

## Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2018.26.4.116>  
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

## 완전분해 점검을 통한 장기운영 전투기 전기배선시스템의 신뢰성분석

이호용\*

### EWIS Reliability Analysis of Aging Fighter Aircraft through Teardown Inspection

Hoyong Lee\*

#### ABSTRACT

According to the incresement of aging aircraft, Republic of Korea Air Force (RoKAF) conducted a teardown inspection of aircraft's EWIS (electrical wiring interconnection system) to determine the status of deterioration and the influence of failure occurrences due to it. The inspected aircraft were the retired fighter jets that had been used for more than 40 years. By analyzing defect type and the defect tendency, RoKAF can establish the necessary measures for the usage extension of their fleet and furthermore, the analysis results can be used as a basic data for the preparation of it's aircraft aging. EWIS inspection was done throughout careful visual inspection technique by removing all the ducts and pipes located in the fuselage and wings. For the aircraft wiring where no damage was found, the elongation tests were performed to determine the deterioration of wiring according to the location of the aircraft. The connectors, which is the main cause of intermittent failure, were completely disassembled and inspected for internal damage such as corrosion, abrasion, and traces of foreign objects. The detected defects were classified into 4 severity levels based on the type of damage, and the classified defects were weighted according to the criticality which may affects to it's system to establish the action plan.

**Key Words** : Aging Aircraft (장기운영 항공기), Electric Wiring Interconnection System (전기배선계통), Teardown Inspection (정밀분해점검), Quantitative Condition Rating Methodology (정성적 상태분석기법), Reliability Analysis (신뢰성 분석)

#### 1. 서 론

전기배선계통(electrical wiring interconnection system, 이하 EWIS)은 인체의 혈관 역할을 하는

항공기 시스템으로, 항공기의 구성품 또는 시스템 간 데이터, 전원 등 에너지 및 신호를 전달하는 역할을 한다. 1996년 6월 TWA 800 항공기의 공중폭파사고 이래로 항공기 EWIS의 안전에 관한 관심이 꾸준히 증대되어 왔으며(NTSB, 2000), 미연방항공국(U.S. Federal Aviation Administration) 과 NTSB(National Transportation Safety Board)에서는 “항공기 EWIS의 안전은 국가의 안전문제 중 가장 시급하게 해결해야 할 문제”라고 선언하였다(Furse and Haupt, 2001).

Received : 22. Nov. 2018. Revised : 07. Dec. 2018.

Accepted : 27. Dec. 2018

\* 광주대학교 국방기술학부 조교수

연락처 E-mail : hylee@gwangju.ac.kr

연락처 주소 : 61743 광주시 남구 효덕로 277,

광주대학교

한국 공군에서도 2000년 이후 항공기 노후화와 관련된 크고 작은 사고들이 지속되어 왔으며, 이러한 항공기 장기운영에 따른 문제점들을 발췌하고 대책을 세우기 위하여 “장기운영 전투기 안정적 관리대책 추진과제”를 선정하여 1단계 작업으로 장기운영 전투기들의 현 상태를 점검하기 위한 항공기 완전분해 정밀점검을 2014년 6월~12월 간 수행하였다.

완전분해 정밀점검은 F-4, F-5 항공기 각각 1대씩 수행하였고, 두 항공기 모두 2014년 6월 퇴역하였으며, 퇴역까지의 비행시간은 각각 8,897시간, 7,364시간이었다. 완전분해 정밀점검은 비행사고 예방을 위하여 항공기 안전과 직결된 품목들을 육안, 기능, 분해점검 하였으며, 본 논문에서는 항공기 EWIS의 육안점검, 배선 연신율시험, 커넥터 정밀분해검사 및 정성적 상태분석 등 장기 사용된 EWIS에 대한 신뢰성 분석 내용을 다루고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1 EWIS 육안점검

#### 2.1.1 EWIS 일반

항공기 내부에는 수백 킬로미터의 배선이 존재하며, 항공기들이 장기 운용됨에 따라 배선에서는 피복 벗겨짐(chafing), 찢김(tearing), 오염 등과 같은 다양한 종류의 열화(degradation) 및 손상(damage)이 발생한다(이현석·유찬세·한창운·장중순, 2017). 비행전후 검사 혹은 주기검사 등을 통하여 주기적으로 배선의 손상여부를 검사하나, 좌석 하부 및 기체 내 도관을 지나는 배선 등 상당 부위들은 항공기 운영기간 중 검사가 불가능하다.

