

항공분야 낙뢰보호 및 낙뢰예측시스템



신 대 원
 교통안전공단 항공안전처장
 dwshin@ts2020.kr



최 영 재
 교통안전공단 항공안전센터 책임연구원
 y.jchoi@liveco.kr

1. 서론

대기불안정으로 인하여 발생하는 낙뢰는 운항중인 항공기에 직접적인 손상을 주어 사고를 유발하거나, 지상 항행안전시설의 손상 및 오작동 등을 발생시킨다. 통계적으로 사업용 항공기의 경우 연 1~2회 정도의 낙뢰를 경험하는 것으로 알려져 있다. 지난 2006년 6월 국내 00공항으로 접근하던 항공기가 낙뢰조우로 인하여 조종실 전면 방풍창이 깨지고, 레이더 돔이 이탈하여 위험에 처한 상황이 발생하였으나 무사히 착륙한 사례가 있었다.

낙뢰에 대한 가장 좋은 보호대책은 낙뢰와 조우하지 않는 것이지만 어쩔 수 없이 낙뢰에 조우되더라도 항공기에는 낙뢰 보호 장치와 함께 낙뢰위험으로부터 항공기를 보호할 수 있는 설계기준을 갖고 있어 과거와 같이 항공기 폭발과 같은 치명적 사고로 연결되는 경우는 거의 없다. 하지만, 유도전류에 의한 항공기 탑재 전자장비의 오작동은 여전히 심각한 문제를 야기할 수 있다[1].



〈그림 1〉 낙뢰로 레이더돔 이탈

지상에 위치한 시설물의 경우 피뢰침과 같은 시설을 갖추고 있어 낙뢰로 인한 직접적인 피해가 적을 것 같으나, 현재 특수 건물이나 주요 시설물의 경우 KS기준 1등급의 보호레벨이 98% 정도이며, 그마저도 시설물 설치에 고도 제한이 있는 공항의 경우 피뢰침 주변의 국부적 영역만 보호될 수 있다[2].

또한 뇌서지로 인한 피해는 피뢰침이나 서지 보호기와

같은 수동적인 방식으로 그 피해를 효과적으로 예방할 수 없다. 따라서 낙뢰발생을 사전에 예측, 낙뢰위험에 대비한 적절한 관리대책을 수립·시행하는 것이 보다 근본적인 방법이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 항공기의 낙뢰보호방법 및 지상의 낙뢰예측시스템에 대하여 알아보기로 한다.

2. 낙뢰 발생현황 및 피해사례

2-1 낙뢰 발생현황

기상청의 낙뢰 연보에 따르면 2007년 우리나라에 떨어진 낙뢰는 155만5280건이 관측되었다[3]. 무려 4261회의 낙뢰가 매일 우리나라의 땅과 바다에 떨어지는 셈이다. 이 중 8월에 대기불안정이 심화되어 41.8%에 해당되는 64만 9997회의 낙뢰가 발생되었다(일평균 2만968회).



(그림 2) 낙뢰발생 현황('96~'04)

우리나라 낙뢰발생 밀도는 한국전력의 낙뢰감지네트워크 자료로 보면 그림2와 같다[4]. 지역별로 첫 번째 숫자는 낙뢰 발생 수, 괄호안의 두 번째 숫자는 단위 면적당 낙뢰발생 수, 괄호안의 세 번째 숫자는 단위 면적당 연간 낙뢰발생 수를 의미한다. 낙뢰발생 빈도가 가장 많은 인천지역의 예를 들어보면, 인천공항 비행장관제구역(반경5마일)에 1년 동안 발생하는 낙뢰를 계산하면, 인천공항관제구역에 연간 355건 낙뢰가 발생한다고 가정했을 때, 시설에 적용되는 보호레벨(protection level)은 통상 98%정도로 연간 7회 정도 낙뢰피해를 겪을 수 있음을 알 수 있다. 빈도가 가장 적은 부산지역의 김해공항관제구역의 경우도 연간 1.3회이다.

