

인터콤 간 마이크 신호 경로 제어를 위한 Electret Microphone 연동 회로 설계

Design of Electret Microphone Interfacing Circuit for Microphone Signal Path Control between Intercoms

조성희* · 정성재 · 김민선 · 남덕우 · 정다나 · 김준형
LIG Nex1 항공연구소

Sung-hee Cho* · Seong-jae Jeong · Min-seon Kim · Deok-woo Nam · Da-na Jung · Jun-hyoung Kim
Aviation Research Institute of LIG Nex1, Daejeon, 34127, Korea

[요 약]

항공기 인터콤 장비는 조종사, 부조종사를 포함해 항공기 내의 승무원을 포함한 기내 음성 통화 기능을 수행한다. 항공기 개조 개발 사업에서 인터콤을 개발할 경우 추가되는 통신장비 또는 항진장비를 기존 인터콤과 헤드셋을 연동하도록 구성한다. 따라서 개발하는 인터콤은 항공기 헤드셋 마이크를 입력받고, 기존 인터콤에 마이크 신호를 송신하는 구성이 필요하며 일정 수준 이상의 신호품질이 요구된다. 이러한 요구사항을 만족하기 위해 마이크 신호 생성회로를 구성했으나 신호 품질이 불량하여 인터콤 설계 반영이 불가하다 판단했다. 마이크 신호 생성회로 자체의 문제를 없애기 위해 부하효과를 고려한 마이크 신호 브릿지 회로를 구성했고, 기능 및 품질 측정 결과 요구사항에 부합하였다. 본 논문은 마이크 신호 생성회로 및 브릿지 각각의 구성에 대해 제작 및 신호 품질에 대한 시험 결과를 검토한다.

[Abstract]

Avionics Intercom performs communication between pilot, co-pilot and crews in aircraft. In the case of developing intercom in the aircraft modification development project, additional communication equipment or avionics equipment is configured to link the existing intercom with the headsets. Newly designed intercom needs a configuration that receives an aircraft headset microphone and transmits a microphone signal to the existing intercom, and these signals are required to perform signal quality above a certain level. To satisfy these requirements, microphone transmitter circuit has designed and tested, but quality factors of signal were not suitable. In order to avoid the issue, eliminate transmitter and apply signal bridge circuit considered with load effect, and it meets requirements. In this paper, the test results for the signal quality for each configuration are reviewed.

Key word : Intercom, Electret microphone, Secure communication, Data Recording, Biasing circuit.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.3.309>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 13 May 2024; Revised 7 June 2024

Accepted (Publication) 10 June 2024 (30 June 2024)

*Corresponding Author; Sung-hee Cho

Tel: +82-42-723-2418

E-mail: sunghee.cho@lignex1.com

1. 서론

최근 국내에서 수행하는 특수목적을 위한 항공기 개조사업의 경우 해외 항공기 또는 GAC (green aircraft)의 항전시스템 (avionics system)에 추가로 필요한 군용 항공전자 장비를 상용 항공기에 장착하여 항공기를 개조하고 있다. 이러한 추가 항전 장비를 적용함으로써 GAC의 인터콤 시스템 (GAC-ICS; green aircraft-intercom system)에 추가적으로 오디오 연동기능이 요구되며, 이에 따라 추가항전장비와 기존 항공기 인터콤과 연동하는 추가항전 인터콤 시스템 (ICS; inter-communication system) 개발이 요구된다.

인터콤 시스템의 주요 기능으로는 통신장비 연동과 기타 항전계통 장비 오디오 신호 입력 및 재생, 저장장치에 오디오 데이터 저장 기능이 있다 [1]. 본 논문에서 다루는 인터콤 시스템은 저장장치로 출력하는 오디오 신호는 운항 중 고장 분석 및 기타 상황에 대한 판단을 목적으로 저장하는 것으로 [2], [3], 운용자의 헤드폰 출력 신호를 저장하게 되며, 이는 보안 장비에 대해서는 보안에 관련된 신호를 제외한 통화 신호 및 항전장비 수신 신호를 저장하는 것을 주요 요구사항으로 개발하였다 [4].