따라서 본 정밀점검에서는 육안검사에 방해가 되는 구조물들(배관, Grommet, Harness 등)을 모두 제거하고 전 배선의 이상여부를 점검하였으며, 결함의 판단 기준은 미 공군의 배선 수리 및 점검 기술교범 TO 1-1A-14을 기준으로 하여 판정하였다 (USAF, 2009).

### 2.1.2 EWIS 육안점검 결과

육안점검 결과 F-4 75건, F-5 73건의 결함이 발견되었으며, Fig 1, 2에서와 같이 결함은 주로 항공기 좌석 하부 및 엔진 장착부 내부에서 발견되었다. 결함의 유형은 배선 피복손상, Connector 및 Clamp 열화, 배선 오염 등의 순으로 발생하였다. Fig 3에 대표적인 결함 유형들을 예시하였고, 유형별 결함발생 현황은 Table 1에 정리하였다.



Fig 1. Defect distribution of F-4 EWIS



Fig 2. Defect distribution of F-5 EWIS



Fig 3. Defects type of aging aircraft EWIS

Table 1. EWIS defects by type

기종	배선 피복손상	Connector/ Clamp 열화	배선 오염	기 타	계
F-4	57건 (76%)	8건 (11%)	8건 (11%)	2건 (2%)	75건 (100%)
F-5	41건 (56%)	16건 (22%)	13건 (18%)	3건 (4%)	73건 (100%)

배선결함은 Fig 4와 같이 세부적으로 내부 도체(Conductor) 손상, 1차피복, 2차피복 결함으로 구분하였으며, 항공기별 결함발생 구성품 현황을 Fig 5, 6에 도시하였다. 점검항공기 모두 배선손상이 대부분을 차지하였고, 커넥터, 클램프 순으로 결함이 발생하였다.

결함 유형별로는 배선 간 마찰 및 작업 부주의에 의한 손상, 커넥터 및 클램프의 부식 및 열화, 배선오염 순으로 분석되었다. (Table 1)

## 2.2 배선 연신율 시험 및 커넥터 정밀 분해 점검

### 2.2.1 배선 연신율 시험

도태된 F-4/F-5 항공기에 사용된 항공용 배선은 일명 캡톤 배선(Kapton wire)으로서, 듀폰(DuPont)사에서 1960년대 개발한 Polyimide 계열의 피복제를 사용하여 마모에 강하고 온도안정성이 있어 항공용 배선으로 널리 사용되어 왔으나, 시간이 지남에 따라 피복제가 가수분해 현상에 의해 경화되어 쉽게 갈라지고 벗겨져 사고의 위험이 높아 현재는 항공기에 사용이 되지 않고 있다(FAA, 2008). 항공기에 사용되는 배선 피복의 노후화는 사용환경(온도, 습도)에 민감하게 변화하며, 진동환경과 결합하게 되면 피복이 균열하고 박리가 발생하여, 사고에 연결되는 아킹(arcing)이 발생할 수 있다.

연신율(%)이란 파단 시까지 재료가 늘어난 길이를 원 길이로 나눈 값의 백분율으로써, 연신율 측정을 통하여 배선 피복의 경화정도를 상대적으로 비교할 수 있다. 이번 시험에서는 항공기 기종, 위치 및 전선번호(두께)별 손상되지 않은 배선을 이용하여 연신율을 측정하였으며, 실험을 100%로 하여 상대적인 비교를 하였다. 시험은 항공용 배선의 표준 시험규격인 미연방규격 FED-STD-228A(DLA, 2014)에 의거 진행하였다.



