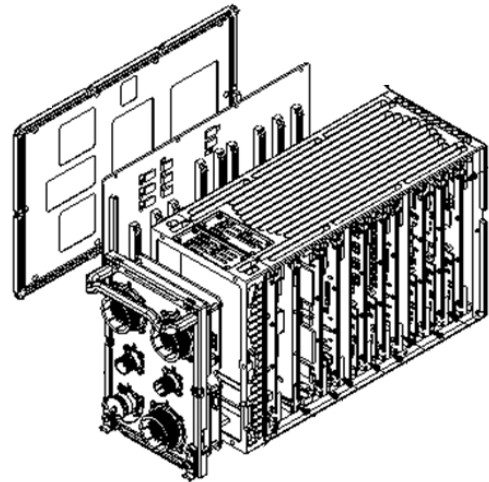


Fig. 2. Shape of AIU

이러한 회전익 항공기 통신계통에서 '20년 11~12월 사이에 다량의 동일 결함이 발생했다. 결함 내용은 항공기 배터리를 켜는 때, 통신이 불가능할 정도의 심한 잡음이 발생했다.

1.2 선행 연구 소개

본 사례와 유사하게 고정익 항공기에서도 통신 중 잡

음이 발생하여 해결한 사례가 있다. 고정익 항공기 편대 비행 시 수신 잡음 현상이며, ICS 내부 회로 설계를 분석한 결과, 각 구성품별 위험사항 발생 시 송출되는 경고음 신호에 대해 각각의 다중 접지로 적용되어 있음이 확인되었다. 다중 접지로 인해 접지 루프 잡음이 생성되어 수신 신호에 잡음이 발생한 것으로 이를 단일 접지로 변경함으로써 ICS의 수신 잡음을 개선할 수 있었다[4,5].

본 연구에서도 ICS 내부 회로 설계를 분석하여 회로 설계 변경으로 개선안을 도출해냈다.

2. 결함현상 분석

2.1 결함 현상 개요

결함 현상은 항공기 양산단계 공정에 대한 비행시험 중 발생된 것으로, 결함 내용은 조종사 및 부조종사의 헤드셋을 통해 심한 잡음이 발생하는 것이다. 또한 내부통화가 불가능할 정도의 심한 잡음이 발생하는 유사 결함이 X건이 잇따라 발생했다. 결함 발생 현장에서 고장배제 절차에 따라 고장 탐구한 결과, AIU의 결함을 확인했다. 통신 기능저하에 따라 조속한 결함원인 분석 및 재발 방지 대책이 요구되어 결함품에 대한 고장탐구를 수행했다.

2.2 결함 현상 시험

2.2.1 입고검사

결함품 AIU는 원제작사에 입고되어 외관검사, 수락시험, 에이징 시험, 전원 ON/OFF 시험 및 아래 Table 1과 같이 2가지의 온도시험을 수행하였다. 첫 번째 온도 시험은 규격 환경 요구조건인 +55℃, +23℃, -40℃에서 수행했으며, 두 번째 시험은 결함 발생 당시 환경조건을 고려한 0~-40℃에서 5℃씩 낮추는 단계별 시험이다. 그 결과, 두 번째 온도시험에서 AIU 잡음이 발생함으로써 결함이 재현되었다. 잡음의 원인을 알아내고자 AIU 내의 수신부에서의 음성 데이터 변환 형태를 볼 수 있는 코덱 변환값을 확인했다[6].

Table 1. Temperature Test

No	Item	Result
1	+55℃, +23℃, -40℃ (Standard)	Good
2	0, -5℃, -10℃, -15℃, -20℃, 25℃, -30℃, -35℃, -40℃ (Consider fault environment)	Fault

2.2.2 코덱 변환 확인

시험 과정은 AIU를 온도챔버에 넣고 0℃에서부터 5℃씩 온도를 낮추며 챔버 외부에서 헤드셋을 통해 잡음 발생 여부를 청취하고, AIU 내부의 수신기보드(receiver board)에서 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸어주는 코덱 IC의 아날로그/디지털 변환 데이터 값을 모니터링하는 것으로 이루어졌다. 해당 시험에서 잡음이 청취됨과 동시에 모니터링용 PC에 수신된 코덱값이 "e5xx dextx efixx d8xx fe7f eaff eb80 1111"와 같이 비정상적인 코덱값이 식별되었다. 정상적인 코덱값의 경우, "ffxx" 혹은 "00xx"와 같은 형태를 보인다.