이러한 보안 통신 장비 (COMSEC; communication security) 연동기능이 적용된 추가항전 인터콤 시스템의 마이크 인터페이스를 설계할 때, 두 가지 사항에 대해 우선적으로 고려해야 한다. 먼저 인터콤 시스템과의 연동 구성이다. GAC-ICS와 ICS를 연동할 때, GAC-ICS와 헤드셋 사이에 ICS를 삽입하는 구성이다. 즉, ICS에서 GAC-ICS 연동을 위한 마이크 출력, 헤드폰 입력을 제공해야하며, 헤드셋 연동을 위한 마이크 입력과 헤드폰 출력을 제공해야한다. 본 논문은 연동할 마이크로 electret microphone을 적용한 경우에 대해 검토한다.

또한 GAC-ICS와 ICS, 그리고 마이크를 연동할 경우, 마이크 신호의 마이크 신호를 생성하여 GAC-ICS로 제공하거나 부하 효과를 고려한 분기회로를 만들어 제공해야한다. 본 논문에서는 마이크 신호를 생성한 경우 신호 성능의 불만족이 발생했으며, 이를 보완하기 위한 분기회로 적용과 시험 결과에 대해 검토한다.

두 번째로 보안장비에 대해 고려해야한다. GAC 항전계통과 추가항전계통에는 저장장치를 포함한 오디오 관련 항전 시스템이 연동되며, 보안 통신장비 관련 음성신호는 GAC 항전계통과 저장장치에 전송되지 않도록 구성되어야 한다. GAC 항전계통은 GAC-ICS를 통해 신호가 전달되므로 헤드폰 신호를 송신하는 것으로 가정하였다. 추가항전계통의 경우 오디오 신호를 선별하여 데이터 경로 스위칭을 통해 차단할 수 있으나, GAC 구성품은 GAC-ICS와 연동하므로 GAC-ICS로 송신하는 마이크 신호를 차단해야한다.

본 논문에서는 군용 항공기 개조 개발 시 보안 통신 기능을 적용한 마이크 신호 제어기능 설계에 필요한 사항에 대해 검토하고, 요구사항 만족을 위한 마이크 신호 제어 회로 설계방안을 검토한다. 이를 통해 향후 인터콤 마이크 연동설계에 도움을 주

고자 개발에 관련된 일체 사항을 공유한다.

II. 인터콤 시스템의 마이크 신호 경로

인터콤 시스템은 운용자간 내부통화 기능과 통신장비와 연동한 외부통화, 기타 항전계통 오디오 관련 신호 송수신, 오디오 신호 모니터링, 제어 및 분배 처리, 자료저장장치 (DRS; data recording system)로 음성 녹음용 오디오 신호 출력 기능을 포함해 항공기의 상태와 위협 등에 대한 오디오 경고음/경고 음성 발생, 관리 및 분배 처리를 제공하는 장비이다 [5].

설계된 인터콤은 음성접속장치 (AIU; audio interfacing unit)와 인터콤 제어 패널 (ICP; intercom control panel)로 구성되며, ICP는 운용자마다 제어하며, AIU는 ICP의 설정에 따라 음성 경로를 선택하여 출력한다.

이러한 인터콤 시스템은 ICP의 패널에서 운용자의 조작에 따라 입력된 마이크 신호를 GAC-ICS로 송신하고 보안 통화 장비 및 추가항전계통의 각 통신장비로 송신한다. 또한 ICP는 GAC-ICS의 헤드셋 출력을 수신해 AIU에서 보내는 오디오와 보안 통화 장비를 포함한 각 통신장비의 수신 오디오, 항전계통 장비의 수신 오디오를 mixing 하여 각 ICP 헤드폰 및 GAC-ICS의 마이크 인터페이스, 자료저장장치로 출력한다 [6]. AIU는 입력된 통신장비의 수신 오디오 뿐만 아니라 이외의 항전장비 오디오 입력 신호를 볼륨 값에 따라 음량을 조절 및 mixing 하여 각 ICP 및 자료저장장치로 출력한다.