Fig 4. Classification of wire defect

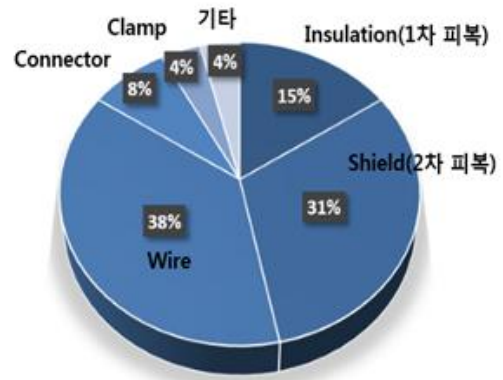


Fig 5. Defective component distribution of F-4 EWIS

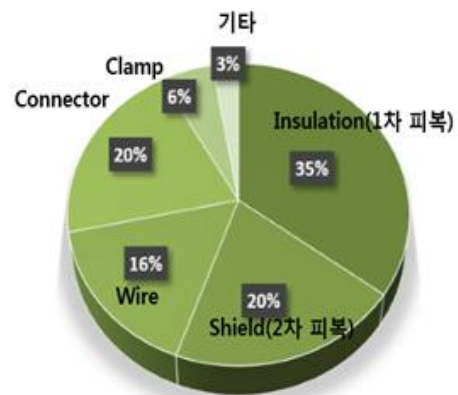


Fig 6. Defective component distribution of F-5 EWIS

20번 규격 배선은 신품대비 33~91%의 연신율이 측정되었으며, 날개 부위에 위치한 배선의 연신율 감소가 두드러지게 나타났다 (Fig 7).

22번 규격의 배선은 F-4 및 F-5 항공기 전 부위에 광범위하게 사용되고 있으며, F-4 항공기의 경우 신품 대비 32~66%, F-5 항공기의 경우 12~30%의 연신율이 측정되어 F-5 항공기의 배선 피복의 경화가 더 많이 진행된 것으로 판단된다. 또한 날개, 엔진, 전방장비실 등 가혹한 환경(습도 및 온도변화)에 노출된 부위에 위치한 배선의 노후도(경화)가 높은 것으로 나타났다(Fig 8, 9).

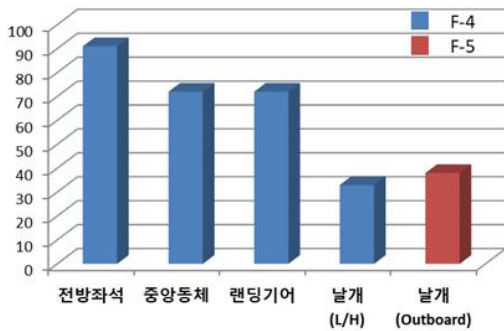


Fig 7. Elongation test result of #20 Wire

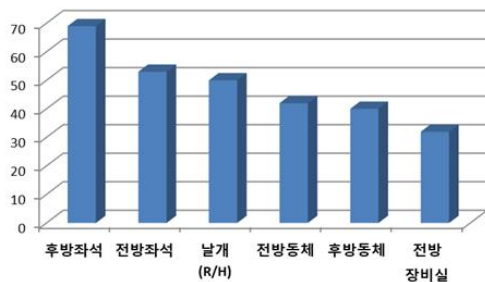


Fig 8. Elongation test result of #22 Wire (F-4)

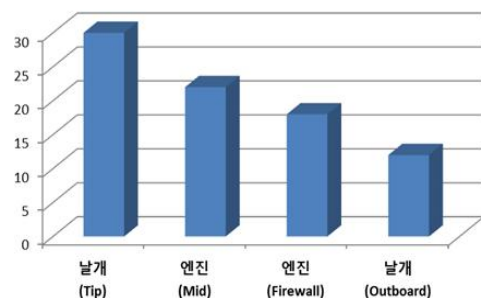


Fig 9. Elongation test result of #22 Wire (F-5)

## 2.2.2 커넥터 정밀 분해점검

배선 간 혹은 배선-장비 간 연결 역할을 하는 Connector는 전자제품에 있어서 간헐결함 (intermittent failure)을 발생하게 하는 주된 부품이다(Qi, Ganesan and Pecht, 2008 & H. Lee, 2018). 커넥터는 마운팅 플렌지(Mounting Flange), 리셉터클 쉘(Receptacle Shell), 접촉핀(Contact Pin), 씰(Seal), 배선(Wire) 등으로 이루어져 있으며, 커넥터의 전기적 성능과 관계된 내부 접촉핀, 씰, 그로밋, 배선의 부식, 변형, 오염, 습기침투 여부를 중점적으로 점검하였다. 도대 항공기 부위별로 수집된 21개의 커넥터를 이용하여 정밀 상태분석을 진행하였다.