2-2 항공기 낙뢰 피해사례

2-2-1 낙뢰조우로 인한 회항사례

교통안전공단에서 수행중인 항공안전장애보고제도에 보고된 지난 2000년부터 2008년까지 1500여건의 사례 중 낙뢰조우에 관련된 29(1.9%)건 중 2건의 회항 또는 대체공항에 착륙한 사례를 소개해본다.[5]

㉔ 낙뢰조우로 인한 대체공항 착륙사례

이륙공항 주변에 낙뢰를 유발할 수 있는 적란운 구름이 분포되어 있었으나, 항공기는 정상적으로 이륙하였다. 이륙상승 중, 상승경로 주변의 적란운으로 인하여 낙뢰가 항공기를 타격하고 대기 중으로 빠져나갔으며, 조종사는 별다른 이상을 발견하지 못하고 계속 상승하였다. 항공기가 목적지 공항으로 순항비행 하던 중, 비행관리시스템 전자계통의 항법장비 이상 현상이 발견되어 조종사는 항로상의 인근 공항으로 착륙을 결정하여 항공교통관제소에 상황을 통보하였고, 또한 조종사는 대체공항에 계기 이상이 있음을 통보하여 착륙허가를 받아 안전하게 착륙하였다. 이 사례는 조종사가 항공기 이상 현상에 대하여 조기 감지 및 적절한 조치를 취하여 사고를 미연에 방지하였다.

② 낙뢰에 의한 방풍창 균열로 회항사례

조종사는 이륙공항부근에 구름이 다소 분포되어 있는 상태에서 항공기를 정상적으로 이륙시켰다. 이륙상승 도중 항공기는 낙뢰타격으로 조종석 방풍창이 일부 손상되었으나, 계속적인 비행을 하였고, 항공기 고도가 올라감에 따라 조종석 방풍창 파손이 지속적으로 진행됨에 따라 목적지까지 비행이 어려운 것으로 조종사는 판단하여 이륙하였던 공항으로 회항결정을 결정하여 안전하게 착륙하였다.

2-2-2 낙뢰로 인한 사고사례

① 칠레 Lan-Air A340 사고사례

2008년 6월 칠레 Lan항공사 소속 AIRBUS항공기가 시드니공항에서 300여명의 승객을 태우고 오클랜드 공항으로 운항하던 중 낙뢰를 맞아 항공기의 기수부위에 30cm 가량이 손상됐으며, 이를 수리하기 위해 이틀 동안이나 오클랜드 공항에 머물러야 했다. 당시 뉴질랜드 북섬의 북쪽지역 상공은 겨울철을 맞아 바람과 비 등 굵은 날씨가 계속되던 상황이었으며, 6월 25일 9시부터 다음날까지 24시간 동안 15,000회의 낙뢰가 발생했다고 MetService는 발표하였다. 당시 이 지역에서 총 4대의 항공기가 낙뢰와 조우하였으나, 칠레와 아르헨티나 국적의 항공기가 비교적 심각한 손상을 입었고 나머지 2대의 에어 뉴질랜드 항공기는 피해를 입지 않았다.

② 독일 Lufthansa(LH3431)사고

2008년 4월 5일 불가리아 소피아의 Vrazhdebna공항에서 이륙상승하던 독일 Lufthansa 항공기(LH3431)는 고도 12,000ft에서 낙뢰를 맞아 기체손상을 입어 항공기의 진동이 발생하여 이륙공항으로 회항하였다.

소피아 공항에 안전하게 착륙한 후 안전점검 결과 좌측 수평꼬리날개의 가로세로 10x15cm의 엘리베이터 밸런스 탭의 일부가 낙뢰타격으로 인해 탈락된 것을 확인하였다. 당시 기상자료 확인 결과 소피아 공항 인근에서 적란운과

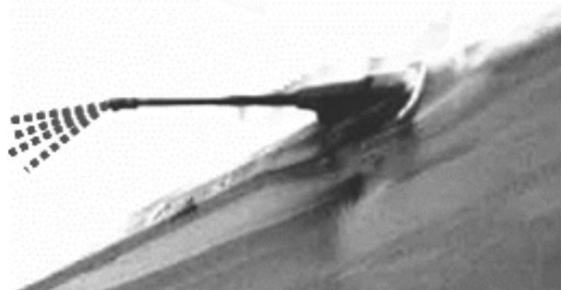
소나기가 발생했던 것으로 확인되었다.

