

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2024.32.4.53>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

항공기 객실 시스템 제어 결함(10Base-T 이더넷) 분석

임인규*

Analysis of Aircraft Cabin System Control Faults (10Base-T Ethernet)

Inkyu Lim*

ABSTRACT

The Ethernet-based cabin system control function of the B777-300 aircraft intermittently occurred during operation. This defect may be caused by the installation of a new system and changes in configuration, but it occurred intermittently during operation, but it caused a lot of inconvenience to passengers and crews because it occurred continuously. The defect was reported to the aircraft manufacturer and the system manufacturer and continuous review measures were requested, but a series of repetitive problems were not resolved. Therefore, as the subject of operating the aircraft, various experimental attempts were made to resolve the defect of the aircraft cabin system control, and the post-flight operation results were analyzed. As a result, it was confirmed that the defect was resolved through one of the various test operations. In this paper, an experimental method for resolving defects that were not discovered during the system development test, evaluation, and verification process of the aircraft and system manufacturers and occurred during aircraft operation was introduced, and problems were raised regarding the follow-up processing of the evaluation and verification of the system manufacturer and the aircraft manufacturer.

Key Words : Cabin Control Panel(객실제어판넬), 10Base-T(이더넷), EMI(전자기파간섭), T&E(테스트&평가), B777(보잉777항공기)

1. 서 론

새로운 모델의 Cabin System이 장착된 Boeing 777 기종을 도입한 K 항공사는 운영 중(2018년부터 2022년 사이) 항공기 객실 온도, 조명 등을 제어하는 CCP(cabin control panel)의 간헐적인 결함으로 시스템 운영에 많은 어려움을 초래하였다.

CCP는 항공기의 각 구역(zone)에 총 4개가 장착되어 있다. 이 결함은 Zone 4의 R5(Door 5 Right Side) CCP에서만 간헐적으로 발생하였다. Table 1은 연구 대상 항공기의 현황과 도입 일자를 나타냈다. 또한, 해당 항공기 전체에서 나타난 결함 건수 및 기간별 결함 현황을 Fig. 1과 Fig. 2에 보였다.

결함이 발생한 약 4년 동안 해당 문제를 해결하기 위해 항공기 제작사(The Boeing Company) 및 CCP System 제작사(BAE Systems)와 많은 노력을 하였으나 근본적으로 해소되지 않았다.

따라서 반복되는 시스템 조작 불가에 대한 원인을 찾고자 항공기를 운영하는 현장에서 가능한 다양한 연구 방법으로 시도하였다.

Received: 08. Sep. 2024, Revised: 17. Oct. 2024,
Accepted: 02. Dec. 2024

* 한서대학교 항공정비학과 교수

연락처자 E-mail : iklim@hanseo.ac.kr

연락처자 주소 : 충남 태안군 남면 고퍜로 236-49 한서대학교 태안캠퍼스 항공기술교육센터303호

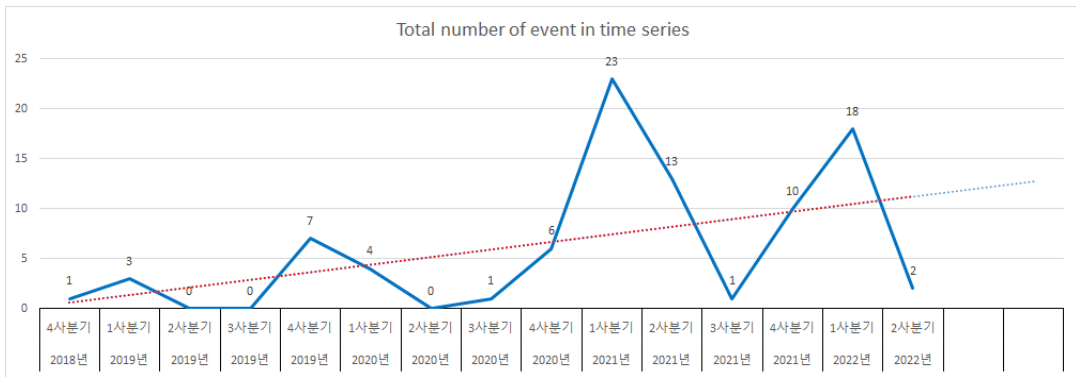


Fig. 1. Fault event quarterly status(period, season, flight)

