

항공기에 대한 낙뢰의 영향

최익순, 김석수, 한상호*
한국전기연구원, 한국항공우주연구원*

Lightning Effects on Aircraft

I. S. Choi, S. S. Kim, S. H. Han

Abstract - This paper deals with the lightning effects on aircraft. The effects are divided into two groups. The one is the direct effect due to the direct attachment of the lightning channel and/or conduction of lightning current. The other is the indirect effect like electrical transients induced by lightning in aircraft conductive components such as electric circuits. In this paper presents the analysis of lightning mechanism.

1. 서 론

항공기에 대한 낙뢰의 영향은 크게 직접영향(Direct Effect)과 간접영향(Indirect Effect)으로 나눌 수가 있는데 직접영향이란 낙뢰 아크의 직접적인 부착 또는 낙뢰 전류 전도로 인해 항공기나 장비에 발생하는 물리적인 손상을 말하는 것으로서 FRP와 같은 절연체에 구멍이 나거나 금속제 항공기나 장비의 표면과 구조가 휘거나, 용융, 소손, 침식 및 기화와 같은 물리적인 현상과 고전류를 동반한 고압 충격파 및 자기력에 의한 구조물의 변형 등의 물리적 현상과 전선이나 배선에 직접 들어오는 전압과 전류에 의한 영향을 말한다. 간접영향은 번개를 동반하는 전자기장의 상호작용으로 비행체의 전기장치 등에 나타나는 현상들이나 기타 전기적 현상으로서 원칙적으로 이러한 현상은 비행체에 직접 접촉하지 않는 뇌섬광에 의해서도 발생이 된다. 대부분의 간접효과는 직접 뇌섬광(Direct Lightning Flash)에 의해 발생이 되고 있으며 예로서 안테나에 뇌섬광이 부착되면 안테나의 물리적 파손 외에 안테나를 통해 낙뢰 전압이 유입되어 송신기나 수신기의 기능을 손상케 하거나 잠정적으로 기능을 정지시키는 현상 등이 있다.

2. 본 론

2.1 낙뢰현상

낙뢰가 대기중의 방전현상이라는 것이 알려진 후 본격적인 해명이 시작된 것은 1928년 Boys Camera로 낙뢰를 사진으로 찍기 시작한 때부터이다. 낙뢰를 발생시키는 뇌운은 주로 적란운(積亂雲)이며, 상층과 하층의 대기가 불안정할 때 발생하게 된다. 적란운에서의 전하분포는 최상층부가 "+(P)"로 하층부가 "-(N)"로 그리고 최하층부에 약한 분포의 "+(P)"전하로 대전되어 있다고 보는 것이 일반적 견해이며 낙뢰 과학자 Malan이 1951년 제시하였다(그림1). 낙뢰는 크게 구름-구름간방전(cloud to cloud), 운제방전(intra-cloud) 그리고 구름-지상간방전(cloud to ground)로 대별되며 이중 구름과 지상간의 방전은 전체방전의 40%정도를 차지한다.

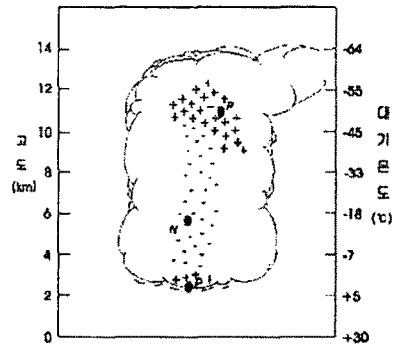


그림 1. 전형적인 적란운에서의 전하 분포 형태

2.2 뇌방전 메카니즘

낙뢰(번개)는 적란운이 발달하면서 구름내부에 분리 축적된 음(-)전하와 양(+)전하 사이에서, 또는 구름 속의 전하와 지면에 유도되는 전하 사이에서 발생하는 불꽃방전을 말한다. 편의상 본고에서는 lightning을 낙뢰 또는 뇌로 표현하고자 한다.

낙뢰의 개시는 선도 방전(predischarges)이라고 하는 leader로부터 시작이 되며 0.001초의 속도로 진전한다.

