

## 낙뢰 간접영향에 대한 항공전자장비의 환경시험

정덕영\* · 양현덕\*\*

### Environmental Test of Avionics Equipment for Lightning Indirect Effect

Duck-young Jeong\* · Hyun-duck Yang\*\*

#### ABSTRACT

Before avionics equipment are installed in aircraft, several environmental tests such as temperature, vibration, lightning, fire etc. must be conducted. One of the environmental tests is to substantiate protection designs of lightning indirect effect. It can be showed through RTCA DO-160G, section22 "Lightning Induced Transient Susceptibility" test. An additional test of aircraft level is required as well after installation of avionics equipment.

Key Words: Single Stroke, Multiple Stroke, Multiple Burst, Equipment Transient Design Level, Pin Injection, Cable Induction, Ground Injection

#### 1. 서 론

항공기는 운항 중에 낙뢰에 피격되더라도 안전한 운항을 지속적으로 유지할 수 있다. 그 이유는 낙뢰를 유발시키는 환경과 항공기가 낙뢰에 피격되는 빈도수 그리고 그에 대한 영향성 등이 1930년 말부터 지속적으로 연구되어왔으며 그에 따라 낙뢰에 대한 항공기 보호 설계가 항공기에 많이 적용되어 있기 때문이다[5].

현대에는 항공기에 장착되는 전자장비의 수가 증가했을 뿐만 아니라, 연비 향상 및 무게 절감 등을 위해 기체의 재질도 다양화되었기 때문에 낙뢰에 대한 보호 설계는 끊임없이 연구, 개발되고 있다.

낙뢰의 영향성은 두 가지로 항공기에 낙뢰가 피격되면서 기체에 다양한 손상을 일으키는 직접영향과 낙뢰가 치거나 낙뢰 전류가 기체를 흐를 때 생기는 전자장으로 인하여 전자장비의 시스템 고장을 유발시키는 간접영향이 있다. 낙뢰 간접영향에 대한 환경시험은 전자장비가 간접영향에 대한 내성을 충분히 가지고 있는지를 시험, 평가하는 것이다[5].

민간 항공기에 장착되는 전자장비의 낙뢰 환경시험은 RTCA/DO-160, Section 22 "낙뢰 유도 과도현상 감응성" 기준에 의거 수행된다. 이 규격은 1958년 이후로 낙뢰 환경시험에 대한 표준으로 사용되었기 때문에 항공용 전자 장비를 개발하는 제작자는 이 규격에 따라 시험을 수행해야 하고, 이를 통해 낙뢰 간접영향에 대한 전자장비의 보호 설계가 적절함을 입증한 이후에 항공기에 장착할 수 있다[1].

†2013년 6월 24일 접수 ~ 2013년 6월 29일 심사완료

\* 한국항공우주연구원

\*\* 한국항공우주연구원

연락처, E-mail: dyjeong@kari.re.kr

## 2. 낙뢰 관련 감항기술기준

낙뢰 보호 설계에 대한 적합성을 입증해야 하는 이유는 바로 미연방항공청(FAA)에서 제정한 감항기술기준(Federal Aviation Regulations)을 만족시키기 위함이다. 이는 항공법으로 반드시 준수해야 하는 기준이며 이에 대한 적합성을 입증해야 항공기 감항증명(Airworthiness Certificate)을 받을 수 있고 항공기 운항이 가능해 진다.

낙뢰에 관한 항공기 및 엔진, 프로펠러의 감항기술기준은 Table 1을 참조한다.