Table 1. Effective aircraft

No	HL No	Delivery date
1	HLxxxA	2018-02-06
2	HLxxxB	2018-03-20
3	HLxxxC	2018-03-30
4	HLxxxD	2018-05-30
5	HLxxxE	2019-05-14
6	HLxxxF	2019-06-28

본 연구는 항공기 결함을 해소하고자 실험적으로 시도한 다양한 자료를 바탕으로 결함이 빈번한 특정 항공기 기번, 날짜, 비행편, 비행시간 등 요인들의 인과관계를 분석하였고, 10Base-T Ethernet 통신 프로토콜에 대한 항공기 객실 시스템 제어 성능 영향과 기내 EMI(electromagnetic interference)에 대한 Immunity를 고려하였다.

본 연구에서 연구자는 여러 실증연구 방법론을 적용하여 서론에서 제시된 항공기 결함을 해소하고자 하였다.

II. 본 론

2.1 시스템 개요

항공기 객실에서 조명이나 온도 조절을 위한 각 Zone 별 승객 서비스 시스템의 제어는 시스템 간 ARINC 629 버스에 연결되어 CSMU(cabin system management unit), PA/CI(passenger address/cabin interphone) Controller, ZMU(zone management unit)의 기능을 제어하도록 한다(Boeing, 2019).

CCP는 패널 버스(10Base-T bus)에서 ZMU로 명령

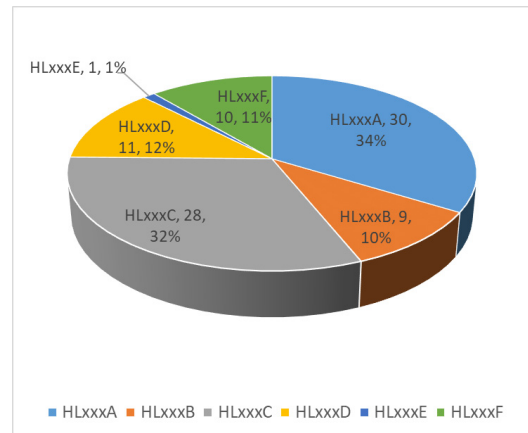


Fig. 2. Aircraft fault status

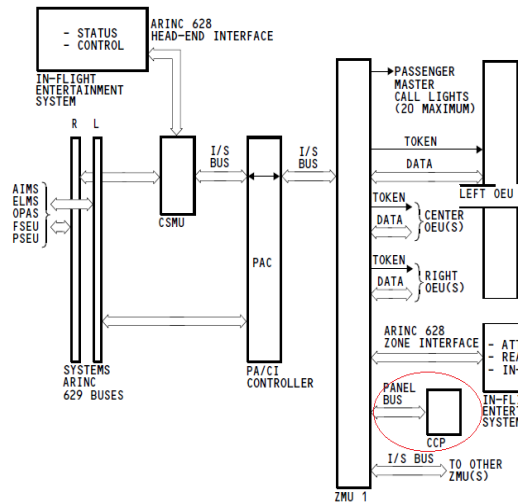
신호를 보내고, ZMU는 인터시스템(I/S) 버스로 명령과 데이터를 보내 EIA-485 버스를 통하여 각각의 컬럼에 장착된 OEU(overhead electronics units)을 제어한다(BAE Systems, 2019). Fig. 3와 Fig. 4는 ZMU와 CCP 간의 Control Bus 연결 구조를 보여준다.

CCP의 Shroud Cover를 분리한 내부 그림은 Fig. 5에 보였고, J1 Connector로 115VAC 전원과 10Base-T Data Bus가 연결된다.

Cabin 내 통신 프로토콜은 1)10Base-2의 인터시스템(Intersystem, I/S) 버스나 ARINC 629 버스, 2)10Base-T 그리고 EIA-485 버스 인터페이스로 되어 있다.

Table 2는 이더넷 10Base-T와 직렬 통신의 RS-485 표준에 대하여 비교 설명하였다.

- 1) 버스(topology) 방식의 동축케이블(Thin coaxial cable) 사용.
- 2) IEEE 802.3 Ethernet Standard(UTP: unshielded twisted pair).