3. 낙뢰가 항공기에 미치는 영향

낙뢰는 발달한 적란운(CB)형 구름 속에서 발생하는 경우가 많고 때때로 강한 비나 우박을 동반한다. CB형 구름에는 난류가 존재한다고 알려져 있으며, 특히 상승기류와 하강기류가 접하는 부분에서는 극심한 난류가 발생되므로 항공기는 일반적으로 CB형 구름을 피하여 운항하고 있다.[6]

항공기를 타격하는 낙뢰는 대부분 대기 중으로 방출되지만 동체나 날개 등에 상처를 입기도 하고, 낙뢰의 충격으로 통신기구나 계기류 일부가 손상되는 경우가 발생된다.

일반적으로 항공기 동체표면은 전기 전도성이 양호한 알루미늄 합금으로 만들어져 있지만, 최근 들어 전도성이 없는 복합소재가 많이 사용되고 있으며 이들 내부에는 전도성 재질이 포함되어 있어 동체에 낙뢰가 떨어지면 항공기 외부표면을 흐르면서 날개와 동체 꼬리 부분에 장착된 그림3과 같은 정전기 방전장치(Static dischargers)를 통하여 외부 대기로 빠져 나가도록 설계된다.



〈그림 3〉 정전기 방전장치

그림4는 낙뢰가 항공기의 전단부로 유입되어 날개끝 부분에서 방출되는 예로서 낙뢰전류가 항공기 동체를 타고 흐르면 항공기체에는 자속이 형성되어 상황에 따라 여러 가지 전기적 현상을 발생하게 된다.



〈그림 4〉 낙뢰 전류의 유도(예)

이러한 전기적 흐름은 구체적으로 영구적인 부품의 손상 또는 일시적인 시스템의 기능장애로 나타나기도 한다.

4. 항공기 낙뢰방호 설계기준

낙뢰로 인한 대표적인 항공기 피해사례는 미국 팬암사의 B707항공기로 1963년 12월 8일 81명의 고귀한 목숨을 앗아 갔다[7]. 사고조사결과 낙뢰에 의해 연료탱크 내부의 유증기가 폭발한 것으로 밝혀졌고, 이로 인하여 미연방항공국 (FAA)에서는 항공기 낙뢰방호 설계기준을 수립하여 낙뢰와 정전기 방지를 위한 전기적 접속 및 보호조치, 연료계통에 대한 낙뢰방지 기술기준을 수립하게 되었다.

우리나라 항공기의 안전운항을 위하여 항공기 제작 및 인증 시 요구되는 KAS(Korean Airworthiness Standard, 항공기 기술기준)에서도 낙뢰와 관련하여 Part. 23, 25, 27, 29에 명시되어 있다. 민간항공기로서의 인가를 받기 위해서는 낙뢰와 관련하여 해당 KAS항목(정전기 및 연료계통 등)에 적합한 시험을 통하여 이에 대한 안전성을 입증하여야 하며, 특히 Part 25(대형 비행기)에는 25.1316 시스템의 낙뢰방호 (System lightning protection)항목이 추가되어 낙뢰를 받은 후에도 전기 및 전자 시스템이 안전하다는 것에 대하여 아래와 같은 조건에 따라 입증하게 하고 있다.[8]

- 비행기의 낙뢰 영역을 결정
- 낙뢰 영역에 대하여 외부 낙뢰조건을 설정
- 시스템 내부의 낙뢰환경을 설정
- KAS에서 요구되는 전기 및 전자 시스템을 식별하고 비행기에서의 그 장착위치를 식별

- 내부 및 외부 낙뢰환경에 대한 적응성을 설정
- 보호방책을 설계
- 설계된 보호대책에 대한 적합함을 입증

5. 항행안전시설 낙뢰방호대책

5-1 직격뢰 방호장치

구조물에 피뢰침이 설치되었다고 해서, 시설이 직격뢰의 피해로부터 완벽하게 보호되지는 않는다[9]. 낙뢰피해를 입은 시설물의 경우 피뢰침이 설치되어 있지 않는 사례는 드물고, 거의 대부분 피뢰침을 설치했음에도 낙뢰피해는 발생하게 된다. 따라서 현재의 기술수준으로 직격뢰로부터 100% 시설을 보호할 수 있는 피뢰침이나 설비는 없다고 보는 것이 올바른 접근 방법이다. 따라서 낙뢰 방호 시설 설계기준에 따라 현실적인 수준(1등급 주요설비의 경우 98% 보호효율)에서 직격뢰 보호설비를 갖추고, 보완적으로 낙뢰발생을 예측하여 위험등급에 따라 비상대응체계를 운영함으로써 피해를 최소화시키는 과학적인 리스크 관리가 보다 중요하다.

