

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(1), 49-61(2015)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.1.49

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

비행검사용 항공기를 이용한 김포국제공항 GBAS 비행시험 및 성능평가

정명숙*, 배중원*, 전향식*, 이영재**

GBAS Flight Testing and Performance Assessment using Flight Inspection Aircraft at Gimpo International Airport

Myeong-Sook Jeong*, Joongwon Bae*, Hyang-Sig Jun* and Young Jae Lee**

CNS/ATM Team, Korea Aerospace Research Institute*

Department of Aerospace Information System Engineering, Konkuk University**

ABSTRACT

Ground Based Augmentation System(GBAS) is a system that offers an aircraft within 23 NM radius from the airport precision positioning service and precision approach service using the concept of Differential Global Positioning System(DGPS). After GBAS ground equipment installing at the airport, functionalities and performances of GBAS should be verified through the GBAS ground and flight testing. This paper describes the methods and results for GBAS flight test using the flight inspection aircraft at Gimpo International Airport. From the test results, we confirmed that the VDB data was received without misleading within the VDB coverage of Gimpo International Airport, and VDB field strength, protection level, and course alignment accuracy met the evaluation's criteria.

초 록

GBAS는 Differential GPS(DGPS) 개념을 활용하여 공항근처 23NM 반경 이내에 위치한 항공기에 정밀위치서비스와 정밀접근서비스를 제공하는 시스템으로, GBAS 지상장비는 공항에 설치된 이후에 지상 및 비행시험평가를 통해 그 기능 및 성능을 검증하도록 되어있다. 본 논문에서는 김포국제공항에 설치된 GBAS 지상장비에 대해 비행검사용 항공기를 이용한 비행시험 방법 및 결과를 분석하여 기술하였다. 시험 결과 김포공항의 GBAS 신호통달범위 내에서 VDB 데이터가 오류 없이 정상적으로 수신되었으며, VDB 전계강도, 보호수준, 코스정렬 정확도 등도 평가 요구조건을 충분히 만족시키는 것을 확인하였다.

Key Words : Ground Based Augmentation System(위성항법지역보강시스템), Instrument Landing System(계기착륙시스템), Flight Inspection Aircraft(비행검사용 항공기), Final Approach Segment(최종접근구간)

† Received : October 8, 2014 Revised : December 22, 2014 Accepted : December 30, 2014

* Corresponding author, E-mail : msjeong@kari.re.kr

I. 서 론

전 세계 대부분의 공항에서는 공항 내에 계기 착륙시스템(ILS, Instrument Landing System)을 설치하여 공항에 접근하는 항공기에 대해 안전한 활주로(RWY, Runway) 착륙을 유도하는 정밀접근서비스(Precision Approach Service)를 제공하고 있다. ILS는 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에 의해 항행안전무선시설로 채택되어 1950년대부터 이용되어 오고 있으나, 최근 세계적으로 항공교통량이 급증함에 따라 공항에서의 항공기 이착륙 처리 능력은 한계에 달하고 있다.

이에 국제사회는 1990년대부터 미국 및 유럽 선진국을 중심으로 위성항법시스템(GPS, Global Positioning System)을 기반으로 한 위성항법지역보강시스템(GBAS, Ground Based Augmentation System)에 대한 연구를 수행하였으며, 최근에는 미국 Honeywell사에서 개발하고 미국 FAA(Federal Aviation Administration)로부터 CAT-I(Category I)급 제품인증을 획득한 GBAS 지상장비인 SLS-4000을 각국 공항에 설치하고 그 적합성 및 운용 효율성 등을 평가하는 연구를 진행하고 있다. 현재 SLS-4000은 독일 브레멘 및 프랑크푸르트 공항, 미국 휴스턴 및 뉴욕 공항, 호주 시드니 공항, 스페인 말라가 공항 등 총 4개국 6개 공항에 설치되어 상용서비스를 제공하고 있으며, 그 밖에 브라질, 영국, 인도 등에서도 설치 또는 설치 준비 중에 있다[1-2].

