

論文

Radiosonde 자료를 이용한 항공기난류 특성 분석

김영철*, 박상환**

The Analysis of the Characteristics of Aircraft Turbulence
using Radiosonde data

Young-Chul Kim*, Sang-Hwan Park**

ABSTRACT

The purpose of this study is analysis of aircraft turbulence of mid Korea using VWS from Osan radiosonde data and comparison with the PIREPs reporting the aircraft turbulence during 1990~1999.

The results of this study summarized that the frequency of aircraft events is more higher in winter time and in lower level(near the surface) of the atmosphere from VWS analysis using radiosonde data. And comparison with PIREPs data shows that relatively high skill score(44%) using the VWS method.

It appears that the operational forecast skill score of aircraft turbulence is much higher using VWS than empirical method, due to the upgrade of the discrimination criteria of the aircraft turbulence.

Key Words : aircraft turbulence(항공기난류), PIREPs(조종사 기상보고), VWS(연직바람시어), Radiosonde data(라디오존데 관측 자료)

I. 서론

항공기난류(aircraft turbulence)는 대기 상태의 급변으로 인해 항공기가 비행 중(특히, 급격한 상승 및 하강 운동 시)에 나타나는 불규칙적인 운동을 말하는 것[1]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, 열적

인 것, 바람 시어(wind shear)에 의한 것, 항공기의 항적(wake)에 의한 것이 있다[2]. 그러나 Lester[3]는 난류가 발생하는 곳, 나타나는 대기 순환의 규모, 무엇이 난류를 발생시키는가에 따라 4개의 영역으로 구분(<Table. 1>)하였다. 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 중요하다 할 수 있다.

인천 국제공항은 저층 난류 경보장치(low level wind shear alert system, LLAWS)와 같은 장치가 설치되어 항공기 이·착륙 시에 발생하는

2007년 11월 27일 접수 ~ 2007년 12월 29일 심사완료

* 정회원 한서대학교 항공운항학과 조교수

** 정회원 공주대학교 대기과학과

연락 저자 E-Mail : yckim@hanseo.ac.kr

충남 태안군 남면 신온리 산105

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 활용되고 있지만, 현업 항공기난류 예보 및 지원과 관련하여 정확한 정보를 제공하기가 매우 어려운 것도 또한 현실이다.

Table. 1. 난류의 종류

	성격	원인	종류
LLT (low level turbulence)	하층난류, 경계층 난류	대기 경계 층	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

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([4]). 수치 예보의 경우에도 그 정확도는 아직은 개발 단계에 있으며, 저층 난류 경보장치와 같은 첨단 장비들은 국내선 공항 및 공군 비행장에는 설치되어 있지 않는 실정이다.

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

II. 조종사 기상보고(PIREPs)

조종사 기상분석 보고는 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 다양한 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. <Fig. 1>은 1990~1999년까지 10년 동안 항공기난류가 보고된 전체 조종사 기상보고 자료를 월별·계절별로 분석한 것으로 3월이 가장 많고, 8월이 가장 적었으며, 계절별로는 봄철이 가장 많았다.

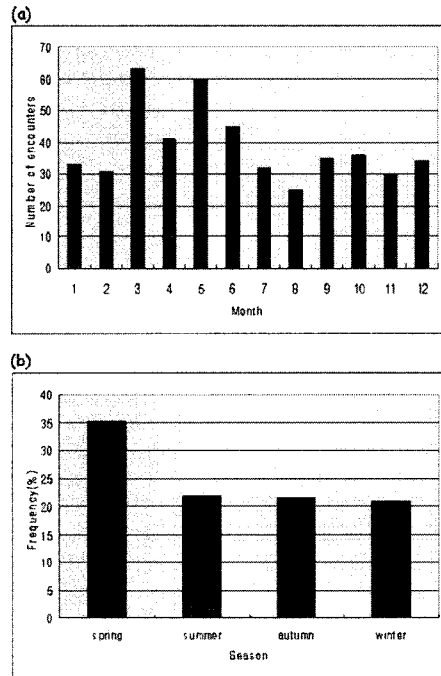


Fig. 1. 월별(a), 계절별(b) 항공기난류 발생 현황.

