

論文

비행자료기록(FDR)을 통한 순항비행 중의 항공기
비행요란 현상에 대한 연구

신대원*, 김일영*, 송병흠**

The Study of the Turbulence Effect during In-cruise-flight of Aircraft
by FDR(Flight Data Recorder)

D. W. Shin*, I. Y. Kim*, B. H. Song**

목 차

I.	서	론
II.	비행자료기록	해독
III.	비행자료	분석
IV.	결	론

Abstract

This study is performed to analyze the turbulence effect by the analysis of the parameters related with flight data of FDR(Flight Data Recorder). In the analysis, the SSFDR(Solid State Flight Data Recorder) flight data of B747-400 and B767-300 model aircraft was selected. Through this study, we verified that turbulence interfere with flight safety because it is modifiable to flight situation and condition of aircraft

Key Words : SSFDR, B747-400, B767-300, Flight disturbance(비행요란)

† 2002년 8월 19일 접수

* 정회원, 한국항공우주연구원 품질인증센터 선임연구원
연락처, E-Mail : dwshin@kari.re.kr
대전시 유성구 어은동 45

** 한국항공대학교 항공운항학과 부교수

I. 서 론

항공기가 대기 중을 비행하면서 조우하게 되는 대기의 불안전 등으로 인하여 비행요란현상이 발생한다. 이러한 비행요란현상은 승객의 안전을 해치는 경우도 발생되고 있으며, 심할 경우에는 항공기의 기체결합을 초래하는 경우도 있어 항행안전을 위협하는 요소의 하나이다. 항공기 조작 및 상태 등의 Parameter들을 기록하는 비행자료기록장치(FDR : Flight Data Recorder)는 기록된 비행자료를 통하여 운항 당시의 항공기 상황을 진단 또는 평가할 수 있게 도움을 준다. 본 연구에서는 B747-400 및 B767-300항공기의 SSFDR(Solid State Flight Data Recorder)에 기록된 비행자료에서 순항비행 중 비행요란이 있었던 구간의 비행자료를 발취하여 비행요란과 항공기의 변화 관계에 대하여 분석하였다.

II. 비행자료기록 해독

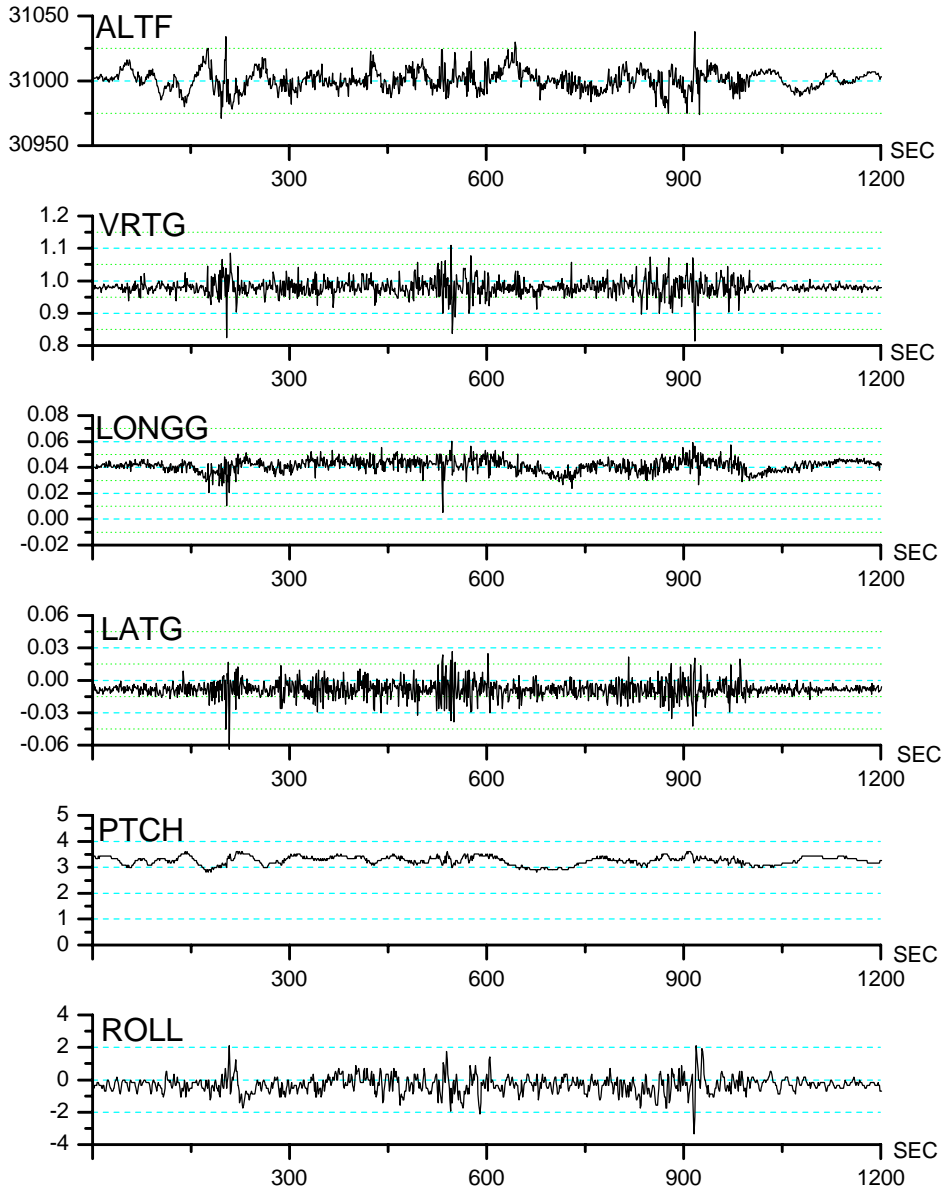
본 연구에 사용된 SSFDR비행자료는 기존의 자기테이프 형식의 DFDR(Digital Flight Data Recorder)/UFDR(Universal Flight Data Recorder)비행자료기록장치 방식에 비하여 기록 용량 및 비행자료에 대한 신뢰도가 향상되어진 컴퓨터 메모리 칩(Solid State)의 원리를 이용한 SSFDR 비행자료기록장치 중 30시간 분량의 Loral사의 F1000모델과 50시간 분량의 Allied Signal사 SSFDR이다. SSFDR 해독은 SSFDR 제작회사 마다 Download방법에 차이가 있어, Allied Signal사의 SSFDR 경우에는 PC에 "422 Fast Com PC Board"를 설치하였으며, Loral사의 F1000 SSFDR의 경우에는 PC에 장착된 "RS-232 port"에 케이블을 연결하여 비행자료를 Download 받았다. Allied Signal사의 SSFDR에 기록된 전체 비행자료의 Download시간은 17분, 압축된 자료를 푸는 작업인 conversion과정에는 128 word를 사용하여 27분이 소요되었고, 얻어진 파일의 크기는 23.226Mb(Megabytes)이었으며, Loral사의 F1000 SSFDR에 기록된 전체비행자료의 Download 시간은 12분, conversion과정에는 64 word를 사용하여 38분이 소요되었고 얻어진 파일의 크기는 13.891Mb이었다. 두 종류의 SSFDR에 기록된 비행자료는 항공기 기종이 다른 B747-400(Allied Signal사)과 B767-300(Loral사의 F1000)에 대한 것이다.