한국도 SLS-4000을 도입하여 2013년 7월 말 국내 최초로 김포국제공항(이하 김포공항)에 설치 완료하였으며, 설치된 장비에 대한 기능 및 성능 검증을 위해 지상시험 평가를 수행 완료하였다. 한국의 경우 국내 규정에 의거 새롭게 설치되는 항행안전시설에 대해서는 운용 개시 전 국토교통부 서울지방항공청 비행점검센터를 통해 비행검사를 수행하여 신설된 항행시설의 성능을 검증 하도록 하고 있다[3-4]. 이에 김포공항에 설치된 GBAS 지상장비에 대해서도 성능 확인점검 차원에서 2014년 6월 말부터 8월 중순까지 비행검사를 수행하였다.

이에 본 논문에서는 GBAS CAT-I 비행시험 평가 시 수행해야하는 시험 평가항목 및 비행방식에 대해 간략히 소개하고, 비행점검센터의 비행검사용 항공기를 이용한 김포공항 GBAS 비행시험 평가방법 및 평가결과에 대한 세부 분석 내용을 기술하였다.

II. 시험 방법

2.1 김포공항 GBAS 지상장비

김포공항에 설치된 GBAS 지상장비인 SLS-4000은 4대의 기준국 수신기(Reference Receiver)와 1대의 무지향성 VDB(VHF Data Broadcast) 안테나 그리고 주 처리장치를 포함한 쉘터로 구성되며, Fig. 1, Fig. 2와 같이 김포공항의 RWY 32방향의 녹지대에 설치되었다. 4대의 기준국 수신기는 공항내 GPS 신호를 수집하고 이를 쉘터 안에 위치한 주 처리장치로 전송하면, 주 처리장치는 수집된 GPS 신호를 이용하여 GBAS 보정(Correction)정보 및 무결성(Integrity) 정보를 생성하고, 생성된 정보는 다시 최종접근구간(FAS, Final Approach Segment) 데이터와 함께 VDB 안테나를 통해 디지털 방식으로 항공기로 방송된다. 이때 방송되는 VDB 메시지 타입(Message Type)은 MT1, MT2, MT4로 나뉘어 방송되는데, MT1에는 GBAS 보정정보, MT2에는 GBAS 지상시설 및 무결성 관련 파라미터 정보, MT4에는 FAS 데이터가 포함되어 있다. 항공기에 탑재된 MMR(Multi-Mode Receiver)은 GPS 위성신호와 함께 GBAS VDB 신호를 수신하여

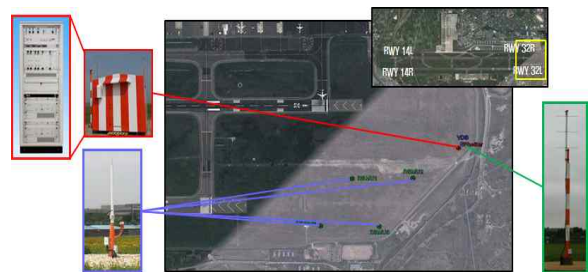


Fig. 1. GBAS ground equipment layout of Gimpo airport



Fig. 2. Honeywell SLS-4000 installed at Gimpo airport

보다 정밀한 항공기 위치정보를 계산하고, 계산된 위치정보와 MT4 FAS 데이터를 이용하여 항공기의 활주로 착륙을 유도하는 접근정보를 생성한다.

김포공항의 SLS-4000은 2013년 1월부터 설치공사를 진행하여 2013년 7월말에 설치를 완료하였으며, 이후 2013년 8월부터 10월초까지 지상시험평가를 수행 완료하였다.

2.2 GBAS CAT-I 비행시험 평가 기준

지상시험이 완료된 GBAS 지상장비는 비행시험을 통해 장비의 성능을 최종평가 받게 되는데, GBAS 비행시험을 수행하기 위해서는 우선, 평가하고자하는 시험항목 및 평가기준, 시험절차가 수립되어 있어야한다. 그러나 국내의 경우 GBAS 지상장비를 국내공항에 설치한 경험이 전무하기 때문에 GBAS 비행시험에 대한 국내 평가 절차 및 기준이 전혀 수립되어 있지 않았다. 이에 본 연구를 수행하기에 앞서 국제 기술문서와 GBAS 지상장비를 설치 및 운영하고 있는 해외 국가들의 시험평가 사례 등을 바탕으로 Table 1과 같이 국내 GBAS CAT-I 비행시험 평가항목 및 평가기준을 수립하는 연구를 우선 수행하였으며, 본 연구의 GBAS 비행시험은 Table 1을 기준으로 진행하였다[5-10].