2.3 결함원인 분석

결함현상이 식별됨에 따라 4M1E(Man, Machine, Method, Material, Environment) 변경요소 확인, 수신기 보드 관련 시험(수신기보드 부품 일치성 검사, 정상품-결함품 수신기보드 간의 교체시험), 코덱 IC 관련 시험(정상품-결함품 코덱 IC 간의 교체시험, 코덱 IC LOT 성 결함여부 확인, 코덱 IC SCLK(Serial Clock) 출력신호 파형 확인, 코덱 IC 주변 회로 검토) 순으로 고장탐구가 진행되었다.

2.3.1 4M1E 분석

4M1E 분석을 AIU 제작업체 및 SMT(Surface Mounter Technology)공정을 담당하는 협력업체를 대상으로 수행한 결과, 변경사항 및 특이사항은 없었다.

2.3.2 수신기보드 관련 시험

2.3.2.1 부품 일치성 검사

다음으로 수신기보드 부품 일치성 검사를 수행하였다. 최근 3년간 수신기보드에 사용된 회로부품과 도면 부품 목록 간 품번 비교를 통해 부품 일치성을 확인한 결과, 동일 부품이 사용된 것으로 확인되어 부품 변경에 의한 영향성은 없었다.

2.3.2.2 정상품-결함품 간 교체 시험

수신기보드 교체시험은 1) 결함품 AIU에 정상품 수신기보드를 장착한 것과 2) 정상품 AIU에 결함품 수신기보드를 장착한 것을 비교하였다. 그 결과 2)에서 결함이 재현되어 해당 결함의 원인은 수신기보드로 식별되었다. 이어서 수신기보드 내의 코덱 IC가 원인인지, 수신기보드 내의 다른 IC의 문제인지를 판별하기 위해 코덱 IC

관련 시험 절차도 이어졌다.

2.3.3 코텍 IC 관련 시험

2.3.3.1 정상품-결합품 간 교체시험

정상품-결합품 코텍 IC 간의 교체시험이 수행되었다.

1) 결합품 수신기보드에 정상품 코텍 IC 장착, 2) 정상품 수신기보드에 결합품 코텍 IC 장착, 3) 결합품 수신기보드에 결합품 코텍 IC 장착 으로 총 3가지 시험이 수행되었으며 각 시험 결과는 1) 결합 미재현, 2) 결합 미재현, 3) 결합 재현 이었다. 따라서 코텍 IC의 단품 결합은 아닌 것을 확인했다.

2.3.3.2 LOT성 결함여부 확인

추가적으로 코텍 IC LOT성 결함여부를 확인하였다.

결합품 수신기보드에 결합발생 코텍 IC와 1) 동일 LOT의 IC, 2) 타 LOT IC를 각각 장착했으며 시험결과는 1) 결합 미재현, 2) 결합 재현이었다. LOT성 결함이라면 1)의 시험에서 결합이 재현되어야 하지만 그렇지 않아 코텍 IC의 LOT성 결함은 아닌 것으로 판단했다.

2.3.3.3 SCLK 클럭신호 확인

코텍 IC SCLK 클럭신호(코텍 IC에서 아날로그/디지털 변환된 디지털 오디오 데이터를 전달하는 클럭 신호) 파형을 확인 시험을 수행했다. 그 결과, 아래 Fig. 3와 같이 결합품-정상품 코텍 IC 간의 파형 차이가 확인되었다. 결합품의 경우, 출력파형이 상당히 일그러진 왜곡 파형이 확인되었다. 해당 왜곡현상은 음성 아날로그 신호가 입력되지 않은 상태에서 확인되어 SCLK 신호 자체가 왜곡되어 이 신호에 의해 전달되는 아날로그/디지털 변환된 디지털 오디오 데이터가 동일하게 왜곡되어 잡음이 발생하는 것으로 판단되었다.