B747-400 항공기의 SSFDR에는 46,449 frame(51시간 36분 36초, 1frame = 4초) 동안에 이루어진 4편의 비행자료가 있었으며, B767-300 항공기의 SSFDR에는 27,780 frame(30시간 52분) 동안에 이루어진 12편의 비행자료가 있었다. 기록된 비행자료에는 1초, 2초, 4초 또는 64초마다 기록되는 parameter들로 315 종류와 579 종류이며, B747-400 항공기보다 나중에 개발되어진 B767-300 항공기에는 세분화된 더 많은 종류의 비행기록 parameter들이 있었다.

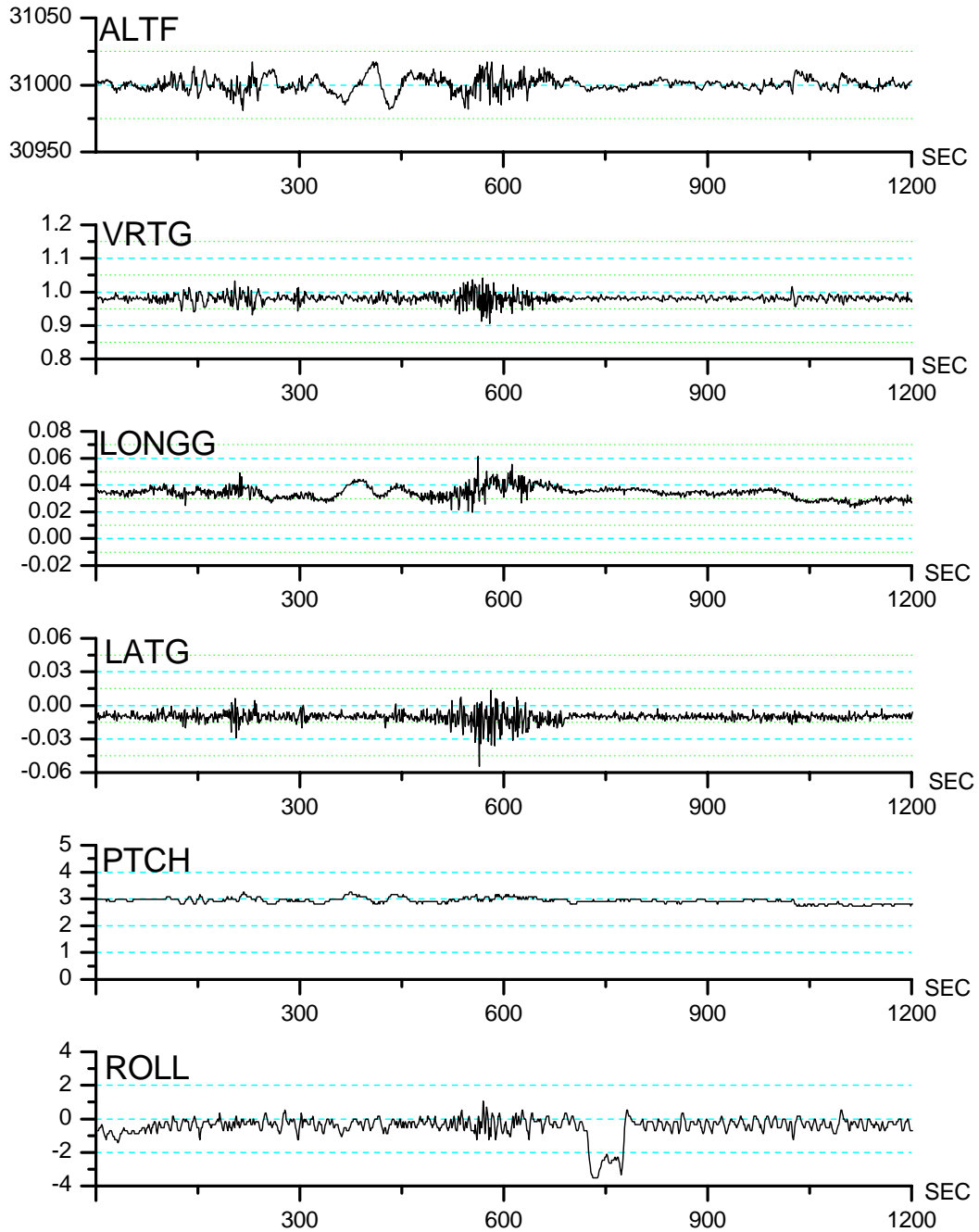