Table 1. FAR related to lightning

고정익	소형	§ 23.1306 Electrical and electronic system lightning protection
	대형	§ 23.1309(a)(1) Equipment, systems, and installation
회전익	소형	§ 27.1316 Electrical and electronic system lightning protection
	대형	§ 29.1316 Electrical and electronic system lightning protection
엔진		§ 33.28(b)(2) Engine control systems
프로펠러		§ 35.23(a)(2) Propeller control system

환경시험을 통한 전자장비의 적합성 입증은 Table 1의 기준을 만족시키기 위한 초기 단계로 항공기 장착 후 항공기 수준의 추가적인 낙뢰간접영향시험을 통하여 최종적으로 감항기술기준에 대한 적합성을 평가해야 한다. 다시 말해, 장비 수준의 시험과 항공기 수준의 시험을 거쳐 최종 낙뢰에 대한 항공기 보호 설계가 입증되는 것이다.[3]

## 3. 시험 내용

이 시험의 목적은 낙뢰의 영향으로 인해 발생되는 과도 전압/전류(Transient)에 대해 전자장비가 어느 정도의 내성을 가지고 있는지 평가하

기 위함이다.[1]

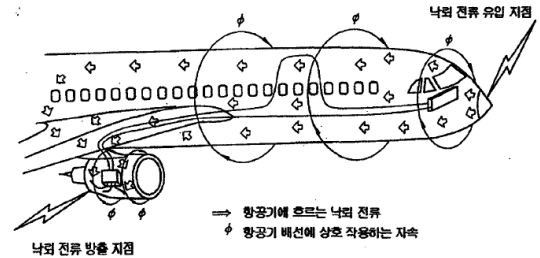


Figure 1. Current Induction Mechanism

Figure 1과 같이 항공기 Nose cone 부위에 낙뢰가 유입되어 후방으로 방출되는 경우 낙뢰 전류가 항공기 동체를 따라 흐를 때 암페어의 법칙에 따라 생기는 자계의 형상과 방향을 나타낸다.

외부에 형성된 자기장은 복합재, 유리 부분(apertures)을 지나는 항공기 배선에 자기장의 변화율에 비례하는 유도 전압을 생성하여 연결된 전기전자 장비에 영향을 주게 된다.[4]

시험은 두 가지로 분류된다. 장비의 손상 여부를 평가하기 위한 핀 주입 시험(Pin Injection Test)과 장비의 기능 장애 여부를 평가하기 위한 케이블 번들 시험(Cable Bundle Test)이 있다.

본 시험을 통하여 장비의 과도현상에 대한 설계 수준(ETDL, Equipment Transient Design Level)을 정하게 되고, 이를 항공기 수준의 시험에서 측정되는 실제 과도현상 수준(ATL, Actual Transient Level)과 비교하여 ETDL이 ATL 보다 더 높음을 최종 평가하게 된다. 이에 대한 세부적인 내용은 FAA AC 20-136B를 참조한다.[2]

### 3.1 핀 주입 시험(Pin Injection)

핀 주입 시험은 전자장비의 커넥터 핀에 시험 파형을 직접 인가하여 장비의 손상 여부를 평가하는 것으로 적용 가능한 파형에는 WF3, WF4, WF5A가 있다.[3]

핀에는 신호용 핀과 전원용 핀으로 구분이 되며 전원용 핀인 경우 케이블 유도(Cable Induction) 및 접지 주입(Ground Injection)시험을 추가로 해야 한다. 단, 유압 밸브, 온도 프로브 등 수동

장치(passive component)로 구성된 장비인 경우에는 시험 중 전원을 인가하지 않아도 되므로 전원을 인가하는 케이블 유도 및 접지 주입 시험을 적용할 필요가 없다.

전원을 인가하는 경우 전원 공급 장치로 유입될 수 있는 과도 전압 또는 전류를 차단하는 장치(blocking device)를 적용해야 한다. 또한 커넥터에 삽입된 많은 핀들 중에서 보호와 작동에 대한 동일한 회로 설계가 적용된 핀들이 있다면 해당 핀들을 그룹화하여 그룹별 3개의 핀 측정으로 해당 그룹에 속한 모든 핀의 시험을 대신할 수 있다. Figure 2는 핀 주입 시험을 위한 회로 구성도이다.

