

## 항공기 배선 결함 식별을 위한 TDR(시간영역 반사계) 활용 적합성

# Validation on Usability of Time Domain Reflectometer for Identifying Defected Aircraft Wiring

김수웅<sup>1</sup> · 이장룡<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>대한항공 정비본부

<sup>2</sup>한국항공대학교 항공운항학과

Su-Woong Kim<sup>1</sup> · Jang-Ryong Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Maintenance & Engineering Division, Korean Air, Seoul, 07505, Korea

<sup>2</sup>Department of Aeronautical Science and Flight Operations, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

### [요약]

배선 결함은 안전한 항공기 운항에 커다란 영향을 미친다. 그러나 배선 결함의 고장탐구 과정은 광범위하고 복잡한 배선 시스템과 설치 위치 때문에 매우 어렵다. 최근 국내 항공사에 배선 결함 고장탐구를 효과적으로 할 수 있게 해주는 시간영역 반사계(TDR; time domain reflectometer) 장비가 소개되었다. 하지만 TDR의 효과와 유용성이 검증되지 않아 대부분의 항공사 정비 부서에서 TDR은 실질적으로 거의 사용되고 있지 않다. 본 연구는 TDR이 항공기 배선에서 결함의 위치 및 유형을 식별하여 문제 해결에 적용될 수 있는지 여부를 결정하기 위해 수행되었다. 실제 항공기에 적용되는 다양한 전선 및 연결부품을 이용한 여러 실험 계획을 수립하여 관찰된 실험 결과를 장비 운용 가이드에서 제공된 데이터와 비교하였다. 실험 결과, 양쪽의 데이터가 유사함을 볼 수 있었으며 TDR은 실제 항공기 배선 결함 고장탐구시 활용 적합성이 있음을 확인하였다.

### [Abstract]

Wiring defect is a major concern for safe aircraft operations. However, troubleshooting process of a wiring defect is very difficult due to extensive and complex wiring system and installed location. Recently, time domain reflectometer (TDR) equipment that enables effective defected wiring troubleshooting has been introduced. Unfortunately, TDRs have not practically adopted by most of airlines' maintenance departments because the effectiveness and usefulness of TDRs have not been verified. This study was conducted to verify if TDRs can identify the location and type of defected aircraft wiring, and whether they can be applied for troubleshooting purposes. Experimental plan was established by using various wires and connections applied to actual aircraft and the observed results were compared with the TDR operation guide. The usability of the TDR in actual aircraft wiring defect detection may be acceptable as the experimental results showed similar results to the TDR operation guide.

**Key word** : Aircraft wiring, EWIS, TDR, Wiring defect, Velocity factor.

<https://doi.org/10.12673/jant.2020.24.3.205>



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 3 June 2020; Revised 4 June 2020

Accepted (Publication) 29 June 2020 (30 June 2020)

\*Corresponding Author : Jang-Ryong Lee

Tel: +82-2-2209-3671

E-mail: jrherky@kau.ac.kr

### 1. 서론

1996년 7월 17일 승객 및 승무원 230명을 태우고 뉴욕 존 F. 케네디 공항을 출발한 TWA flight 800편은 이륙 12분만에 기내 전기 누전에 의한 연료탱크 폭발로 추락하였다[1].

또한 1998년 9월 2일 스위스 제네바로 향하던 Swiss Air 111편은 조종석 천장 누전에 의한 화재로 승객 및 승무원 229명이 사망하였다. 두 사고 모두 항공기 배선 결함이 사고의 직접적인 원인이었다[2].

하지만 항공업계에서는 이 2건의 비행사고가 발생하기 이전까지는 항공기 배선 결함에 대해 큰 관심을 가지지 않았다. 이후 국제 항공업계는 ATSRAC (aging transport systems rule-making advisory committee)를 설립하여 노후 항공기에 대한 시스템 점검 강화 분야들을 제시하였는데, 그 중 EWIS (electrical wiring interconnection system)는 가장 중요한 점검분야로 손꼽히고 있다[3].

이후 미연방항공국 (FAA; Federal Aviation Administration)은 Aircraft electrical wiring interconnection systems training program을 수립하였고[4], 미 NTSB (national transportation safety board)는 "항공기 EWIS (electrical wiring interconnection system)의 안전이 국가 안전문제 중 가장 시급하게 해결해야 할 문제" 라고 강조하였다[5].

