

비행자료기록(FDR)에 의한 B747-400 항공기의 나리타-김포 비행 분석***

신대원*, 이경철*, 이종희*, 최홍식*, 송병흠**

The analysis of NRT-SEL of the B747-400 Aircraft by FDR(Flight Data Recorder)***

D. W. Shin*, K. C. Lee*, J. H. Lee*, H. S. Choi*, B. H. Song**

목 차

- I. 서 론
- II. UFDR 비행자료 기록장치
- III. FDR 해독절차 및 장비
- IV. 나리타-김포 비행자료 해독 및 분석
- V. 결 론

Abstract

The number of civil aviation aircraft registered in Korea has continuously increased. Accordingly the accidents accompanying loss of human or economic resources occurred repeatedly. But the analysis of flight data recorded in FDR was not done by ourselves in the accident investigation because of lack of analysis technology. Therefore, this study is performed to secure the safety of civil aviation by establishing systematic analysis ability of Flight Data Recorder.

Through this study, download flight data to personal computer, editing interface file to convert from binary data to engineering data, three dimensional graphical analysis and numerical analysis are performed. For the analysis, the flight of B747-400 model aircraft between Narita(Japan) and Gimpo(Korea) was selected.

* 한국항공우주연구원 품질인증센터

** 한국항공대학교 항공운항학과 교수

*** 본 논문은 한국항공우주연구원 기본연구사업의 지원에 의하여 연구됨

I. 서 론

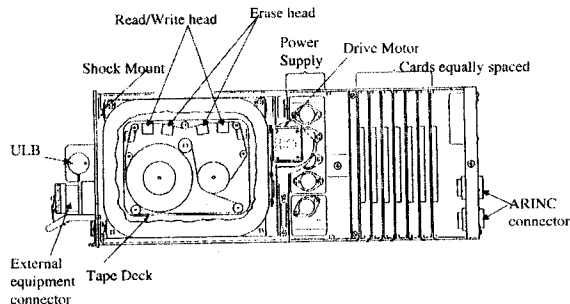
FDR(Flight Data Recorder)에 기록된 비행자료의 해독 및 분석기술은 일부 항공선진국만이 보유하고 있다. 비행자료기록장치(FDR)를 장착하는 본래 목적은 기록되는 비행자료를 분석하여 항공기사고의 원인을 규명하기 위한 것으로서 법적인 요구조건이지만, 기록된 Parameter 들의 분석을 통해 각종 계통의 고장진단 또는 성능평가에도 활용할 수 있다. 오늘날에는, 정보통신기술의 발달로 인하여 보다 많은 종류의 Parameter를 별도로 기록함으로써 예방정비 등에 활용하는 QAR(Quick Access Recorder)을 항공사가 선택적으로 장착할 수 있는 항공기 형식도 있으나, 항공기가 전파되는 사고가 발생한 경우에도 비행자료를 해독할 수 있도록 보존되는 유일한 장치는 FDR뿐이므로 그 해독기술은 매우 중요하다.

항공선진국 중에서 항공사고의 조사 및 예방을 위해 FDR 해독기술을 개발한 대표적인 국가는 캐나다이며, 캐나다의 교통안전위원회(TSB: Transportation Safety Board) 주관으로 개발된 RAPS(the Recovery, Analysis & Playback Systems)는 미국, 프랑스, 독일, 오스트레일리아, 핀란드 등의 감항당국이 사용하고 있다. 이외에도 FDR 자료를 활용하여 항행안전을 분석하는 프로그램의 예로는 SAS(Scandinavian Airlines System)항공사의 FLIDRAS(Flight Data Recovery & Analysis System)와 BA(British Airways)사의 SESMA(Special Event Search and Master Analysis)와 MAXVALS(Maximum Values Program)등이 있다.

우리나라 항공산업의 규모는 여객 및 화물분야에서 세계 10위권 수준이며, 민간 운송용 항공기 등록대수*가 매년 지속적으로 증가하고 있는 반면, 인명 및 경제적 손실을 포함하는 항공사고가 계속되어, 1993년부터 2000년까지 100인승 이상인 우리 국적의 대형항공기가 전파·전소되는 사고가 국내외적으로 4건**이나 발생하였다. 하지만, FDR 해독기술의 부재로 인해 사고원인 규명과 재발방지를 위한 조치 등에서 비행자료 분석결과가 충분히 활용되지는 못하였다. 그러므로, 본 연구를 통하여 FDR해독 및 분석을 위한 요소기술을 개발함으로써, 우리나라에서 항공기 항행의 안전성과 신뢰성을 확보할 수 있는 방안으로 활용하고자 한다.

II. UFDR 비행자료기록장치

현재 사용되고 있는 FDR은 DFDR(Digital Flight Data Recorder), UFDR(Universal Flight Data Recorder), SSFDR(Solid State Flight Data Recorder)과 같이 3가지 형식이며, 이 연구에서 분석 대상으로 선택된 것은 PVC 자기 테이프에 자료를 기록하는 방식인 UFDR로서, 그림-1과 같은 내부구조를 갖는다. UFDR의 기억장소인 자기 테이프가 위치하고 있는 Tape Deck은 저장된 자료를 충격으로부터 보호하기 위하여 Shock Mount 안쪽에 완충재료를 사용하여 장착되어있다. Tape Deck에 수평으로 설치되어 Drive Motor로 구동되는 총 8개의 Track의 자기테이프는 Erase Head와 Read/Write Head를 지나면서 이전의 비행자료가 자동적으로 지워지고



<그림-1> UFDR 내부구조

* 2001년 11월, 정기운송용 177대, 소형기 102대

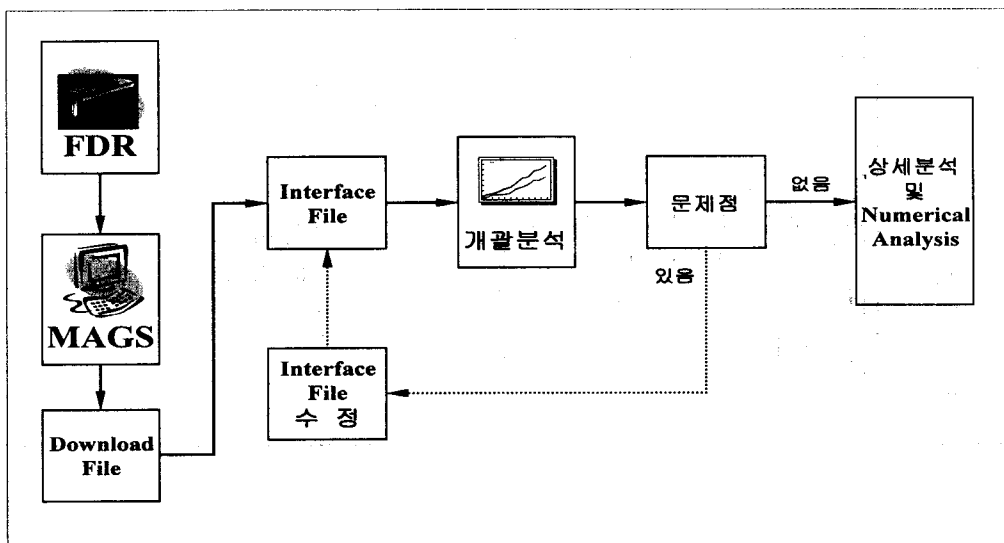
** 1993년 7월, 전남 목포, B737항공기 전파
1994년 8월, 제주공항, A300 항공기 전소
1997년 8월, 미국 괌, B747항공기 전파
1999년 3월, 경북 포항, MD82항공기 전파