ILS, VOR(VHF Omnidirectional Range),

Table 1. GBAS CAT-I flight testing items and requirements

시험 항목	평가 기준	관련 장절	
		ICAO Doc 8071 Vol.2	FAA Order 8200.1C
FAS 데이터 시험	수신된 FAS 데이터와 해당 공항의 착륙 절차와 일치성	4.3.4	17.12f(2)
비행 신호간섭 시험	- VDB 주파수: $\leq \pm 100\text{kHz}$ - GPS 신호세기 : $-123\text{ dBm} \sim -130\text{dBm}$ - GPS 정보	4.3.6	17.12f(5), 17.12f(6)
VDB 신호통달범위 시험	수평편파: $-99\text{dBW/m}^2 \sim -35\text{dBW/m}^2$ 수직편파: $-103\text{dBW/m}^2 \sim -39\text{dBW/m}^2$	4.3.7~4.3.13	17.12g, 17.12b, 17.12d(1)
GBAS 식별부호 확인 시험	송수신 정보 일치	4.3.14	17.12f(2), 17.12f(7)
VDB 데이터 시험	송수신 정보 일치	4.3.15~4.3.16	"
FAS 경보한계 시험	최종접근구간에서 $PL \leq AL$	-	17.12f(4)
코스정렬 정확도 시험	- 활주로 중심선 기준 ± 0.1 도 이내 - 활로각 기준 ± 0.05 도 이내 - TCH 기준 $\pm 2\text{m}$	-	17.12g

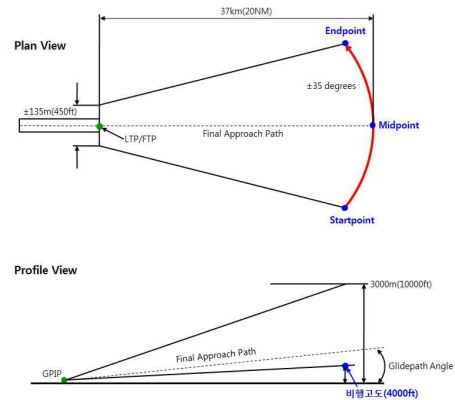


Fig. 3. Arc

DME(Distance Measurement Equipment) 등과 같은 국내 항행안전시설의 비행검사 규정은 이미 각 항행안전시설에 대한 최소한의 비행검사항목을 권고하고 있는 국제 기술문서인 ICAO Doc 8071 Vol.2와 미국 FAA의 비행검사매뉴얼인 FAA-Order-8200.1C 등을 따르고 있기 때문에, 국내 GBAS CAT-I 비행시험 평가 기준 또한 두 문서에 제시된 시험항목 및 평가 기준을 모두 반영하여 수립하였다. Table 1의 각 시험항목 및 평가기준, 시험절차에 대한 상세한 내용은 문서화되어 국토교통부에 제출되었으며, 현재 기술검토를 완료하고 국내 GBAS 비행검사 규정으로의 고시를 준비 중에 있다.

한편, Table 1의 각 항목에 대한 비행시험을 수행하기 위해 항공기는 일정한 비행방식에 따라 비행을 수행하며 시험평가를 진행하여야 한다. GBAS 비행시험을 위한 비행방식은 크게 Fig. 3의 Arc, Fig. 4와 Fig. 5의 Level Run, Fig. 6의 Approach 비행방식으로 나뉘는데, Level Run 비행은 다시 저고도 Level Run과 고고도 Level Run으로 나뉜다.

Arc 비행은 비행거리는 활주로 시단으로부터 GBAS의 공간신호를 적절하게 분석할 수 있는 지점인 20NM까지를 비행거리로 하고, 비행고도는 GBAS VDB 신호통달범위 내의 최저고도(통상 약 2000ft) 또는 비행구역의 가장 낮은 장애물 회피고도(LCA, Lowest Clearance Altitude)로 하며, 비행범위는 공역의 제한 또는 금지구역이 없는 경우 활주로 중심선을 기준으로 좌우 35도 범위로 한다. 그리고 비행시 FAS 데이터 시험, 비행 신호간섭 시험, VDB 신호통달범위 시험, GBAS 식별부호 확인시험, VDB 데이터 확인 시험을 수행한다.