GAC-ICS의 연동 구성에 대해서는 일반적인 경우에 대해 검토한다. GAC-ICS는 ICP와 연동하고, GAC 통신장비와 GAC 항전계통의 각 오디오 송수신을 처리하는 것으로 가정한다. 또한 GAC-ICS는 일반적으로 항공기 조종사의 운항상황을 모니터링하기 위해 음성데이터를 저장하는 저장장치가 있을 것으로 추정한다. 이에 대한 개략적인 연동도는 그림 2와 같다.

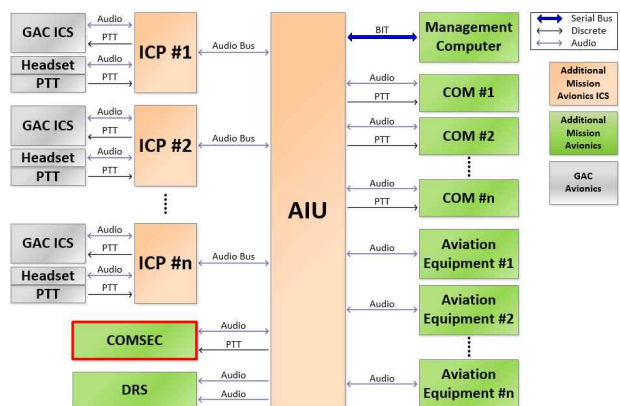


그림 1. 추가항전 인터콤 블록도

Fig. 1. Block diagram of additional avionics intercom.

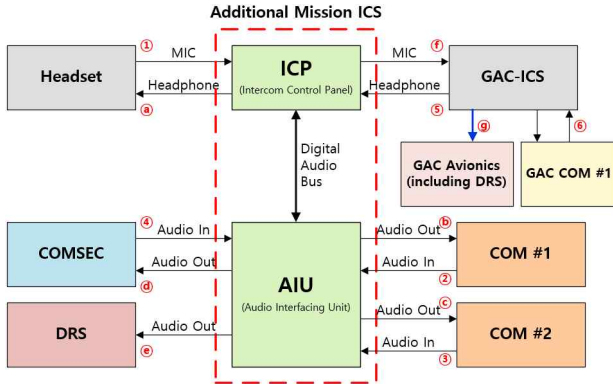


그림 2. 인터콤 통신 연동도
Fig. 2. Communication diagram of intercom.

보안 통신장비 연동 신호를 제외한 ICP와 GAC-ICS 간 연동하는 내부통화, GAC 통신장비 및 추가항전 통신장비의 음성 데이터는 DRS 및 GAC 항전계통에 연동된다. 특히 GAC 통신장비로 송신하는 신호는 헤드셋의 마이크에서 ICP를 거쳐 GAC-ICS로 송신된다. DRS에 저장될 음성신호는 ICP에서 통신장비 선택 여부에 따라 신호를 생성하여 AIU를 통해 저장한다. 또한 GAC-ICS는 마이크 신호에 GAC 연동 장비의 입력신호를 mixing 처리한 후 GAC-ICS로 출력해야하며, 따라서 내부통화 및 외부통화 상황에서 ICP 마이크 신호는 GAC-ICS로 항상 출력되어야 한다. 다만, 보안장치 선택 시에는 마이크 신호가 생성되지 않도록 설계하여 GAC-ICS에서 각 연동장비 출력 신호 생성에 보안장치 통화내용이 포함되지 않도록 구성했다. 표 1은 그림 2의 각 신호에 대해 처리되는 mixer 로직 내용이다. 여기서 입력은 숫자 원기호로, 출력은 영문자 원기호로 표기했다. GAC-ICS의 헤드폰 출력(5)과 GAC 연동장비 신호 출력(6)은 개발범위 외이므로 통상적인 기능을 고려해 예상 로직으로 산정하였다.

