

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2018.26.4.036>
 ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

QAR 데이터 분석을 통한 항공난류 조기 인지 가능성 연구

김인규*, 장조원**

A Study on the Precursors of Aviation Turbulence via QAR Data Analysis

In Gyu Kim*, Jo Won Chang**

ABSTRACT

Although continuous passenger injuries and physical damages are repeated due to the unexpected aviation turbulence encountered during operations, there is still exist the limitation for preventing recurrence of similar events because the lack of real-time information and delay in technological developments regarding various operating conditions and variable weather phenomena. The purpose of this study is to compare and analyze the meteorological data of the aviation turbulence occurred and actual flight data extracted from the Quick Access Recorder(QAR) to provide some precursors that the pilot can identify aviation turbulence early by referring thru the flight instrumentation indications. The case applied for this study was recent event, a scheduled flight to Narita Airport from Korea that suddenly encountered turbulence during approach. According to the Korea Meteorological Administration(KMA)'s Weather data, it was observed that the strong amount of vorticity in the rear area of jet stream, which existed near Mount Fuji at that time. The QAR data analysis shows significant changes in the aircraft's parameters such as Pitch and Roll angle, Static Air Temperature(SAT), and wind speed and direction in tens of seconds to minutes before encounter the turbulence. If the accumulate reliability of the data in addition and verification of various parameters with continuous analysis of additional cases, it can be the precursors for the pilot's effective and pre-emptive action and conservative prevention measures against aviation turbulence to reduce subsequent passenger injuries in the aviation operations.

Key Words : Aviation Turbulence(항공난류), Precursors(전조 증상), Regional Data Assimilation and Prediction System(지역예보모델), Vorticity(와도)

I. 서 론

Received : 25. Nov. 2018. Revised : 07. Dec. 2018.

Accepted : 27. Dec. 2018

* 한국항공대학교 항공운항관리학과 석사과정
 대한항공 A380 기장

** 한국항공대학교 항공운항학과 교수
 연락처자 E-mail : jwchang@kau.ac.kr
 연락처자 주소 : 10540 경기도 고양시 한국항공대학교

비행 중인 항공기는 조종사의 의도적인 조작에 의해 통제되며 항공기의 각 시스템은 항상 정해진 범위 내에서 운영되고 유지되도록 설계되어 있다. 그러나 간혹 항공기가 정상 운영범위를 초과하여 안정적이고 안전한 상태를 넘어서는 상황에 조우할 때가 있다. 특히 외기온도의 갑작스런 변화로 인한 바람, 기압차이 등 예기치

많은 기상현상으로 본래의 경로를 벗어나는 상황에서는 조종사의 신속한 판단과 적절한 조치가 아주 중요하다.

기상현상은 항공기 운항 시 운항시간 단축이나 연료절감 등 경제적인 이점뿐 아니라 안전운항과도 밀접한 관계가 있다. 이에 항공사는 예보능력 제고를 위하여 지속적인 시스템 투자와 함께 유관 인원에 대한 교육으로 대비하고 있다. 그러나 때로는 야간, 운(雲) 중 계기비행 기상 조건 등 예측하기 어려운 환경에서 항공기의 조종력을 감소시키거나 상실하게 만드는 '항공난류(Aviation turbulence)'와 조우하여 심각한 인명 손상과 물적 피해를 초래하는 결과를 낳기도 한다.

태평양 연안은 전 세계적으로도 가장 강한 제트기류가 존재하는 지역이며, 한국을 포함한 동아시아 지역은 운항 시 '항공난류'의 조우 가능성이 매우 높은 구역 중 하나이다. 따라서 이 지역을 빈번하게 입 출항하는 국제선 운항 조종사에게 지역적 기상특성을 이해하는 것은 안전 운항에 있어서 매우 중요하다. 아울러 범세계적인 운항을 하는 국제선 임무 조종사들의 입장에서는 특정 지역의 항공기상 정보와 함께 보편적이고도 객관적인 악기상 회피 지침이 요구된다. 조종사들이 우려하고 회피하고자 하는 대표적 기상현상인 '항공난류'에 대한 연구는 소중한 고객의 인적손상을 막고 재산상의 피해를 최소화하기 위하여 반드시 필요하며, 정확한 발생원인 파악과 대책 마련은 매우 중요한 과제라 하겠다.