저고도 Level Run 비행은 비행위치는 활주로 시단으로부터 21NM에서 시작하고 그 기준 축선

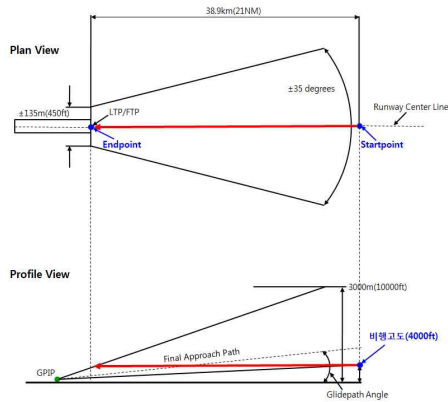


Fig. 4. Low altitude level run

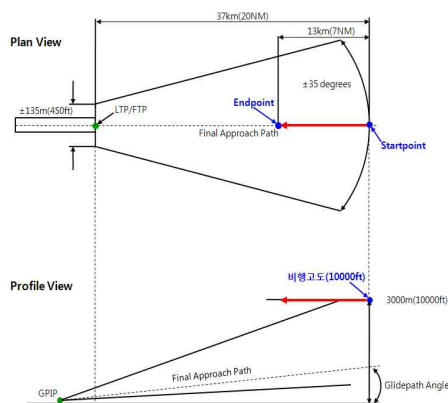


Fig. 5. High altitude level run

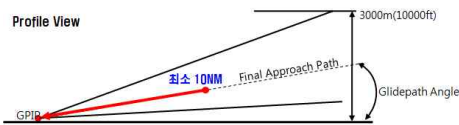


Fig. 6. Approach

은 활주로 중심선 또는 절차상에 명시된 활주로의 중심 방위각선상을 기준으로 한다. 비행고도는 항공기 접지지역(Touchdown)을 기준으로 약 2,000ft(HAT, Height Above Terrain) 고도 또는 최저 장애물 회피고도를 계산한 고도로하여 그 고도와 속도를 일정하게 유지하면서 활주로 시단으로부터 2.5NM까지 수평비행을 한다. 고고도 Level Run 비행은 비행위치는 활주로 시단으로부터 20NM에서 시작하고 그 기준 축선은 활주로 중심선 또는 절차상에 명시된 활주로의 중심 방위각선상을 기준으로 한다. 비행고도는 항공기 접지지역을 기준으로 약 10,000ft(HAT) 고도로하여 그 고도와 속도를 일정하게 유지하면서 활주로 시단으로부터 13NM까지 수평비행을 한다. 단 두 비행방식의 규정에도 불구하고 지형지물에 의한 장애물 회피, 공역의 제한 또는 금지구역

등의 제한적 요소가 있을 경우에는 비행거리 및 비행고도는 재조정될 수 있으며, Level Run 비행시 평가하는 시험항목은 앞의 Arc 비행과 동일하다.

Approach 비행은 활주로 시단으로부터 요구되는 지점(최소 10NM)에서 GBAS 최종접근구간 정보에 따른 최종접근코스(On Course/ On Path) 선상을 따라 고도 100ft 지점까지 비행하는 것으로 다만, 요구되는 GBAS VDB 신호통달범위가 활주로 표면으로부터 12ft 지점까지 확장될 경우에는 항공기 접지지역까지 비행한다. 비행시 비행조작은 가능한 한 자동착륙접근방식(Autopilot)을 원칙으로 하며 다만, 자동비행 장치가 결함(Coupler Problem)이 있는 경우 또는 검사용 항공기 제작사의 성능상 조작요구 항목을 준수해야 할 경우에는 수동으로 비행조작 할 수 있다. Approach 비행시 평가하는 시험항목은 Table 1의 7개 항목에 대해 모두 수행한다.

2.3 시험평가 장비 및 시험방법

김포공항에서 수행된 GBAS 비행시험은 Fig. 7과 같이 서울지방항공청 비행점검센터의 비행검사용 항공기(봄바이어사, CL-601-3R)를 이용하여 진행되었다. 비행검사용 항공기는 국내 항행안전 시설에 대한 대부분의 비행검사를 수행하고 있으며, 해당 항공기에는 GBAS 신호를 수신할 수 있는 Rockwell Collins사의 Multi-Mode Receiver(MMR) 장비인 GLU-930과 Honeywell사의 ILS 수신기인 RNZ-850이 장착되어 있어, GBAS와 ILS 신호 수신에 모두 가능하다.