항공기 배선은 인체의 신경조직과 같은 역할을 하는 계통으로써 항공기를 제어하는 신호 및 각 시스템에 대한 정보 전달, 전력 전달 등의 기능을 담당한다.

Lee(2018)는 공군 전투기 F-4 및 F-5의 계통 점검 결과 식별한 배선 결함들을 유형에 따라 통계 및 분석한 결과 아래 표 1과 같이 배선 피복손상, Connector 및 Clamp 열화, 배선 오염 등의 순으로 발생했다고 보고하였다. 이러한 결함 유형 중 배선 결함들은 세부적으로 내부도체, 1차 피복, 2차피복 손상으로 구분하였으며(그림 2), 두 전투기에 대한 종합적인 결함 유형별 현황은 아래 그림 3, 4와 같다[6].

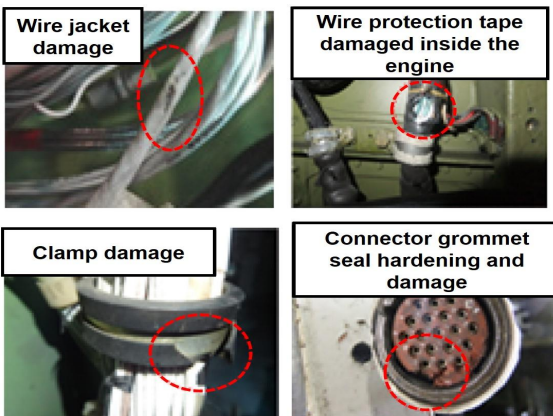


그림 1. 장기 운영 항공기 EWIS의 결함 종류 (Lee, 2018)  
Fig. 1. Defects type of aging aircraft EWIS

표 1. EWIS 결함 종류별 발생 건수 (Lee, 2018)

Table 1. Number of occurrences by type of EWIS defect

Aircraft	Wire jacket damage	Connector / Clamp decomposition	Wire contamination	Others
F-4	57(76%)	8(11%)	8(11%)	2(2%)
F-5	41(56%)	13(18%)	13(18%)	3(4%)

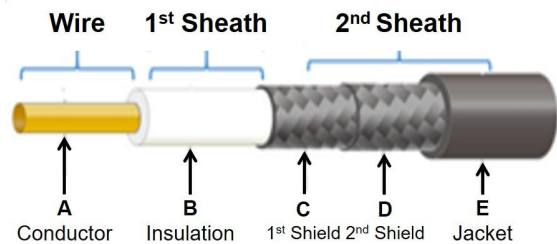


그림 2. 전선 결함의 분류 (Lee, 2018)

Fig. 2. Classification of wire defect

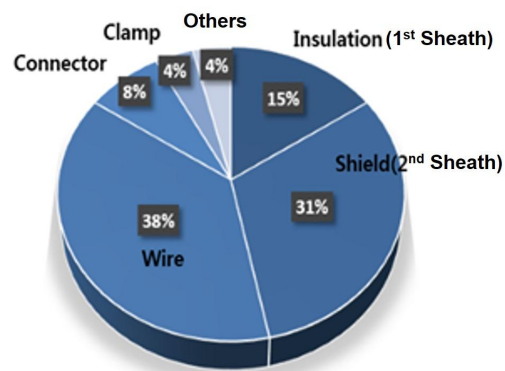


그림 3. F-4 EWIS의 결함 성분 분포 (Lee, 2018)

Fig. 3. Defective component distribution of F-4 EWIS

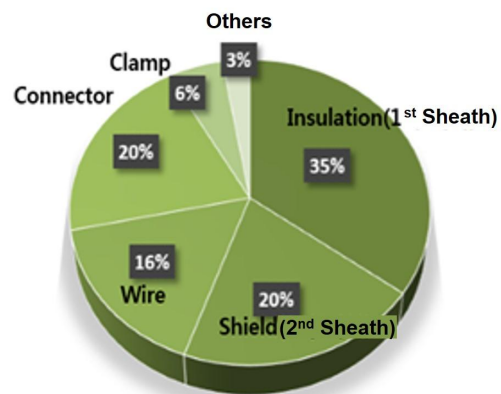


그림 4. F-5 EWIS의 결함 성분 분포 (Lee, 2018)

Fig. 4. Defective component distribution of F-5 EWIS

국내 민간 항공사에서도 오랜 기간 이러한 유형의 항공기 배선 결함들이 발생하였는데 ATSRAC(2000)은 Transport aircraft intrusive inspection 최종 보고서를 통해 배선 결함 유발원인으로 국소 열 손상, 절연 불량, 단열제 문제, 아킹(Arcing), 절연피복의 탈락이나 긁힘(Chafing), 피복의 절연저항 감소, 연결 커넥터의 손상 등을 언급하였다[7].