조종사에게 제공되는 기상정보는 현대과학과 기술의 발달로 점차 높은 정확도와 신뢰할 만한 수준의 예측 확률을 보이고 있다. 그럼에도 불구하고 모든 기상 현상을 완벽히 분석하고 예측하기에 분명한 한계가 있다. 현재 기상관련 대학 및 연구기관에서는 항공난류에 의한 피해를 방지하거나 감소시키기 위하여 다양한 연구를 진행하고 있다. 그러나 기상청과 기상연구기관 등에서 제공되는 정보의 예측성 향상을 위하여 기상학적 분석능력의 개선과 기상현상 발생의

메커니즘을 파악하기 위한 연구가 주류를 이루고 있다.

최근에는 기술적 예측시스템 개발과 병행하여 조종사의 기상보고(PIREP, Pilot Report) 및 다양한 관측 정보를 접목한 통합 연구가 활발히 진행되고 있다[1, 2]. 또 운항 중인 항공기로부터 직접 자동종속감시-방송(ADS-B, Automatic Dependant Surveillance Broadcast) 데이터를 전송받아 지상에서 이를 분석하는 항공난류 감지 방법도 연구되고 있다[3]. 그러나 여러 분야에서 다각도로 운항 중 항공난류의 조기 인지 가능성에 관한 연구가 이루어지고 있음에도 아직 결정적인 분석과 명확한 지침이 가능한 단계에는 도달하지 못하고 있는 상황이다. 특히 대다수의 연구가 기상학 측면의 학문적, 분석적 접근단계에 머물고 있어 운항 중인 조종사에게 구체적인 정보로서 의미 있는 수준까지는 미치지 못하고 있음이 현실이다.

현재 대부분의 운송용 항공기는 국제민간항공기구(ICAO)에 의해 운항 중 비행정보기록장치(Flight Data Recorder)의 장착을 의무화하고 있다. 본 규정은 사고조사 및 예방안전 차원에 국한하여 사용하도록 명문화하고 있으며[4], 비행정보 데이터의 부적절한 오용을 방지하고자 법적 제한을 두기도 한다[5].

이러한 점을 감안하여 본 연구는 FDR과 함께 발체되는 비행정보 중 하나인 QAR¹⁾ 데이터를 적용하여 항공난류 조기 인지 가능성을 분석하였다. 항공난류에 조우한 특정 비행의 운항정보와 기상자료를 바탕으로 운항 중 주로 영향을 받거나 두드러지게 표출되는 조종계기 상 지시치를 각각의 QAR 데이터 파라미터(Parameters)와 비교하여 기상 현상 간의 연관성을 파악하였다. 분석 결과, 일부 계기지시에 상응하는 QAR 데이터의 일부 파라미터에서 유의미한 변화가 확인되었다.

1) Quick Access Recorder(QAR): Airborne flight data recorder designed to provide quick and easy access to raw flight data.

II. 본 론

여객기가 운항 중 항공난류를 경험했던 사례를 통하여 QAR 데이터와 회사가 제공했던 기상자료를 비교 분석함으로써 유효하다고 판단되는 파라미터들을 추출한 후 각각의 의미를 분석하였다. 또한 한국 기상청(Korea Meteorological Administration)의 기상자료와 당시 제공된 회사 기상자료를 함께 비교하여 기상자료 간의 차이점도 함께 재분석 하였다.

2.1 항공난류로 인한 이벤트 사례

정기 여객운송 여객기인 OOO편은 인천국제공항(ICN)을 출발하여 일본 나리타국제공항(NRT)에 접근 중, 고도 14,000피트 부근에서 갑작스런 항공난류에 조우하여 수명의 객실 승무원 부상 초래하였다. 출발 시 제공된 기상정보는 일본 지역 전역에 기압대가 지나고 있음을 보여주고 있었다. 그러나 북위 35°~40° 사이 광범위하게 도시(圖示)된 고고도(FL300, FL410) 제트기류 정보(Fig 1)만으로는 나리타공항 지역의 국지적인 기상을 판단하기에 제한적이며 조종사가 차트를 참조하여 구체적인 항공난류를 판단하기에는 무리가 있다.