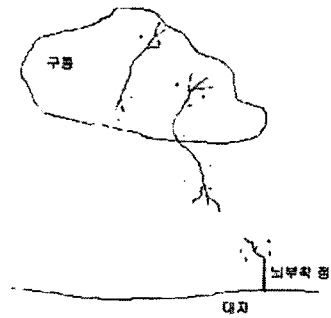


그림 2 낙뢰 방전의 개시

낙뢰의 분류는 선도의 방향(위, 아래)과 방전 전하의 극성에 따라 분류하고 있다. 낙뢰학자 Berger에 의하면 구름 속의 전하가 지상으로 떨어지는 과정은 4가지가 있다고 보는 데 그림 3과 같다. 카테고리 1 낙뢰는 아래로 향하여 움직이고 있는 음으로 충전된 하나의 선도로 시작되며 카테고리 3 방전은 아래로 향하여 움직이는 하나의 양전기 선도에 의해 일으키게 된다. 카테고리 2 낙뢰는 지상에서 시작이 되는 낙뢰로서 양으로 충전되었던

하나의 선도를 가지고 있다. 카테고리 4역시 지상에서 유기되는 낙뢰로서 음전하 선도가 방전을 유기하고 있다. 이중 카테고리 1 낙뢰가 구름에서 지상으로 떨어지는 낙뢰의 대부분을 차지하고 있으며 전체 낙뢰의 90%에 이른다.

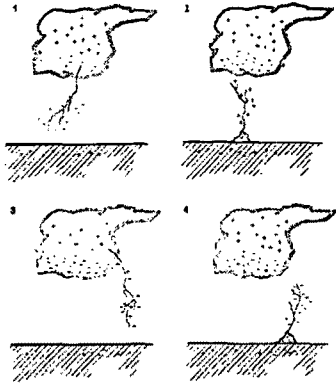


그림 3 Berger가 제시한 낙뢰의 분류(1978)

낙뢰는 구름의 아래부분에서 나타나는 비교적 약한 빛의 선도뇌격(stepped leader)과 이것이 지면에 도달하는 순간, 같은 경로를 통하여 지면으로부터 구름을 향하여 상승하는 매우 밝고 빠른 속도의 방전, 즉 복귀뇌격(return stroke)으로 이루어져 있다. 낙뢰는 한줄기 빛으로 보이지만 실제로는 뇌(雷)가 실린 구름에서 공기 절연이 파괴되어 선행방전(先行放電, stepped leader)이 구름을 출발하여 진전과 휴지를 반복하게 된다. 이 선도뇌격이 대지나 지상의 물체에 접근하면 대지나 물체에서 상향의 스트리머가 생기며, 이 양자가 결합할 때 뇌운에서 대지 또는 물체에 이르는 방전로가 형성된다. 이러한 방전로에 대지 쪽에서 많은 전하가 유입되어 주 방전로가 생기고 뇌운 안의 전하가 중화되지만 눈으로 볼 수 있는 휘도는 복귀뇌격(Return Stroke) 때 생긴다.

2.3 고도별 뇌격분포

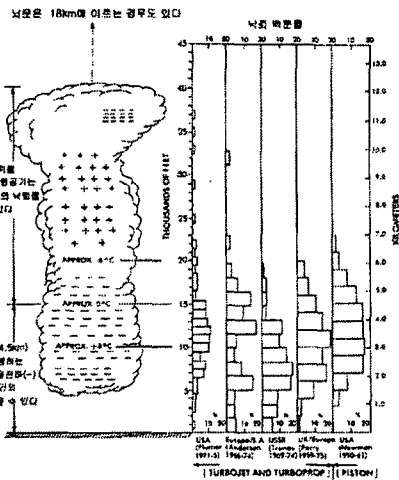


그림 4 고도별 뇌격분포

그림 4의 고도별 항공기 낙뢰 타격 사례를 보면 제트 항공기의 주 이동 경로인 대략 지상 2km~4.5km에서 낙뢰가 집중적으로 발생함을 알 수 있다. 지상 약 4.5km 상공의 0°C이하의 구름속을 항행하는 항공기는 구름내부의 낙뢰를 맞을 가능성이 큰 것을 그리고 4.5km이하의 고도를 운항하는 항공기는 음전하의 구름-지상간 낙뢰를 맞을 가능성이 큰 것을 보여주고 있다.