표 1. 인터콤 주요 출력 신호 생성 로직(수식)
Table 1. Logic(formula) for main output signals from Intercom system.

번호	구분	Mixing Logic	비고
(a)	Headphone	= (1) + (2) + (3) + (4) + (5)	
(b)	COM #1	= (1)	COM #1 selected
(c)	COM #2	= (1)	COM #2 selected
(d)	COMSEC	= (1)	COMSEC selected
(e)	DRS	= (2) + (3) + (4) + (5) (+ 1)	MIC signal is not mixed of COMSEC output activated
(f)	BICS MIC	= 0 (+ 1)	MIC signal is not mixed of COMSEC output activated
(5)	BICS Headphone	= (f) + (6)	Expected mixing formula
(9)	GAC Avionics	= (5) = (f) + (6)	Expected mixing formula

표 1과 같이 비행 기록 장치에 저장되는 신호는 headphone 출력 신호를 저장하며, headphone 출력 신호는 일반적으로 마이크 신호를 입력받아 측음(sidetone)으로 출력하므로, 입력된 마이크 신호(f)를 억제하는 것이 마이크 연동 회로의 주요 기능이다.

III. GAC-ICS 및 electret microphone 연동

개발한 인터콤 연동 헤드셋은 electret microphone을 대상으로 회로 설계를 수행했으며, electret microphone 연동을 위한 일반적인 회로 구성 및 GAC-ICS 연동을 위해 설계된 내용에 검토하도록 한다.

3-1 Electret microphone 연동 회로

electret microphone은 일반적으로 음압에 따라 신호를 생성하기 위한 전극판과 생성된 신호를 증폭하기 위한 트랜지스터로 구성된다 [7], [8], [9]. 능동소자를 적용하므로 electret microphone에는 dc bias가 필수적이며, 이에 대한 마이크 입력 회로는 electret microphone의 주요 성능인 sensitivity 측정을 위한 구성을 검토하면 알 수 있다 [10]. 그림 3은 예시로 TELEX社의 AIRMAN 850 헤드셋의 마이크 sensitivity 측정 회로이다.

sensitivity 측정회로는 크게 두 부분으로 나뉘 볼 수 있다. 먼저는 dc bias이다. 대부분의 electret microphone의 데이터시트에서 dc 전압 범위와 bias 저항에 대한 스펙을 명시하며, AIRMAN 850의 경우 8~28 V 전원을 470 Ω 저항을 거쳐 인가하도록 요구하며, sensitivity는 8 V 전원을 이용해 측정하는 구성으로 나타내었다.

다음으로 마이크 입력 회로를 볼 수 있다. 그림 3의 계측기는 220 Ω 부하를 통해 신호를 입력받으며, dc bias로 인한 offset 제거를 위해 ac coupling capacitor로 25 μF를 사용함을 알 수 있다. 이로써 electret microphone 입력회로는 dc bias 회로와 ac coupling, impedance matching 구성으로 볼 수 있으며, impedance matching의 경우, 고속신호와 다르게 마이크 신호의 최대 전력 전달을 목적으로 한다.

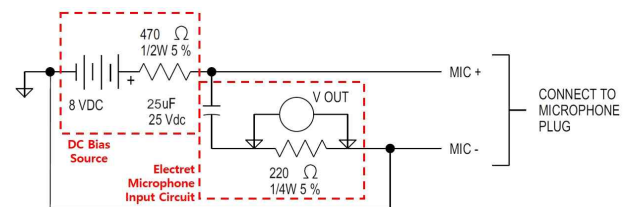


그림 3. Electret microphone sensitivity 측정 회로
Fig. 3. Schematic for electret microphone sensitivity measurement.