항공기 내부에는 Fig. 8와 같이 독일 AeroData AG사의 비행검사장비(FIS, Flight Inspection System)인 AD-AFIS-350이 설치되어 있어 수신되는 GBAS 신호에 대한 분석 및 평가가 가능하고, 또한 GLU-930과 RNZ-850으로부터 출력되는 일부 정보 등도 저장할 수 있다. 비행검사용 항공기는 기본적으로 ILS 자동착륙이 가능하고, GLS(GBAS Landing System) 자동착륙은 비행검사관의 인위적인 조작을 통해 수행 가능하다.



Fig. 7. Flight inspection aircraft(CL-601-3R)



Fig. 8. Flight inspection system and GBAS onboard test equipment

또한 AD-AFIS-350은 평가에 필요한 여러 정보들을 저장함에 있어 약 32개 파라미터에 대한 값밖에 저장할 수 없기 때문에 시험결과를 후처리 분석함에 있어 많은 제약이 따른다. 따라서 GBAS 비행시험평가를 위해 자체 개발한 GBAS 탑재시험평가장비를 Fig. 8과 같이 비행검사용 항공기 내부에 장착하여 AD-AFIS-350과 함께 병용하여 시험평가를 진행하였다. 참고로, GBAS 탑재시험평가장비에는 측정장치로 MMR (Rockwell Collins사, GLU-925), RF Power Meter, GPS 수신기(NovAtel DL-V3), 스펙트럼 분석기 등을 포함하고 있어 비행시험평가에 필요한 여러 정보들에 대한 획득 및 시험/저장이 가능하고, 일부 시험항목에 대해서는 실시간 평가도 가능하도록 개발되었다[11].

한편, 김포공항 RWY 14방향 공역의 경우 북한과 인접하기 때문에 앞서 소개한 Arc, Level Run 비행이 불가하여 Approach 비행만을 수행하였으며, RWY 32방향 또한 관악산(해발 약 3500ft)과 같은 지형장애물로 인해 Arc와 저고도 Level Run 비행시 비행고도를 2000ft에서 4000ft로 변경하여 시험을 수행하였다. 또한 항공기는 Arc, Level Run, Approach 비행코스를 비행함에 있어 자동비행조정장치를 통해 자동으로 비행하였다.

III. 시험 결과

김포공항의 GBAS 비행시험은 2014년 6월 27일부터 8월 11일까지 수행되었으며, Table 1의 각 시험항목에 대한 분석 및 평가 결과는 다음과 같다.

3.1 FAS 데이터 시험 결과

GBAS 지상장비에서 방송되는 VDB MT4 메시지는 공항의 여러 활주로에 대한 접근경로정보

를 나타내는 FAS 데이터가 포함되어 있는데, FAS 데이터 시험은 Arc, Level Run, Approach 비행을 수행하며 이때 수신된 MT4의 FAS 데이터 중 주요 파라미터 정보인 공항 식별자 (Airport ID), 활주로 번호(Runway Number), 활주로 방향문자(Runway Letter), 활주로 시단의 위도/경도/고도값, 활주로 시단 통과높이(TCH, Threshold Crossing Height), 활공각(GPA, Glide Path Angle) 등의 정보가 데이터 오류 없이 정상적으로 수신되는지를 확인하는 시험이다. 아날로그 방식의 ILS와 달리 GBAS는 VDB 안테나를 통해 디지털방식으로 VDB 메시지를 방송하고 있기 때문에, 수신되는 전파의 전계강도가 약하거나 또는 외부 신호간섭이 있을 경우 수신된 디지털 신호의 정보가 왜곡될 수 있다. 특히 MT4 FAS 데이터는 항공기 착륙유도정보를 생성하는데 활용되기 때문에 수신된 값에 오류가 있을 경우 항공기의 비행안전에 크게 영향을 미칠 수 있으므로, GBAS 비행시험시 FAS 데이터 시험을 수행한다.