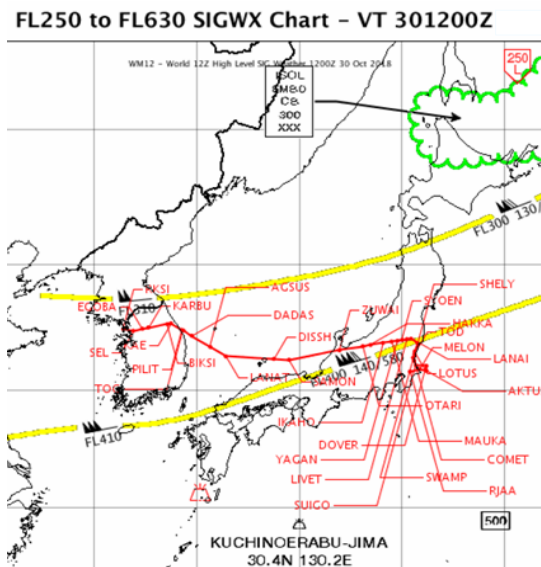


Fig 1. Company SIGWX Chart

Fig 1은 당시 일본 전역의 중요기상예보(SIGWX)이며, 나리타 공항의 기상예보로 지표면 바람 서풍 6kts, 시정 10km이상, 3000ft에 약간의 구름(1-2 oktors)으로, 예보 상 기상은 경미한 측풍 성분과 시정 및 운고가 시계비행조건(1000ft, 3 Miles)을 상회하며 운항 상 특별한 제약이 없는 양호한 기상 상태였음을 의미한다. 임무 조종사도 당시의 기상 상태를 심각하게 인식하지는 않았던 것으로 진술한 바 있다.

* 당시 NRT 공항 예보:

TAF RJAA 002305Z 3000/3106 28006KT 9999 FEW030=

한국 기상청(KMA)에서 제공하는 기상자료개방포털 (<https://data.kma.go.kr>)의 당시 지역예보모델 (RDAPS, Regional Data Assimilation and Prediction System) 자료에 따르면, 이벤트(Event) 발생시 일본 후지산 부근과 나리타공항을 가로질러 매우 강한 제트기류가 광범위하게 분포되어 있었다. 특히 중층 고도에서 강한 소용돌이(와도, Vorticity)가 발생하는 전선발달(Frontogenesis)이 존재하였으며, 항공기는 제트기류의 초입에 진입하며 갑작스럽게 항공난류에 조우하였다.

Fig 2 차트는 압력고도 10,000ft에서의 기압등고선 및 상대와도를 나타내고 있다. 차트 상 'X' 표시는 북쪽에서 남쪽으로 진입하며 항공요란에 진입 당시의 항공기 위치를 지시한다.

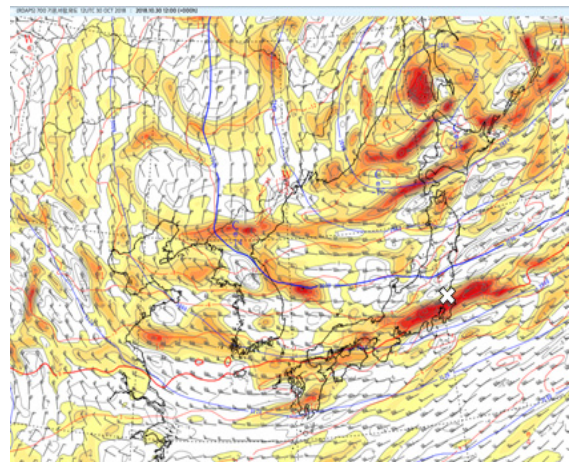


Fig 2. RDAPS_700hpa Chart at 10,000ft

2.2 QAR 데이터 개요

본 연구에 적용된 QAR 데이터는 비행정보취득장치(FDAU)²⁾로부터 운항 중 항공기의 모든 비행 상황을 기록에 따라 수십, 수백 개의 파라미터들로 기록한다. 기본적인 파라미터 구성은 ICAO 부속서 6의 부록 9에 근거하며 항공사의 QAR 분석 프로그램 제작사인 사젼(Sagem)의 기준³⁾을 참고하였다. QAR 데이터는 매 비행 종료 후 항공기에 장착된 기록 저장장치로부터 바이너리(Binary) 데이터 상태로 추출되어 디코딩(Decoding) 과정을 거친 후 가시적인 형태로 변환된다. QAR 분석 장비나 항공기에 따라 파라미터의 종류와 범위가 정해지며, 운영자는 필요 시 기준과 범위의 변경이 가능하다. 본 연구를 위하여 검토하고자 하는 파라미터는 일반적으로 전 비행과정에서 인지가 용이하고 데이터의 충실성과 연구목적에 부합하는 요소들로 고려하였으며, 다음과 같은 항목들로 선정하였다(Table 1). 각 파라미터들은 추후 분석 과정에서 추가되거나 변경의 가능성이 있다.