3-2 GAC-ICS와 ICP 마이크 연동 회로 설계 (case 1)

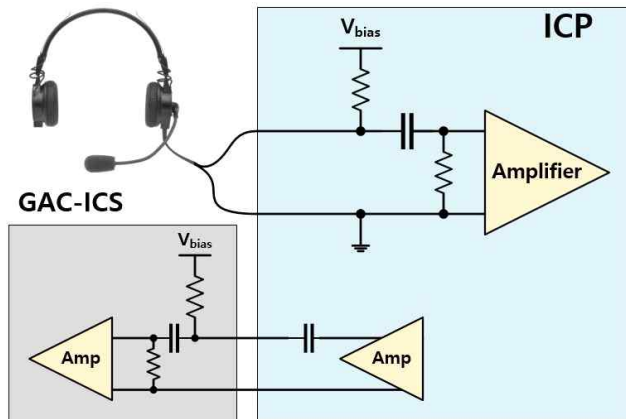


그림 4. ICP 마이크 블록 다이어그램 (case 1)
 Fig. 4. Block diagram of ICP microphone (case 1).

GAC-ICS 내부 마이크 회로는 그림 3의 AIRMAN 850 sensitivity 측정 회로와 동일한 것으로 간주하고 설계를 진행했다. 첫 번째 ICP 마이크 연동방안은, 헤드셋 마이크 입력회로와 GAC-ICS 마이크 출력회로를 분리하여 설계했다. ICP의 마이크 출력 회로를 통해 GAC-ICS 마이크 출력을 on/off 제어함으로써 GAC 항전장비에 원하는 음성신호를 출력할 수 있는 이점이 있다. 이에 대한 블록다이어그램은 그림 4와 같다.

그림 4와 같은 구성에 대해 제작 후 헤드셋 마이크 입력채널에 1 kHz 사인파를 인가하여 GAC 마이크 출력채널에 대해 청취 테스트 및 오디오 성능관련 지표 중 신호대잡음비 (SNR; signal to noise ratio)를 측정했다. 통상적으로 요구되는 수치는 50 dB 이상이며, 결과는 그림 5와 같다.

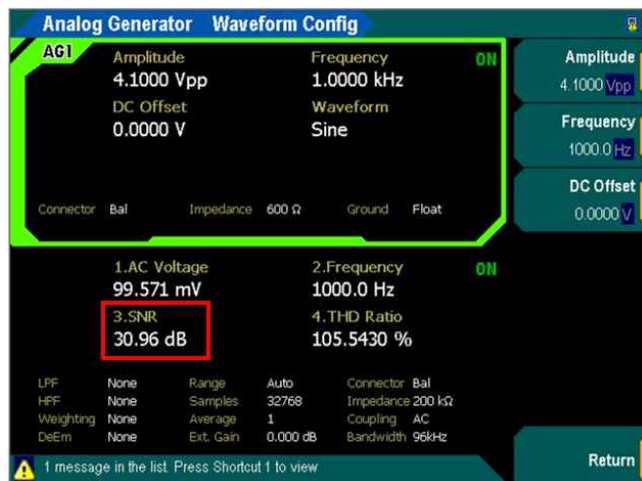


그림 5. ICP GAC-ICS 마이크 출력 채널 SNR 측정 결과 (case 1)
 Fig. 5. SNR measurement of Green Aircraft Intercom microphone output channel (case 1).

ICP 마이크 신호를 분리하여 측정된 결과 50 dB 보다 현저히 작게 측정되었으며, 실제 청취했을 때 잡음에 의해 본래 신호가 청취되지 않았다. 이러한 현상에 대해 검토하자면, 앞서 기술하였듯이 GAC-ICS의 마이크 입력회로는 명확하게 확인할 수 없으며, 제작한 ICP 마이크 출력회로와 electret microphone의 유사성을 분석하기 어렵다는 점을 원인으로 추정할 수 있다. 예를 들어 bias에 대해 검토할 수 있다. electret microphone은 12 V bias 전원이 인가되어도, 내부 회로에 의해 4 V로 dc offset이 설정됨을 확인했다.