Table 2는 김포공항의 GBAS 지상장비에서 방송되는 MT4 FAS 데이터로, 김포공항 2개 활주로의 4개 방향(RWY 14L/R, RWY 32L/R)에 대한 접근경로정보를 제공하고 있다. 평가는 Arc, Level Run, Approach 비행방식 각각에 대해 비행을 수행하고, 이때 수신된 활주로별 FAS 데이터에 대해 각각의 파라미터의 송수신 정보가 일

Table 2. MT4 FAS data block of Gimpo airport

Data Content	RWY 32L	RWY 32R	RWY 14L	RWY 14R
Operation Type	0	0	0	0
SBAS Service Provider	14	14	14	14
Airport ID	RKSS	RKSS	RKSS	RKSS
Runway Number	32	32	14	14
Runway Letter	3	1	3	1
APD	1	1	1	1
Route Indicator	Z	Z	Z	Z
RPDS	2	3	0	1
RPI	GKMO	GSKP	GSEL	GOFR
LTP/FTP Lat.	37°32'52.8285"N	37°32'51.8900"N	37°34'14.5515"N	37°34'06.1865"N
LTP/FTP Long.	126°48'03.7080"E	126°48'25.5760"E	126°46'41.8025"E	126°46'31.5960"E
LTP/FTP Height(m)	35.5	35.8	34.4	33.3
△FPAP Lat.(sec)	73.3580	82.6615	-82.6615	-73.3580
△FPAP Long.(sec)	-92.1120	-103.7735	103.7735	92.1120
Approach TCH(ft)	54.0	54.0	52.0	52.0
Approach TCH Units Selector	0	0	0	0
Glide Path Angle	3.00°	3.00°	3.00°	3.00°
Course Width at Threshold(m)	106.75	106.75	106.75	106.75

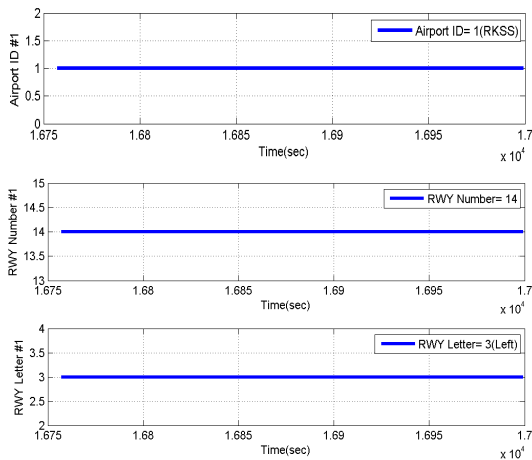


Fig. 9. Received FAS data for RWY 14L during RWY 32R approach-(1)

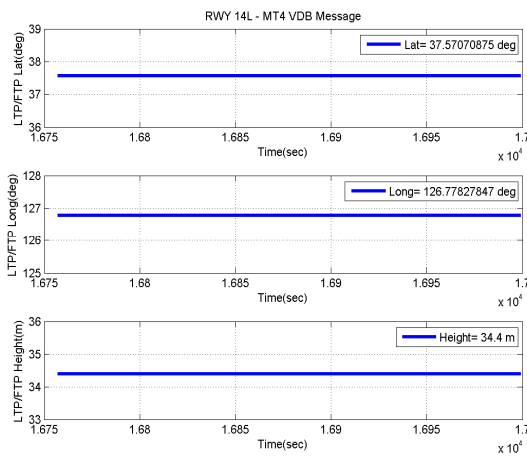


Fig. 10. Received FAS data for RWY 14L during RWY 32R approach-(2)

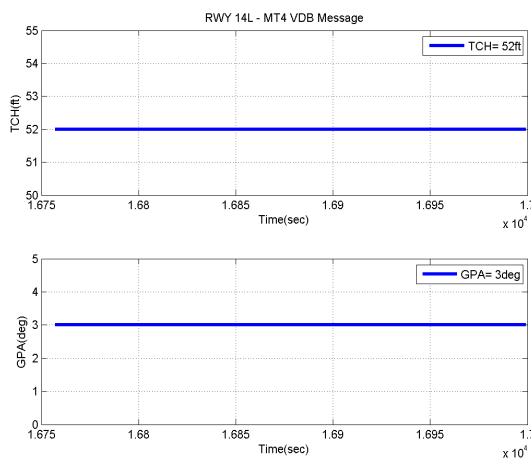


Fig. 11. Received FAS data for RWY 14L during RWY 32R approach-(3)

치하는지를 비교 확인하는 방식으로 수행하였다.