출처: The Boeing 777-200/300 aircraft maintenance manual.

Fig. 3. CCP control

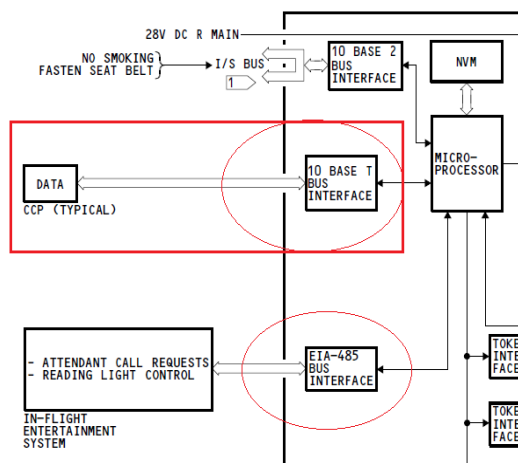
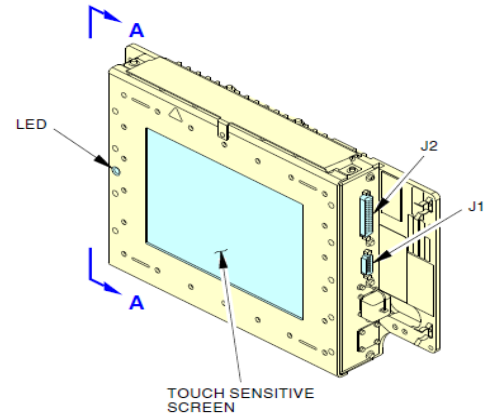


Fig. 4. ZMU functional description

10Base-T는 IEEE 802.3 표준의 하나로 이더넷 프레임을 사용하며, CSMA/CD(carrier sense multiple access with collision detection) 프로토콜을 통해 데이터 충돌을 관리한다. 10 Mbps의 전송속도로 100미터 이내의 거리에서 신호 전송이 가능한 네트워크로 twisted pair cable(비틀린 쌍선 케이블)를 이용하여 주로 로컬 영역 네트워크(LAN)에서 사용된다.

RS-485는 직렬 통신 시스템에 사용되는 표준으로 3)TIA-485(-A), 또는 EIA-485라고 한다.

3) Telecommunications Industry Association / Electronic Industries Alliance (TIA/EIA).



출처: The Boeing 777-200/300 aircraft maintenance manual.

Fig. 5. CCP

Table 2. 10Base-T Vs. RS-485

Feature	10Base-T	RS-485
Transmission speed	10 Mbps	Up to 10 Mbps
Media type	Twisted pair cables (typically CAT3 or CAT5)	Twisted pair or coaxial cables
Maximum distance	100 meters (approximately 328 feet)	1,200 meters (approximately 4,000 feet)
Connection method	RJ-45 connector	Various connectors (commonly terminal blocks)
Topology	Star topology	Linear bus topology
Device count	Up to 1,024 devices (with switch connections)	Up to 32 devices (theoretically over 128)
Signal transmission	Baseband signaling	Differential signaling
Collision management	Uses CSMA/CD protocol	No collision; supports master-slave configuration
Application areas	LANs, office networks, data centers	Industrial automation, PLCs, SCADA systems
Power supply	Requires separate power supply	Some devices can be powered from the bus

잡음에 대한 저항력이 뛰어나며 최대 1200미터까지의 거리에서 안정적인 데이터 전송이 가능하다. 또한, -7V에서 +12V의 전압 범위로 차동 신호를 사용하여

전송함으로써 신호 품질이 개선되는 특징이 있다.

Intersystem Bus는 Cabin service system의 주요 장비 간의 Primary Bus로서 각종 데이터를 주고받는다. Data 전송을 위해 IEEE 802.3 10base-2 data standard를 사용한다.

Fig. 6과 Fig. 7은 CCP 외부와 ZMU와 10BASE-T 인터페이스에 의해 제어되는 내부 기능의 Block Diagram을 보여준다(BAE Systems, 2019).