피뢰침은 낙뢰로부터 건축물을 보호하는 확실한 수단 중 하나인 것은 사실이다. 따라서 낙뢰 보호를 위해 20m 이상의 고도를 갖는 건축물은 의무적으로 설치하도록 되어 있다. 그러나 최근 기상현상에 의하면 20m의 높이 제한이 거의 무의미해지고 있으며 일반적으로 알려진 보호각의 개념도 무색해지고 있다. 이는 과거에 비해 거리가 가까워진 적란운이 보호대상체에 접근되는 접근 높이가 낮아짐에 따라 접근각이 넓어지는 관계의 문제이며 따라서 보호가 필요하다고 생각되는 모든 설비는 높이를 불문하고 피뢰침을 설치하는 것이 바람직하다. 실제로 유럽의 경우 대부분의 건축물은 높이에 상관없이 피뢰설비를 갖추고 있다.

5-2 유도뢰 뇌서지 방호장치

피뢰침은 직격뢰에만 유효하며 낙뢰가 발생할 경우 그 파생 피해인 유도현상-서지에는 오히려 장해 요소가 된다. 낙뢰가 피뢰침에 도달할 경우 뇌격에 의한 큰 전류가 피뢰침과 대지 간에 연결한 피뢰도선을 통해 흐르게 되며, 이때 주변에 엄청난 전자장에 해당하는 전자파를 발생시키며 주변의 전기 및 전자기기를 손상시키는 주된 요인이 된다. 즉, 피뢰침은 낙뢰로부터 건축물을 보호하는 주된 역할을 하는 것은 사실이나 건축물 내부에서 사용되는 각종 전기기기에는 오히려 치명적인 장애를 유발하는 딜레마를 가지고 있다.

최근 대부분의 전기기기에는 이러한 서지피해를 방지하기 위해 피뢰기(서지보호장치, SPD: Surge protected device)를 내장하기도 한다. 하지만 내장된 서지 보호기의 용량이 매우 미미한 것이어서 실제 보호 수준은 그다지 높지 않으며, 또한 어느 SPD 장치도 만능으로 서지를 보호하는 불가능하다. 따라서 여러 가지 기술의 복합적 접근으로 서지피해를 방어해야 한다[10].

6. 낙뢰예측 기술현황

6-1 구름방전에 의한 낙뢰발생 추정

많은 측정 자료에서 수집된 경험에 의하면 뇌 방전의 80% 이상은 구름방전이고, 통계적으로 구름 방전이 낙뢰보다 수분에서 십 수분 선행한다는 알려져 있다[11]. 따라서 구름방전을 통해서 발생된 뇌운파에서 VHF 주파수대의 펄스를 탐지함으로써 낙뢰예측이 가능하다. 물론 구름방전의 정확한 위치를 알기 위해서는 TOA와 MDF 방식으로 낙뢰발생위치를 추정한다[12]. 기본적으로 구름방전의 3차원적인 모습을 관측하기 위해서는 최소 5개의 센서가, 2차원적인 모습을 관측하기 위해서는 최소 4개의 구름방전센서가 필요하다.

우리나라 기상청에서는 LDAR II (Lightning

Detection And Ranging System) 센서를 사용하여 구름방전을 탐지하고 있다. 이것은 낙뢰가 발생되기 전 구름속에서 선행하여 발생하는 미세한 방전의 VHF펄스를 검출하여, 도달시간차(TOA) 방법으로 구름방전의 위치를 3차원적으로(위도, 경도, 고도) 추적한다[13].

그러나 구름방전에서 발생하는 VHF펄스파를 감지하여 예측하는 방식은 일단 구름방전이 발생한 후에야 낙뢰예측이 가능하며, 또한 국가적 차원에서 낙뢰발생 정보를 수집해야 하므로 국지적 낙뢰위험을 예측하기에 어려운 부분이 있다.