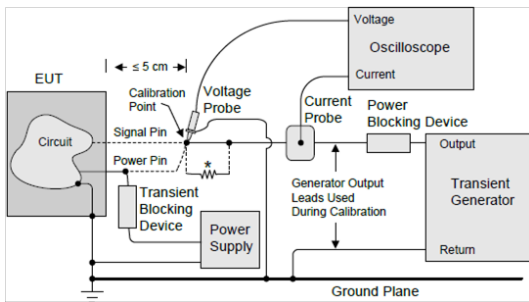


Figure 2. Pin Injection Test Setup

### 3.2 케이블 번들 시험(Cable Bundle)

케이블 번들 시험은 낙뢰 환경에서 발생하는 전자장의 영향에 대한 전자장비의 기능 장애 여부를 평가한다. WF1, WF2, WF3, WF4, WF5A, WF6 등 모든 파형이 본 시험에 적용 가능하며 케이블 번들 시험에는 파형에 따라 케이블 유도 시험과 접지 주입 시험으로 분류된다.[3]

#### 3.2.1 케이블 유도 시험(Cable Induction)

케이블 유도 시험은 주입 트랜스포머(Injection Transformer)에 시험 파형을 인가하여 이곳을 통과하는 케이블에 전자장 환경을 만들어 줌으로써 케이블을 따라 흐르는 과도 전압/전류로 인한 장비의 작동 여부를 확인하게 된다. Figure 3은 케이블 유도 시험을 위한 회로 구성도이다.

본 시험은 기본적으로 WF1, WF2, WF3, WF6 파형을 이용한 단일 타격(SS, Single Stroke), 다

중 타격(MS, Multiple Stroke) 및 다중 파열(MB, Multiple Burst) 시험이 적용된다.

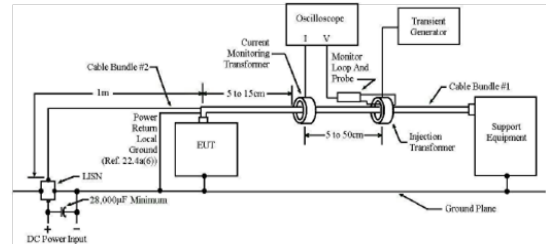


Figure 3. Cable Induction Test Setup

#### 3.2.2 접지 주입 시험(Ground Injection)

접지 주입 시험은 접지가 되어 있는 전자장비의 새시(chassis)에 시험 파형을 인가하여 장비의 기능을 확인하는 것이다. 장비의 외부 접지 단자, 새시 접지선, 전원 접지선이 접지면(ground plane)과 국부적으로 연결되어 있다면 장비를 접지면과 격리 시켜야 한다. 본 시험에는 기본적으로 WF4, WF5 파형을 이용한 단일 타격 및 다중 타격 시험이 적용된다. Figure 4는 접지 주입 시험을 위한 회로 구성도이다.

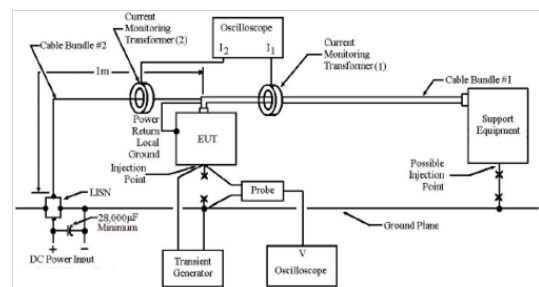


Figure 4. Ground Injection Test Setup

## 4. 시험 파형과 적용

### 4.1 시험 파형

본 시험에서 인가되는 파형(WF, WaveForm)은 총 6가지로 아래와 같이 각각 특성이 다르다.[1]

- WF1 : 전류(i) 파형 1
- WF2 : 전압(v) 파형 2
- WF3 : 전압/전류(v/i) 파형 3
- WF4 : 전압(v) 파형 4
- WF5 : 전류/전압(i/v) 파형 5
- WF6 : 전류(i) 파형 6

WF3의 경우 감쇄 사인 파형이나 그 외 파형은 모두 이중 지수 파형이다. 감쇄 사인 파형의 경우 Figure 5와 같이 5번째 증폭값이 첫 번째 최대 증폭값의 25%~75% 증폭값 내에 들어와야 하고, 이중 지수 파형은 각 파형별 최대 증폭값까지 도달하는 상승시간과 최대 증폭값의 50%에 도달하는 하강시간을 조건으로 파형이 정의된다. 모든 파형은 (+) 양극성과 (-) 음극성 각각 10회씩 적용하며 특히 감쇄 사인 파형의 경우 핀 주입 시험에는 1MHz, 케이블 번들 시험에서는 1MHz와 10MHz 모두 적용한다.