국내 K 항공사의 최근 5년간 정비관리시스템에 보고된 항공기 배선 결함 사례들을 종합하여 정리해 본 결과 배선 결함 건수는 아래 그림 5와 같이 해마다 증가되는 추세이고, 이 중에서 대표적 배선 결함의 유형인 개방(Open)과 단락(Short) 현상 또한 그림 6과 같이 매년 증가되고 있다[8].

항공기 배선결함의 고장탐구 진행시 가장 큰 애로점은 결함 위치 식별이 어렵고, 결함 위치를 식별하였다 하더라도 배선들이 항공기 객실 천장, 벽, 화물실 바닥, 동체면 금속 패널과 패널 사이에 위치하고 있기 때문에 접근이 힘들며, 대부분의 배선들은 여러개의 전선이 함께 묶여있는 번들(Bundle) 형태로 존재하고 있어 여러 가닥의 전선들 가운데 결함을 가지고 있는 하나의 배선을 찾아내는 것이 쉽지 않다는 것이다.

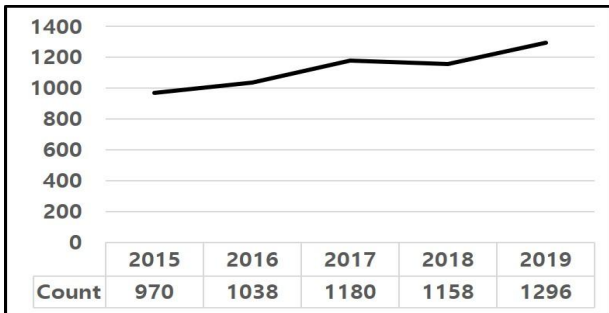


그림 5. K 항공사 연간 항공기 배선 결함 추세 (2015~2019년)  
Fig. 5. K Airline annual aircraft faulty wiring trend (2015~2019)

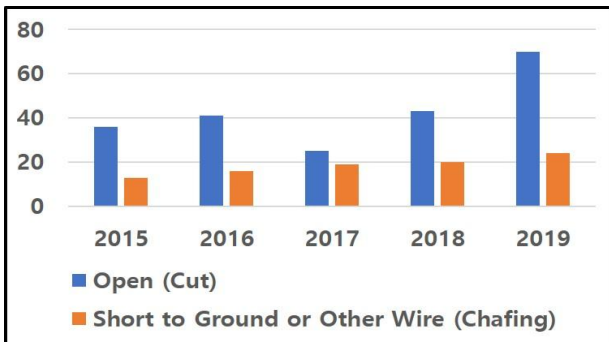


그림 6. K 항공사 연간 개방이나 단락 상태의 항공기 배선 결함 추세  
Fig. 6. K Airline annual aircraft faulty wiring in open or short circuit condition trend

최근 국내 K 항공사에서는 B737 MAX 신규 도입 계획에 따라 정비지원을 위한 예비 장비들이 입고되었는데 그 중 항공기

배선 결함 관련 효율적인 고장탐구 목적의 시간영역반사계(TDR; time domain reflectometer) 장비가 소개되었다.

하지만 이 장비는 아직 항공기 결함에 대한 적합성이 검증되지 않았고, 활용 사례가 거의 없어 사용자가 결함 배선에 대해 측정된 데이터를 분석할 시 결함 부위를 판단하기 어려울 수 있으며 자칫 잘못된 부분을 특정하여 불필요한 시간 낭비와 인력 소모가 발생할 가능성이 존재한다.

따라서 본 연구는 국내 항공기에 사용되는 실제 전선과 연결 부품들로 다양한 연결 방법 및 결함 상황들을 연출한 모의실험을 진행하고 측정 결과 분석을 통해 항공기 정비현장에서 배선 결함 고장탐구시 결함 위치 및 결함의 종류 식별을 위한 TDR 활용 적합성을 검증하고자 하였다.