2.2 시스템 결함 내용 및 요인 분석

항공기 CCP 결함은 2018년 이후 도입 항공기에서 처음 발생하였고, 처음 운용 중에는 인지하지 못하였으나 반복적인 결함 발생으로 그 결함 횟수가 많아져서

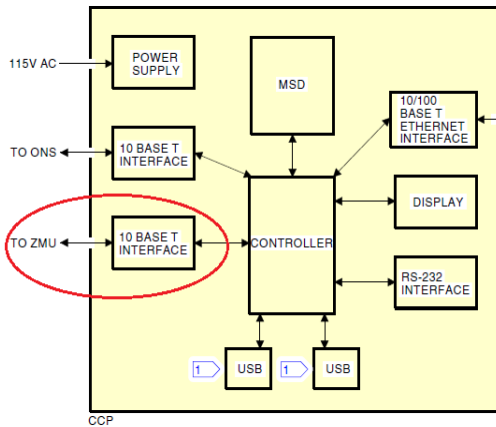


Fig. 6. CCP function

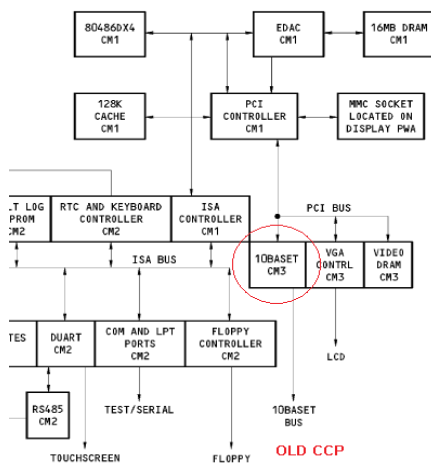


Fig. 7. CCP PCI interface comparison

결함자료를 분석한 결과, 해당 결함 확인이 가능하게 되었다(Fig. 1).

Cabin Management System에는 항공기의 각 Zone에 1개씩 총 4개의 CCP가 장착되어 있으나, 유독 Zone 4의 R5 CCP에서만 결함이 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구 방법으로 항공기 기번, 날짜, 비행편, 비행시간을 기준으로 결함 사례를 분석하였다. 이것은 환경에 대한 요인을 특정하기 위한 분석이었다.

우선 해당 기종의 2018년 2월 이전과 이후를 기준으로 항공기 객실 제어시스템 구성에 대한 제작사, 장비 모델 등 차이점을 검토하였다. 또한 Zone 4의 R5 Door 지역에 위치한 After Galley에 장착된 다양한 전기/전자 장비들에 대하여 점검하였다.

10Base-T 이더넷 통신에서 데이터 손실 사례는 신호 간섭(EMI)에 의한 손실이나 왜곡, Cable의 물리적 손상, Hub 등 네트워크 장비의 고장, 네트워크 설정 오류에 의한 충돌, 과도한 데이터 트래픽에 의한 손실, 그리고 극한의 온도나 습도에 의한 케이블에 영향을 줄 수 있다.

따라서 신호 간섭에 의한 영향을 염두에 두고, Galley 내 탑재된 전기기기의 영향으로 인한 원인 가능성 판단을 위해 이전 항공기 그룹에 대한 Galley Insert 탑재 장비를 비교하였다.

그 결과, 항공기 후방 Door 5 지역의 Galley Insert(전기/전자장비) 일부(OVEN)가 다른 제작사 모델로 변경되었고, CCP가 새로운 모델로 변경됨을 확인하였다(BAE Systems, 2019).

Galley에 장착되는 여러 전기기기 중에서 Steam

Oven이 Jamco 제작사에서 B/E Aerospace 제작사 Oven으로 변경된 것을 알 수 있었다(Jamco Corporation, 2023). Table 3에 Galley Insert의 차이점을 보였다.

또한, 항공기 운용 환경(온도/습도)에 따른 시스템 결함 가능성을 염두에 두고, 고고도 비행의 기내 환경에서 장시간 노출되는 상황이 해당 결함에 영향을 주는 지 분석하기 위해 비행 후 수집된 항공기 결함자료에서 해당 항공편의 비행 지역, 시간, 계절 등을 비교하였다. 일부 겨울철에 발생 빈도가 높다는 의견이 있으나, 실제 결함 자료 분석 결과는 특정 비행편이나 계절, 시간 등이 해당 항공기에 편중되지 않았다. 따라서 극한의 온도나 습도, 고도와 같은 비행 환경이 결함의 근본적인 원인이 아니라고 판단하였다.