III. 비행자료 분석

여기에서는 항공기가 순항비행 중에 심한 비행요란현상이 발생하였던 것으로 판단되는 구간의 비행자료들을 선택하여 분석하기로 한다. B747-400 및 B767-300항공기가 공통적으로 기록하고 있는 12종류(수직축 8, 가로축 4, 세로축 4)의 가속도 parameter들과 기타 비행자세와 위치 등을

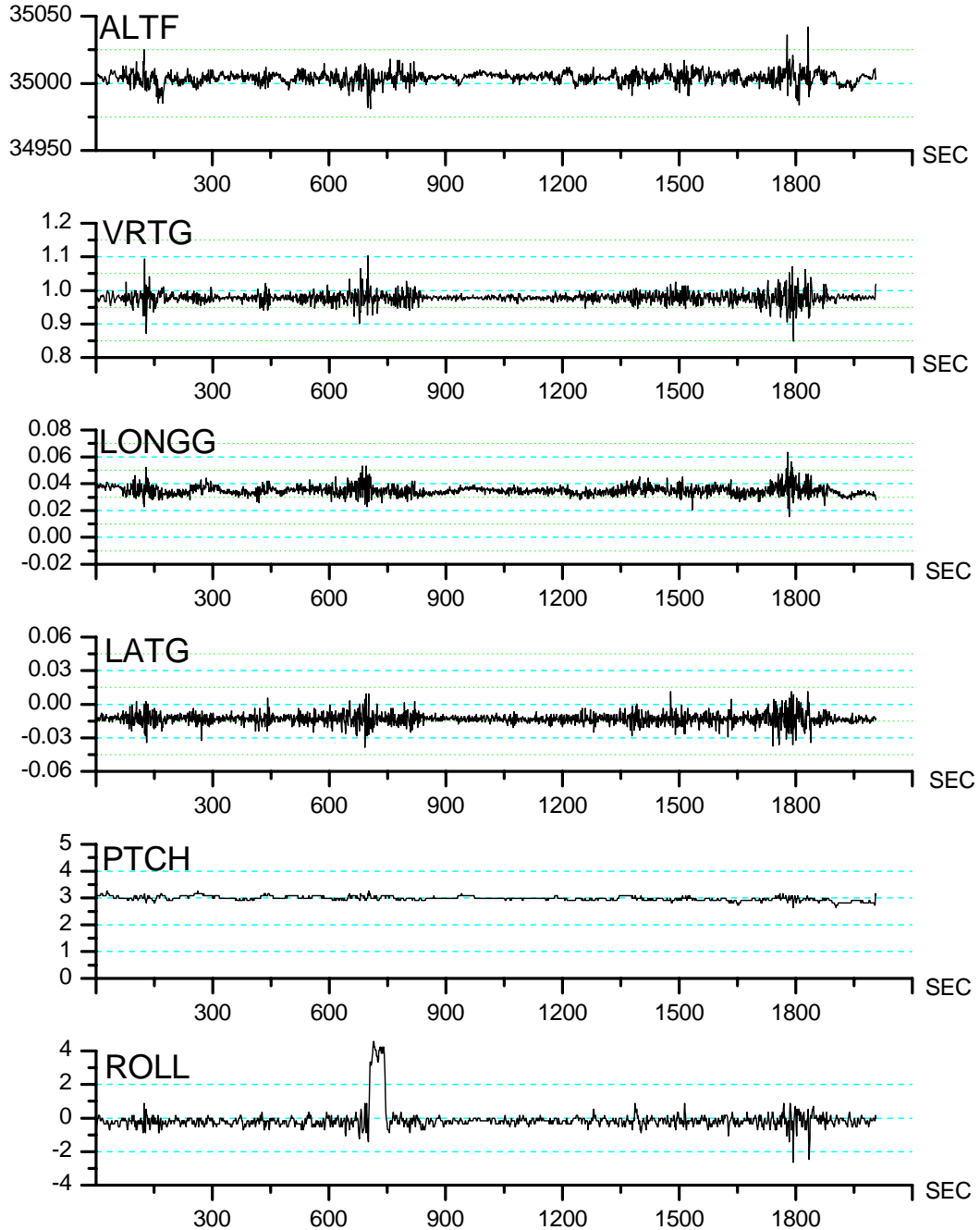
나타내는 parameter들을 분석하여 비행요란을 판단하였다. 다음의 그림 1~6에서 X축에 나타내고 있는 숫자는 선택한 비행구간마다 새롭게 부여한 시간으로 초단위로 나타내었다.