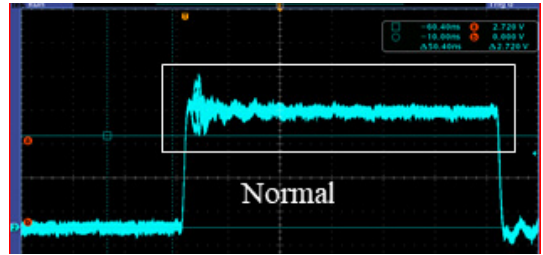


Fig. 3. Compare of Distortion and Normal Waveform

3. 개선방안 도출 및 검증

3.1 개선방안 도출 및 영향성 확인

3.1.1 개선방안 도출

위 시험들을 통해 코텍 IC의 SCLK 출력 신호에 문제가 있다는 것을 확인하였으며 이는 코텍 IC의 자체 단품 결함이나 LOT성 결함은 아닌 것으로 확인되었다. 따라서 코텍 IC의 주변회로 설계검토를 통해 결함 원인을 명확히 식별코자 하였다.

AIU 내 타 회로카드 조립체 중 동일 코텍 IC를 사용하는 조정패널용 보드(이하 CPI보드)와 수신기보드를 비교하였다. 그 결과, CPI보드의 코텍 IC SCLK 출력단에는 33Ω의 저항이 장착되어 있었다. 해당 저항은 SCLK 출력 신호의 노이즈 감쇄용으로 장착된 댐핑저항으로 수신기보드의 코텍 IC SCLK 출력단에는 0Ω이 장착되어 있었다. 댐핑저항은 선로의 임피던스 매칭을 맞추기 위해 삽입되는 저항으로, 임피던스 매칭이 이루어지지 않으면 반사파의 영향으로 신호가 왜곡될 수 있다. 이를 통해 해당 결함은 코텍 IC SCLK 클럭 신호가 연결되는 부품 간의 오차 발생이 증가하여 신호왜곡을 발생시킬 수 있을 정도의 임피던스 매칭 변화를 발생시킨 것으로 판단되었다. 따라서 수신기보드의 코텍 IC SCLK 출력단에 댐핑저항 장착을 통해 반사파의 영향을 줄일 수 있을 것으로 판단되었다. 코텍 IC 제조사에 문의 결과, 댐핑저항 사용을 권장하는 답변을 받아 댐핑저항 장착이 개선방안으로 판단되었다[7-10].

이 때 댐핑저항의 크기는 일반적으로 22, 33, 47Ω등을 사용하나, 같은 구성품 단위에서 건전성이 확인된 33Ω의 저항을 반영하는 것으로 하였다.

3.1.2 개선방안의 영향성 검토 및 확인

댐핑저항 반영 시, 수신기보드에 대한 영향성을 검토

하였다. 먼저, 고려된 영향성은 전자파 영향성이다. 전자파는 임피던스 매칭 실패 시 발생하는 고주파에서 전자파가 방출되며, 댐핑저항 장착 시 고주파 레벨이 감소됨을 코텍 IC 제조업체의 기술문서로 확인되었다.

다음으로 SCLK 출력 레벨을 검토하였다. 댐핑저항 장착 전, 후 간의 SCLK 출력 레벨 비교 결과, 동일함을 확인했다. 마지막으로 수신기보드의 PCB형상에 대한 영향성이 검토되었는데, 이는 기존 0Ω 장착자리에 동일 크기의 33Ω 의 저항이 장착되는 것으로 영향성 없음으로 검토되었다.

댐핑저항 장착 후의 반사계수가 감소하는 것을 아래 Eq. (1)을 통해 도출해낼 수 있다.

$$Reflection\ Coefficient = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (1)$$

Where, Z_L denotes Load Impedance(85Ω), Z_0 denotes Line Impedance.

아래 Table 2에서 댐핑저항 장착 전/후의 선로 임피던스를 제시하고 이를 토대로 반사계수를 계산했다. 이를 통해 댐핑저항 장착 후 반사계수가 향상되어 반사파의 영향이 줄어들므로써 잡음이 감소할 것을 알 수 있다.

Table 2. Reflection Coefficient before/after Installing Damping Resistor

Board	Line Impedance	Reflection Coefficient
Without Damping Resistor	27	0.51
Installing Damping Resistor	61	0.16

3.2 개선방안 검증

위의 절차들을 통해 댐핑저항을 장착한 수신기보드에서의 이론적 검증을 완료했으며, 실제 잡음 발생 여부가 개선되었는지 확인하기 위해 AIU 구성품 및 체계 단위에서 확인하는 시험을 수행했다.

3.2.1 구성품 단위 검증 시험

먼저 AIU 단위에서 건전성 확보를 위한 시험을 수행하였다. 개선된 수신기보드를 장착한 AIU를 온도 챔버에 넣고 ICP와 헤드셋을 연결하여 잡음 여부를 청취하고, 컴퓨터를 통해 아날로그/디지털변환 코덱 데이터를 확인

하였다. 총 5개의 수신기보드를 대상으로 본 검증을 수행했다.