결함 항공기의 시스템 구성, 부품, 모델 등 현황을 비교 분석한 결과, 시스템 내 CCP가 기존의 결함이 발생하지 않는 항공기 그룹에 비하여 Upgrade된 장비로 확인되었다.

동일한 제작사이지만 부품번호(Table 4)가 다른 것이 확인되어 해당 부품 CMM을 검토하였다(BAE Systems, 2015/2019).

New CCP에 사용된 10Base-T interface는 On-Board에 해당 Chip이 직접 장착되었고, 기존의 Old CCP(정상)는 별도의 PCI Interface을 이용하여 독립적으로 장착된 것을 알 수 있었다. 다만 이러한 이유가 본 결함과 어떠한 연관이 있는지는 확인할 수 없었다.

Table 3. Galley insert comparison

Location	Existing (jamco)	New (B/E aerospace)
5R-09 Steam oven	ASN2001-12	4323101-00-66-22
5R-10 Steam oven	ASN2001-1	4323100-00-66-22
5R-11 Steam oven	ASN2001-1	4323100-00-66-22

출처: Jamco CMM(component maintenance manual) model No. KEE77 ATA 23-39-95.

Table 4. CCP parts number (BAE systems)

Old CCP	New CCP
Part number 285W0863	Part number 115E7150

출처: BAE SYSTEM CMM(component maintenance manual) part number 285W0863, part number 115E7150.

Note: 10Base-T (twisted pair Ethernet) protocol engine is the AMD Am79C970A PCnet-PCI II Single Chip Full-Duplex Ethernet Controller(BAE Systems, 2015).

결함 요인 분석은 항공기 비행 후 점검 결과와 관련 문헌을 조사하여 검토하였다(Jamco Corporation, 2023; BAE Systems, 2015; BAE Systems, 2019).

2.3 실험적 운용 및 결과분석

결함 해결을 위한 노력으로 수행한 방법이다.

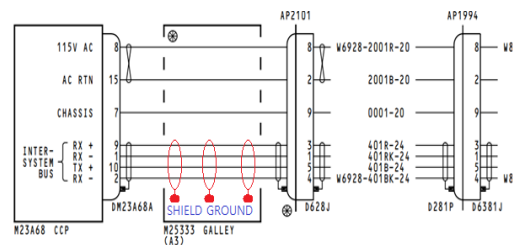
첫 번째 연구방법으로 Galley 상부에 흐르는 EMI의 영향을 고려하여 해당 Wire Harness에 Fig. 8과 같이 추가적인 Shield Ground 조치를 수행하였다(Boeing, 2019).

Bonding Jumper 장착 후 지상에서 확인할 때는 일시적으로 결함이 해소되었다. 비행 후 점검 결과도 비행 중 결함 발생 이력이 없어 문제가 해소된 것으로 알았으나, 약 1개월 후 재발되었다. 장기간 모니터링 결과, 근본적인 해소가 안 된 것으로 판단하여 Fig. 8과 같이 작업한 Shield Ground Strap은 제거하였다.

두 번째, 연구방법은 CCP를 결함 발생이 없는 항공기에 장착된 Old CCP로 교환하여 비교하는 것이었다. Old CCP 장착 항공기는 Galley Insert의 차이는 있지만 결함이 발생하지 않고 있었다. 그러나 CCP의 Physical 형태 변경 및 내부 Software의 Downgrade가 요구되어 비행 중 평가 운용이 불가하였다. 따라서 본 연구방법은 구상만 하고 시도되지 못했다.

마지막으로 수행한 연구방법은 ZMU와 CCP의 데이터 통신 Harness에 Fig. 9, Fig. 10과 같이 CCP 수신 측 Data Port에 End Resistor(Dummy 저항)를 장착하였다.

Table 5는 CCP J1에 연결된 Data Port Pin Connection을 보였다.



출처: The Boeing 777-200/300 wiring diagram manual.