<그림 1> B747-400 항공기 SSFDR에 기록된 7,700~8,000 frame 사이의 비행자료(ALTF: 고도(ft), VRTG: 수직축 가속도(g), LONGG: 세로축 가속도(g), LATG: 가로축 가속도(g), PTCH: 피치각($^{\circ}$), ROLL: 롤각($^{\circ}$))



<그림 2> B747-400 항공기 SSFDR에 기록된 9,600~9,900 frame 사이의 비행자료(ALTF: 고도 (ft), VRTG: 수직축 가속도(g), LONGG: 세로축 가속도(g), LATG: 가로축 가속도(g), PTCH: 피치각(°), ROLL: 롤각(°))

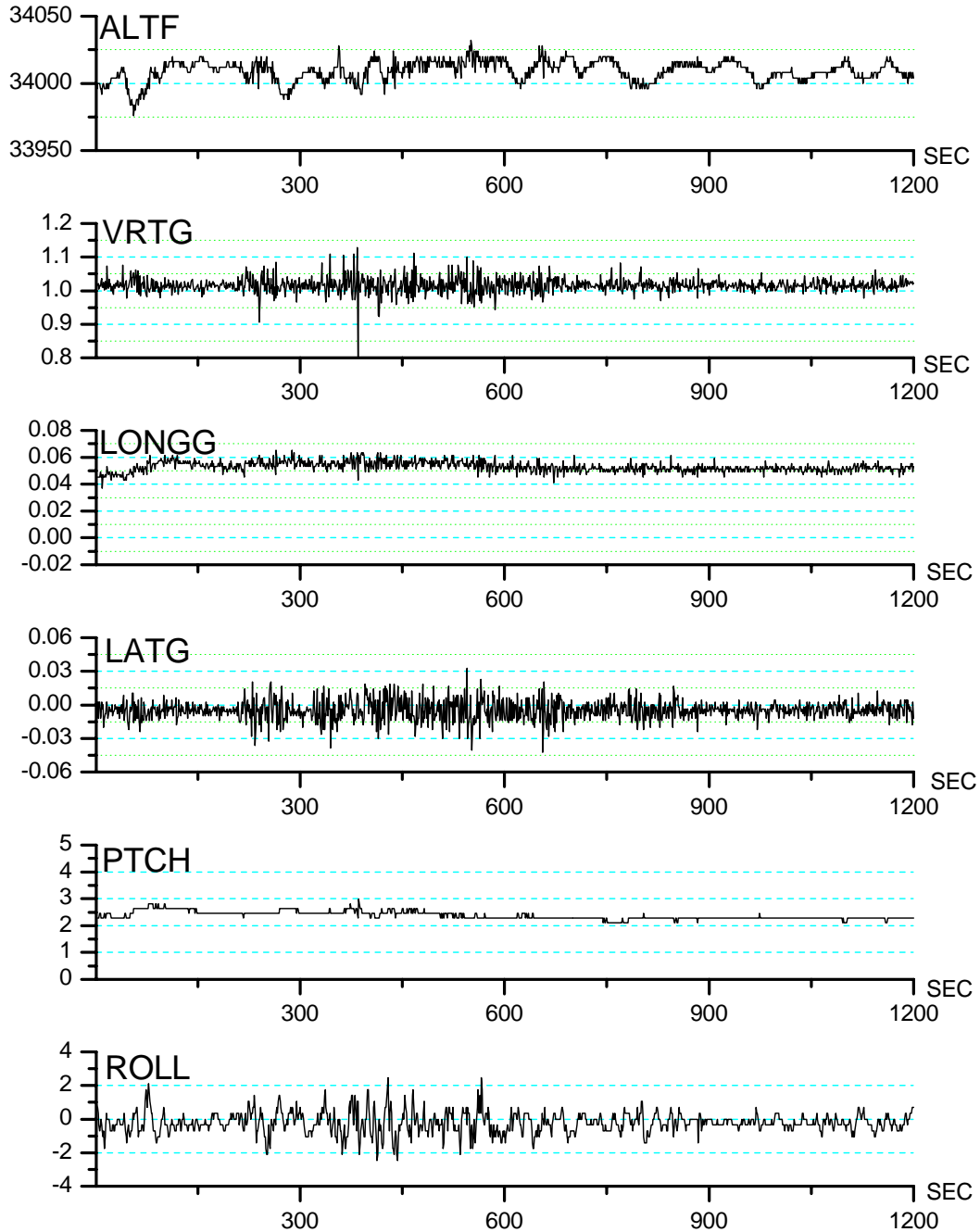


<그림 3> B747-400 항공기 SSFDR에 기록된 13,100~13,600 frame 사이의 비행자료(ALTF: 고도(ft), VRTG: 수직축 가속도(g), LONGG: 세로축 가속도(g), LATG; 가로축 가속도(g), PTCH: 피치각(°), ROLL: 롤각(°))