새로운 비행자료가 기록되며, 25시간 분량 이상의 비행자료를 저장할 수 있다. UFDR 자기 테이프의 무한기록 Mechanism은 한쪽 방향으로 계속 기록하다가 자기 테이프가 끝나면 Track을 변경하여 반대방향으로 기록하는 Auto-Reverse 방식을 채택한 것이다.

UFDR Assembly의 외부는 오렌지색 직육면체의 형상을 하고 있으며, 운반용 손잡이를 비롯하여 수중에서 위치를 알려주는 수중위치알림장치(ULB: Underwater Location Beacon), 비행자료 입·출력과 전원을 공급받기 위한 Connector가 구비되어 있다. FDR 전면부 운반용 손잡이 부근에 위치한 ULB는 수중에서 물과 접촉하게 되면, ULB내부의 화학전지가 작동하여 FDR의 위치를 37.5 kHz의 주파수로 30일간 알려준다.

III. FDR 해독 절차 및 장비

해독장비의 특성에 따라 차이가 있지만, 일반적으로 FDR 자료 해독은 그림-2와 같은 여러 단계를 거친다. 가장 먼저 이루어지는 단계는 해독장비에 FDR을 설치하고 기록된 자료를 Readout하여 PC에 파일로 저장하는 과정인 Download를 거쳐야 한다. PC에 저장되는 파일은 범용성이 있는 Binary 형태의 File이며, Download된 파일을 정상적으로 해독하기 위해서는 Binary Data를 Engineering Data로 변환하기 위한 Interface File을 작성해야 한다.



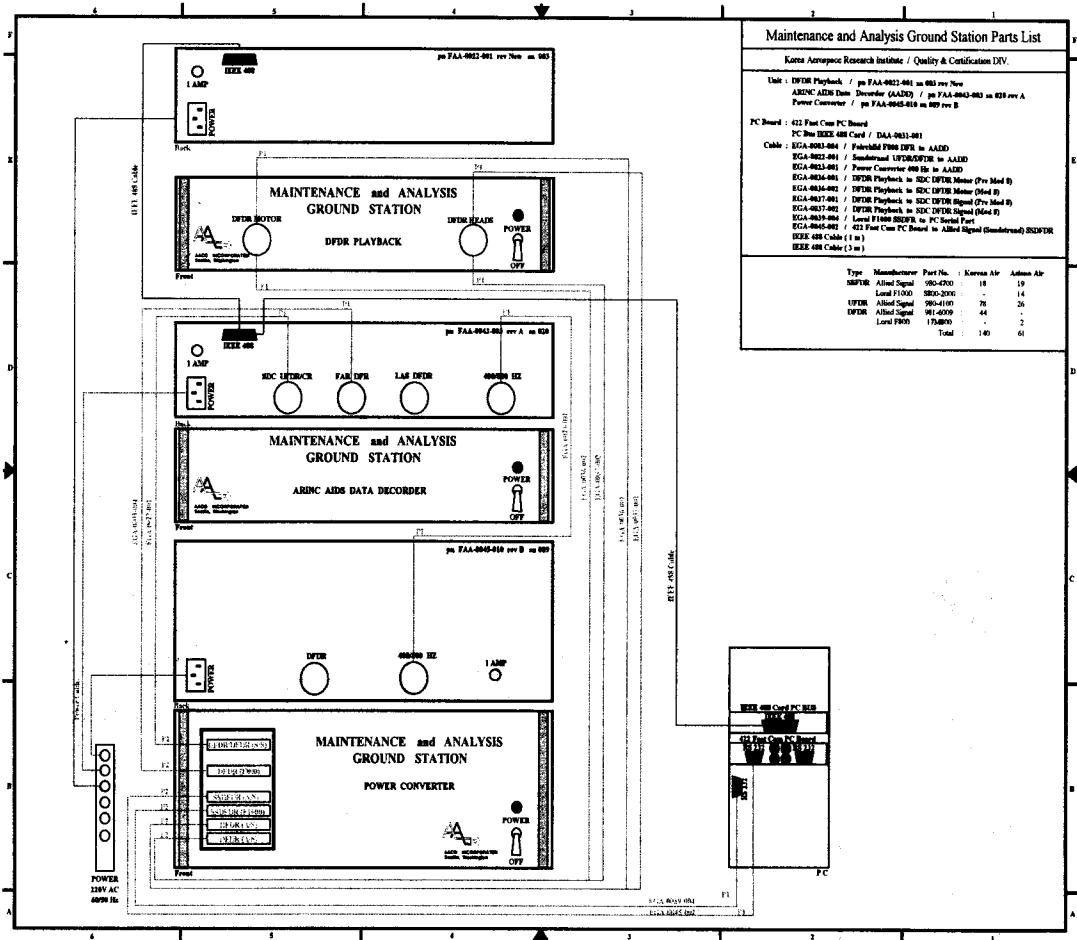
<그림-2> 비행자료기록장치의 해독작업 순서도

Interface File을 작성하기 위해서는, 비행자료를 기록하는 방법이 각각 다른 해당 항공기 형식별 DFDAU((Digital Flight Data Acquisition Unit) 또는 FDAU(Flight Data Acquisition Unit) 사양을 규정한 항공기 제작사의 자료와 FDR 해독장비 제작사가 요구하는 기본 지침을 참고한다. 제작된 Interface File은 개괄분석 및 확인작업을 통해 오류 가능성에 대한 검증작업을 거쳐야 하며, 검증된 Interface File은 동일한 항공기 형식에 계속 적용할 수 있다. 해독 프로그램과 Interface File을 활용하여 정상적으로 변환된 자료는 Graphic Analysis 또는 Numerical Analysis를 통해 Download 받은 비행기록을 분석할 수 있게 된다.