Fig. 8. Shield ground, wire harness

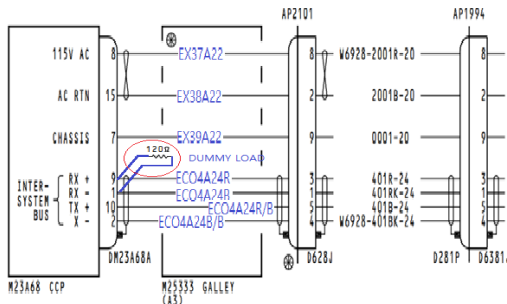


Fig. 9. Experiment 3. installing dummy load (120Ω) on the CCP data receiving port of the communication protocol (10Base-T)

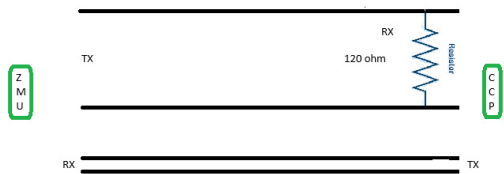


Fig. 10. End resistor

Table 5. CCP connection pin

CCP J1 10BASE-T pins	
Signal	Connector pin
TX+	J1-10
TX-	J1-2
RX+	J1-9
RX-	J1-1

처음 장착 후 모니터링한 항공기는 가장 많은 결함 기록을 보인 HL7xx4에서 수행하였고, Dummy 저항 장착(2022.2.25.)적용 후, 장기간 비행 중(약 40일간) 결과를 모니터링하였다. 그 결과 결함이 나타나지 않았다. 따라서, 추가 검증을 위해 해당 저항을 제거(2022.4.5.)하니 곧 바로 해당 결함이 발생되는 것을 확인하였다.

Table 6은 문제 해결을 위해 시도한 다양한 실험 방법에 대하여 정리하여 보았다.

여기 언급된 세 번째 연구방법, 즉 Dummy Resistor를 장착하는 방법으로 비행 후 평가를 수행한 결과, 더 이상 동일한 결함이 발생하지 않는 결과를 얻었다.

따라서 다른 항공기에도 같은 결과가 나오는지 확인을 위해 추가로 장착하여 비행 후 결과를 평가하였다.

Table 6. Method of the experimental

No	Subject	Refer	Remark
1	Intall shield ground	Fig. 8	Remain the fault
2	Replacement review CCP		Remain the fault
3	Install end resistor(dummy)	Fig. 9 & Fig. 10	Clear the fault
4	Remove the end resistor		Remain the fault
5	Wire harness test	Fig. 11 & Fig. 12	Improve the signal and noise

검증을 위한 항공기는 해당 결함 발생 항공기 중 다수의 결함 기록이 있는 항공기로서 HL7xx2에 Dummy 저항을 장착(2022.4.7.)하였다. 그리고 장기간 모니터링 결과, 이전 항공기와 마찬가지로 더 이상 결함 발생이 없었다.

Fig. 11은 실험실 테스트 결과로서 해당 시스템에서 사용된 동일한 Spec의 Wire Harness를 이용하여 End Resistor의 장착 여부에 따라 신호와 노이즈에 대한 크기의 변화를 분석하였다.

Fig. 12는 그 결과를 보였다.

End Resistor 장착 유무에 따라 신호 크기는 증가하는 것을 확인하였고, Noise는 DC 성분이 제거되는 것을 확인 할 수 있었다. 적절한 End Dummy 저항을 사용하면 임피던스 정합에 의한 신호 반사가 최소화되고, EMI에 의한 노이즈 저항력이 향상되어 신호의 품질이 개선됨으로서 수신 장치의 신호가 정확하게 해석된 것으로 판단되었다.

최종 수행한 실험적 조치 방법과 항공기 운영 중 모니터링한 결함 기록과 정비 수행 후 수집한 항공기 정비 자료를 토대로 항공기 제작사에 근본적인 문제 해소 방안을 요청하였다.