이러하듯 electret microphone의 신호 발생을 모사하기에는 불확정 요소가 많아 마이크 신호 재현에 어려움이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 두 번째 방안을 검토해 회로를 재설계하였으며, 동일한 시험을 수행했다.

3-3 GAC-ICS와 ICP 마이크 연동 회로 설계 (case 2)

마이크와 동일한 조건의 신호를 만드는 것에 제약이 있으므로, ICP로 입력되는 마이크 신호를 분기해 GAC-ICS로 송신하는 구조를 고안했다. 아날로그 신호를 분기할 경우, 입력 임피던스 변화에 따른 등가회로 변화가 발생한다. 이에 따른 load effect를 최소화하기 위해서는 마이크의 등가회로를 이용해 설계해야 하지만 마이크 내부 회로 구성을 확인할 수 없으므로 마이크 연동회로의 입력 커패시턴스와 저항값을 변경하며 실험을 수행해 적절한 수동소자를 선정했다.

선정 시 GAC-ICS의 마이크 bias 저항은 470 Ω 저항과 ac coupling 커패시터는 25 uF, 임피던스 매칭 저항은 220 Ω임을 가정하여 그림 6의 C1은 0.68 uF, R2는 10 kΩ을 적용했다.

보안 통신 장비 통화 중 GAC-ICS의 마이크 신호를 분리하기 위해 아날로그 스위치 적용에 대해 검토했다. 아날로그 스위치를 신호 경로에 직렬로 연결할 경우, SNR과 같은 오디오 신호 품질은 스위치의 특성에 따라 저하될 수 있다. 따라서 마이크 입력 신호의 오디오 품질 저하를 가능한 억제하고, GAC-ICS 마이크 신호를 선택적으로 차단하기 위해 그림 7과 같이 마이크 연동 설계 및 제작을 수행했다.

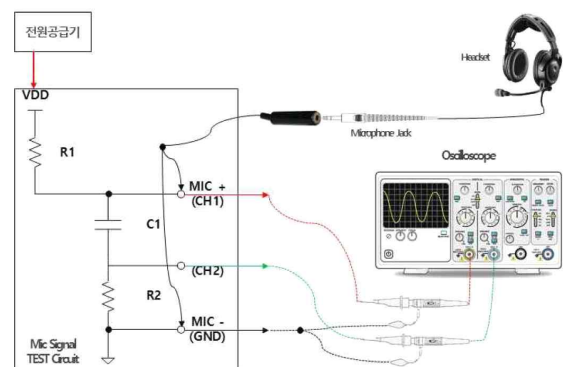


그림 6. 마이크 임피던스에 따른 신호 측정 시험 구성도
 Fig. 6. Test Configuration of signal measurement according to microphone impedance.

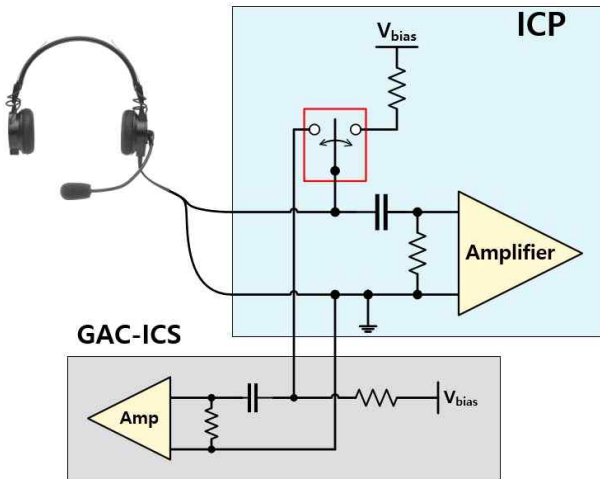


그림 7. ICP 마이크 블록 다이어그램 (case 2)
 Fig. 7. Block diagram of ICP microphone (case 2).