Fig. 2는 항공기 난류의 발생 고도 분포 및 강도를 분석한 것으로, 발생 고도에서는 고도 불명이 전체 자료의 약42.1%를 차지하였고, 5,000ft 이하, 10,000ft 이하의 순으로 나타났다. 또한 항공기 난류의 강도는 약한(LGT) 난류가 전체의 60% 이상을 차지하고, 중간(MDT), 강한(SVR) 순으로 분석되었다.

Fig. 4은 중부 지방 오전의 조종사 기상보고 중 난류 기록이 명확한 자료(53개)에서 지역과

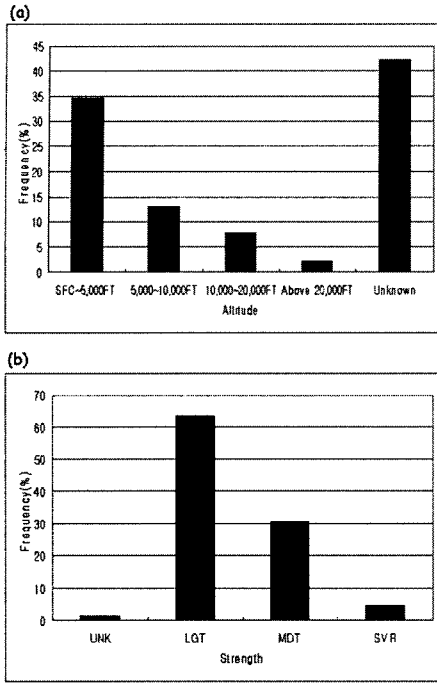


Fig. 2. 항공기 난류의 발생 고도(a)와 강도(b).

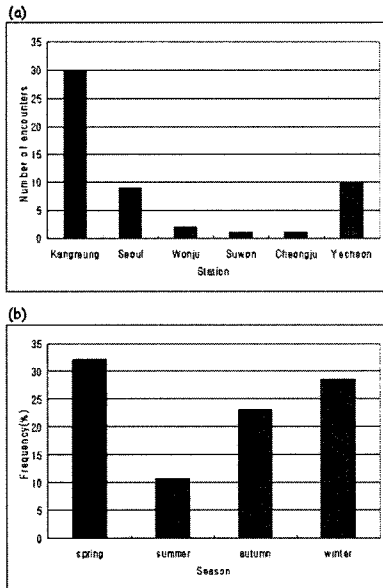


Fig. 2. 우리나라 중부 지역 항공기 난류 발생 지역(a)과 계절별 분포(b).

계절별로 분석한 것으로, 강릉 지역(30개), 예천 지역 순이었다. 계절별로는 봄철이 가장 높았으며, 난류의 강도 분포는 약한(LGT) 난류가 약 54.7%로 가장 높게 나타났다.

III. 연직바람시어(VWS)

우리나라 중부 지역 난류 발생 기록이 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 850hPa와 700hPa의 바람 자료를 활용했다. 연직 바람 시어(VWS)는 아래의 식 (1)과 같이 정의된다.

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

식 (1)에서 u, v 는 동서(x) 및 남북(y) 방향의 속도이며, z 는 관계되는 연관된 두 층의 높이이다. VWS는 임의의 두 층 간의 풍향과 풍속의 차이에 의해 구해진다.

이러한 VWS를 계산하기 위한, 임의의 두 층의 선택하는 방법에 따라서 VWS는 많이 변함을 알 수 있다. 따라서 연직으로 조밀한 층과 성긴 층 사이에서 구한 VWS 사이에는 어느 정도 오차가 발생할 수 있으며, 이러한 오차를 최소화시키기 위해서는 연직으로 조밀하게 구성된 관측 자료를 활용하는 것이 바람직하다.

VWS에 따른 난류 강도는 아래 <Table. 2>와 같이 분류된다.([5]). 그 중 약한(LGT) 난류의 발생 폭이 넓어 변별 기준이 떨어짐을 방지하기 위해 $10 \times 10^{-3} s^{-1}$ 이상 값을 취하였다.

Table. 2. VWS에 따른 난류 강도 분류.