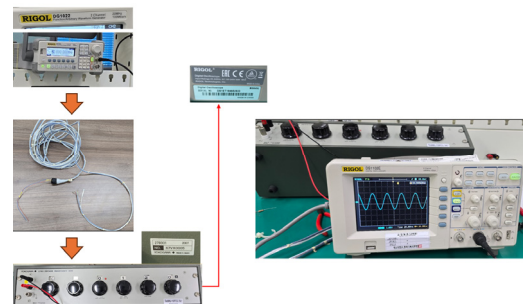


Fig. 11. Wire harness test set up

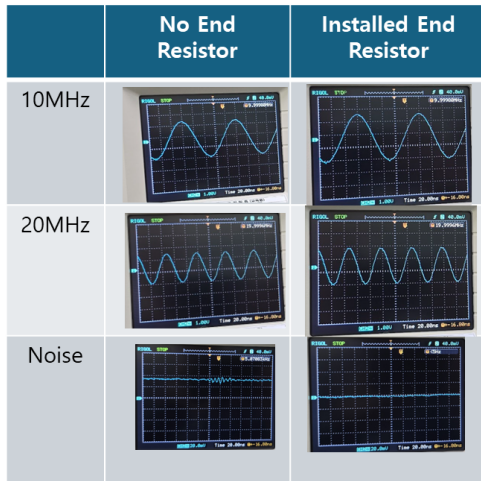


Fig. 12. Test result

그 결과, 항공기 제작사는 현재 발생하는 문제 해결을 위해 임시로 조치할 수 있도록 NTO(no technical objection) 근거 문서를 제공하여 항공기 정비 근거로 반영하였다.

III. 결 론

Boeing 777 항공기의 Cabin Control System은 객실 온도, 라이트 등 제어를 위하여 10Base-T 버스를 이용한 ZMU(zone management unit)와 CCP(cabin control panel) 간의 통신 프로토콜을 이용하여 제어 패널에서 객실 승무원이 조작하고 있다. 새로운 구성 버전의 항공기 도입 후 CCP 제어 패널의 간헐적 결함으로 인하여 조작 불능 상태가 지속되었으나, 이를 근본적으로 해소할 수 없었다.

지상에서 해당 시스템 전원의 OFF/ON 등으로 일시적인 복구는 되었으나, 비행 중 결함이 재발하였다. 이 문제에 대하여 많은 시행착오를 거쳐 실험적인 여러 방법을 시도하였고, 그 결과 결함이 발생된 Zone 4의 Door 5에 위치한 R5 CCP의 데이터 수신측에 Dummy 저항을 장착함으로써 문제가 해소되었다.

이러한 사례는 Boeing 777 객실 제어의 CCP 시스템 Upgrade 후 테스트 및 검증에 대한 불완전한 결과로 인식되며, 항공기 제작 서비스 전 충분한 검증과 이

후 항공기 운용 중 나타난 결과에 대한 보완 조치가 불충분했던 사례로 본다(FAA, 2020).

항공기 도입 후 운용 중 발생하는 결함에 대해서는 어떤 것이든지 원인 분석 책임에 대하여 항공기 제작사가 결함 해소를 위해 적극적으로 조치가 필요하나, 시스템 제작사와의 관계에서 서로 미진한 상태로 해결을 미루게 된다. 이는 항공기 운용사에 보다 많은 어려움을 지우게 한다. 따라서 시스템의 개발 시험, 평가 및 검증에 대한 방안으로 운용 중인 항공기의 피드백을 근거로 하여 보완이 요구된다.

이번 연구는 항공기 운용 중 실험적 연구방법을 적용하여 항공기가 비행 중에만 간헐적이면서 꾸준히 발생하는 고질적인 결함을 여러 가지 연구실험을 시도함으로써 문제를 해소하여 이를 소개하고자 한다.

후 기

본 논문은 2024년 춘계학술대회(한국항공운항학회)에 발표한 자료를 보완하여 작성하였습니다[6].

References

- Boeing, "777-200/300 aircraft maintenance manual 23-39-01", May 05/2019, pp.1-98.
- BAE Systems, "Cabin control panel module assembly CMM-23-39-50 Rev 27", NY 13760 USA, Nov 02/2015, pp.1-10.
- BAE Systems, "Cabin control panel module assembly CMM-23-39-60 Rev 8", NY 13760 USA, Jul 09/2019, pp.1-9.
- Jamco Corporation, "Galley CMM 25-39-95, Rev 11", Dec 25/2023, pp.97-98.
- FAA, Test and Evaluation Handbook, Dec 18/2020, pp.24-29.
- Lim, I. K., "777 aircraft door 5 cabin control panel fault", 2024 KSAA Spring Conference, The Korean Society of Aviation and Aeronautics, Korea Aerospace University, 2024, pp.223-226.