electret microphone 신호 분기 시 고려할 사항은 부하 효과 이외에 이중 biasing 구조에 대해 검토해야 한다. 보안장비 통화 시에 ICP 단독으로 마이크 연동이 필요하며, 이를 위해 ICP 마이크 bias 회로를 적용한다. GAC-ICS와 ICP의 각 bias가 이중으로 인가될 경우, bias 등가 저항이 줄어들게 되며, electret microphone에서 요구하는 bias 저항값을 충족 못할 경우 정상 동작이 안 되거나 마이크 파손이 발생할 수 있다. 이를 위해 GAC 항전계통과 마이크 연동 시 GAC-ICS의 bias를 이용해 신호를 입력받고, 보안장비 통화 시에는 GAC-ICS 마이크 신호를 끊고 ICP 자체 bias를 이용한다. 제작한 장비의 마이크 신호에 대해 SNR을 측정된 결과, 그림 8과 같이 기준치인 50 dB 이상으로 측정되었다. 또한 신호 청취를 통해 보안 통화 미송신 기능에 문제없음을 확인했다.

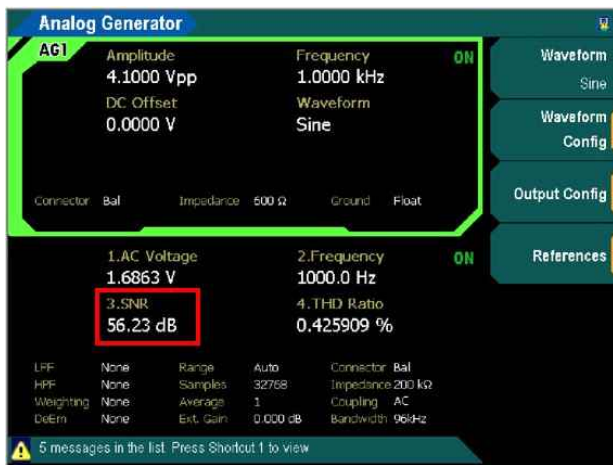


그림 8. ICP GAC-ICS 마이크 출력 채널 SNR 측정 결과 (case 2)
 Fig. 8. SNR measurement of Green Aircraft Intercom microphone output channel (case 2).

IV. 결 론

항공기 개조 개발 사업에서 추가항전 인터콤 설계 시 보안 통화 장비 연동할 때, 마이크 신호를 제어하는 방안에 대해 검토했다. 인터콤의 기능에 따른 신호경로와 electret microphone의 기본 연동 구성을 확인하고 GAC-ICS 마이크 출력 회로를 설계하여 시험을 수행하고, 이에 따른 문제를 확인했다.

본 논문에서는 확인한 주요 문제 사항으로 SNR 특성이 저하 되는 것을 검토했으나, 총 고조파 왜곡 (THD; total harmonic distortion) 역시 정상 신호 대비 100배 이상 측정되어 정상적인 연동기능을 수행하지 못함을 확인했으며, 이에 대한 원인을 추정했다. 문제 해결을 위해 마이크 분기 회로에 대해 검토 후 적절한 값을 확인하여 적용했을 때 성능이 정상임을 확인했다.

향후의 개조개발 시 마이크 연동에 대한 설계를 다수 수행할 것으로 예상되며, 본 논문에서 검토하고 설계한 내용을 기반으로 국내 개발 인터콤의 잠음 억제에 대한 신뢰성을 크게 확보할 것으로 예상된다.

