

항공기 실전원리(8)

낙뢰와항공사고

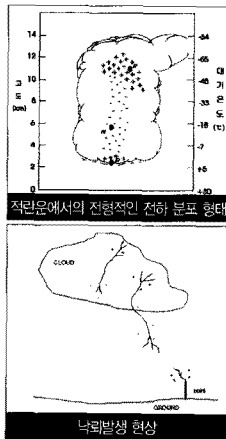
장마와 태풍의 계절 여름, 특히 하늘을 찢기라도 하듯 어마어마한 전기를 일으키는 낙뢰는 하늘을 나는 항공기로서는 정말 위협적인 존재가 아닐 수 없다. 하지만 낙뢰를 알고 이에 대한 철저한 보호대책이 따른다면 낙뢰에 의한 항공사고는 충분히 줄일 수 있다.

글 | 한상호(한국항공우주연구원 항공우주안전인증센터 선임연구원)

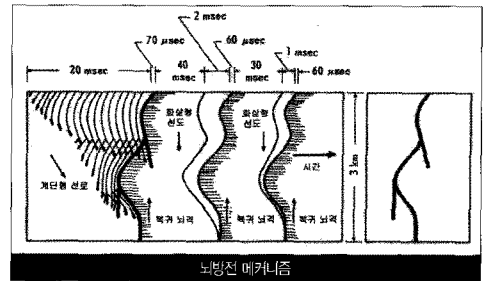
낙뢰에 대한 상식

낙뢰는 일종의 정전기의 방전현상으로서 구름 내부에 축적된 상태로 있는 대기 중의 거대한 고밀도의 정전기(주로 -전하로 대전)가 반대 전하(주로 +)로 대전되어 있는 지상과 근접한 지역에서 만날 때 이루어지는 불꽃 방전이다. 우리나라에서는 흔히 벼락, 번개, 낙뢰, 우뢰, 천둥 등과 같은 용어가 있으나 용어 풀이상 다소의 차이가 있으며, 이중 '벼락' 또는 '낙뢰'가 현실적으로 가장 잘 쓰이고 있다.

실제로 낙뢰는 적란운에서 이루어지고 있으며 구름의 위치와 형태, 그리고 대지의 전하분포에 따라 크게 구름 내부의 낙뢰, 구름과 구름 간의 낙뢰 그리고 구름과 대지간의 낙뢰로 이루어지고 있으며, 이중 대기 중에 운항하는 항공기가 맞게 되는 낙뢰는 구름 내부 낙뢰와 구름 대지간의 낙뢰가 주종을 이룬다. 다시 구름 대지간의 낙뢰는 구름의 음전하(-)가 대지로 도달하는 것과 구름의 최상층부에 존재하는 +전하가 도달하는 것, 대지의 +전하가 야기하는 것, 그리고 대지의 -전하가 야기하는 것 등 4종이 있으며 이중 첫 번째 것이 전체 낙뢰의 90%에 이른다.



인한 복귀뇌격 (復歸雷擊, Return Stroke) 때 생긴다. 이러한 뇌격은 1회로 끝나는 것이 아니고 적개는



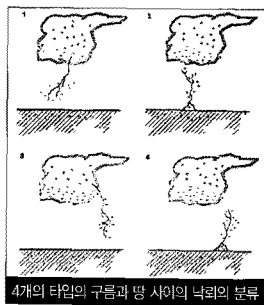
3회에서 수십 회에 이르는 경우도 있다. 제2 및 그 이후에 나타나는 선도 뇌격은 앞의 방전로를 따라 가늘고 긴 발광부가 하강하는 방전으로 관측이 되고 있으며 이것을 화살형 선도(dart leader)라고 불린다.

낙뢰의 특성

1회의 낙뢰는 평균 3~4회의 낙뢰 타격을 하게 되며, 매회간의 시간 간격은 약 40ms이다. 낙뢰 섬광의 지속시간은 0.2초 정도이고 낙뢰의 직경은 0.2~3.5cm이다. 계단형 선도가 가지 모양으로 뿔어나갈 때 생기는 가지의 수는 대략 100여개이고 한 계단의 길이는 50m이다. 낙뢰의 평균 전파 속도는 150km/sec이며 계단형 선도의 지속시간은 0.001초이다. 이에 대해 화살형 선도는 계단형보다 10배 빠르며 그 속도는 2,000km/sec이다. 복귀뇌격의 경우 전파속도는 80,000km/sec이고 전류 상승률이 10kA/μs의 높은 상승률을 가지며 최대전류가 10~20kA이며 온도도 태양 표면의 5배에 이르는 25,000 로서 상당한 파괴력을 가지고 있다.