Table 1. QAR Data Parameter List

구 분	단위	비 고
항공기 편명* / 기종		*De-identified
운항 일자* / 시간	UTC	
발생 위치	-	WGS-84 Coordinate
Altitude	feet	ALT(Baro/STND)
Vertical Acceleration	g	VRTG
Indicated Air Speed	kts	IAS
Static Air Temp	°C	SAT
Seat Belt Sign		ON/OFF
Roll & Pitch Angle	°	
Wind Speed/Direction	-	WIND SPD/DIR
Vertical Speed Indicator	fpm	IVV
AP/AT	-	ON / OFF
Flight Mode	-	Lateral & Vertical
*익명성 유지를 위하여 분석 후 비공개 원칙		

Table 2. QAR Data Analysis

VRTG	ALT	IAS	SAT	Seat Belt	ROLL	PITCH	WIND			A/T mode	ROLL mode	PITCH mode
g	Baro	kts					DIR	SPD	FACTOR			
0.875	14455	273		OFF	-0.7	-0.1	255	76	20	SPEED	NAV	V/S
0.805	14439	275	-8.8	OFF	-2.11	0	255	76	20	SPEED	NAV	V/S
0.965	14419	274		ON	-2.64	0.3	257	71	16	SPEED	NAV	V/S
0.883	14404	276	-9.8	ON	-0.7	0.4	257	71	16	SPEED	NAV	V/S
1.031	14385	276		ON	-1.05	0.6	257	71	16	SPEED	NAV	V/S
0.965	14367	281	-11	ON	-1.41	0.7	257	71	15	SPEED	NAV	V/S
0.992	14357	279		ON	2.81	0.8	252	64	18	SPEED	NAV	V/S
1.027	14348	277	-12.5	ON	1.93	0.5	252	64	17	SPEED	NAV	V/S
0.914	14334	279		ON	-1.23	0.4	252	64	16	SPEED	NAV	V/S
0.926	14312	281	-12.5	ON	-1.93	0.2	252	64	15	SPEED	NAV	V/S
0.891	14302	274		ON	-1.41	0.1	258	49	7	SPEED	NAV	V/S
0.906	14286	273	-12.8	ON	-1.05	-0.1	258	49	7	SPEED	NAV	V/S
0.914	14271	272		ON	-1.76	-0.2	258	49	7	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.93	14252	271	-12.8	ON	-1.93	0.1	258	49	6	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.949	14237	269		ON	-2.29	0.4	265	45	0	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.934	14220	269	-12.5	ON	-1.23	0.5	265	45	0	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.965	14205	265		ON	-0.88	0.8	265	45	0	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.969	14197	263	-12.5	ON	-2.64	0.9	265	45	0	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.84	14170	260		ON	-4.75	1	273	50	-7	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.777	14148	259	-12.3	ON	-4.57	1.1	273	50	-6	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.809	14120	261		ON	-4.39	1.4	273	50	-5	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.004	14098	266	-13.3	ON	-0.35	1.7	273	50	-4	THR_IDLE	NAV	OP DES
1.875	14050	266		ON	5.98	2.8	259	71	12	THR_IDLE	NAV	OP DES
0.969	14018	275	-11.5	ON	5.45	1.2	259	71	10	THR_IDLE	NAV	OP DES

2) FDAU: Flight Data Acquisition Unit

3) Parameter Construction: ICAO Annex 6, Part 1, Appendix 9. Table A9-1, A9-3, Parameter Guidance for Aircraft Data Recording Systems 및 Sagem 社の AGS(Analysis Ground Station) Program, Parameters and Data Frame에 근거

통상의 QAR 데이터는 Table 2와 같이 매 프레임(Frame) 당 최소 하나의 파라미터가 기록되며, 통상 매 1초 간격으로 파라미터의 변화가 기록되나 수 초에 하나씩 기록되기도 한다. 이륙 및 착륙 등과 같은 중요 시점이나 이벤트 발생으로 보다 세밀한 분석을 요하는 경우, 프레임 당 수 개의 파라미터로 세분화하여 분석할 수도 있다.