한국항공우주연구원 품질인증센터에서 보유한 비행자료기록장치 해독시스템은 미국의 AACO Incorporated 사가 제작하였으며, 해독시스템은 MAGS(Maintenance and Analysis Ground Station)이다. 이 장치는 현존하는 3가지 FDR인 DFDR, UFDR 및 SSFDR에 기록된 비행자료들을 모두 Download 할 수 있다. MAGS의 시스템 구성은 기본적으로 그림-3과 같이 UFDR Download를 위한 ARINC* AIDS** Data Decoder(AADD), DFDR Download를 위한 DFDR Playback Deck, 비행자료기록장치에 전원을 공급하는 Power Converter 등 3종의 Hardware Module과 이를 제어하기 위한 Software로 구성되어 있고, 전체적인 운용을 위해서는 일반적인 사무용 Personal Computer, 422 Fast Com PC Bus Board 그리고 SSFDR Download를 위한 RS232 Port 등이 추가로 필요하다.

* Aeronautical Radio, Inc.

** AIDS: Aircraft Integrated Data System



<그림-3> MAGS 시스템의 Download를 위한 기본장비

IV. 나리타-김포 비행자료 해독 및 분석

1. Download

해독대상으로 선정한 B747-400항공기의 비행기록장치인 UFDR을 2000년 5월 30일 MAGS 시스템을 이용하여 Download 하였다. MAGS를 구성하고 있는 AADD Module에 UFDR을 설치하고 고속모드로 Download한 결과, 소요시간은 2시간 7분, 얻어진 파일의 크기는 11.5 Megabytes이었다.

2. Interface 파일

비행자료 해독작업에 필요한 Interface 파일을 확보하기 위해, B747-400 항공기 제작사인 Boeing사가 공급한 DFDAU Specification과 AACOG가 제공한 Interface 파일 작성지침*에 따라 제작하였다. 완성된 Interface 파일은 315 Line의 분량으로, 작성지침에서 요구한 것과 같이 매 Line을 16개의 Column(Field)으로 구성하였다. Interface File의 각 Line은 각각의 Parameter를 Engineering Data로 변환하는 원칙을 정의하고 있다. Interface 파일의 각 Line의 구조는 다음 표-1과 같이 16개의 Field로 구성되어 있으며, 각 Field는 문자 또는 숫자를 사용한다. 그림-4는 완성된 Interface 파일의 일부이다.

* Maintenance and Analysis Ground Station

<표-1> Interface 파일의 구조 (1 Line 기준)

Field No.	Field ID	Field 자리수	Field Name	Remarks
1	pid	7	Parameter mnemonic	
2	head1	6	Parameter name 1	
	head2	6	Parameter name 2	
	units	6	Output data units	
3	port	4	Input port	
4	nr	3	Engineering units conversion	
5	d	1	Decimal places	
6	c	1	Chart recorder/Graph scaling code	
7	sp	1	Superframe	
8	s	1	Subframe code	
9	wrd	3	Word number	
10	r	1	Repeat rate	
11	ms	2	msb(most significant bit) of the word	
12	ls	2	lsb(least significant bit) of the word	
13	skt	3	Algorithm descriptor	
14	coeff0	14	coeff0	
15	coeff1	14	coeff1	
16	-	14	Comments and edit marks	

```

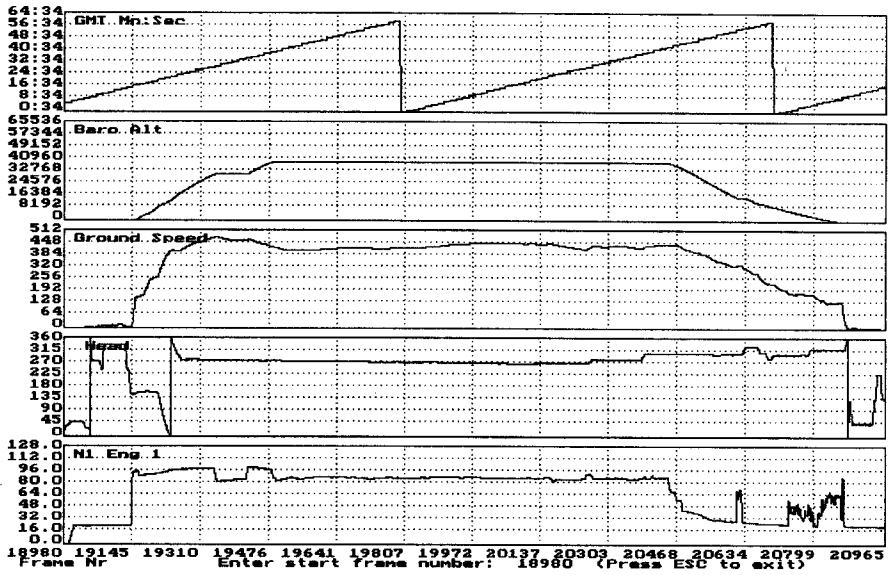
AACO Incorporated Maintenance & Analysis Ground Station A/C Database
; B747-400 -203 DFDAC cfg 1, PW Engines (Boeing Document D243U316 rev f, 3-87)
; pid "head1 "" head2"" units""+sense"|port|nr |dlc|spl|wrd|r|ms|ls|skt| coeff0 | coeff1
SPFCYCL "SuperF"" Cycle""(1-16)"" " L000 901 0 0 00 1 064 1 04 01 UDI 1 1
; Accelerations
VRTG.1 "Vert "" Acc 1"" G"" Up" ACCL 901 3 C 00 0 002 8 12 01 ULR -3.375 6.0
VRTG.2 "Vert "" Acc 2"" G"" Up" ACCL 901 3 C 00 0 010 8 12 01 ULR -3.375 6.0
VRTG.3 "Vert "" Acc 3"" G"" Up" ACCL 901 3 C 00 0 018 8 12 01 ULR -3.375 6.0
VRTG.4 "Vert "" Acc 4"" G"" Up" ACCL 901 3 C 00 0 026 8 12 01 ULR -3.375 6.0
VRTG.5 "Vert "" Acc 5"" G"" Up" ACCL 901 3 C 00 0 034 8 12 01 ULR -3.375 6.0
VRTG.6 "Vert "" Acc 6"" G"" Up" ACCL 901 3 C 00 0 042 8 12 01 ULR -3.375 6.0
VRTG.7 "Vert "" Acc 7"" G"" Up" ACCL 901 3 C 00 0 050 8 12 01 ULR -3.375 6.0
VRTG.8 "Vert "" Acc 8"" G"" Up" ACCL 901 3 C 00 0 058 8 12 01 ULR -3.375 6.0
LONGG.1 "Long "" Acc 1"" G"" Fwd" ACCL 901 3 A 00 0 006 4 12 02 ULR -1.08333333 1.0
LONGG.2 "Long "" Acc 2"" G"" Fwd" ACCL 901 3 A 00 0 022 4 12 02 ULR -1.08333333 1.0
LONGG.3 "Long "" Acc 3"" G"" Fwd" ACCL 901 3 A 00 0 038 4 12 02 ULR -1.08333333 1.0
LONGG.4 "Long "" Acc 4"" G"" Fwd" ACCL 901 3 A 00 0 054 4 12 02 ULR -1.08333333 1.0

```

<그림-4> B747-400 항공기 비행자료 변환용 Interface 파일의 일부

3. 비행자료 해독

완성된 Interface 파일을 적용한 결과, B747-400항공기의 UFDR에는 23,024 frame(25시간 34분 56초, 1frame = 4초)인 4편의 비행자료가 있었다. 그림-5에 소개된 해독 그래프는 2000년 5월 27일 일본 나라타공항을 이륙하여 김포공항에 착륙한 18,980~20,965 frame사이의 비행자료로 시간, 고도, 대지속도, 항공기 기수방위, 엔진 출력상태를 나타내고 있다.