낙뢰의 원리

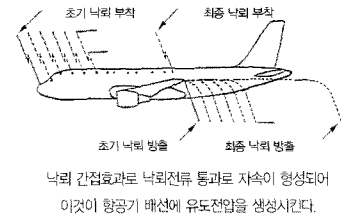
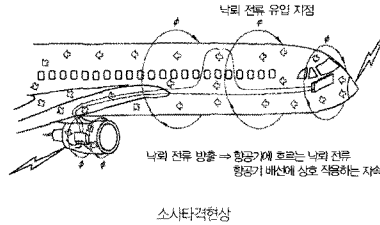
낙뢰의 발생은 처음에 구름의 최하층부에 분포하는 '음전하(-)'가 계단형으로 뿔어 나와 가지형태로 분산하면서 대지의 '양전하(+)'를 향하여 진전하다가 공기절연이 파괴되는 선행방전(先行妨電)이 진전과 휴지를 반복하게 된다. 이 때 선도 뇌격이 계단형으로 빛이 20m 진행할 때마다 50~70μs의 정지시간을 두며 하강하므로 이를 계단형 선도(階段型 先導, stepped leader)라 한다. 이 선도 뇌격이 대지나 대지의 물체에 접근하면 대지나 물체에서 위로 향하는 작은 불꽃 형태의 스트리머(유광; 流光)가 생기며, 이 양자가 결합할 때 뇌운에서 대지 또는 물체에 이르는 방전로가 형성된다. 이러한 방전로에 대지 쪽에서 많은 전하가 유입되어 주방전로가 생기고 뇌운 안의 전하가 중화되며, 눈으로 볼 수 있는 휘도는 대지에서 구름으로 향하는 전하로



낙뢰에 대한 상식

항공기에 대한 낙뢰 타격은 대략 대지에서 2~4.5km사이에서 낙뢰 피격이 많으며, 구름의 분포형태상 온도가 0°C이하인 4.5km 상공에서는 구름 내부의 낙뢰를 맞을 확률이 높고 그 이하에서는 구름-대지간의 낙뢰를 맞을 가능성이 큰 것으로 보고 있다. 통계적으로 항공기는 매 3,000비행시간마다 1회의 낙뢰를 맞는 것으로 보고되고 있으며, 미주간을 운항하는 여객기의 경우 년 평균 1회의 낙뢰를 맞고 있다고 한다.

운항중인 항공기가 구름-대지간의 낙뢰를 맞는 경우 항공기는 낙뢰 전하의 이동 경로가 되는 셈이며, 이 때 전하가 통전이 되지 않는 경우 절연 파괴가 일어나 일종의 파괴 현상이 일어나게 된다. 항공기에 대한 낙뢰의 영향으로서 특징적인 것은 항공기가 진행하는 과정에서 앞부분에 낙뢰를 맞는 경우 항공기가 속도를 가지고 이동하는 동안 낙뢰가 계속 지속되므로 항공기를 휩쓸고 지나가는 형태를 취하게 되는데, 이를 특별히 소사타격



(掃射打撃, Swept stroke)이라고 한다. 소사타격은 낙뢰전류의 지속기간이 길고, 다중 타격(多重 打撃, Multiple stroke)의 현상을 갖게 되어 여러 가지 파괴 현상을 나타낸다.

항공기에 대한 낙뢰의 영향은 크게 낙뢰 전압 또는 낙뢰 전류의 작용에 의하여 항공기에 나타나는 영향은 직접영향과 간접영향으로 나눈다. 낙뢰의 직접 영향은 낙뢰 아크의 직접적인 부착 또는 낙뢰 전류의 전도로 인하여 항공기나 장비에 물리적인 손상을 일으키는 것으로 정의하며, 간접영향은 낙뢰전류 또는 낙뢰전압이 항공기를 관통하는 과정에서 일종의 자장을 형성하여 항공기의 전기회로에 유도되는 전기적 과도현상으로 항공전자장비에 손상내지는 가능상태를 일으키는 것을 말한다.

낙뢰의 직접영향의 내용으로는 낙뢰 전류의 장기간 지속으로 인한 금속체 부분의 용융 또는 전소, 움푹 패임, 가열현상, 전자력(電磁力), 이음매의 아크 발생, 충격파와 과압력 등이 있으며, 아크의 발생이 연료탱크 내에서 발생할 경우 연료탱크의 폭발로 이어질 수가 있다. 유리섬유 등과 같은 복합소재의 경우 통전이 되지 않으므로 낙뢰 직격을 받을 경우 적절한 통전 경로를 장비하지 않을 경우 절연 파괴가 일어나 치명적인 피해를 입힐 수가 있다. 낙뢰의 간접영향은 낙뢰 전류가 지나가는 동안 암페어의 법칙에 의해 자장이 형성되며 다시 이 자장이 항공기의 배선을 지나는 경우 기전력 유도되어 전기 또는 신호를 이동시키는 회로에 갑작스런 과도 전기가 흘러 장비를 손상시키게 되는 것이다.