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

오산 Radiosonde 관측 자료를 활용하여 VWS 분

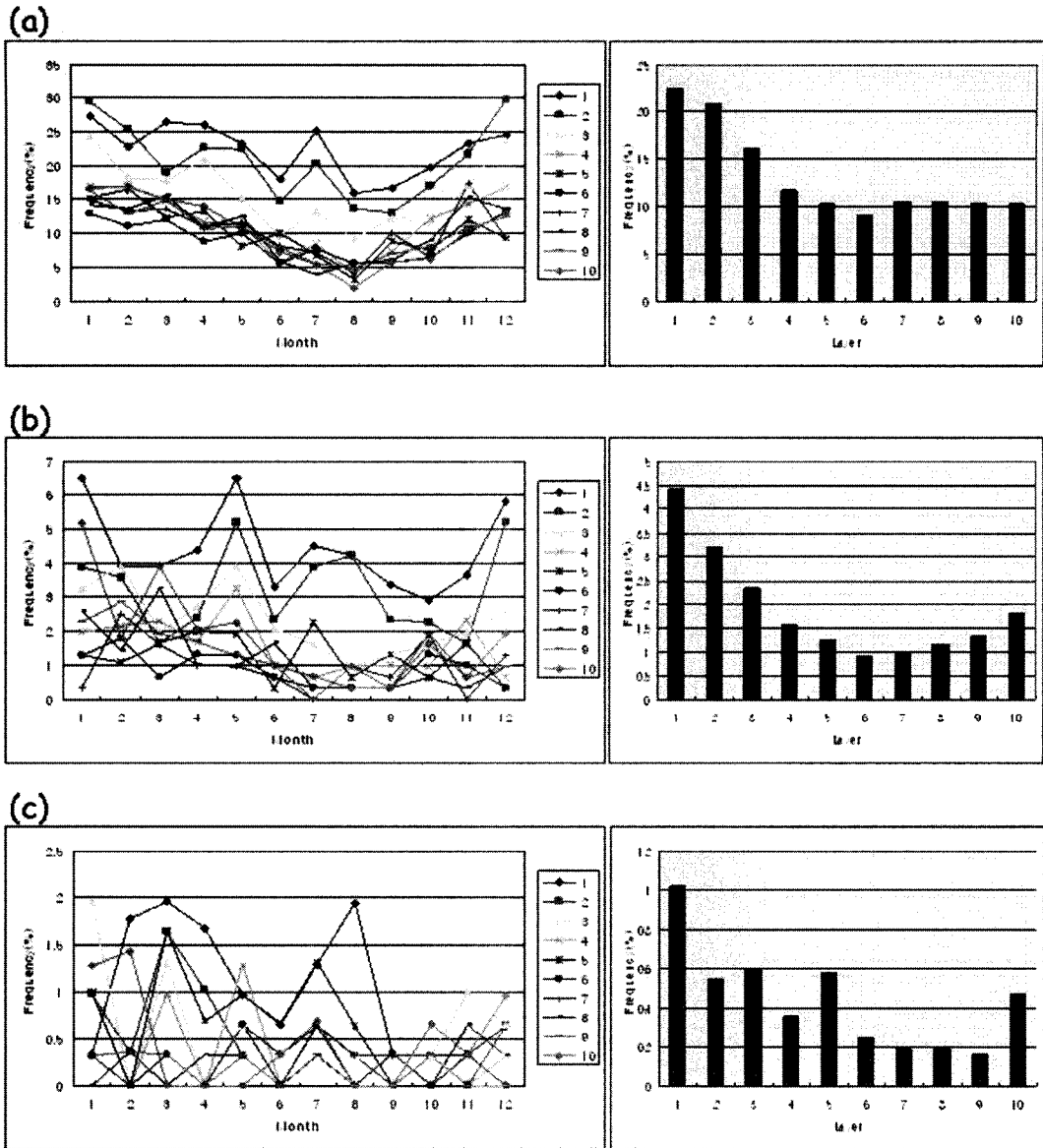


Fig. 4. 난류 강도((a)Light, (b)Moderate, (c)Severe)에 따른 월별, 연직 고도별 발생 빈도.

석하여 Table. 2의 분류에 따라 약, 중, 강으로 나누어 분석했다.

Fig. 4에서 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.

약(LGT)한 난류 발생 시 계절적으로는 주로 겨울철에 많이 발생하고, 여름철이 적게 발생하는 것으로 나타났다. 특히 그 지표에 인접한 저층에서 상대적으로 대기 상층보다 많이 발생하였

고, 3, 4, 7월의 분포도 높게 나타났다.