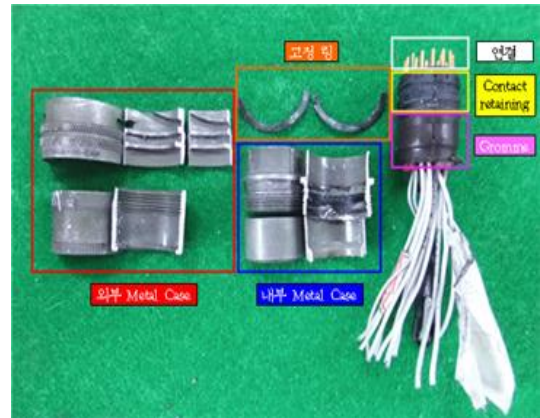


Fig 10. Example of a connector inspection

커넥터 정밀 분해점검 결과, 전투기의 장기 운영에 따라 외부 케이스의 부식, 마모, 오염 및 변색 등 노후화 현상은 존재하였으나, 내부 구성품의 성능저하 및 이물질 침투흔적은 발견되지 않았다. 또한 반복적 장탈착 작업에 의해 마찰이 지속적으로 발생하는 내부 접촉핀은 내부 구속부품(contact retaining, grommet)에 단단히 고정되어 있었으며, 간헐결함 발생을 나타내는 아킹 흔적 및 주석수염(tin whisker)은 발견되지 않았다.

Table 2. Criteria for condition code assignment of defect

코드	상 태	세 부 설명
청색(B)	결함 없음	배선의 피복이 밝고 광택을 내는 상태임
녹색(G)	2차피복(Sheath) 손상	주변과의 마찰, 접촉 등으로 인한 손상
	하네스의 검댕(Soot) 흔적	내부 배선의 마멸(Abrasion) 촉진
	피복의 경미한 마모	배선의 경미한 마모(Wear) 및 색상변화(Dicoloration)
	배선 스플라이스 작업불량	스플라이스(splice) 단차작업 불량 및 꼬임
노란색 (Y)	배선 접촉	채핑을 유발할 수 있는 배선-구조물 간 접촉
	외피 주름	응력집중을 유발하는 외피의 주름현상
	핀 슬롯(Pin Slot) 확장	과도한 인장에 의한 커넥터 핀 슬롯의 확장상태
	과도하게 꺾인 배선	응력집중을 유발하는 과도한 배선 꺾임현상
	작동유 흔적	부식을 유발하는 커넥터 및 배선 주변 작동유 흔적
빨간색 (R)	접지부 손상	접지부(Ground) 터미널 및 와이어 손상
	배선 손상	균열, 탄흔적, 채핑 등 교체가 필요한 피복 손상
	열손상 흔적	열손상에 의한 배선다발의 변색
	스플라이스 냉납	부적절한 스플라이스 작업에 의한 손상
	배선의 도체 외부노출	단락을 유발할 수 있는 배선의 노출

### 2.3 상태기반 평가

운영 중인 항공기 노후 배선에 대한 관리대책을 마련하기 위하여 도태항공기에서 발췌된 배선결함의 상태를 정성적으로 평가하였다. 정성적 상태분석기법(qualitative condition rating methodology, QCRM)은 결함 정도별 가중치를 부여하여, 결함의 정도를 계량화하기 위한 도구로, 미공군 장기운영항공기 배선계통 상태평가에 사용되었다 (Kruppa, 2010). 배선결함은 상태에 따라 파란색(B), 녹색(G), 노란색(Y), 적색(R) 코드로 부여하였으며, 코드 부여를 위한 세부 기준은 Table 2에 정리하였다.

상태기반 평가 결과 상대적으로 결함 심각도가 높은 (R)등급의 결함은 F-4 항공기 27건(36%), F-5 항공기 13건(18%)으로 평가되었으며, 주기검사시 접근이 어려운 구역의 (R)등급 결함은 F-4 항공기 14건(64%), F-5 항공기 4건(31%)으로 분석되었다(Fig. 11, 12).

