

Radiosonde 자료를 이용한 항공기난류 특성 분석

The Characteristics of Aircraft Turbulence Using Radiosonde data

김영철*(한서대학교), 박상환(공주대학교)

1. 서 론

항공기난류(*aircraft turbulence*)는 대기 상태의 급변으로 인해 항공기가 비행 중(특히, 급격한 상승 및 하강 운동 시)에 나타나는 불규칙적인 운동을 말하는 것(*glossary of meteorology*, 2000)으로, 대기의 상태보다 항공기의 반응에 기초를 둔 정의이다. 이는 항공기난류가 불규칙적이고 무질서한 대기의 난동에 의해서 뿐만 아니라 조직적인 소규모 순환에 의해서도 발생할 수 있음을 의미한다.

항공기난류가 생기는 원인은 역학적인 것, 열적인 것, 바람 시어(*wind shear*)에 의한 것, 항공기의 항적(*wake*)에 의한 것이 있다(기상학사전, 1992). 그러나 Lester(2004)는 난류가 발생하는 곳, 나타나는 대기 순환의 규모, 무엇이 난류를 발생시키는가에 따라 4개의 영역으로 구분하였다(표 1). 특히 강한 상승 기류와 하강 기류가 공존하는 적란운과 산악 지형에 의해 생성되는 대기의 파동, 제트 기류 주변에서 주로 발생하는 청천 난류(*clear air turbulence, CAT*)는 항공기난류의 대표적인 것으로, 조종사가 가장 경계해야 하는 대상이다. 항공기난류는 승객에게 불편감을 줄뿐만 아니라 기체의 구조를 손상시키고, 조종 불능 등 치명적인 항공기 사고의 원인이 되기도 하므로 매우 중요하다고 할 수 있다. 인천 국제공항과 같은 곳에는 저층 난류 경보장치(*low level windshear alert system, LLAWS*)와 같은 장비가 설치되어 항공기 이·착륙 시에 발생하는 공항 주변의 난류에 대한 정보를 제공하고 있으며, 미국 항공우주국(NASA)의 난류 경보 시스템(항공기 탑재 레이더 성능 향상 소프트웨어) 등이 개발되어 난류 예측 환경과 기술이 개발되고 있지만, 현업에서 항공기난류의 예보 및 지원과 관련하여 정확한 정보를 제공하기가 매우 어려운 것도 또한 현실이다.

항공기난류는 대기 상태뿐만 아니라 각 항공기마다 난류의 강도가 다르게 느껴지는 주관적 측면이 강하고, 관측 자료 또한 많이 부족하여 각종 예보 법칙도 경험적이며 주관적인 경향이 강하다(Etrod

and Knapp, 1992). 수치 예보의 경우에도 그 정확도는 아직은 개발 단계에 있으며, 저층 난류 경보장치와 같은 첨단 장비들은 국내선 공항이나 공군 비행장에는 설치되어 있지 않는 실정이다.

이에 본 연구에서는 통상적으로 항공기난류 예보에 많이 사용하는 연직바람시어(*vertical wind shear, VWS*)를 *radiosonde* 자료를 활용하여 산출하고, 이를 1990~1999년까지 10년 간 우리나라 중부 지역에 대한 조종사 기상보고(*pilot weather reports, PIREPs*) 자료에 포함된 항공기난류의 발생 현황과 비교하여 항공기상 지원 업무에 활용하는 방안에 대하여 살펴보았다.

	성 격	원 인	종 류
LLT (low level turbulence)	하층난류, 경계층 난류	대기 경계층	역학적, 열적, 전선, 항적 난류
CAT (clear air turbulence)	상층 난류, 자유대기 난류	제트 기류	청천난류
MWT (mountain wave turbulence)	산악파 난류	지형	풍하파, 저고도난류
TNT (turbulence in and near thunderstorms)	뇌우 난류	대류	뇌우 내/외부

표 1 the classification of turbulence.

2. PIREPs와 VWS 분석

2.1 조종사 기상보고(PIREPs)

조종사 기상보고는 비행 중인 조종사가 비행 중에 조우하거나 관측한 기상 현상을 기상대 또는 관련 기관에 통보하는 것을 말하며, 운정(*cloud top*)이나 난류, 착빙(*icing*) 등을 직접 관측할 수 있는 유일한 수단으로 매우 귀중한 자료이다. 공군기상대에서는 비행 시 조종사가 접한 다양

한 기상 현상을 접수하고, 이를 전파하는 체계를 유지하고 있으며, 공군 비행장을 사용하는 민간 항공기의 조종사에게서도 보고를 받고 있다. 본 연구에 사용한 조종사 기상보고 자료는 VWS와 비교를 위해 시간적으로는 오전 6시 ~ 낮 12시까지, 연직 고도는 지상 ~ 10,000ft까지로 정하였다. 이러한 기준으로 선정된 조종사 기상보고 자료 수는 465개로, 같은 기간의 전체 조종사 기상보고 자료 수(35,110개)의 1.3%를 차지한다. 1990 ~ 1999년까지 10년 동안 항공기난류가 보고된 전체 조종사 기상보고 자료를 월별·계절별로 분석 결과, 3월이 가장 많고, 8월이 가장 적었으며, 계절별로는 봄철이 가장 많았다(그림 1).