## II. 현 실태 분석 및 TDR 활용 적합성 검증

### 2-1 항공기 운항 지연 및 결항 실태

인천국제항공사가 제공한 최근 5년간 인천국제공항의 지연 및 결항 누적 통계 자료에 따르면 비정상 운항 발생의 원인 중 항공기(A/C; aircraft) 결함은 전체의 5.2%를 차지한다. 또한 A/C 결함이 간접 원인이 되어 전편 항공기의 지연 및 결항으로 다음 연결편 항공기 운항이 지연되는 A/C 접속의 문제는 전체의 53.3%에 해당한다(그림 7)[9].

### 2-2 EWIS 결함의 종류 및 고장탐구 방법

FAA가 정의하는 EWIS 결함의 종류는 크게 개방(Open), 접지와의 단락(Short to ground), 다른 전선과의 단락(Wire to wire short)으로 구분된다[10].

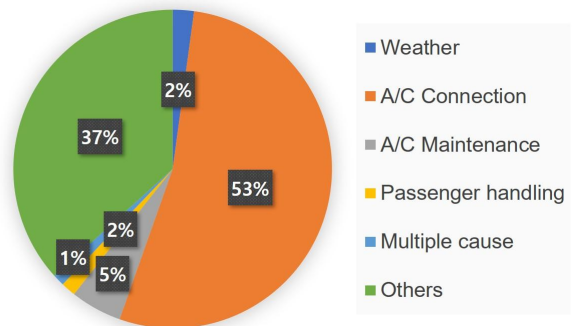


그림 7. 인천국제공항에서의 항공기 지연 원인 (2015~2019년)  
Fig. 7. Reasons of delayed airplane operations at Incheon international airport (2015~2019)

EWIS 상태 확인시 장비를 사용할 수 있는데, 장비를 통해 측정하고 확인하는 항목으로는 전압/전류/저항, 전선의 연속성(Continuity), 전선의 차폐성(Insulation), 접지와의 의도하지 않은 접촉(Short to ground), 루프저항(Loop resistance) 등이 있

다[11].

TDR의 활용은 FAA가 언급한 EWIS 상태를 확인하는 과정 중 장비를 사용하는 항목에 해당되고, 해당 EWIS에 문제가 있을 경우 어떤 결함이 전선의 어느 위치에 존재하는지 감지하여 알려주는 목적으로 사용될 수 있다.

**2-3 TDR(Time Domain Reflectometer)**

**1) TDR의 작동 원리**

TDR은 정보통신 분야에서 통신장비의 점검 방법으로 많이 사용되고 있으며 국내시장의 경우 미국의 AEA, Tektronix, Fluke사(社) 등이 공급하고 있다[12].

TDR은 그림 8에서 보여주는 것처럼 금속 전선(Wire) 및 케이블(Cable)에 측정 목적 신호를 전송한 다음 되돌아오는 전파의 임피던스 값을 감지하는 장비로써, 전선 상의 결함이 반사되어 돌아오는 신호의 임피던스 크기에 영향을 주는 특성을 이용하여 측정 지점으로부터 얼마나 떨어진 위치에 배선 결함이 존재하는지 판단 할 수 있도록 시간을 측정하고 이것을 전선 상의 거리로 변환하여 그래프로 표현한다.

결함이 없는 양호한 전선의 길이를 따라 측정된 임피던스 (Impedance)를 특성 임피던스(Z0)라 명명하고 항공기에 사용되는 전선 제작시 종류에 따라 표 2와 같이 사용 용도가 지정 된다[13].

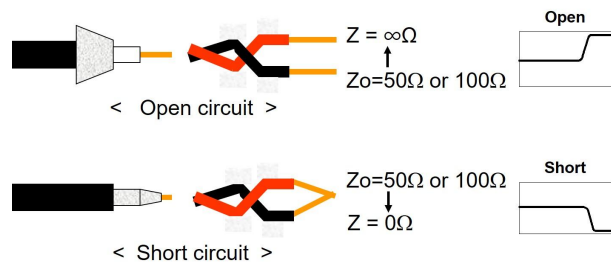
TDR을 사용하여 결함 배선 위치를 측정할 때 표시되는 판독치는 전선을 따라 각 데이터 지점의 실제 임피던스(Z)가 된다. 따라서 TDR은 전선에 결함이 없고 양호하면 Z0에 가깝거나 Z0 임피던스 측정값을 표시한다.