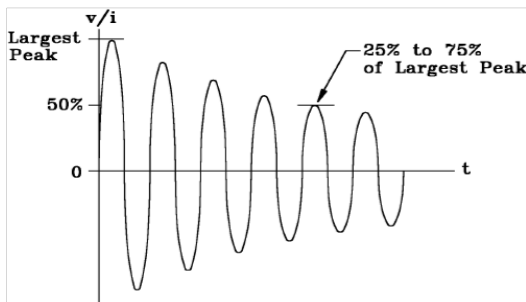


Figure 5. Voltage/Current Waveform 3

4.2 시험 파형의 적용

4.2.1 단일 타격(Single Stroke)

단일 타격 시험은 항공기 외부에 가장 극심한 낙뢰 타격에 대한 항공기 내부 배선의 반응을 모사하기 위한 것으로 1분 이내에 양극성과 음극성 각각 10회씩 적용한다.

4.2.2 다중 타격(Multiple Stroke)

다중 타격 시험은 항공기 외부에 첫 번째 복귀 뇌격(Return Stroke)과 후속 복귀 뇌격으로 구성된 낙뢰 타격에 대해서 항공기 내부 배선에 유도되는 유도효과를 모사하기 위한 것이다. 다중 타

격은 구름에서 지면으로 향하는 낙뢰의 특성으로 Figure 6과 같이 첫 번째 복귀 뇌격과 첫 복귀 뇌격 크기의 절반 크기를 가지는 13개의 후속 복귀 뇌격으로 구성되며 파형간의 시간은 10~200ms이고 14개의 뇌격은 최대 1.5s에 걸쳐 발생한다. 마찬가지로, 양극성과 음극성 각각 10회씩 적용하며 각 다중 타격 간의 시간은 최대 5분 이내여야 한다.

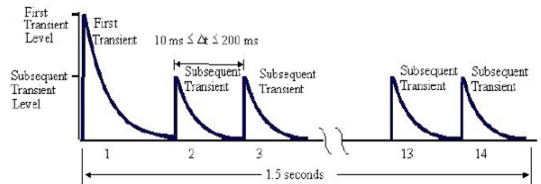


Figure 6. Multiple Stroke Waveform

4.2.1 다중 파열(Multiple Burst)

다중 파열 시험은 항공기 외부에 다중 파열성 낙뢰 타격에 대해서 항공기 내부 배선에 유도되는 유도효과를 모사한 것이다. 다중 파열은 구름 내부 또는 구름 사이에 발생하는 낙뢰의 특성으로 Figure 7과 같이 20개의 파형으로 이루어져 있다. 파열 간 시간은 30ms에서 300ms이며 양극성 및 음극성을 각각 10회 적용한다. 20개의 파형이 하나의 Burst가 되고 다중 파열 파형은 3개의 Burst로 구성된다.

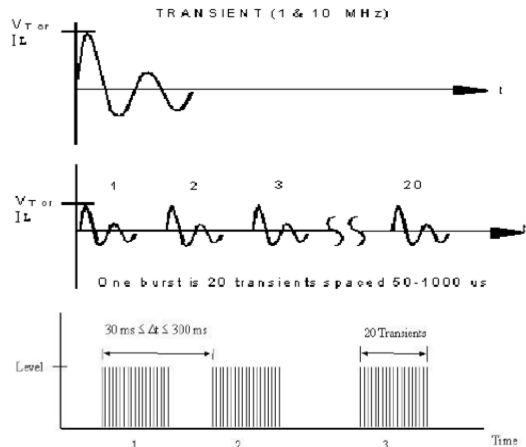


Figure 7. Multiple Burst Waveform

## 5. 적합성 판단

낙뢰 간접영향 시험으로 인한 항공전자장비의 적합성 판단은 시험 전/후 장비 성능점검을 통하여 이루어진다.[1]

핀 주입 시험 후에는 전자장비 회로의 손상 여부(damage tolerance)를 확인해야 하며 특히, 소손(burnout)이나 회로의 수명을 단축시킬 수 있는 흔적이 있는지를 살펴보아야 한다.