2.3 데이터 분석

본 연구는 항공난류에 조우한 비행 편의 QAR 데이터로부터 인적피해가 발생한 시점으로 추정되는 최대 수직 중력가속도(Vertical G)에 도달한 시점을 기준으로 주요 파라미터의 변위량과 변화시점을 구분하여 분석하였다.

분석에 의하면, 강하 중 14,419ft에서 좌석벨트 사인 ON(약 18초 전) 후, 14,098ft 부근에서 심한 항공난류에 조우하기까지 항공기 피치(Pitch)와 롤(Roll) 자세의 변화와 함께 지시계기 속도(IAS), 정적대기온도(SAT) 및 풍속 및 풍향(Wind Speed / Direction)의 현저한 변화가 있었다. 수직 중력가속도는 Table 2에 제시된 바와 같이 14,098ft에서 0.004G, 14,050ft에서 1.875G로 약 1초 간 최대 **1.879G**의 변화폭이 기록되었다.

항공난류 데이터의 주요 파라미터 별 분석 결과(Fig 3, 4, 5, 6, 7), 전반적인 파라미터의 변화는 인지가능하고 의미가 있었다. 특히 수직 중력가속도가 최대치인 시점을 기준으로 항공기 피치와 롤, 정적대기온도 및 풍향/풍속 등 주요 파라미터들은 최대치 진입 최대 약 2분 30초(피치), 최소 약 10초(풍향) 전 유의미한 변화가 있었다. 그러므로 임무 중 조종사가 사전에 해당 파라미터들을 유의하여 모니터링할 경우 항공난류 발생의 사전 인지가 가능했을 것으로 분석된다.

주) 본 분석은 연구 목적으로만 한정하여 특정 비행 편에 대한 조사 및 임무 승무원의 과실 여부를 파악하고자 하는 의도가 없었으며, 그러한 용도로 사용할 수 없음을 전제로 수행하였다.

통상 순항 중 수평비행 상태에서 항공난류 진입 시 고도 변화가 현저하여 중요한 파라미터의 하나로 간주할 수 있다. 단, 급변 비행의 경우는 강하 중인 상태에서 최대치 진입 전 수직 고도 변화가 현저하지 않았으며 변화 시점의 판단이 불명확하여 본 연구 결과에서는 배제하였다.

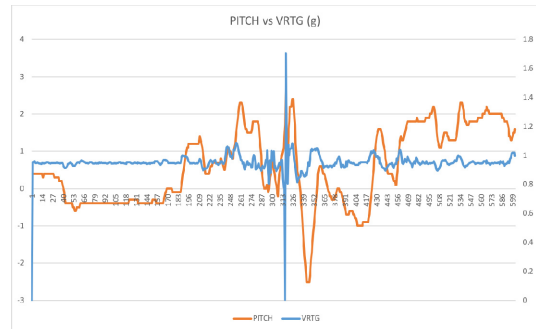


Fig 3. Pitch vs Vertical G

Fig. 3은 항공난류 진입 시 항공기 피치변화를 나타낸 그래프로 x축은 시간을 y축은 피치 및 수직 중력가속도(G)를 나타낸다. 최대치에 진입하기 수 분전부터 항공기 피치가 서서히 상·하로 변화하기 시작하여 약 2분 30초 전 급격한 수직 변화가 시작되었다. 피치변화는 계기고도와 밀접한 연관이 있다.

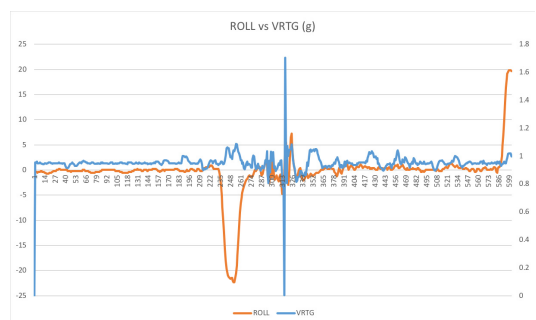


Fig 4. Roll vs Vertical G

Fig. 4는 항공난류 진입 시 항공기 롤 변화를 나타낸 그래프로 x축은 시간을 y축은 롤 및 수직 중력가속도(G)를 나타낸다. 최대치 진입 약 1분 15초 전 30초 간 항공기 롤이 급격히 변화 후에 회복되는 것을 확인할 수 있다.