만약 결함이 발생한 전선이라면 TDR은 임피던스가 Z0에서 벗어난 측정값을 표시할 것인데, 아래 그림 9는 전선 임피던스에 대한 개방(Open) 혹은 단락(Short)의 영향을 보여주고 있다.

**표 2.** 항공기 배선에 사용되는 전선 종류별 특징

**Table 2.** Airframe wires used in aircraft electrical installations

Applicable Specification	Title/Description
MIL-DTL-16878	Wire, Electrical, Insulated, General specification for
MIL-DTL-25038	Wire, Electrical, High temperature and fire resistant, Aircraft
MIL-DTL-81381	Wire, Electric, Polyimide-Insulated, Copper and copper alloy
MIL-DTL-8777	Wire, Electrical, Silicone-Insulated, Copper, 600V, 200°C
MIL-W-22759	Wire, Electric, Fluoropolymer Insulated, Copper or copper alloy
MIL-W-7072 (Cancelled)	Wire, Electric, 600 Volt, Aluminium, Aircraft, General specification for
SAE-AS-81044A	Wire, Electric, Crosslinked polyalkene, Crosslinked alkane-imide, or polyarylene Insulated, Copper or copper alloy



**그림 9.** 개방이나 단락 상태인 경우 TDR 측정값의 변화  
**Fig. 9.** Variation of the TDR readings when the wires are open or shorted

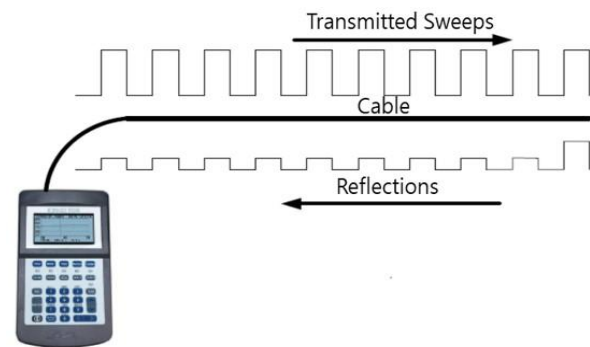
즉, 측정값이 수평 형태인 정상 임피던스 값에서 전선이 개방 상태가 되면 최대 ∞ ohm(무한대)의 값을 표시하고, 전선이 단락 상태가 되면 0 ohm의 값을 지시하게 되는 것이다.

**2) TDR의 거리 측정 방식**

전선의 속도계수 (VF; velocity factor)는 제조시에 설계되며, 진공상태에서 빛의 속도[c]와 비교한 수치로 표현된다. 따라서 0.677c의 VF는 전송된 파동이 진공상태에서 광속의 67.7%로 케이블을 따라 이동한다는 것을 의미한다. TDR은 반사된 신호의 지연된 시간을 측정하므로 특정 반사 지점까지의 거리는 아래 수식(1)과 같이 표현된다.

$$\frac{Time}{2} \times Velocity = Distance \tag{1}$$

여기에서 Time은 왕복하는데 걸린 시간을 측정하는 것이기 때문에 2로 나누고 전선의 VF를 초당 ft 또는 m 단위로 곱함으로써



**그림 8.** TDR의 작동 개념  
**Fig. 8.** Concept of TDR operation

써 특정 반사지점까지의 거리를 얻을 수 있다.

**2-4 배선 결함 고장탐구시 TDR 활용 적합성 검증**

항공기 정비 현장에서 접할 수 있는 배선 결함의 종류는 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫번째는 전선 연결부위에 대한 부적절한 연결수단의 사용이나 체결이고, 두번째는 전선 내부 어느 한 지점에서 배선 이상 현상이 발생하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 TDR이 배선 연결수단별 이상 유무 측정을 정확히 하는지, 그리고 전선 내부의 이상 현상 발생 지점을 식별하는지를 실험을 통해 측정하였고, 그 결과를 TDR 제작사가 TDR 운용 가이드에 제시한 자료를 비교하여 검증하였다[14].

**1) 배선 연결수단별 측정값 검증**

항공기 배선은 그 용도가 광범위하여 다양한 배선 연결수단을 이용하는데, 대표적 연결 수단들은 아래 그림 10과 같이 Pin과 Socket, 절연 스플라이스(Insulated butt splice), 밀봉 스플라이스(Sealed butt splice) 등이 있다.