6-2 레이더를 이용한 뇌운측정

영국의 Mason(1971)은 뇌운을 구성하고 있는 1개의 CELL 안에서의 강수와 전기적 활동의 평균 지속시간은 약 30분이며, 전하의 분리는 강수, 특히 싸락눈 또는 우박의 발달과 밀접한 관련이 있다고 하였다. 이들 입자들이 수m/sec의 상승기류 속을 낙하할 수 있을 정도의 크기로 형성되었을 때 전하의 분리가 발생하며, 레이더로 검출되는 강수 시작부터 12~20분 이내에 최초의 불꽃 방전을 일으키는 것으로 알려져 있다.

마이크로파의 도플러 레이더를 3대 이상 사용하여 구름중의 강수 입자들을 동시에 측정하면 입자군 속도의 3가지 성분을 구할 수 있기 때문에 적당한 판정을 하면 구름중의 입자군의 움직임을 관측할 수 있게 된다. 그러면 이러한 입자군이 하강하는 순간부터 12~20분 이내에 낙뢰가 발생될 것으로 예측할 수 있다.

이미 공항에는 TDWR(Terminal Doppler Weather Radar)이 설치되어, 공항 주변의 구름의 분포와 강수강도, 윈드쉬어나 마이크로버스트와 같은 난류를 감지할 수 있다. TDWR에서 관측된 자료는 항공기상관리본부에서 처리하여 관제탑, 접근관제소, 항공교통관제소 등에 제공된다. 공항 주변의 구름의 분포와 강수의 강도, 방향 및 난류지역의 정보는 공항관제탑에 보내지고, 이 정보에 따라 항공교통관제사는 뇌우지역에 접근하는 항공기 조종사에

계 정보를 알림으로써 항공기의 안전한 이·착륙을 위한 중요한 정보로 활용되고 있다. 그러나 도플러레이더는 비용이 매우 고가일 뿐 아니라, 수집된 정보를 분석하고 판정하는 사람의 전문성에 따라 결과가 크게 좌우되는 문제점이 있다.

6-3 전계측정센서를 이용한 낙뢰예측

낙뢰가 발생하기 직전 대지에는 국지적으로 특정한 전계가 형성되며, 이러한 원리를 이용한 센서가 전계측정센서이다. 대표적인 센서로 평판형 안테나, 필드밀센서, 침단 코로나 센서가 있으며 각기 성능과 특성이 상이하다.

평판형(또는 반구형) 안테나는 뇌방전에 의해서 방사되는 뇌전자장펄스(lightning electromagnetic pulses, LEMPs)를 포착하여 증폭하는 장치다. 구조가 단순하고 비교적 원거리(40km)의 펄스를 수신할 수 있으나, 주변의 전자기파에 민감하게 반응하고, 또한 정전계 및 느린 전계변화 측정의 감도가 떨어지는 단점이 있다[14],[15].

필드밀 센서는 가장 최근에 개발된 장비로, 정전계 및 아주 느린 전장의 변화도 측정할 수 있고 감도가 우수한 장점이 있다. 또한 지표면에 가깝게 설치할 수 있고 주변의 노이즈에도 강한 장점이 있으나, 유지보수가 어렵고 장기간 야외에서 사용할 경우 감도가 저하되는 단점이 있다. 최근에는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 전천후형 필드밀 센서가 개발되었으나, 전기를 띤 전하를 검출하기 위해서 설정한 감지부의 검출특성이 사용환경에 따라 변화될 수 있어 낙뢰 위험성을 판단하는 분석시스템의 알고리즘이 매우 중요하며 많은 경험과 노후가 필요하므로 운영이 다소 어렵다는 단점이 있다[16].

침단 코로나 센서는 유지보수, 예측특성 등 전반적으로 우수한 성능을 보이고 있으나, 설치된 장소의 고도가 예측 성능에 직접적으로 영향을 준다는 점이 설치장소 선정에 다소 어려움을 주는 요소이다. 또한 전계 민감도가 필드밀 방식에 비해 다소 미흡한 것도 단점이다.