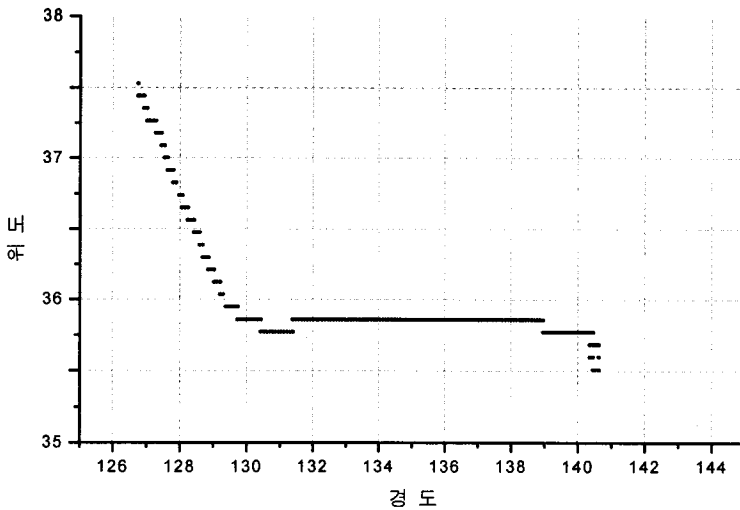


<그림-5> 18,980~20,965 frame사이의 시간(분:초), 고도(ft), 속도(knots), 항공기 기수방위(°), 엔진출력상태(%)에 대한 해독 그래프

4. 비행자료 분석

4.1 비행경로 분석

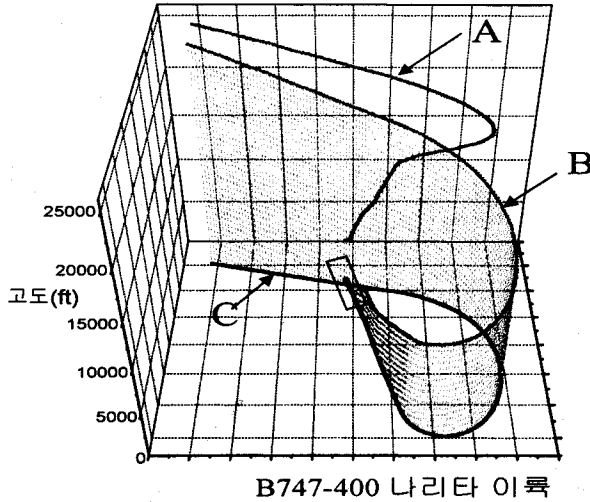
B747-400 항공기의 UFDR에 기록된 자료는 3축가속도계에 대한 16종류의 parameter들을 비롯하여 엔진계통, 자세와 조종계통, 항법계통, 경고계통, 위치 및 시간정보 등 모두 315종류의 parameter들이며, 이들은 1초, 2초, 4초 또는 64초마다 기록되는 parameter들로 구분된다. 해독된 비행자료에는 연도를 나타내는 parameter가 “0”으로 기록되어 2000년도, 달을 나타내는 parameter에서는 “5”로 기록되어 5월, 일자를 나타내는 parameter에서는 “27”로 기록되어 있어 2000년 5월 27일 이루어진 비행임을 확인할 수 있었다.



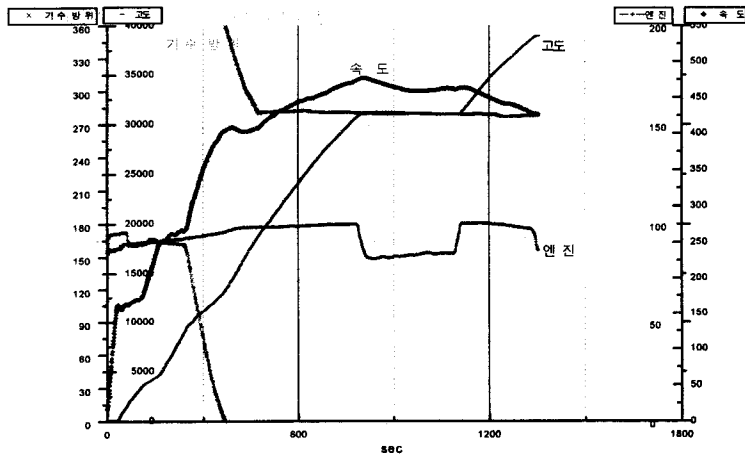
<그림-6> 비행자료기록장치에 기록된 나리타-김포비행에 대한 좌표

그림-6은 4초마다 기록된 항공기 위치 좌표로서 도쿄 나리타공항(북위 35° 46', 동경 140° 23'3")을 이륙하여 김포공항(북위 37° 33'4", 동경 126° 47'9")에 착륙한 것을 확인할 수 있으며, 64초마다 기록되는 출발지1, 출발지2, 목적지1, 목적지2 parameter들은 각각2개의 문자인 RJ, AA, RK, SS로 기록되어 RJAA(나리타)에서 출발하여 RKSS(김포)에 도착하는 비행자료 임을 검증하는 또 다른 자료이다.

그림-7은 해독된 Numerical Data로 부터 도쿄 나리타 공항이륙 직후 10분간의 비행궤적을 3차원으로 표시한 것이다. 그림-7에서 "C"로 표시된 비행항적에 대한 지상항적을 추적하면, 나리타 공항 활주로16에서 이륙하여 좌 선회를 하면서 이륙한 공항을 통과한 것으로 파악되었으며, "A"로 표시된 비행항적에 따른 고도로 보아 상승과정에서 이륙공항 상공을 고도 21,000ft로 통과하여 항로로 진입하였음을 알 수 있다.