항공기의 낙뢰 보호 대책

이러한 일련의 낙뢰 영향으로부터 항공기를 보호하기 위해서 감항당국에서는 법규로써 그 안전기준을 정하고 있으며, 우리나라의 경우 '항공기 항행의 안전을 확보하기 위한 기술상의 기준'으로 고시되어 있다. 항공기를 새로 설계하여 제작하는 경우 이 기준에서 제시하고 있는 안전요건을 준수하여야 하며, 이를 위해 다양한 형태의 기술문서가 제정되어 사용되고 있다. 미국의 경우 자동차기술자협회인 SAE(Society of Automotive Engineers)에서 실제 낙뢰 전류 및 전압을 모사한 낙뢰 전류 및 전압 파형을 제시하고 있으며, 감항당국에서는 이를 안전성 평가의 기준으로 채택하고 있다. 실제로 새로운 항공기를 제작할 경우 이 기술문서가 제시하고 있는 파형으로 인공 낙뢰를 만들어 가격하여 안전성을 입증하여야 한다. 또한 효율적인 낙뢰 시험평가를 위해 항공기 기종별로 낙뢰 피격 부위를 구분하여 낙뢰 잘 맞는 곳과 잘 맞지는 않으나 낙뢰 전류 통과 경로가 되는 부위를 구분하여 시험하도록 하고 있다.

낙뢰 보호를 위해서는 직접영향에 대해서는 낙뢰를 맞는 경우 지체하지 않고 낙뢰 전하가 통전되도록 하는 일이 제일 중요하다. 따라서 항공기의 모든 접합부위에 아크가 발생하지 않도록 빈틈이 없게 견고히 접합하여야

하며, 접합이 곤란한 조종면 부위 등은 통전용 연결선(Bonding Jumper)을 규정에 맞게 장착하여야 한다. 전류를 통전하지 않는 복합소재의 경우 통전 경로를 형성시켜 주어야 하며 이러한 방법으로는 분산기(Diversion strips)를 설치하거나 구리로 된 망사(mesh)를 덧붙이기도 하고, 도전성 도료로 칠하기도 한다. 간접영향에 대한 보호로는 낙뢰 전류로 형성된 자장이 내부 배선을 관통하지 못하도록 배관하는 방법과 관통한 자장으로 인한 과도현상을 차단하기 위해 회로적으로 보완하는 방안이 강구되고 있다.

낙뢰에 의한 항공사고

낙뢰에 의한 항공사고로서 기록된 것은 1959년부터이며 현재까지도 낙뢰에 의한 항공사고가 보고되고 있는 실정이다. 최초의 방전에 의한 항공 사고는 1937년 5월 6일, Hindenberg Airship 사고를 들 수 있는데 이 경우 표면이 아주 높게 대전되어 전류가 표면을 관통하여 내부 프레임으로 흘러들어 점화가 일어나 큰 화재로 이어진 것으로 보고되고 있다. 낙뢰에 의한 항공사고는 영국의 항공 사고 조사기관인 AAIB(Air Accidents Investigation Branch) 보고서를 보면, 헬리콥터(S-76, Sikorsky)의 경우 복합소재를 채택하고 있는 추회전익과 테일 로터에 낙뢰를 맞아 추락한 사례가 1999년도와 2002년도에 있었으며, 1997년도에 유로콥터 AS 332기의 경우 크게 손상을 입은 사고도 있었다. 고정익 항공기의 경우 1995년도 이후 거의 매년 연료탱크의 폭발 등 다양한 형태의 사고가 발생하였다.

조사에 의하면 운항중인 항공기가 낙뢰를 맞는 빈도는 이륙 후 상승시 37%, 순항시 25%, 하강시 17% 그리고 진입시 21%인 것으로 보고되고 있으며, 낙뢰사고는 미 연방항공청(FAA: Federal Aviation Administration)에서 낙뢰에 대한 연구가 활발하게 진행되었던 1980년대 이후에도 부단히 발생되고 있어 낙뢰에 대한 연구와 보완 대책이 지속적으로 요구되고 있다. 낙뢰 보호 대책은 신조 항공기의 입증시험 외에도 항공기 정비의 과정에서도 지속적으로 이루어져야 하며 기 제작된 통전 접속선 등 설계 내역이 지속적으로 보존이 되고 있는가를 확인해야 한다. ⑥

※ 참고문헌

- 1) AC 20-53B, "Protection of Aircraft Fuel Systems Against Fuel Vapor Ignition Due to Lightning", FAA, 2006. 6. 5.
- 2) FAA AC 20-136A, "Protection of Aircraft Electrical/Electronic Systems against the Indirect Effects of Lightning", FAA, 2006. 12. 21.
- 3) F. A. Fisher, J. A. Plumer and Rodney A. Perala, "Lightning Protection of Aircraft", Lightning Technologies Inc., Pittsfield, MA, 1999.
- 4) Martin A. Uman and E. Philip Krider, "Natural and Artificially Initiated Lightning", Volume 246, pp. 457-464 SCIENCE, 1989. 10.
- 5) M. A. Uman and V.A. Rakov, "The interaction of lightning with airborne vehicles", Department of Electrical and Computer Engineering, University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA, 2003.
- 6) SAE ARP5412A, "Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms", SAE, 2005. 2. 1.
- 7) SAE ARP5414A, "Aircraft Lightning Zoning", SAE, 2005. 2. 1.