Figure 9 ~ Fig. 11은 2014년 7월 29일 RWY 32R로의 Approach 비행시 수신된 RWY 14L에 대한 FAS 데이터의 8개 파라미터 값을 시간에 따라 나타낸 것이다. 그래프 우측 상단의 라벨은 GBAS 지상장비에서 송신한 값이며, 항공기에서 수신된 값은 송신 값과 모두 일치하는 것을 확인할 수 있다. RWY 14L 이외에 RWY 14R, RWY 32L, RWY 32R의 FAS 데이터도 모두 송수신 값이 일치하였으며, Arc, 저고도 Level Run, 고고도 Level Run에서도 동일한 결과를 얻었다.

3.2 비행 신호간섭 시험 결과

본 시험은 비행시험시 수신되는 VDB 신호와 GPS 신호에 대한 외부 신호간섭 여부를 확인하는 시험으로, 평가는 VDB 주파수가 할당된 주파수 값으로 오류없이 수신되는지, 그리고 수신된 GPS 신호의 세기가 요구범위 내에 있으며, 수신된 GPS 관련 정보가 Table 3을 만족하는지를 확인한다.

비행시험시 스펙트럼 분석기를 이용하여 VDB 주파수 및 GPS 신호세기를 확인하였으며, 측정된 VDB는 116.1MHz로 GBAS 지상장비에서 설정된 VDB 안테나 주파수 값과 일치하였고, GPS 신호세기 또한 안테나와 신호분배기의 신호 증폭량 및 케이블 신호 손실 등을 모두 고려하여 약 125dBm ~ 130dBm 이내의 값을 가지는 것을 확인하였다.

Figure 12 ~ Fig. 14는 2014년 8월 11일 RWY 32R로의 Approach 비행시 얻어진 Table 3의 각 GPS 정보에 대한 값의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 12를 통해 비행 중 수신된 GPS 위성의 C/N0 값은 평가 기준치인 35dB 이상임을 확인할 수 있고, Fig. 13을 통해 HDOP(Horizontal Dilution of Precision)과 VDOP(Vertical Dilution of Precision) 또한 평가 기준치인 4이하임을 확

Table 3. GPS satellite parameters and expected values

GPS 정보	평가 기준
C/N0	≥ 35dB
LPL	40m 이하(결심고도 기준), 최대 69.15m 이하
VPL	10m이하(결심고도 기준), 최대 43.35m 이하
HDOP	≤ 4
VDOP	≤ 4
HIL	≤ 0.3nm
FOM	≤ 22m
위성수	≥ 최소 5개 위성