7. 이종 낙뢰예측센서의 복합적 구성

국지적 낙뢰위험을 예측하는 시스템을 구성하기 위해서는 전계형 센서를 사용하는 것이 가장 타당한 방식이다. 다만, 전계형 센서는 각기 성능과 특성이 상이하므로 단일 센서로는 모든 상황에 적합한 탐지범위를 가질 수 없고, 서로 다른 특성을 보완할 수 있는 이종 센서의 사용이 필요하다. 그러한 예가 시중에서 현재 판매되고 있는 MK Series라고 볼 수 있다. 이 방식은 자계센서와 코로나센서를 혼용하여 원거리에서 방전된 낙뢰의 뇌운파를 감지하고, 근거리에서 전장의 변화를 감지하는 복합센서 방식을 사용한다. 이러한 방식은 비용대 효과면에서 매우 효과적인 방법이라고 판단된다.

8. 결 론

자연 현상으로 발생하는 낙뢰는 항공분야의 안전성을 위협하는 매우 위험한 요소이다. 낙뢰로 인한 항공기사고로 인하여 항공기는 제작에서부터 운용에 이르기까지 낙뢰로부터 보호할 수 있는 방안을 갖게 되었고, 또한 지상 항행안전시설은 KS기준 1등급의 보호레벨이 98% 정도를 유지하고 있다.

현재 항공선진국에서는 지상 항행안전시설 및 비행장을 입출항하는 항공기들이 예상치 못한 낙뢰로부터 안전성을 확보할 수 있게 하기 위하여 낙뢰예보에 대한 연구가 추진 중에 있다. 국지적으로 기상이변이 날로 증가되는 현실에서 예상치 못한 낙뢰로부터 안전성확보를 위하여 우리나라도 낙뢰예방 및 낙뢰예보시스템에 대한 연구 및 개발이 활발히 이루어지길 바란다.

참고문헌

1. 한상호, "항공기 시스템 및 항공전자 장비의 낙뢰 간접영향에 대한 감항성 인증", 항공우주연구원 항공우주기술 제4권 제1호, pp. 247~259

2. 이복희, 이승철, “낙뢰의 특성과 뇌보호에 대한 현안문제” 조 명 · 전기설비학회지, 제17권 제4호, 2003. 8, pp. 3~15
3. 낙뢰연보(2007), 기상청
4. 한국전력 낙뢰감시네트워크 홈페이지 (<http://www.lightning.or.kr/>)
5. KARIS, <http://www.airsafety.or.kr> 교통안전공단, 항공안전장 애보고시스템
6. “난류(turbulence)와 비행안전” 항공교통안전시리즈 33호, 교 통안전공단
7. NTSB Accident Database & Synopses 사고사례 http://www.nts.gov/ntsb/query.asp#query_start
8. “항공기 기술기준 Part 23, 25, 27 & 29”, 항공안전본부, 2007
9. 한국전기연구원(KERI), 피뢰설비분석('06. 11. 26)
10. 안희석, “여름철 낙뢰와 서지피해 방지대책”, 삼성방재연구 소 위험관리지 2008 여름호
11. 이종호외 2인, “일본중서부지방에서 발생하는 등계 뇌 방전 의 특징”, 한국지구과학학회지, 제24권 제3호, 2003. 4. pp. 181~189
12. 김홍일외 2인, “나로 우주센터 종합낙뢰감지시스템 소개 및 기술동향”, 항공우주연구원 항공우주산업기술동향 제4권 제 2호, 2006, pp. 49~54
13. 우정욱 외 2인, “낙뢰측정 네트워크를 위한 감지기 사이트서 베이와 낙뢰 감지율 검토”, 전기학회논문지 제55C 제11호, 2006. 11, pp. 532~537
14. 이복희 외 3인, “운방전에 의해 발생한 전자장 펄스의 통계 적 특성”, 조명 · 전기설비 학회지, 제18권 제5호, 2004. 9, pp. 112~117
15. 이복희 외 2인, “낙뢰에 의해 방사된 전계와 자계 파형의 파 라미터”, 조명 · 전기설비 학회지, 제20권 제5호, 2006. 6, pp. 57~63
16. 송재용 외 4인, “필드 밀을 이용한 대지전장 측정장치 개발”, 한국해양정보통신학회논문지, 제5권 제2호, pp. 315~320