케이블 번들 시험 후에는 장비의 손상을 포함한 작동 상태를 확인해야 하며 특히, 의도된 기능을 정상적으로 하는지 또는 자동 초기 설정상태(reset)로 돌아오는지를 살펴보아야 한다.

Figure 8은 케이블 번들 시험 중 케이블 유도 시험의 형상이며, Figure 9는 시험 이후 장비의 작동 상태를 점검하는 모습이다.

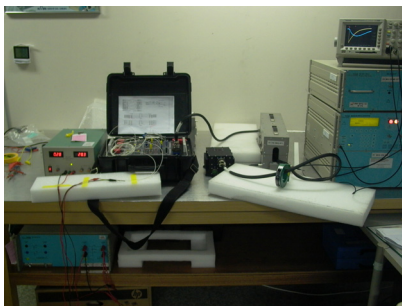


Figure 8. Cable Induction Test

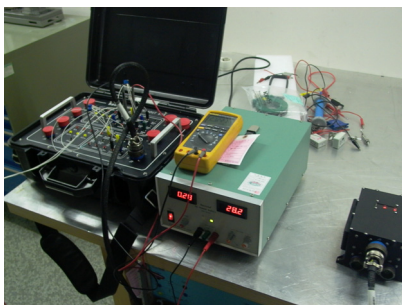


Figure 9. Equipment Check

본 시험으로 항공전자 장비의 낙뢰 간접영향에 대한 설계의 적합성이 입증되었다라도 항공기에 장착한 후에는 항공기 수준의 낙뢰 간접영향 시

험을 통하여 최종 적합성을 판단해야 한다.

## 6. 결 론

모든 항공전자 장비에 RTCA DO-160, Section 22에 따라 낙뢰 간접영향 시험을 적용해야 하는 것은 아니다. 항공기에 장착 후 해당 항공장비의 고장으로 인해서 치명적이거나 중대한 결함을 유발하는 경우에 해당된다. 즉, 안전성 평가를 통하여 과극, 위험, 주요 고장(Catastrophic, Hazardous, Major Failure)을 유발하는 장비에 한하여 본 시험이 적용된다.

시험에 적용되는 파형과 레벨은 실제 낙뢰 환경을 모사한 것으로 항공전자 장비의 장착 위치 및 보호 설계에 따라 결정이 된다. 그러므로 항공기 제작 업체는 해당 장비의 위치 및 설계를 고려하여 시험 범주(Category)를 결정해야 한다.

현재 개발 완료된 항공기에 장착된 전자장비의 국산화 추진으로 인하여 국내에서 장비 개발이 활성화되고 있고 그에 따라 낙뢰 간접영향 시험의 수요가 늘고 있다. 장비 개발 업체들은 고객의 요구조건을 바탕으로 시험 수준을 결정하고 해당 시험 규격의 내용을 충분히 이해한 상태로 시험을 수행해야 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] RTCA DO-160G, Environment conditions and test procedures for airborne equipment, 2010
- [2] FAA Advisory Circular 20-136B, Aircraft electrical and electronic system lightning protection, 2011.
- [3] SAE ARP5412A, Aircraft lightning environment and related test waveforms, 2005
- [4] F.A.Fisher and J.A.Plumer, Aircraft lightning protection handbook, 1999
- [5] 한상호, 이종희, 항공기에 대한 낙뢰의 영향과 감항성 인증, 한국항공우주학회지, 2003