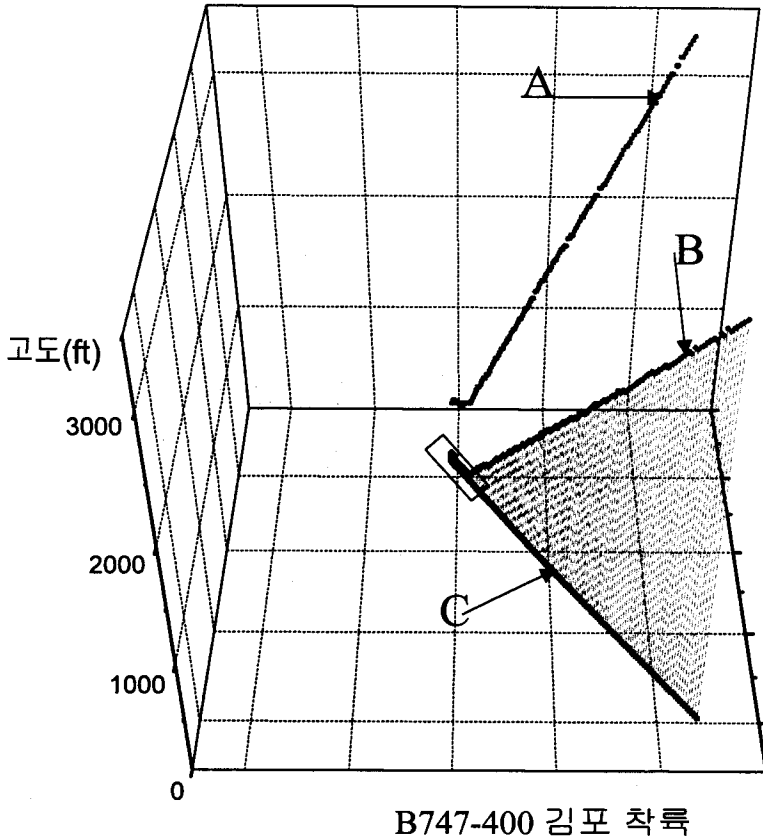


<그림-7> 나리타공항이륙 후 10분간 상승한 비행항적 (A: 항공기 비행항적에 대한 고도변화, B: 3차원으로 본 항공기의 비행항적, C: 비행항적에 대한 지상항적, 가로·세로 단위 간격 5.2 Km)



<그림-8> B747-400항공기 이륙에서 순항비행 전까지의 시간(초)에 따른 고도(ft), 속도(knots), 기수방위(°), 엔진출력의 변화(%).

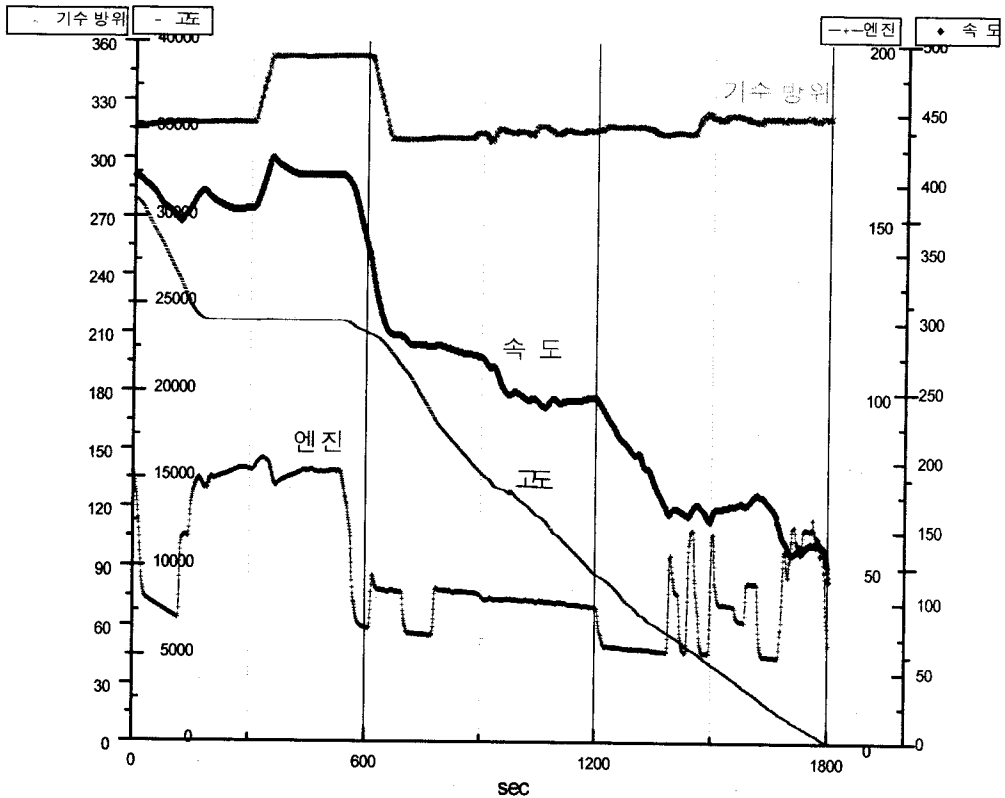
그림-8은 나리타공항을 이륙하여 순항비행단계 도달 전까지의 고도, 속도, 항공기 기수방위, 엔진출력들이 시간(초)에 따라 변화됨을 나타내고 있다. 항공기는 엔진 최대출력으로 이륙을 하여 급격히 속도와 고도가 증가되었으며, 항공기 기수방향의 변화로 보아 상승도중에 이미 항로에 진입을 하였음을 알 수 있다. 상승단계를 거쳐 FL31로 6분간의 수평비행이 있는 후, 엔진출력을 높여 재상승하여 FL39를 취하였다.



<그림-9> 김포공항착륙 5분전부터 착륙까지의 비행항적 (A: 항공기 비행항적에 대한 고도변화, B: 3차원으로 본 항공기의 비행항적, C: 비행항적에 대한 지상항적, 가로·세로 단위 간격 5.2 Km)

그림-9에서는 김포공항착륙 5분전의 접근 및 착륙비행 과정을 3차원으로 도식화 한 것이다. 그림-9에서 “C”로 표시된 비행항적에 대한 지상항적으로 보아 김포공항 활주로32에 착륙하였으며, “A”로 표시된 비행항적에 따른 고도로 보아 지속적인 안정된 접근강하를 하였음을 알 수 있다.

그림-10은 김포공항 착륙 30분전부터 착륙단계까지의 강하 및 접근단계 비행에서의 시간(초)에 대한 고도, 속도, 항공기 기수방위, 엔진출력의 변화를 나타내고 있다. 엔진 출력을 감소하여 강하를 하면서, 고도 24,000ft에서는 다시 엔진출력을 높여 약 6분간의 수평비행을 하고, 엔진출력을 줄여 착륙을 위한 접근단계에 진입하였다. 착륙 약 7분전부터 착륙 시까지 접근고도 및 속도에 맞추기 위한 조작으로 판단되는 엔진 출력 조작이 빈번하게 있었다.