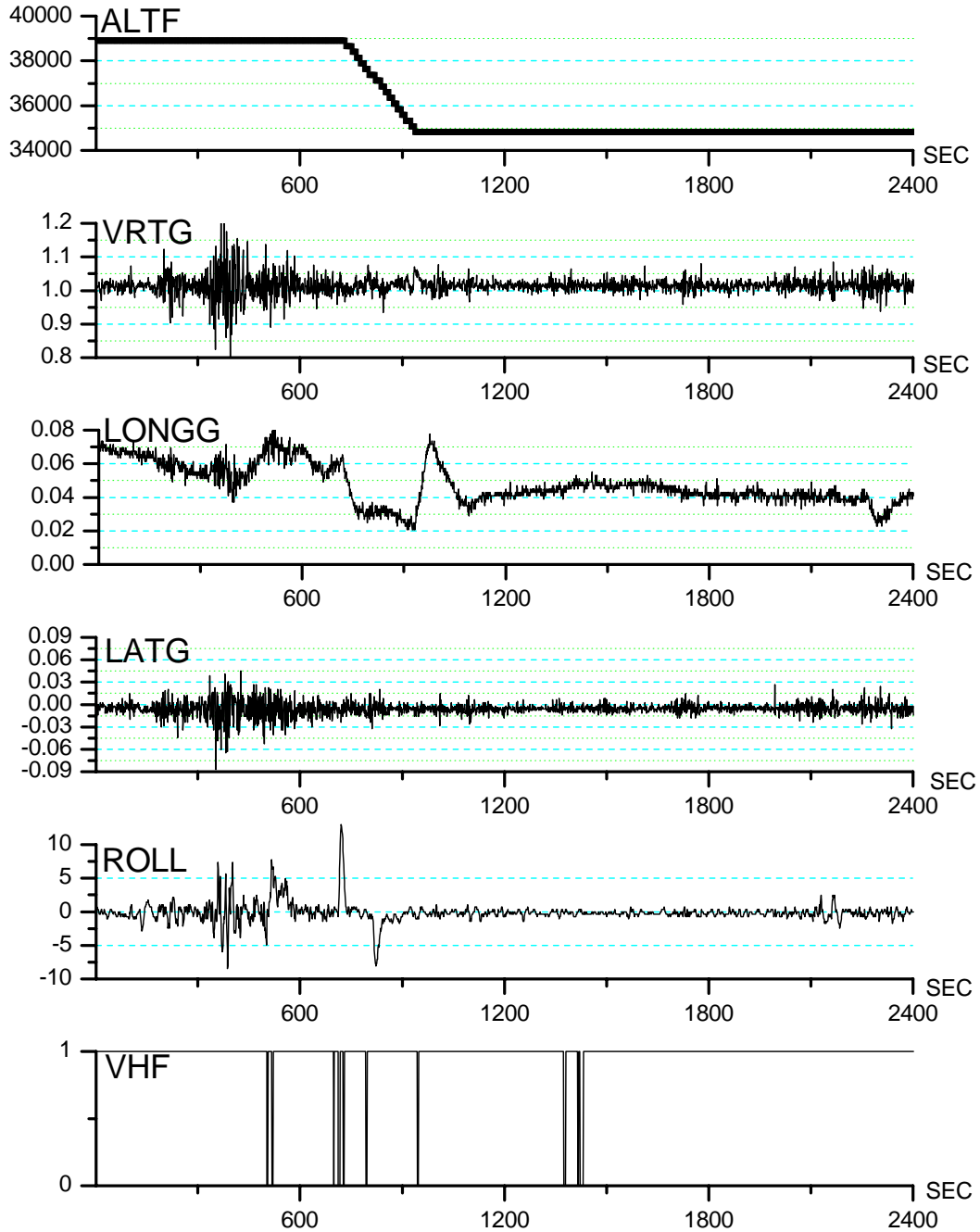
그림 1의 ALTF 그래프는 FL310으로 비행하는 B747-400 항공기의 고도 변화로 1,200초 동안 최고 31,038ft, 최저 30,971ft로 순항고도에서 ± 40 ft 이내로 항공기가 비행하고 있음을 나타낸다. 그림 1의 204초구간(ALTF 31,034ft)에서 수직축 가속도는 0.82g, 가로축 가속도는 0.015g, 세로축 가속도는 -0.052 g, 그리고 917초구간(ALTF 31,038ft)에서 수직축 가속도는 0.815g, 가로축 가속도는 0.044g, 세로축 가속도는 0.027g로 동일한 시간대에 순간적인 흔들림이 있음을 나타내고 있으나, 3축(수직축, 가로축, 세로축) 가속도의 크기나 방향에 대한 유사성은 없다. 또한 그림 1의 552초구간에서 3축 가속도의 강한 변화에도 불구하고 고도가 31,022ft로 204초와 917초구간의 변화보다 적음을 나타내준다. 그림 1에서의 수직축 가속도 변화는 최대 1.11g(552초), 최소 0.922g(922초)로 평균 ± 0.45 g 이하이며, 가로축 가속도 변화는 최대 0.06g(552초), 최소 0.005g(546초)로 평균 ± 0.03 g 이하이고, 세로축 가속도 변화는 최대 0.025g(552초), 최소 -0.066 g(206초)로 평균 ± 0.04 g 이하이다. 또한 피치의 변화는 평균 $\pm 0.45^\circ$ 이하이며, 롤 각은 평균 $\pm 3^\circ$ 이하의 변화가 있었다. 그림 1의 LATG와 ROLL 그래프에서 시간 변화에 따른 변화형상은 완급의 차이는 있으나 전체적인 형상이 유사함을 찾을 수 있으며, PTCH와 ALTF 그래프에서도 유사한 흐름을 찾을 수 있다. 또한 3축 가속도의 변화가 많은 구간에서는 고도의 변화가 뒤따랐음을 찾을 수 있다.