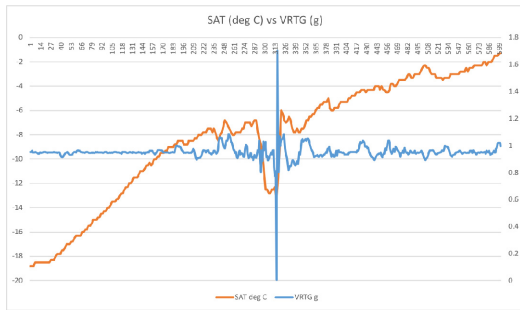


Fig 5. SAT vs Vertical G

Fig. 5는 항공난류 진입 시 정적대기온도 (SAT) 변화를 나타낸 그래프로 x축은 시간을 y축은 정적대기온도 및 수직 중력가속도(G)를 나타낸다. 고도 강하에 따른 온도 변화는 최대치 진입 약 25초 전 급격히 변화하여 6°C 이상 감소 후 정상 변화율로 회복된다. 강하 중임을 감안하더라도 정상 변화율 (2°C/1000ft) 보다 현저한 온도변화는 식별에 용이한 파라미터이다.

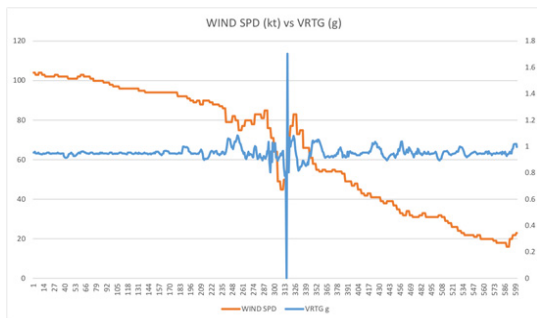


Fig 6. Wind Speed vs Vertical G

Fig. 6은 항공난류 진입 시 풍속변화를 나타낸 그래프로 x축은 시간을 y축은 풍속 및 수직 중력가속도(G)를 나타낸다. 풍속은 최대치 진입 약 20초 전 급격히 감소하였다가 수초 후 다시 급격한 증가를 보이며, 최대 약 40kts 변화 후 안정된다.

Fig. 7은 항공난류 진입 시 풍향변화를 나타낸 그래프로 x축은 시간을 y축은 풍향 및 수직 중력가속도(G)를 나타낸다. 그래프에서 풍향은 최대치 진입 약 9초 전 우측으로 급격히 변화하는 것을 관찰할 수 있다.

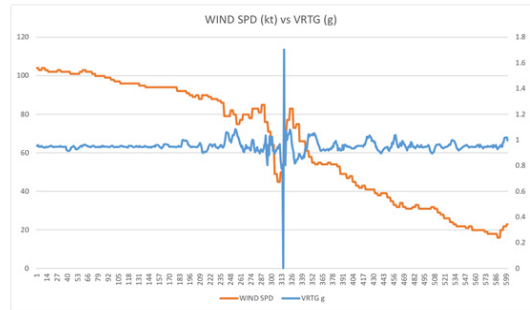


Fig 7. Wind Direction vs Vertical G

광범위한 제트기류 저층을 운항하는 항공기의 경우, 풍향 및 풍속의 변화는 수평 상태에서 예기치 못하게 조우하는 항공난류의 경우보다 상대적으로 변화의 폭과 양을 분별하기가 용이하지 않다. 그러나 이는 대부분의 기상 현상에서 가장 민감하게 관측되는 파라미터로 분류된다.

2.4 데이터 결과 및 토론

조종사가 표준 계기 접근(STAR, Standard Instrument Arrival) 절차를 수행 중이거나 관제사의 지시 경로에 따라 강하 접근 중인 단계인 경우, 자율적인 판단으로 항로 변경을 수행하기에는 통상 제약이 있기 마련이다. 조종사는 사전 관제기구에 변경을 요청하고 인가를 득한 후 변경이 가능하므로 갑작스런 기상변화에 능동적으로 대처하기가 용이하지는 않다. 그러나 본 사례의 기상자료와 같이 접근 경로 전역이 광범위한 전선대로 분포되어 상하 좌우로 회피 또는 우회 가능성이 매우 낮거나 판단이 어려운 경우 일지라도 조종사는 항상 보수적인 선택을 할 필요가 있다.