중(MDI) 정도 난류 발생 시에는 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 난류 발생 시에는 봄과 여름철에 많이 발생했고, 특히 대기 저층에서는 3월, 7월이 높았다. 연직으로 10,000ft에 접근되면서 다시 증가하는 경향을 보여주고 있다.

IV. VWS와 PIREPs 비교

항공기난류를 기록한 조종사 기상보고와 오산 고층기상자료에서 산출한 VWS를 비교해 본 결과는 Table. 3에 나타내었다. Table. 3은 조종사 기상보고와 VWS를 분석 결과로, 비교점수 3점을 만점으로 하여 1.32점을 얻어 44%의 일치율을 보였다.

특히, 우리나라 항공기난류가 가장 많이 발생한 강릉 지역의 조종사 기상보고 자료와 강릉 지역 상층풍 관측 자료를 사용하여 Table 3과 같이 분석한 결과(Table 미제시)는 비교점수 3점 만점에 2.3점을 얻어 77.8%의 일치율을 보여주었다. 이는 어떤 입지의 지역의 항공기난류는 그 지역의 상층 바람에 매우 큰 영향을 받고 있다는 것과 그 지역의 상층 바람 자료를 활용하면 더욱 정확한 정보를 줄 수 있음을 보여주는 것이다.

또한, 난류 발생 및 강도를 보고한 조종사 기상보고 자료와 VWS 방법에 의한 난류 강도가 일치하는 층에 대해서, 그 아래층과 위층에 대한 풍향과 풍속 차이를 평균적으로 분석했다. Table. 4는 그 평균 결과를 보인 것이다.

Table 4. 항공기난류 발생 시 VWS 방법과 경험적 판별 기준 비교.

	풍향차	풍속차	경험	비고
약	11.8°	4.5kts	6kts 이상	풍향 5°차이에 풍속 0.6kts 증가
중	15.0°	8.7kts	10kts 이상	
강	25.0°	11.2kts	14kts 이상	

VWS 방법에서 아래와 위층 거리는 1,000ft로 고정되어 VWS 값을 변화시킬 수 있는 것은 동서(u) 방향과 남북(v) 방향 풍속이다. 난류 발생 및 강도에 대한 경험적 판별 시에는 주로 연직 풍속 자료를 주로 활용한다. 이때, 연직 풍속 차이가 6kts 이상이면 약(LGT), 10kts 이상이면 중(MDT), 14kts 이상이면 강(SVR)로 기본적으로 고려할 수 있다.

Table. 4는 풍향과 풍속 모두 고려한 결과이며, 이를 위에서 언급한 경험적 난류 판별 기준과 비교하면, 아래와 위층의 5°의 풍향 차이가 약 0.6kts 정도 풍속 증가 경향을 보였다. 이러한 평균 풍향과 풍속의 차이 및 비교는, 기존에 풍속에만 의존하여 항공기난류를 지원한 경험적인 판별 기준에서 더욱 발달한 실제적인 방법이라 할

수 있으며, 실제 항공기 난류 발생 및 강도 판별 시 매우 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

IV. 결론

본 연구는 radiosonde 자료로 항공기난류의 특성을 분석하고, 이를 조종사 기상보고(PIREPs) 자료와 비교한 것이다. 오산지역 00UTC VWS의 분석 결과 겨울철, 지표에 인접한 저층에서 항공기난류 발생 빈도가 높은 것으로 분석되었다. 이는 VWS 특성으로 인한, 지표면 근처의 마찰 효과와 풍속이 강해지는 겨울철의 계절적 특성 때문으로 판단된다.

또한, 오산 지역 VWS 결과를 기준으로, 난류가 기록된 조종사 기상보고와 비교 시, 44%의 적중률을 보였으며, 특히 강릉 지역의 상층풍 자료를 사용하여 비교한 경우는 77.8%의 높은 적중률을 보였다.