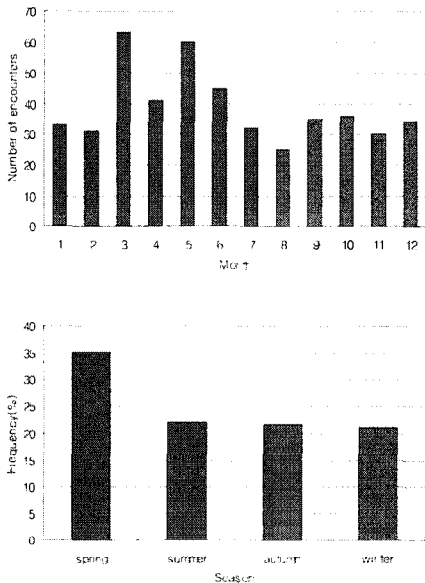


그림 1 aircraft turbulence events in month(top) and season(bottom).

항공기난류의 발생 고도 분포 및 강도 분석(그림 2)결과, 발생 고도에서는 고도 불명이 전체 자료의 약42.1%를 차지하였고, 5,000ft 이하, 10,000ft 이하의 순으로 나타났다. 또한 항공기난류의 강도는 약한(LGT) 난류가 전체의 60% 이상을 차지하고, 중간(MDT), 강한(SVR) 순으로 분석되었다. 본 연구에서 사용할 중부 지방 오전의 조종사 기상보고 중 난류 발생 고도가 명확한 자료는 총 53개였으며, 이를 지역 별로 구분하면 강릉 지역이 30개로 가장 많았으며 다음이 예천 지역 순이었다(그림 미제시.). 계절별로는 봄철이 가장 높았으며, 난류의 강도 분

포는 약한(LGT) 난류가 약 54.7%로 가장 높게 나타났다.

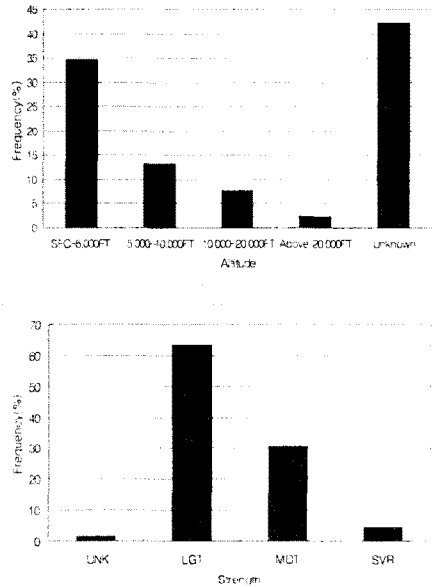


그림 2 aircraft turbulence events in height(top) and intensity(bottom).

2.2 연직바람시어 (VWS)

우리나라 중부 지역 난류 발생 보고가 있는 조종사 기상보고와 비교를 위해서 1990 ~ 1999년 00UTC 오산 radiosonde 자료를 사용하여 연직 바람 시어를 산출했다. 연직 고도는 지상에서 10,000ft까지 1,000ft 단위 10개 층으로 구분하였다. 고층 기상 자료 보고에 포함되지 않은 5,000ft와 10,000ft 자료는 인접한 기압면 층인 850hPa과 700hPa의 바람 자료를 활용했다. 연직 바람 시어(VWS)는 아래의 식 (1)과 같이 정의된다.

$$VWS = \frac{\sqrt{\Delta u^2 + \Delta v^2}}{\Delta z} \quad \text{식 (1)}$$

식 (1)에서 u, v는 동서(x) 및 남북(y) 방향의 속도이며, z는 관계되는 연관된 두 층의 높이이다. VWS는 임의의 두 층 간의 풍향과 풍속 차이에 의해 구해지는 것으로서, 두 층을 선택하는 방법에 따라서 VWS는 많이 변함을 알 수 있다. 따라서 연직으로 조밀한 층과 성긴 층 사

이에서 구한 *VWS* 사이에는 어느 정도 오차가 발생할 수 있으며, 이러한 오차를 최소화시키기 위해서는 연직으로 조밀하게 구성된 관측 자료를 활용하는 것이 바람직하다. *VWS*에 따른 난류 강도 구분은 아래와 같다(표 2. 이승재와 김영철, 2002). 난류 강도 중 약한(*LGT*) 난류의 발생 폭이 넓어 변별 기준이 떨어짐을 방지하기 위해 $10 \times 10^{-3} s^{-1}$ 이상 값을 취하였다.