온도 챔버는 결합 재현 조건인 $0\sim -40^\circ\text{C}$ 범위에서 5°C 씩 내려가며 총 9개의 온도구간($0, -5, -10, -15, -20, -25, -30, -35, -40^\circ\text{C}$)의 환경을 구성하였다. 각 온도구간별로 30분간 AIU를 노출하고 잡음 발생 여부를 10회 확인하였다. 온도 챔버 시험 온도 프로파일은 아래 Fig. 4와 같다. 챔버의 온도변화율($5^\circ\text{C}/\text{분}$)은 AIU 규격서의 요구도를 반영한 것이다.

시험은 총 5대의 개선된 수신기보드를 AIU에 장착하여 진행되었으며, 아래 Table 3과 같이 모두 정상 작동됨을 확인할 수 있었다.

Table 3. Example of Test Result

Test Items	Results	Judgement
Noise Occurrence at 0°C	X	Good
Noise Occurrence at -5°C	X	Good
Noise Occurrence at -10°C	X	Good
Noise Occurrence at -15°C	X	Good
Noise Occurrence at -20°C	X	Good
Noise Occurrence at -25°C	X	Good
Noise Occurrence at -30°C	X	Good
Noise Occurrence at -35°C	X	Good
Noise Occurrence at -40°C	X	Good

3.2.2 체계단위 검증 시험

다음으로 개선된 AIU를 장착한 항공기 단위 시험을 수행하였다. 시험 항목은 배터리 작동상태, 엔진런 상태, 비행 상태에서 각각 내/외부 통화(통제실 및 타워) 간 잡음을 확인하는 것이었다. 시험결과는 아래 Table 4와 같이 모든 항목에서 잡음 없음을 확인했다.

Table 4. Results of System Noise Test

Test Items	Internal Communication	External Communication
Battery Condition	Good	Good
Engine Run Condition	Good	Good
Flight Condition	Good	Good

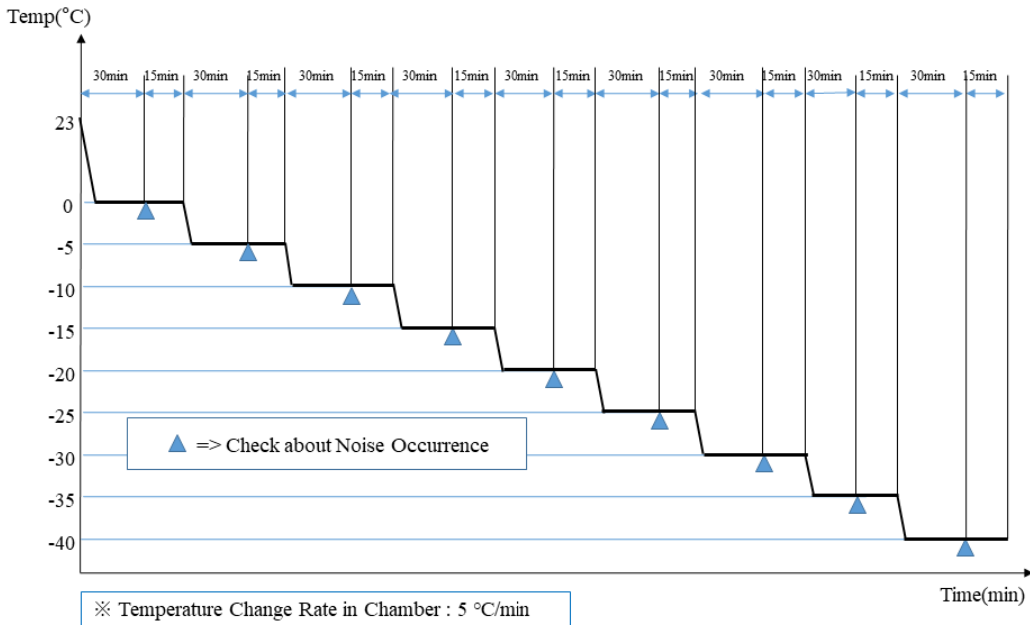


Fig. 4. Temperature Test Profile

4. 결론

본 연구에서는 회전익 항공기에 장착되는 통신장비 중 하나인 AIU의 잡음현상에 대한 결함원인 분석 및 개선방안을 제시하고 이를 검증하였다.