TDR은 매질의 유전율에 의한 VF의 변화를 감지하는 원리로 작동하기 때문에 각종 배선 연결수단들이 TDR 측정값에 어떤 영향을 미치는지를 확인하기 위해 1피트의 TDR 장비 테스트용 케이블에 끝부분이 개방(Open) 상태인 동일한 6피트짜리 전선을 연결했다. 여기서 이 전선에 아무런 연결수단을 사용하지 않은 단선 상태의 측정값과 Pin과 Socket, 절연 스플라이스(Insulated butt splice), 밀봉 스플라이스(Sealed butt splice) 등 3가지 방식을 사용한 상태 각각의 측정값을 비교하여 연결수단에 따른 영향을 확인하였다.

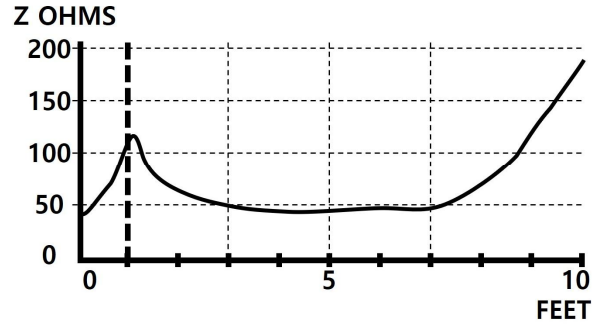
아래 그림 11에서 x축의 0피트부터 1피트까지는 장비의 테스트 케이블 길이이고, 실제 측정 목적으로 사용한 전선은 그래프상 1피트부터 7피트 구간이며, 3피트와 5피트 지점이 전선 연결수단이 사용된 곳이다.

측정결과, Pin과 Socket으로 전선을 연결한 경우에는 연결부위에 기준이 되는 단선상태(그림 11-①)와 거의 비슷한 값이 유지되어 전선 연결과 관련된 영향은 거의 없는 것을 확인하였다(그림 11-②).

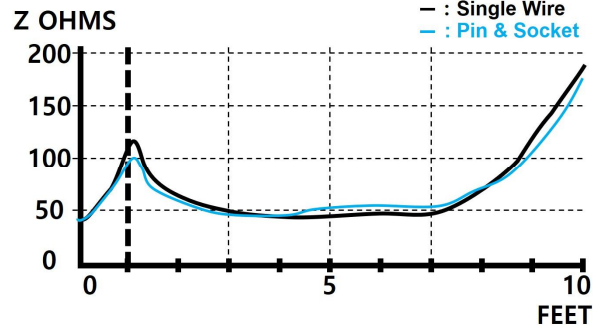
절연 스플라이스(Insulated butt splice)로 연결한 경우 또한 연결지점인 3피트, 5피트 지점에서 약간의 측정치 변화가 식별되었지만 기준이 되는 단선상태(그림 11-①)와 비교하여 유의미한 차이를 주지는 않았다(그림 11-③).



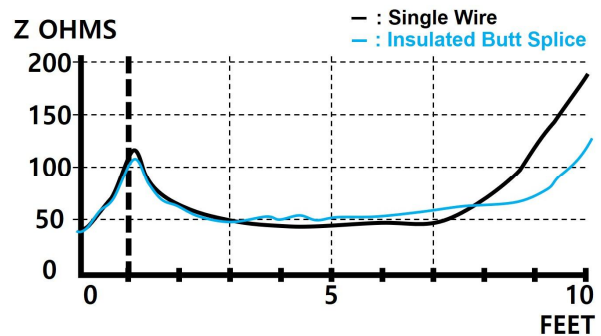
그림 10. 배선간 연결 부품  
Fig. 10. Wiring connection parts



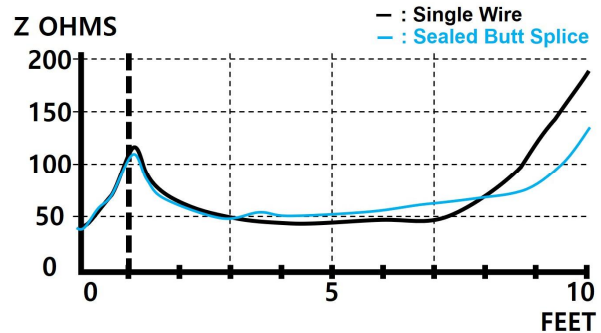
< ① Single wire, Open circuit (Criteria) >



< ② Single wire vs Pin & Socket >



< ③ Single wire vs Insulated butt splice >



< ④ Single wire vs Sealed butt splice >

그림 11. 배선 연결수단에 따른 측정값의 변화  
Fig. 11. Variation of measurement results according to wiring connection methods

밀봉 스플라이스(Sealed butt splice)로 연결한 경우에도 연결지점인 3피트, 5피트 지점에서 기준이 되는 단선상태(그림 11-①)과 비교하여 많은 변화가 없었으며 절연된 스플라이스(Insulated butt splice)로 연결한 경우와 유사한 측정값을 나타냈다(그림 11-④).