난류지수	약함 (<i>Light</i>)	중간 (<i>Moderate</i>)	강함 (<i>Severe</i>)
<i>VWS</i>	$\geq 10 \times 10^{-3} s^{-1}$	$\geq 17 \times 10^{-3} s^{-1}$	$\geq 24 \times 10^{-3} s^{-1}$

표 2 Classification of turbulence intensity from *VWS*

오산 *Radiosonde* 관측 자료로 *VWS* 산출 후 Table. 2에 따라 분석했다. 아래 Fig. 3에서 1은 0~1,000ft, 2는 1,000~2,000ft, 3은 2,000~3,000ft, 10은 9,000~10,000ft로 각각 인접한 층을 말하며, 작은 숫자는 지표면에 가까운 대기 저층을, 큰 숫자는 10,000ft에 가까운 상대적인 대기 상층을 가리킨다. 약한(*LGT*) 난류는 계절적으로는 주로 겨울철에 많이 발생하고, 여름철이 적게 발생하는 것으로 나타났다. 특히 그 지표에 인접한 저층에서 상대적으로 대기 상층보다 많이 발생하였고, 3, 4, 7월의 분포도 높게 나타났다. 중(*MDT*) 정도 난류는 약(*LGT*) 정도의 강도 변화와 유사하게 겨울철에 많이 발생하고, 여름철이 적게 발생했고, 대기 저층에서 높은 빈도수를 나타내었다. 특히 6,000ft 이상 대기 상층으로 가면서 빈도수가 점차 증가하는 경향을 보였다. 강(*LGT*)한 난류는 봄과 여름철에 많이 발생했고, 특히 대기 저층에서는 3월, 7월이 높았다. 연직으로 10,000ft에 접근되면서 다시 증가하는 경향을 보여주고 있다.

3. 결 론

본 연구는 *radiosonde* 자료를 활용하여 항공기 난류의 특성을 분석하고, 이를 1990~1999년까지 10년 간 난류 발생을 보고한 우리나라 중부 지역에 조종사 기상보고(*pilot weather reports, PIREPs*) 자료와 비교한 것이다. 오산지역

00UTC *VWS*의 월별, 층별 평균 비교자료에서 시기적으로는 겨울철이 공간적으로는 지표에 인접한 저층에서 항공기 난류 발생 빈도가 높은 것으로 분석되었다. 이는 *VWS*가 상·하층 간의 풍속 및 풍향의 차이만을 고려했기 때문에, 지표면 근처에서 지형에 의한 큰 마찰 효과와 상대적으로 연직 풍속이 강해지는 겨울철의 계절적 특성 때문으로 추정된다. 통상적으로 항공기 난류를 판별하기 위해 풍속만을 주로 활용하고 있으나 연직 층의 풍향 및 풍속을 고려하면, 실제 항공 기상 지원 시 한층 도움이 될 것으로 판단된다.

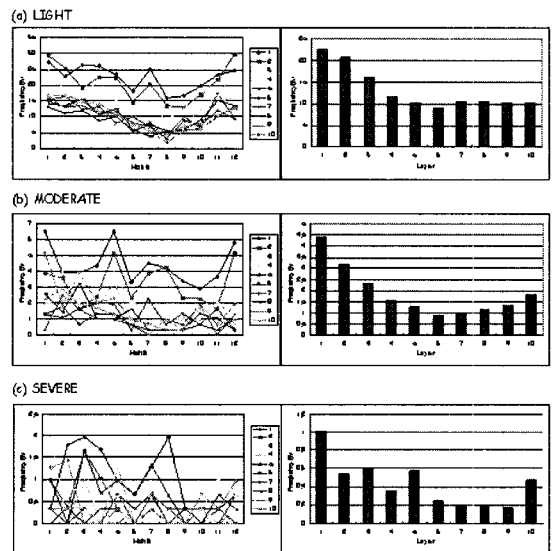


그림 3 The frequency of aircraft turbulence events in intensity from top to bottom panel in month(left), and height(right), respectively.

참고문헌

- 1) American Meteorological Society, "Glossary of meteorology", 2000
- 2) 김광식; "기상학사전", 향문사, 1992
- 3) Lester, P.F., 2004: Aviation Weather, second edition, Jeppesen Sanderson Inc.
- 4) Elrod, G.P., and D. I. Knapp, 1992: Forecasting Techniques - An objective clear-air turbulence forecasting technique: verification and operational use, Wea. Forecasting, 7, 150-165.
- 5) 이승재, 김영철, 2002 : 남한지역 상공에서 관측된 항공기 난류의 수치예보와 검증, 한국기상학회지.