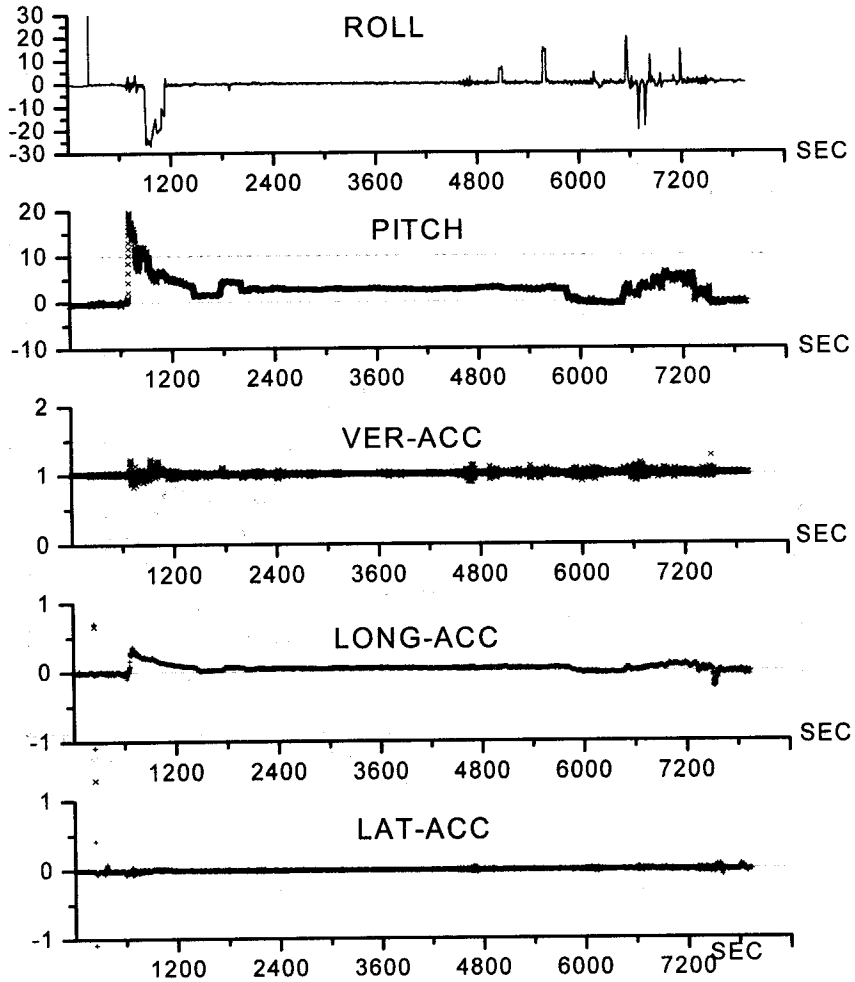


<그림-10> 착륙 30분전에서 착륙시점까지의 시간(초)에 따른 고도(ft), 속도(knots), 항공기 기수방위(°), 엔진출력의 변화(%).

4.2 가속도계 자료의 분석

Roll, Pitch 및 3축가속도계 자료는 항공기 움직임과 비행조작상태를 평가하는데 기본적으로 활용되는 parameter들이다. 그림-11에서는 엔진 시동부터 정지까지의 Roll, Pitch 및 3축가속도계 변화를 나타내었다. 엔진시동 후 120초 부근에서의 Roll 및 3축가속도계에서 비행기록 오류로 보이는 신호가 4초간 기록되었다. 시동 후 689초에 이르러 항공기가 부양되면서 급격한 pitch 변화가 있었으며, 수직과 세로 가속도의 변화가 두드러졌다.

이륙 후 pitch는 최대 20° 까지 증가하였고, 점차 pitch를 낮추면서 25° 경사각으로 좌 선회 상승이 있었다. 비행 중 Roll과 pitch의 변화에 비해 수직축 g의 변화가 많았던 것으로 보아 순항비행 중 난기류에 의한 비행요동이 있었던 것으로 판단된다. 3축가속도계의 변화로 보아 가장 심했던 비행요동은 4,750초 부근이다. 착륙을 위한 접근단계(시동 후 7,200초 전후)에서의 Roll, Pitch, 3축 가속도계와 항공기 기수방위의 변화로 보아 측풍이 있었음을 예측할 수 있으며, 활주로에 주 착륙장치 접지 시(시동 후 7,504초)의 미세한 수직축 가속도계의 변화는 정상적인 착륙이었음을 추측할 수 있다. 착륙직후 역추력장치 및 제동장치 조작에 의해 세로축가속도가 -g로 변화되었음을 확인할 수 있다.



<그림-11> 엔진시동에서 정지까지의 시간(초)에 따른 Roll, Pitch 및 3축가속도계 변화
 (ROLL: 선회경사각(°), PITCH: pitch 각도(°), VER-ACC: 수직 가속도계(g),
 LONG-ACC: 세로축 가속도계(g), LAT-ACC: 가로축 가속도계(g))

4.3 시간별 항공기 조작

엔진시동으로부터 정지까지의 시간(초)에 대한 주요 항공기 조작은 아래와 같으며, 매초마다 기록되는 VHF(Very High Frequency) parameter는 조종승무원이 ATC(Air Traffic Control)와의 교신을 위해 key를 조작했음을 의미한다.

- #4엔진 시동 (#1엔진 시동 64초전)
- #3엔진 시동 (#1엔진 시동 28초전)
- #2엔진 시동 (#1엔진 시동 4초전)
- 0 초 #1엔진 시동 완료(GMT : 07시 05분 50초, 현지시간 16시 05분 50초)
- 7 초 VHF 4초간 key조작
- 23 초 Taxiing 시작
- 65 초 VHF 1초간 key조작
- 162 초 VHF 4초간 key조작
- 172 초 VHF 3초간 key조작

- 236 초 VHF 5초간 key조작
- 278 초 Flap Down 작동
- 302 초 VHF 5초간 key조작
- 313 초 VHF 5초간 key조작
- 314 초 Flap Down 10.01° 완료
- 325 초 VHF 5초간 key조작
- 432 초 VHF 1초간 key조작
- 447 초 VHF 3초간 key조작
- 455 초 VHF 3초간 key조작
- 586 초 VHF 3초간 key조작
- 644 초 VHF 2초간 key조작
- 653 초 활주로 정대, 기수방향 157°
- 659 초 출력증가 시작
- 667 초 엔진최대출력
- 688 초 전방 착륙장치 활주로부터 부양됨, 135 knots
- 689 초 주 착륙장치 활주로부터 부양됨, 140 knots
- 703 초 착륙장치 접음, 156 knots, 고도 736 ft
- 715 초 VHF 1초간 key조작
- 719 초 VHF 4초간 key조작
- 731 초 VHF 4초간 key조작
- 750 초 VHF 5초간 key조작
- 762 초 VHF 2초간 key조작
- 782 초 Flap(10.01°) Up 시작, 고도 3,800 ft
- 823 초 Flap(0°) Up 완료
- 830 초 VHF 4초간 key조작
- 906 초 VHF 3초간 key조작
- 958 초 VHF 4초간 key조작
- 1,034 초 VHF 2초간 key조작
- 1,048 초 VHF 10초간 key조작
- 1,068 초 VHF 5초간 key조작
- 1,122 초 VHF 1초간 key조작
- 1,127 초 VHF 1초간 key조작
- 1,134 초 VHF 3초간 key조작
- 1,255 초 VHF 3초간 key조작
- 1,344 초 VHF 5초간 key조작
- 1,451 초 수평비행 고도 FL.31 유지
- 1,740 초 VHF 3초간 key조작
- 1,764 초 상승시작
- 1,917 초 VHF 3초간 key조작
- 1,924 초 VHF 7초간 key조작
- 2,014 초 순항비행 FL.39 유지, 속도 410 knots
- 3,047 초 VHF 3초간 key조작
- 3,057 초 VHF 11초간 key조작
- 4,923 초 VHF 3초간 key조작
- 4,939 초 VHF 6초간 key조작
- 4,952 초 VHF 2초간 key조작
- 5,594 초 VHF 2초간 key조작