그림 2의 ALTF 그래프는 FL310으로 비행하는 B747-400항공기의 고도변화로 1,200초 동안 최고 31,017ft, 최저 30,984ft로 순항고도에서 ± 18 ft 이내로 항공기가 비행하고 있음을 보여준다. 360~480초 구간에서 비교적 완만한 고도변화 형태는 LONGG와 PTCH에서도 같은 형상을 찾아볼 수 있다. 그림 2에서 비행요란으로 인한 3축 가속도의 변화가 많은 500~650초 구간에서 ALTF 그래프는 고도 변화가 많았으나, 피치의 변화는 평균 $\pm 0.2^\circ$ 로 상대적으로 적게 변화하였음을 보여준다. 이는 고도 변화가 피치 변화에 의한 것보다 비행요란현상에 의한 것으로 판단된다. 그림 2의 ROLL그래프 723~778초구간에서 구간평균 -3° 정도의 경사각은 기수방향을 274° 에서 비행요란이 발생되기 전 기수방향인 269° 로 수정한 것으로, 비행요란 현상은 항공기의 위치변화를 충분히 가져올 수 있음을 나타낸다.

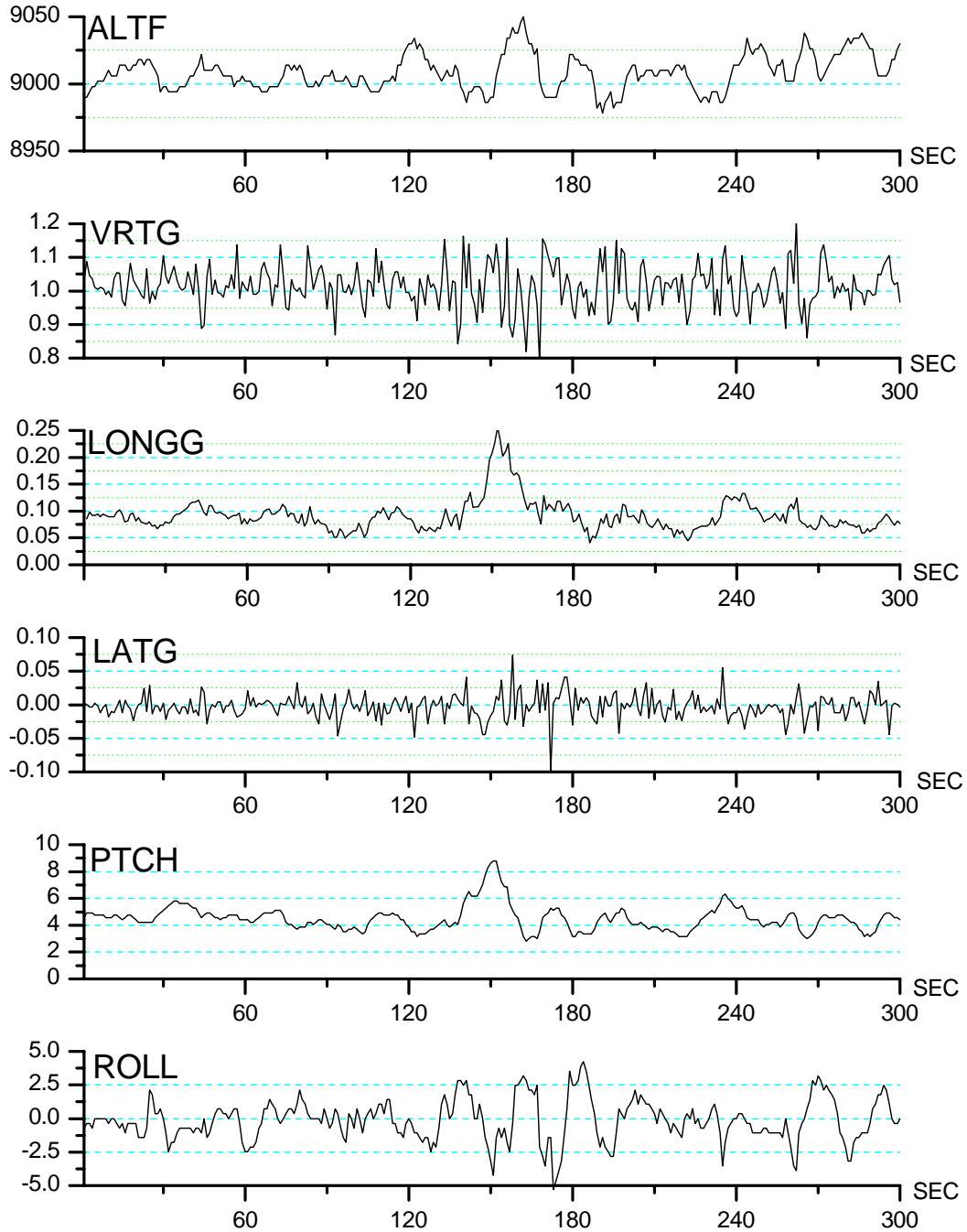
그림 3의 ALTF 그래프는 FL350으로 비행하는 B747-400 항공기의 고도 변화로 2,000초 동안 최고 35,042ft, 최저 34,979ft로 평균 ± 32 ft 이내로 항공기가 비행하고 있음을 나타낸다. 125초구간에서 3축 가속도의 변화 많았음에도 불구하고 고도변화는 평균 ± 25 ft이내의 변화가 있었으며, 700초 전/후 구간에서의 비행요란에 의한 3축가속도의 변화는 ALTF 및 PTCH 그래프로 보아 적은양의 고도변화가 있었음을 나타내고 있으나, 비행요란 직후 704~746초사이의 ROLL 그래프 변화로 보아 비행요란은 항공기의 고도보다는 항공기의 기수방향을 움직이게 하였던 것으로 판단되며, 이때 항공기 기수는 287° 에서 291° 로 변화되었다. 반면, 1,800초 전후로 하여 평균 ± 32 ft 이내의 고도 변화와 3축 가속도의 변화에서는 고도 변화가 많이 있었을 뿐, 700초 부근에서와 같이 ROLL의 변화는 없는 것으로 보아, 비행요란은 항공기를 항로에서 벗어나게 할만한 정도는 아닌 것으로 판단된다. 그림 3에서 비행요란 현상들은 항공기의 위치변화를 충분히 가져왔음을 예상할 수 있으며 비행요란 현상이 일정한 방향성을 갖고 있지 않는 것으로 판단할 수 있다.