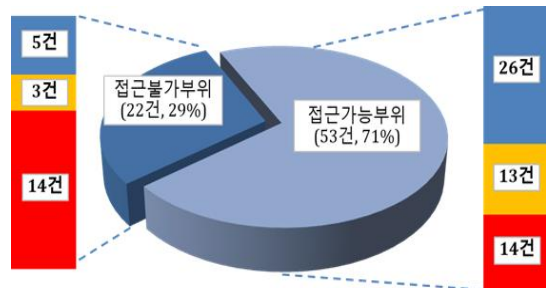


Fig 11. Quantitative condition rating result (F-4)

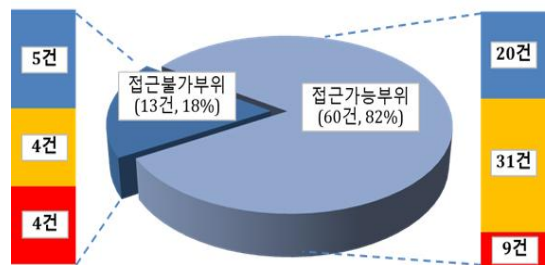


Fig 12. Quantitative condition rating result (F-5)

### III. 결 론

전투기 장기사용에 따른 전기배선시스템의 노후화 정도를 판단하기 위하여 도태항공기를 활용하여 정밀분해점검을 수행하고, 그 결과를 정성적으로 분석하였다.

전투기 내부 EWIS의 육안점검 결과 F-4, F-5 전투기 각각 75건, 73건의 결함을 발견하였으며, 그 중 주기검사를 통해 발견을 할 수 없는 결함은 각각 22건, 13건이 확인되었다. 주기검사 접근불가 부위에서 발견된 결함 중 F-4 14건, F-5 4건의 결함이 (R)등급으로, 즉각적인 조치가 필요한 상태였다. 커넥터 분해점검 결과 커넥터의 전기적 특성을 저하시킬 수 있는 이상 징후는 발견하지 못하였으나, 장기운영 전투기의 배선이 신품과 비교하여 경화가 진행된 것을 확인할 수 있었다.

공군에서는 본 연구결과를 기반으로 하여 동일 기종 전투기의 연장운영과 유사 노후항공기의 장기운영에 필요한 조치들을 수립하여 시행하고 있다.

### 후 기

본 논문은 2018년도 광주대학교 교내 연구비 지원에 의하여 작성되었으며, 2018년 한국항공운항학회 추계학술대회 발표논문을 수정 및 보완하였습니다.

### Reference

- [1] NTSB, "Aircraft Accident Report: In-flight breakup over the Atlantic Ocean Trans World Airlines Flight 800", NTSB/AAR-00/03, Aug, 2000.
- [2] C. Furse and R. Haupt, "Down to the wire", IEEE spectrum, February, 2001, pp.34-39.
- [3] H. Lee, C. Yoo, C. Han and J. Jang, "Study on Intermittent Failure occurring in Aged Aircraft Wiring", Spring Conference of the Korean Society of Mechanical Engineers

Reliability Engineering Division, Jeju, Korea, February 21-23, 2018

- [4] USAF, "Installation and repair practices: Aircraft electric and electronic wiring", TO 1-1A-14, 2009.
- [5] FAA, "Aircraft Wiring Degradatio Study", DOT/FAA/AR-08/2, Jan, 2008.
- [6] DLA, "Federal Standard: Test Methods for Cables and Wire, Insulated", FED-STD-228A, Apr, 2014.
- [7] Haiyu Qi, Sanka Ganesan, Michael Pecht, "No-fault-found and intermittent failures in electronic products", Microelectronics Reliability, No. 48, 2008, pp. 663-674.
- [8] H. Lee, "A Study on the Improvement of the Domestic Maintenance Capability Development System of Military for Overseas Maintenance Items through the Case Study of Intermittent Failure of an Avionics", Journal of the Korea Society for Aviation and Aeronautics, Vol. 26, No. 2, Jun, 2018, pp. 68~75.
- [9] Alan Kruppa, "Aging wire characterization: Qualitative condition rating methodology", AA&S conference 2010, Austin, May 10-13, 2010.