- 5,606 초 VHF 5초간 key조작
- 5,624 초 VHF 3초간 key조작
- 5,630 초 VHF 2초간 key조작
- 5,815 초 VHF 4초간 key조작
- 5,823 초 VHF 4초간 key조작
- 5,844 초 강하시작
- 6,165 초 VHF 5초간 key조작
- 6,174 초 VHF 3초간 key조작
- 6,236 초 VHF 3초간 key조작
- 6,242 초 VHF 3초간 key조작
- 6,450 초 VHF 3초간 key조작
- 6,503 초 VHF 3초간 key조작
- 6,521 초 VHF 6초간 key조작
- 6,534 초 VHF 5초간 key조작
- 6,542 초 VHF 5초간 key조작
- 6,561 초 VHF 5초간 key조작
- 6,690 초 VHF 4초간 key조작
- 6,770 초 VHF 5초간 key조작
- 6,782 초 VHF 6초간 key조작
- 6,797 초 VHF 3초간 key조작
- 6,828 초 VHF 5초간 key조작
- 6,842 초 1차 Flap Down (1.01°), 고도 10,048 ft, 속도 240 knots
- 6,892 초 VHF 5초간 key조작
- 6,918 초 2차 Flap Down (5.09°), 고도 8,864 ft, 속도 212 knots
- 6,945 초 2차 Flap Down 완료(5.09°)
- 6,992 초 VHF 2초간 key조작
- 7,084 초 VHF 4초간 key조작
- 7,188 초 VHF 3초간 key조작
- 7,197 초 VHF 3초간 key조작
- 7,208 초 VHF 4초간 key조작
- 7,217 초 VHF 2초간 key조작
- 7,222 초 3차 Flap Down (10.01°), 고도 3,776 ft, 속도 182 knots
- 7,232 초 3차 Flap Down 완료(10.01°)
- 7,311 초 착륙장치 내림, 고도 2,432 ft, 속도 157 knots
- 7,312 초 4차 Flap Down (19.9°), 고도 2,432 ft, 속도 156 knots
- 7,319 초 4차 Flap Down 완료(19.9°)
- 7,326 초 Speed Brake 작동 (1.5 %)
- 7,334 초 5차 Flap Down (30.0°), 고도 2,112 ft, 속도 152 knots
- 7,339 초 5차 Flap Down 완료(30.0°)
- 7,405 초 VHF 3초간 key조작
- 7,413 초 VHF 3초간 key조작
- 7,448 초 Speed Brake 작동 (2.0 %)
- 7,449 초 VHF 3초간 key조작
- 7,482 초 Middle Marker 3초간 표시
- 7,504 초 주 착륙장치 활주로 접지 146 knots
- 7,505 초 전방 착륙장치 활주로 접지(144 knots) 및 Speed Brake 작동 (98 %)
- 7,507 초 역추력 장치 작동시작

- 7,530 초 역추력장치 완료
- 7,537 초 VHF 2초간 key조작
- 7,540 초 활주로에서 벗어나 Taxi way로 진입을 위한 방향전환
- 7,546 초 VHF 5초간 key조작
- 7,556 초 VHF 2초간 key조작
- 7,562 초 Flap Up 작동 시작
- 7,564 초 Speed Brake 접음
- 7,603 초 Flap Up 완료
- 7,943 초 엔진 정지 (GMT : 09시 18분 13초, 현지시간 18시 18분 13초)

4.4 비행단계별 조작

4.4.1 이륙 전 Taxiing 단계

비행자료에는 GMT시간으로 07시 05분 50초 (현지시간 16시 05분 50초)에 #1엔진이 마지막으로 시동되면서 모두 4개의 엔진이 작동을 시작하였다. 조종사의 VHF교신이 있는 뒤 이륙을 위해 도쿄 나리타공항 활주로 16으로 Taxiing을 하였다. Taxiing도중 이륙을 위한 준비로 Flap을 서서히 10.01° 까지 내렸으며, 방향전환에 따른 것으로 보이는 가로축 가속도 변화가 있었다.

4.4.2 이륙 단계

이륙 전 조종사의 VHF교신은 이륙승인을 위한 것으로 판단되며, 교신 후 9초 뒤에 활주위에 정대하였다. 엔진출력을 최대로 하여 이륙을 위한 활주를 하면서 승강타를 조작하여 전방 착륙장치가 135 knots에서 부양되고, 1초 후에는 속도 140 knots에서 주 착륙장치가 활주로로부터 부양되어 정상적인 이륙이 이루어졌다. 부양 후 pitch는 급격히 증가하여 최대 20° 까지 증가되었다가 서서히 감소하면서 안정된 상승자세로 돌입하였다. 이륙으로부터 14초후 고도 736ft에서 착륙장치를 접는 조작이 있었고, 고도 3,800ft에서 Flap을 올림으로서 상승자세로 전환이 이루어졌다.

4.4.3 상승 단계

이륙 후 나리타 공항절차에 따라 상승자세를 취하면서 선회를 하였다. 상승도중 선회는 이륙공항인 나리타 공항 수직상공을 21,000 ft 고도로 통과하여 지속적인 상승을 하였다. 상승도중 VHF교신이 있는 후 고도 FL31에서 207초간 수평비행을 하고, 다시 VHF 교신이 있는 뒤 재 상승하기 시작하였다. 상승은 ATC로부터 지정 받은 것으로 추측되는 고도 FL39까지 이루어 졌다. 조종사는 DME 주파수(114.6, 110.0 Mhz)를 바꾸면서 항공기 위치 확인을 하였다.