<그림 4> B767-300 항공기 SSFDR에 기록된 2,175~2,475 frame 사이의 비행자료 (ALTF: 고도 (ft), VRTG: 수직축 가속도(g), LONGG: 세로축 가속도(g), LATG: 가로축 가속도(g), PTCH: 피치각($^{\circ}$), ROLL: 롤각($^{\circ}$))



<그림 5> B767-300 항공기 SSFDR에 기록된 7,450~8,050 frame 사이의 비행자료 (ALTF: 고도 (ft), VRTG: 수직축 가속도(g), LONGG: 세로축 가속도(g), LATG: 가로축 가속도(g), ROLL: 롤각(°), : VHF: key(0=key))



<그림 6> B767-300 항공기 SSFDR에 기록된 2,5360~25,635 frame 사이의 비행자료 (ALTF: 고도(ft), VRTG: 수직축 가속도(g), LONGG: 세로축 가속도(g), LATG: 가로축 가속도(g), PTCH: 피치각(°), ROLL: 롤각(°))

그림 4의 ALTF는 FL340으로 비행하는 B767-300 항공기의 고도 변화로 1,200초 동안 최고 34,031ft, 최저 33,975ft로 순항고도에서 ± 31 ft 이내로 항공기가 비행하고 있음을 나타낸다. 384~385초 구간에서 수직축 가속도의 변화 1.13g(384초)에서 순간적으로 0.73g(385초)로 양방향에서 음방향으로 급격한 변화가 있었음을 보여준다. 그림 3의 LATG와 ROLL 그래프의 변화형태는 완급의 차이는 있으나 전체적으로 유사하게 변화되고 있음을 보여준다.

그림 5는 FL390으로 비행하던 중 심한 비행요란으로 인하여 순항고도를 FL350으로 전환하는 과정이 포함되어 있는 2,400초 동안 그래프들이다. 400초 전후에서 수직축 가속도 1.27g(368초)에서 0.68g(395초)사이, 세로축 가속도 0.037g(395초)에서 0.086g(551초)사이, 가로축 가속도 0.045g(396초)에서 -0.091 g(364초)사이로 3축 모두 극심한 변화를 볼 수 있으며, ROLL 변화도 10초 이내에 $\pm 8^\circ$ 로 심한 비행요란이 있던 것으로 판단된다. 이러한 비행요란 현상을 피하기 위해 조종사와 ATC(Air Traffic Control) 간에 통신한 것을 나타내주는 VHF 그래프에서는 심한 비행요란이 있는 후 고도 강하를 요청한 것으로 판단되는 강하 전 조종사의 key조작이 503초에서 3초간, 518초에서 4초, 698초에서 1초간, 712초에서 7초간, 727초에서 4초간 5차례 시도하였던 것으로 나타났다. 1,000초 이후 고도를 FL350로 유지하면서 3축 가속도의 진폭이 줄었음을 볼 수 있으며, 이는 조종사가 적절한 시기에 고도 전환을 하였던 것으로 판단된다.