**2) 배선 내부 결함 위치 측정값 검증**

대표적 배선 결함의 종류로는 아래 그림 12와 같이 개방(Open)과 단락(Short)이 있다.

배선 내부 어느 한 지점에서 결함 발생시 그 위치를 식별할 수 있는지를 확인하기 위해 배선 연결수단별 측정값 검증시와 유사한 방법으로 1피트의 TDR 장비 테스트용 케이블 끝부분에 6피트의 전선을 연결하였다.

첫 번째 검증은 연결된 케이블 끝부분을 개방(Open) 상태로 조작하여 측정하였고, 두 번째 검증은 연결된 케이블 끝부분을 단락(Short) 상태로 조작하여 측정하였다.

총 10회 측정을 통해 그래프상 1피트 이후 시작되는 6피트 케이블 끝부분의 거리를 나타내는 값의 결과는 아래 표 3과 같으며, 케이블 끝부분이 개방(Open)된 전선의 경우 그래프상 7 피트 지점부터 유의한 측정값 증가 현상이 발생하였고, 끝부분이 단락(Short)된 전선의 경우도 그래프상 7피트 부근부터 유의한 측정값 저하 현상이 발생하였다.

이 측정값들의 변화는 아래 표 4와 같이 대표적 TDR 제작사인 AEA사의 TDR 운용 가이드(TDR operating manual)에 제시된 자료와 유사하게 전선의 결함이 개방(Open) 상태가 되는 지점부터 급격히 상승하였다.

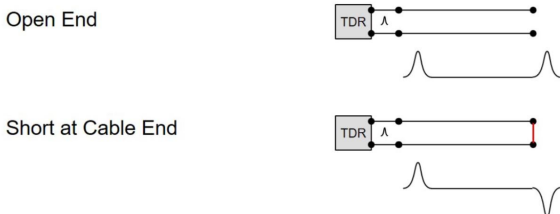


그림 12. 배선 결함 종류에 따른 TDR 측정값 예시  
 Fig. 12. Example of TDR measurement for different types of wire defects

표 3. 반복 측정 결과

Table 3. Result of repeated measurements

Repeat No.	Location of end of wire where the measurement change (unit : ft)	
	Open circuit	Short circuit
1	7	7.1
2	7.2	7.1
3	6.8	7.3
4	7	7.2
5	7.1	6.9
6	7	6.8
7	7	7.1
8	7.1	7.1
9	7	7
10	7	7.2

표 4. TDR 운용 가이드와 실험 측정값 비교

Table 4. Compare with TDR operating manual and experiment data

	Measurement result	Location of defects
TDR operating manual		28ft
Experiment data		7ft

표 5. TDR 운용 가이드와 실험 측정값 비교

Table 5. Compare with TDR operating manual and experiment data

	Measurement result	Location of defects
TDR operating manual		28ft
Experiment data		7ft

또한 전선의 결함이 단락(Short) 상태인 지점에서는 표 5와 같이 AEA사의 TDR 운용 가이드(TDR operating manual)에 제시된 자료와 동일하게 측정값이 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

다만, AEA사의 TDR 활용 가이드(TDR operating manual)에 제시된 자료와 이번 검증을 통해 측정된 측정값의 변화 기울기가 조금 상이한 것은 제작사 자료는 완벽한 조건을 갖춘 실험여건에서 측정된 것이며, 본 검증시 측정된 자료는 실제 항공기 정비현장에서 수행하였기 때문으로 추정된다.

**III. 결 론**

본 연구는 항공기 배선 결함에 대한 고장탐구시 항공기 배선의 복잡성과 접근이 어려운 여건하에서 TDR이 정확한 배선 결함 위치를 식별하고, 결함의 종류를 파악할 수 있는지 그 활용성을 검증하기 위해 수행되었다.