먼저, 결함현상에 대한 고장탐구를 수행하였다. 결함원인은 AIU 내 수신기보드의 코덱 IC의 SCLK 출력단에서 댐핑저항의 부재로 인해 임피던스 매칭이 되지 않아 반사파의 영향이 증대되어 신호왜곡을 일으켜 잡음이 발생하는 것이었다.

따라서 개선방안으로 SCLK 출력단에 33Ω의 댐핑저항을 장착하여 임피던스 매칭을 맞추는 것이 제시되었으며, 이를 검증하기 위해 댐핑저항을 장착한 수신기보드에 대해 임피던스를 측정하여 반사계수를 도출하여 반사파의 영향이 감소됨을 이론적으로 확인하였다. 또한 개선된 수신기보드 5대를 AIU에 장착하여 결함이 재현된 시험 온도 구간별로 잡음 발생 여부를 확인하였으며, 항공기 체계 단위에서도 통화 잡음이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

회전익 항공기에서 작전을 수행하고 비행안전에 있어 통신은 매우 중요한 요소이다. 개선된 AIU 적용을 통해 임무수행 능력을 증가시킬 수 있으며, AIU 결함으로 인해 발생할 수 있는 항공기 가동률 저하를 방지할 수 있을

것으로 기대된다.

또한 항공기에서 발생할 수 있는 다양한 잡음 발생 요인에 대해 4M1E, 소자 LOT성 결함 여부 확인 및 신호 출력라인 모니터링 확인 등 다양한 방법으로 접근하여 유사 사례 발생 시 해당 접근법들을 적용시켜 해결방안 도출에 기여할 것으로 생각된다. 또한 댐핑저항 장착을 통해 반사파 영향을 감소시켜 잡음을 개선함으로써 타 항공기 잡음 발생 시 해당 연구가 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Defense Acquisition Program Administration(DAPA), "Intercommunication Set for KUH", DAPA, Korea, Mar. 2022.
- [2] Y. M. Kim, J. J. Jang, B. K. Jun, C. Y. Kim, J. W. Jeong, "A Study on Voice Communication Quality Improvement of Intercom System for KUH", *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol.41, No.12, pp1002-1010, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.12.1002>
- [3] Defense Acquisition Program Administration(DAPA), "Helicopter, Utility, defense specification", DAPA, Korea, Mar. 2013.

- [4] J. H. Kwon, H. E. Seo, W. S. Lee, "Improvement of Reception Noise During Formation Flight of Aircraft", *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol.49, No.6, pp497-504, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2021.49.6.497>
- [5] M. J. Seok, Y. S. Nam, "A Research on the Application of Single Point Ground for Intercom of T-50 Advanced Traine", *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol..42, No.9 pp773-778, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.9.773>
- [6] Department of Defense(DoD), "ENVIRONMENTAL ENGINEERING CONSIDERATIONS AND LABORATORY TESTS", DoD, USA, Jan. 2000.
- [7] Mundo Joe, Damping Resistance, BOOK c2020 [cited 2020 Aug 25], Available From: <https://gammabeta.tistory.com/2218> (accessed Aug. 26, 2022)
- [8] Department of Defense(DoD), "General Guidelines for Electronic Equipment", DoD, USA, APR 1995.
- [9] H. S. Lim, "A Study On Effects of The Termination Conditions on Crosstalk in The A/D Coverter Circuit", *The Institute of Electronics Engineers of Korea-System and Control*, Vol. 47, No. 2, pp110-117, 2010.
- [10] Wikipedia, Impedance Matching, c2022 [cited 2022 Feb 6].. Available From : https://en.wikipedia.org/wiki/Impedance_matching (accessed Oct. 3, 2022)

손 원 애(Wonae Son)

[정회원]



- 2019년 2월 : 부경대학교 전자공학부 (공학사)
- 2019년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 통신, 전기소자

김 정 민(Jung Min Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 한양대학교 전자공학부 (공학사)
- 2022년 2월 : 경상국립대학교 전자공학과 (전자공학 석사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 전자통신, 컴퓨터공학

정 혜 수(Hyesoo Jeong)

[정회원]



- 2016년 9월 : 부경대학교 전기공학과 (전기공학석사)
- 2019년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 전기소자, 전력변환