4.4.4 순항비행 단계

순항비행 전의 VHF 교신을 통하여 ATC로부터 부여받은 것으로 보이는 FL39 및 속도 410 knots의 순항비행은 항로 운항규정에 입각한 IFR비행을 하였음을 예상할 수 있다. 순항비행 중 조종사에 DME 주파수 변환과 VHF교신들은 일본관제국으로부터 한국관제국으로 이양관제가 있었음을 예측할 수 있다. 순항비행 중 3축 가속도계와 조종면의 Aileron 조작으로 보아 난기류에서 비행하였던 것으로 판단된다. DME 주파수를 김포(113.6 MHz)로 맞추고 조종사의 VHF 교신이 있는 뒤 강하 단계에 진입하였다.

4.4.5 강하 단계

강하직전 VHF 교신은 ATC로부터 강하허가를 받은 것으로 예상되며, 엔진상태 및 항공기 조작들은 완만하게 이루어졌으나 3축가속도계의 기록으로 추정하면, 난기류 속에서 강하 비행을 하였던 것으로 판단된다. 강하도중 ATC 지시에 응답한 것으로 보이는 여러 차례의 VHF교신이 있었다.

4.4.6 접근 및 착륙단계

김포공항 착륙을 위해 고도 10,048 ft 속도 240 knots에서 Flap 각도 1.01° 의 1차 Flap 내림, 고도 8,864 ft 속도 212 knots에서 Flap 각도 5.09° 로 2차 Flap 내림, 고도 3,776 ft 속도 182 knots에서 Flap 각도 10.01° 로 3차 Flap 내림을 하였으며, 접근을 위해 기수를 323° 로 선회 조작하였다. 접근도중 조종사의 VHF교신이 있는 후 착륙장치를 내리고, Flap 각도 19.9° 로 4차 Flap 내림을 하였다. 고도 2,112 ft 속도 152 knots에서 최종 착륙준비로 보이는 5차 Flap 내림 30° 가 있었다. 착륙직전 Localizer, Roll 및 조종면의 변화로 보아 측풍에 의한 착륙조작이 있었음을 알 수 있다. 항공기 속도 146 knots로 주 착륙장치가 동시에 활주위에 닿았고, 1초 후 144 knots 속도에서 전방 착륙장치가 활주위에 닿음과 동시에 Speed Brake 조작이 있었던 것으로 나타났다. 전방착륙장치 접지 후 항공기 방향을 유지하면서 23초간의 역추력장치와 제동장치 조작이 있었다.

4.4.7 착륙 후 Taxiing 단계

착륙 후 Taxiing을 통보하는 것으로 판단할 수 있는 VHF교신이 있는 후 Taxi way 진입을 위한 방향전환이 있었다. Taxiing 도중 관제탑과 비행종료를 위한 교신으로 보이는 2차례의 VHF교신이 있는 후, Flap을 접고 Speed Brake 조작을 하였다. GMT시간으로 09시 18분 13초 (현지시간 18시 18분 13초)에 엔진이 정지되었으며 이로서 비행이 종료되었다. Taxiing 도중 방향전환 때문인 것으로 보이는 가로축가속도 변화가 있었으나, $\pm 0.1g$ 미만인 것으로 나타났다.

5. 비행자료 분석결과

해독자료로부터 이/착륙을 위한 활주로 정대시의 항공기 기수 방향, 비행시간, 기수방향의 변화, 순항고도, DME 주파수, 비행일시, 항공기 위치좌표, 출발지 및 목적지 자료 등으로 이루어 2000년 5월 27일 도쿄 나리타공항에 활주로 16에서 이륙하여 김포공항 활주로 32에 착륙한 것으로 분석하였다.

해독자료에서는 엔진시동부터 정지까지 총 2시간 12분 23초동안 4기 엔진이 모두 정상 가동되었으며, 착륙장치의 활주로 접촉시점으로 보아 도쿄 나리타-김포간 전체 비행시간은 1시간 53분 36초이며, 전체 연료사용량은 31,800 lbs인 것으로 나타났다.

B747-400항공기의 도쿄 나리타-김포간 비행자료에서는 순항 및 강하비행 중 난기류에 의한 항공기 기체의 흔들림이 있었으며, 착륙직전 측풍에 대한 조작성인 것으로 보이는 parameter들의 변화가 있었으나, 그 외 운항 중 기타 특이사항이 없었던 것으로 보아, 향로비행방향 180-359° 고도 29,000 ft 이상의 IFR운항규정에 의해 순항고도 FL39로 G585항로를 따라 운항규정을 준수한 정상적인 IFR 비행이었던 것으로 판단한다.

V. 결 론

우리는 B747-400 항공기의 UFDR 비행자료기록장치에 저장된 자료를 Download하고, 해당 항공기의 Interface 파일 작성과정을 거쳐 비행자료의 해독 및 분석까지의 각 단계를 성공적으로 수행하였다. 여기에서는 B747-400 항공기의 UFDR 비행자료기록장치만의 Download에 대해 중점적으로 서술하였지만, 우리는 이 연구를 통하여 FDR의 다른 형식인 DFDR 및 SSFDR 비행자료기록장치의 Data도 Download 할 수 있는 능력을 보유하게 되었다. 또한, Download된 비행자료 파일 해독 및 분석을 위해 필요한 변환과정에서 사용되는 Interface 파일을 자체적으로 제작하여, 향후 우리나라에 도입될 수 있는 임의 형식의 항공기에 대해서도 해당 항공기 비행자료에 적합한 Interface 파일을 제작할 수 있는 능력을 갖추게 되었으며, 비행자료 해독 및 분석 과정에서는 비행자료를 바탕으로 3차원 항적추적과 각 parameter들에 대한 단계별, 시간대별 응용분석을 수행함으로써 비행자료를 활용하여 항행안전기술을 개발할 수 있는 핵심적인 기술을 확보하게 되었다. 우리가 수행한 연구성과는 항공선진국들이 중장기적으로 추진하고 있는 사고예방 및 항행안전 분야의 요소기술을 독자적으로 확보하였다는 것이며, 항공선진국과 동등한 항행안전기술 개발에 활용될 것을 기대한다.

▣ 참 고 문 헌

1. AACO Inc., Operation of the Maintenance and Analysis Ground Station, Doc. No. GGA-0011-001, Seattle, WA., 1996.12
2. ARINC 429, Mark 33 Digital Information Transfer System (DITS), 1995.09
3. ARINC 542A, Digital Flight Data Recorder, 1988.01
4. ARINC 573-7, Mark 2 Aircraft Integrated Data System (AIDS), 1974.12
5. ARINC 717-10, Flight Data Acquisition and Recording System, 1998.04
6. Boeing, Signal Details - Flight Recorder/AIDS, 1986.6
7. Boeing, 747-400 Digital Flight Data Acquisition Card Interface Control Document, 1992.2
8. James M. Walters and Robert L. Sumwalt III, Aircraft Accident Analysis Final Report, McGraw-Hill, 2000.1
9. Sundstrand Aerospace, Product Specification for Universal Flight Data Recorder, 1994.1.
10. 건설교통부, 항공정보간행물(AIP: Aeronautical Information Publication), 7th edition, 2001.3