검증 결과, TDR은 다양한 항공기 배선들을 연결해주는 Pin과 Socket, 절연 스플라이스(Insulated butt splice), 밀봉 스플라이스(Sealed butt splice) 등이 정상적으로 체결되었을 때 배선 결함 위치식별에 혼선을 주지 않는다는 것을 확인하였다.

또한 TDR은 대표적 배선 결함 형태인 전선의 개방(Open) 지점부터 측정값이 유의하게 상승하고, 단락(Short) 지점부터 측정값이 유의하게 떨어지는 것을 확인하였다.

따라서 TDR(시간영역반사계)은 항공분야 정비현장에서 항공기 배선 결함에 대한 고장탐구시 배선 결함 위치를 신속히 식별하고 결함의 종류를 확인할 수 있는 활용성이 있다고 판단되며, 이를 통해 항공기 정비품질과 감항성을 유지하여 항공 안전보장에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

끝으로 본 연구결과에 기초하여 다양한 기온, 습도, 미세먼지 등 악조건 정비환경에서도 TDR이 동일한 결과를 제시할 수 있을지에 관해 추가적 연구가 필요하다고 사료된다.

## References

- [1] NTSB, Aircraft accident report : In-flight breakup over the atlantic ocean Trans World Airlines flight 800, NTSB, Washington: DC, NTSB/AAR-00/03, pp. 271-294, 2000.
- [2] TSB(transport safety board of canada), In-Flight Fire Leading to Collision with Water, TSB, Gatineau: Quebec, A98H0003, 2003.
- [3] R. Pope, Aging systems task force aging transport systems task 1 and task 2 final report, ATSRAC, Washington: DC, ATSRAC-12501, 2000.
- [4] S. Slotte, Enhanced airworthiness program for airplane systems, FAA, Washington: DC, DAH Familiarization briefing, 2007.
- [5] C. Furse, R. Haupt(2001, February), Down to the wire. *IEEE spectrum* [Online]. 38(2), pp. 34-39. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/898797>
- [6] H. Y. Lee, "EWIS reliability analysis of aging fighter aircraft through teardown inspection", *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, Vol. 26, No. 4, pp. 2-5. Dec. 2018.
- [7] ATSRAC. Intrusive inspection final report - chapter7 [Internet]. Available: [https://www.mitrecaas.org/atstrac/intrusive\\_inspection.html](https://www.mitrecaas.org/atstrac/intrusive_inspection.html)
- [8] K Airline, ERP maintenance management system [Internet]. Available: <http://erp.koreanair.com>
- [9] IIAC(incheon international airport corporation), Air statics of incheon international airport [Internet]. Available: <https://www.airport.kr/co/ko/cpr/statisticCategoryOfDay.do>
- [10] W. G. Linzey, Development of an electrical wire interconnect system risk assesment tool, FAA, Sterling: VA, DOT/FAA/AR-TN06/17, pp. 25-26, 2006.
- [11] FAA, Aircraft electrical wiring interconnection system training program, FAA, Washington: DC, AC 120-94, pp. 13-14, 1997.
- [12] Nanotronix, Study on the developement of telecommunication measurement equipment using TDR, Ministry of trade, industry and energy, Sejong: Korea, A00-993-3306-06-1-3, 2001.
- [13] CASA(civil aviation safety authority) of the australian government, Aircraft wiring and bonding, CASA, Australia, AC 21-99(1), Section 2 - Chapter 1, 2013.
- [14] AEA Technology, E20/20 TDR & Avionics TDR operating manual [Internet]. Available: <http://www.aeatechnology.com/manuals>



**김수웅 (Su Woong Kim)**

2010년 2월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학부 (공학사)

2020년 2월 : 한국항공대학교 항공운항관리학과 (이학석사)

2012년~현재 : 대한항공 정비본부 Avionics Group

\* 관심분야 : 항공기 전자 시스템, 안전관리시스템(SMS), Aviation human factors



**이장룡 (Jang Ryong Lee)**

1998년 8월 : 美 센트럴미주리주립대학교 (이학석사),

2005년 12월 ~ 2011년 1월 : 공군본부 감찰실 안전과 안전계획담당,

2015년 12월 ~ 2018년 12월 : 공군항공안전단 부단장/단장,

\* 관심분야 : 안전관리시스템(SMS)/안전정책, Aviation human factors

2005년 5월 : 美 Purdue대학교 (이학박사)

2014년 12월 ~ 2015년 12월 : 공군본부 감찰실 안전과장

2019년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공운항학과 부교수