그림 6은 FL090으로 비행하던 중 강한 비행요란이 있는 300초 동안의 그래프들이다. 고도를 나타내는 ALTF에서는 순항비행 중 9,050ft에서 8,978ft사이에서 비행요란현상에 의해 평균 ± 36 ft 이내의 잦은 고도변화가 있었다. 수직축 가속도 최대 1.21g(262초)에서 0.78g(168초)사이, 세로축 가속도 최대 0.256g(152초)에서 0.041g(186초)사이, 가로축 가속도 최대 0.075g(396초)에서 -0.099 g(172초)사이로 3축 모두 극심한 변화를 볼 수 있으며, ROLL 그래프 변화도 10초 이내에 -5.27° (174초)에서 4.3° (183초)로 심한 비행요란이 있던 것으로 판단된다. 특히, 그림 6의 ALTF, LONGG 그리고 PTCH 세 그래프의 변화유형은 유사함을 보여주고 있다. 또한 LATG와 ROLL 그래프에서도 두 그래프가 유사한 형태로 변화되고 있음을 볼 수 있다.

그림 2와 그림 6에서 ALTF, LONGG, PTCH 그래프들의 유사한 변화유형으로 보아 이들 세 parameter들이 관련이 있으며, 또한 그림 1, 4 그리고 6에서 LATG와 ROLL 그래프들의 유사한 변화유형으로 보아 이들 두 parameter들이 관련이 있음을 나타내고 있다. 그림 2 및 그림 3의 ROLL 그래프에서는 4° 이내의 경사각이 주어진 구간과, 그림 5의 ROLL 그래프에서 13° 및 -8° 의 롤 각이 주어진 구간에서의 LATG의 변화는 평균 ± 0.03 g 이내로 기수방위변경을 위한 조작인 것으로 판단할 수 있다. 그러나, 그림 6의 ROLL 그래프의 경우 평균 $\pm 5^\circ$ 이내의 잦은 롤 각의 변화에 대하여 LATG의 변화는 평균 ± 0.09 g인 것으로 보아 인위적 조작에 의한 롤 각의 변화가 아닌 난기류에 의한 심한 비행요란현상에 의한 것으로 판단된다.

지금까지 우리는 B747-400(전장 68.63m, 기폭64.44m, 기고 19.41m, 이륙최대하중 875,000lbs, 최대승객 660명) 및 B767-300(전장 54.9m, 기폭47.6m, 기고 15.8m, 이륙최대하중 412,000lbs, 최대승객 351명) 항공기의 순항비행 중 비행요란이 있었던 6개 구간에 대해 몇 가지 비행기록들을 살펴보았다. 두 항공기의 FL290이상 고도의 순항비행에서, 비행요란에 대한 3축 가속도 및 고도 등의 parameter들에서 구간마다 변화의 크기는 다소 차이가 있으나, 대형기인 두 항공기 중 어느

항공기가 비행요란에 대해 영향을 적게 받는다고 판단하기는 어렵다. 그림 6의 FL090 순항비행과 그림 1~5의 FL290 이상 고도 순항비행에서 발생하였던 비행요란에 대한 비행기록 변화에서는 9,000ft 순항비행 중 비행요란이 더 심하였던 것으로 나타났다.

IV. 결 론

우리는 B747-400 및 B767-300 항공기의 SSFDR에 저장된 비행자료를 통하여 난기류 구간 순항비행 중에 발생한 비행요란에 의한 항공기 변화를 분석해 보았다. 순항비행 중 비행요란에 의한 항공기의 고도변화는 $\pm 50\text{ft}$ 이내이며, 고고도 보다 저고도에서 비행요란현상이 더 크게 나타났다. 비행자료 중 세 종류의 parameter(고도, 세로축 가속도, 피치)들간의 변화에서는 유사한 변화형태를 갖으며, 또한 두 종류의 parameter(가로축 가속도, 롤)들간의 변화형상에서도 완급의 차이는 있으나 유사한 형태를 나타내므로, 비행요란 중 항공기 고도변화는 세로축 가속도와 피치 parameter에 관계되는 것으로 판단되며, 롤 각은 가로축 가속도parameter와 관계된다고 볼 수 있다. 난기류에 의한 비행요란은 일정한 방향성을 갖고 있지는 않으며, 항공기의 자세 및 위치를 충분히 변화시킬 수 있음을 비행자료기록을 통하여 확인하였다. 비행요란현상은 항공기의 안전운항을 해칠 수 있는 위험한 요소 중의 하나이므로 조종사는 비행요란이 없거나 미약한 구간을 선택하여 비행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- (1) AACO Inc., "Operation of the Maintenance and Analysis Ground Station," Doc. No. GGA-0011-001, Seattle, WA., Dec. 1996.
- (2) ARINC 429, "Mark 33 Digital Information Transfer System (DITS)," Sep. 1995.
- (3) ARINC 542A, "Digital Flight Data Recorder," Jan. 1988.
- (4) ARINC 573-7, "Mark 2 Aircraft Integrated Data System (AIDS)," Dec. 1974.
- (5) ARINC 717-10, "Flight Data Aquisition and Recording System," Apr. 1998.
- (6) Boeing, "Signal Details - Flight Recorder/AIDS," June 1986.
- (7) Boeing, "747-400 Digital Flight Data Acquisition Card Interface Control Document," Feb. 1992.

- (8) Boeing, "767-300 Digital Flight Data Acquisition Card Interface Control Document," Dec. 1987.
- (9) ----, "FDR 분석 및 안전성 평가기술개발", 한국항공우주연구원, 2001. 12.
- (10) 신대원, 이경철, 이중희, 최홍식, 송병흠, "비행기록자료(FDR)에 의한 B747-400항공기의 나리타-김포 비행분석", 한국항공운항학회지, 제9권 제2호, 2001 12, pp. 63~76.