2.4 낙뢰의 직접영향(Direct effect)

(1) 금속구조물

- 용융과 전소(melting and burnthrough) : Zone 1A에서 많이 발생함.
- 구조물 접촉부에서의 움푹패임(pitting at structural interface) : Hinge 또는 Bearing 같은 연결부분 사이의 불량한 전기접촉이 원인
- 저항성으로 인한 가열(resistive heating)
- 전자력 영향(magnetic-force effects) : 예를 들면 피토크관이나 유압관과 같은 평행한 수개의 금속제 관은 뇌격 전류가 관통할 경우 각 도체에서의 전류의 곱에 비례하는 전자력을 받게 된다.
- 접합부, 경첩 및 이음매에서의 아크(arc)ing across bonds, hinges, and joints)
- 충격파와 과압력(shock wave and overpressure)

(2) 비금속구조물

- 유리섬유와 Kevlar 구조물, 탄소복합소재 구조물, plexiglass
- 뇌격 피해: 절연파괴, 귀환 뇌격전류로 인한 공동 생성

(3) 연료계통

연료계통에서의 점화기재는 낙뢰의 전기 성분 및 열성분으로 중기 상태에 있는 연료를 점화시킬 수 있다. 그림 5는 낙뢰 전류가 연료탱크 위를 지나가는 것을 나타내며

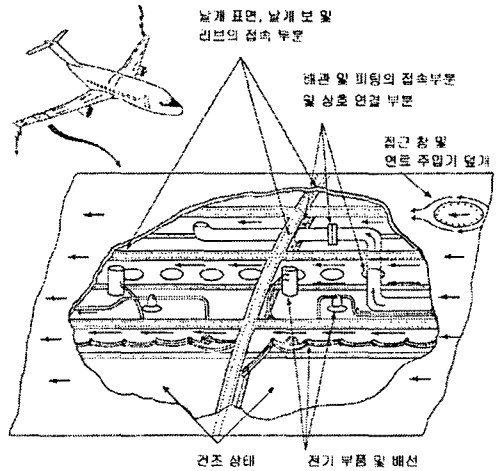


그림 5 연료탱크내의 낙뢰전류 통과 경로

2.5 낙뢰의 간접영향(Indirect effect)

낙뢰전류 또는 전압이 항공기 전기 회로에 유도되는 전기적 과도현상으로 장비에 손상을 주는 것을 말한다(그림 6 참조). 이러한 현상은 비행체에 직접 접촉하지 않는 뇌심광에 의해서도 발생되며 대부분의 간접효과는 직접

뇌섬광(Direct Lightning Flash)에 의해 발생이 된다. 그림 6을 보면 낙뢰전류 통과로 자속이 형성되어 이것이 항공기 배선에 유도전압을 생성시킴을 알 수 있다.

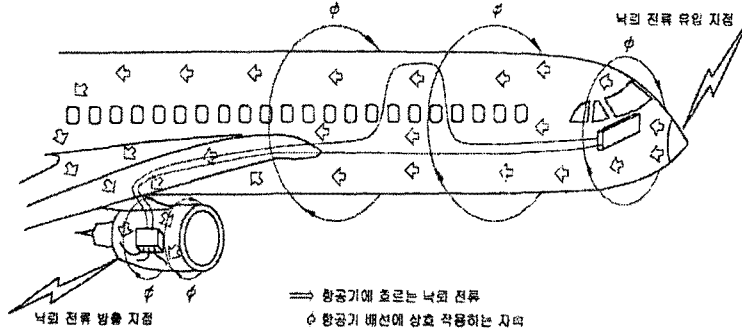


그림 6 낙뢰간접효과

3. 결 론

항공기에 대한 낙뢰의 영향은 직접영향(Direct)과 간접 영향(Indirect)으로 분류할 수 있으며 뇌방전 현상의 분석과 더불어 항공기 제작 및 설계단계에 이러한 직·간접적인 영향에 견딜 수 있도록 낙뢰시험을 통해 항공기에 대한 안전성을 검증해야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] AC 20-53A, "Protection of Aircraft Fuel Systems Against Fuel Vapor Ignition Due to Lightning", FAA, 1985. 4. 12.
- [2] AC 20-136, "Protection of Aircraft Electrical/Electronic Systems against the Indirect Effects of Lightning", FAA, 1990. 3. 5.
- [3] F. A. Fisher and J. A. Plumer, "Aircraft Lightning Protection Handbook", Lightning Technologies Incorporated, Pittsfield, MA, 1989. 9.
- [4] Martin A. Uman, "Lightning", Dover Publications, Inc., 1984.