References

- [1] W. N. Son, J. M. Kim, and H. S. Jung, "Design improvement of AIU to reduce communication noise of rotorcraft," *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 23, No. 11, pp. 587-593, Nov. 2022. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2012.23.11.587>.
- [2] S. M. Lee and K. H. Kim, "A study to improve real-time performance of intercom software for aircraft," *Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 47, No. 12, pp. 2117-2126, Dec. 2022. DOI: <http://doi.org/10.7840/kcis.2022.47.12.2117>.
- [3] Y. M. Kim, J. J. Chang, B. K. Jun, C. Y. Kim, and J. W. Jeong, "A study on voice communication quality improvement of intercom system for KUH," *Journal of Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 41, No. 12, pp. 1002-1010, Dec. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.12.1002>.
- [4] J. H. Kwon, G. N. Kim, W. H. Hwang, and W. S. Lee, "Safety verification of mounting flight video and data recorder in the military aircraft," *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 17, No. 5, pp. 42-57, Oct. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.20910/JASE.2023.17.5.42>.
- [5] S. J. Jeong, K. H. Cho, D. H. Kim, and S. W. Lee, "The digital redundancy design for back-up mode operation of aviation intercom," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 26, No. 5, pp. 358-364, Oct. 2022. DOI: <http://doi.org/10.12673/jant.2022.26.5.358>.
- [6] J. H. Lee, A study on voice warning message volume control

technique and volume level preference analysis, Master's Thesis, Kyungpook National University, Republic of Korea, 2017. Retrieved from <http://www.riss.kr/link?id=T14438490>

- [7] Y. T. Choi, Measurement of differential amplifier circuit for acoustic signal with electret condenser microphone, Master's Thesis, Pohang University of Science and Technology, Republic of Korea, 2021. Retrieved from <http://www.riss.kr/link?id=T15779327>
- [8] Texas Instruments, TI Designs-Precision: Verified Design, Single-Supply, Electret Microphone Pre-Amplifier Reference

Design (TI Publication No. TIDU765), 2015 Retrieved from https://www.ti.com/lit/ug/tidu765/tidu765.pdf?ts=1714544085725&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F

- [9] Brüel&Kjær, *User Manula/Handbook: Microphone Handbook Volume 1 – Theory* (B&K Publication No. BE 1447-12), 2019. Retrieved from <https://www.bksv.com/media/doc/be1447.pdf>
- [10] TELEX. *Airman 850 Customer maintenance manual* (TELEX Publication No. F.01U.264.819), 2023. Retrieved from <https://products.telex.com/binary/F01U264819.PDF>



조 성 희 (Sung-hee Cho)

2020년 02월 : 경북대학교 전자공학부 (공학사)
2020년 01월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 선임연구원
※ 관심분야 : 항공전자, 아날로그 회로설계, 전력전자



정 성 재 (Seong-jae Jeong)

2018년 02월 : 부산대학교 전기공학과 (공학사)
2018년 07월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 선임연구원
※ 관심분야 : 항공전자, 항전체계 설계, 항공용SIL



김 민 선 (Min-seon Kim)

2021년 08월 : 한남대학교 전자공학과 (공학사)
2022년 04월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 선임연구원
※ 관심분야 : 항공전자, 디지털 회로설계, 아날로그 회로설계



남 덕 우 (Deok-woo Nam)

2020년 02월 : 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2020년 02월 ~ 2022년 02월 : 제이셋스테츠헤프코리아
2023년 02월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 연구원
※ 관심분야 : 항공전자, 디지털 회로설계, 아날로그 회로설계



정 다 나 (Da-na Jung)

2021년 08월 : 아주대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2007년 02월 ~ 2021년 12월 : 삼성전자
2022년 05월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 수석연구원
※ 관심분야 : 항공전자, 내장형 소프트웨어, 검증환경



김 준 형 (Jun-hyoung Kim)

2007년 02월 : 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학사)
2009년 08월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2009년 01월 ~ 현재 : LIG넥스원 항공연구소 수석연구원
※ 관심분야 : 항전시스템, 비행기록장치, 스마트캐빈시스템