기상예보 상 예측이 가능했던 상황이라 할지라도 접근지연, 항로 우회, 안전한 지역에서의 공중 대기 및 회항 등 상황에 따른 다양한 결정이 요구된다. 또한 임무 조종사는 운항지역의 기상현상을 보다 명확히 인지할 수 있어야 한다. 당시 제공된 회사 기상자료와 기상청 정보의 차이에서 비교되듯이 조종사에 대한 항공기상 교육의 강화와 함께 기상상태의 강도와 특성에 따라 유효한 정보의 추가 제공도 제고되어야 한다.

본 연구 결과에서는 조종사가 비행계기를 통해 항공난류를 사전에 파악할 수 있을 정도의 변화를 확인하였다. 그러나 적용된 파라미터의 분석 결과는 저고도, 강하 중이라는 비행 단계의 특성과 운항 상의 제한으로 인하여 검증의 한계가 있음을 보여준다. 따라서 지속적인 연구를 위해서는 다양한 비행단계, 특히 국지적 예측이 상대적으로 어려운 고고도 순항 단계에서 항공난류에 조우한 사례의 추가적인 분석과 연구로 데이터의 신뢰도를 높여야 할 필요성이 있다.

III. 결 론

본 연구는 항공난류가 발생한 운항 사례의 기상자료와 실제 비행 편에서 추출한 QAR 데이터를 비교 분석한 결과다. 본 연구에서 수행된 편의 비행 분석 내용으로 모든 비행에 일반화 하여 적용하기에는 무리가 있으나, 결과적으로 일부 파라미터에서 항공난류 진입 전 조종사가 비행계기를 통한 조기 인지가 가능할 정도의 변화를 확인할 수 있었다. 또한 시간적으로 사전에 충분한 판단과 결정을 취할 수 있는 여지도 일부 항목에서 긍정적으로 분석되었다.

특히 항공난류가 발생했을 때 항공기의 피치와 롤, 풍향/풍속 및 정적대기온도(SAT) 등 조종사가 주비행지시계(PFD, Primary Flight Display)와 주변 계기지시를 통하여 항상 모니터링하고 용이하게 식별할 수 있는 지시치의 변화가 대부분이었다. 그러므로 본 연구에 분석된 사례에서 만일 조종사가 사전 경각심을 갖고 보다 적극적으로 보수적인 판단을 하였다면 사례와 다른 결과가 가능했을 수도 있었을 것이다. 그러나 일부 파라미터의 변화가 있다고 해서 모든 비행이 심각한 항공난류에 진입하는 것은 아니므로 한두 가지의 변화에 경도(傾倒)되어 매 비행마다 고도와 항로의 변경을 수시로 요구하기는 현실적으로 쉽지 않은 일이다.

따라서 향후 항공난류가 발생한 다른 비행 편 데이터의 추가 분석으로 다양한 운항조건에서도 일관된 표지인자들의 신뢰도를 지속적으로 높일 필요가 있다. 또한 분석 결과에 따라 검증된 파

라미터들을 제공함으로써 조종사가 항공난류 진입 가능성 여부를 판단함에 있어 분명한 전조 증상으로 인식하고 진입 전 선제적인 조치를 취한다면 보다 안전한 운항에 도움이 가능할 것이다.

후 기

본 논문은 2018년 한국항공운항학회 추계학술대회 발표논문을 수정 보완하였습니다.

Reference

- [1] Jung-Hoon Kim and Hye-Yeong Chun, 2011, A Study on Aviation Turbulence over Korea and East Asia
- [2] Jung-Hoon Kim and Hye-Yeong Chun, 2012, Development of the Korean Aviation Turbulence Guidance(KTG) System using the Operational Unified Model(UM) of the Korea Meteorological Administration(KMA) and Pilot Report(PIREPs), KSAA
- [3] Jimmy Krozel and Robert Sharman, 2015, Remote Detection of Turbulence via ADS-B, AIAA Guidance, Navigation, and Control Conf.
- [4] ICAO Annex 6, Operation of Aircraft, Part 1, 6.3 Flight recorders, 9th Edition July 2010
- [5] ICAO Annex 13, Aircraft Accident and Incident Investigation, Attachment E, Legal Guidance for the Protection of Information from Safety Data Collection and Processing System, 10th Edition July 201