통상적으로 항공기난류를 판별하기 위해 풍속만을 주로 고려하고 있으나, 본 연구 결과를 활용하면 풍향 및 풍속 모두 고려하여 항공기 난류 판별에 활용할 수 있어 더욱 개선된 실제적인 방법이며, 실제 항공기 난류 발생 및 강도 판별 시 매우 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 따라서, 상층풍 자료(윈드프로파일러 등)에서 산출되는 VWS는 그 지역에 대한 항공기난류 예측에 매우 유효한 방법이며, 특히 10,000ft 이하 하층에서의 단기적인 항공기난류 예보에 활용한다면 항공기상 정보 지원에 한층 도움이 될 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [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 항공기난류의 수치예보와 검증, 한국기상학회지.

발생일	난류 보고 지역	난류 보고 고도	지상	VWS 1천 ft	VWS 2천 ft	VWS 3천 ft	VWS 4천 ft	VWS 5천 ft	VWS 6천 ft	VWS 7천 ft	VWS 8천 ft	VWS 9천 ft	VWS 1만 ft	비교점수
1991.01.12	장흥	5천~1만ft	1	1	1	1	1		1		1			2
1992.11.24	장흥	6천ft이상	2	1	1									3
1994.03.08	서울	1천ft이상												0
1994.11.07	장흥	3천~8천ft			1									3
1994.11.14	서울	2천~1만ft												3
1994.12.30	장흥	8천ft이상												0
1995.01.06	장흥	5천ft이상	1	1										3
1995.01.09	장흥	1만ft이하	1	1						1				2
1995.01.25	장흥	2천~8천ft								1				0
1995.03.06	서울	3천ft이상												0
1995.03.10	예천	1천~4천ft	1											2
1995.03.10	장흥	3천ft이상	1	1						2				3
1995.03.18	장흥	3천~7천ft												0
1995.03.19	장흥	4천ft이상	1											0
1995.03.20	장흥	4천ft이상	1	1										0
1995.05.02	장흥	6천ft이상	1											0
1995.05.23	장흥	1천~3천ft												0
1995.05.24	장흥	1천ft이상	1	1	1	1								2
1995.05.26	장흥	7천~8천ft												0
1995.05.26	장흥	5천~7천ft												0
1995.05.01	장흥	9천ft이상												0
1995.07.12	서울	2천~6천ft	1	1					1					2
1995.10.05	장흥	5천ft이상	1	1				1						2
1995.10.16	장흥	7천ft이하												0
1995.11.01	장흥	4천ft이상	1	1										0
1995.11.22	장흥	5천ft이상												0
1996.01.08	예천	3천~6천ft	1											0
1996.01.08	장흥	3천~6천ft	1											0
1996.01.08	수원	3천~6천ft	1											0
1996.02.01	원주	5천ft이상	1	1	1	1								3
1996.11.20	장흥	5천ft이상												0
1996.11.27	장흥	6천ft이상							1	1		1		2
1996.11.29	서울	5천ft이상			1	1		1				1		2
1996.12.07	예천	2천~4천ft		1										3
1997.01.06	예천	4천~5천ft			1		1							2
1997.08.16	장흥	4천ft이상	1	1	1				1	1	1	2		3
1997.08.16	서울	4천ft이상	1	1	1				1	1	1	2		3
1997.06.24	예천	8천ft이상												0
1997.06.25	장흥	8천ft이상												0
1997.07.03	장흥	7천ft이상	1											0
1997.10.25	예천	5천ft이상		1		1								3
1997.10.31	예천	7천ft이하		1										2
1998.05.24	원주	2천ft이상												0
1998.09.26	서울	6천ft이상												0
1998.12.02	장흥	2천~3천ft								1	1			0
1998.12.11	예천	3천~4천ft	1	1	1					1	1			3
1999.01.07	예천	6천ft이상	2	2										3
1999.01.08	서울	3천ft이상		2	1									3
1999.01.26	장흥	4천ft이상	2	1	3	1								3
1999.03.19	경주	1천~9천ft	1											3
1999.04.13	예천	1천ft이상	1											3
1999.04.13	서울	4천ft이상	1	1										2
1999.05.20	장흥	3천~8천ft	2	3										0

Table 3. 조종사 난류 보고와 오산 00UTC VWS 비교(조종사 난류 보고 강도:보라-불명, 초록-약함, 노랑-중간, 빨강-강함; VWS 강도 : 1-약함, 2-중간, 3-강함; 비교점수: 3-고도/강도 1개 이상 일치, 2-고도 1개 이상 일치, 1-인접 고도 발생, 0-지수 없음).