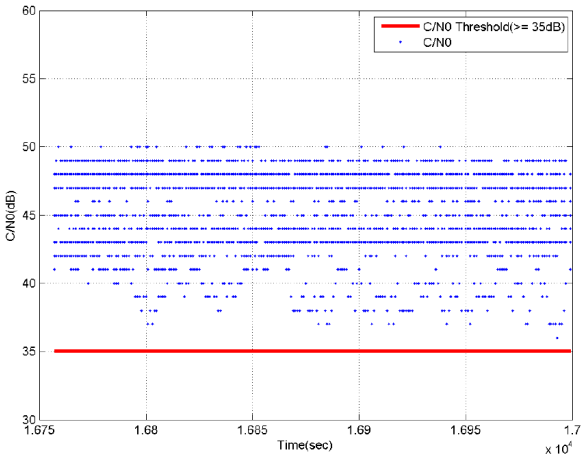


Fig. 12. C/N0 Variations of GPS signals

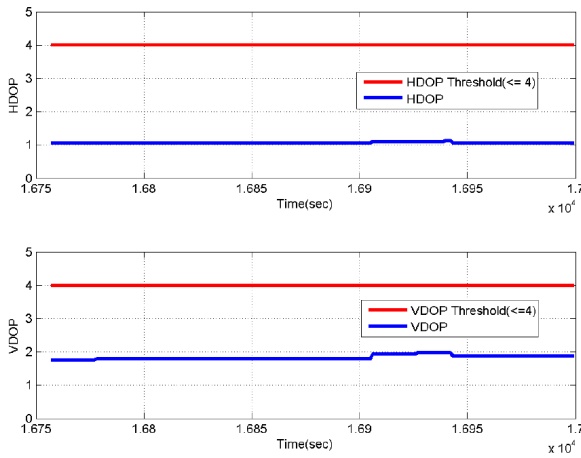


Fig. 13. Variation of HDOP and VDOP

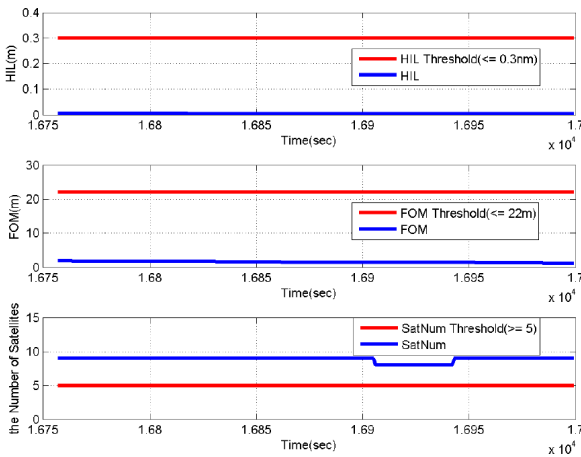


Fig. 14. HIL, FOM and Satellites Tracked

인할 수 있다. 그 밖에 Fig. 14를 통해 무결성 관련 지수인 HIL(Horizontal Integrity Limit)과 정확도 성능 관련 지수인 FOM(Figure of Merits) 또한 평가 기준치를 만족하였음을 알 수 있으며,

Tracking 위성 개수 또한 8~9개로 평가 기준을 만족하였다. 이러한 결과는 RWY 14 방향으로의 Approach 비행과 RWY 32방향으로의 Arc 비행, 4000ft와 10000ft Level Run 비행에서도 동일하게 요구조건을 만족하는 것을 확인하였다. 수평 보호수준(LPL, Lateral Protection Level)과 수직 보호수준(VPL, Vertical Protection Level) 또한 평가 기준을 만족하였으며, 결과는 3.6장에 상세 기술하였다.

3.3 VDB 신호통달범위 시험 결과

본 시험은 비행 중 GBAS 신호통달범위 내에서 측정된 VDB 전계강도가 Table 1의 평가 기준을 만족하는지를 평가하는 시험으로, 평가 방법은 Arc, Level Run, Approach 비행을 각각 수행하고, 이때 측정된 VDB 전계강도의 값이 평가 기준을 만족하는지를 확인한다. 김포공항에 설치된 GBAS VDB 안테나는 수평편파이므로, 수신된 VDB 전계강도는 $-99\text{dBW}/\text{m}^2 \sim -35\text{dBW}/\text{m}^2$ 이 내여야 한다.

Figure 15는 2014년 7월 29일 RWY 32방향에서 4000ft Arc 비행시 측정된 VDB 전계강도 값을 나타낸 것이다. 활주로 시단으로부터 비행거리는 약 21.7NM ~ 22.6NM 이내를 유지하였고, 고도는 약 4200ft를 유지하며 비행한 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 소개한 활주로 시단으로부터 20NM, 고도 4000ft의 Arc 비행과는 약간의 차이가 있으나, 성능을 평가함에 있어 무시할 수 있는 수준이다. Arc 비행시 측정된 VDB 전계강도는 $-80\text{dBW}/\text{m}^2 \sim -91.12\text{dBW}/\text{m}^2$ 이내에서 변하였으며, 평가 기준인 $-99\text{dBW}/\text{m}^2 \sim -35\text{dBW}/\text{m}^2$ 을 만족함을 알 수 있다.

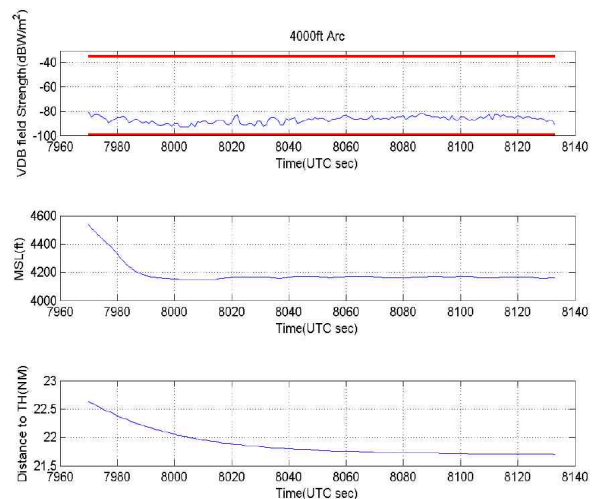


Fig. 15. VDB field strength - 4000ft arc

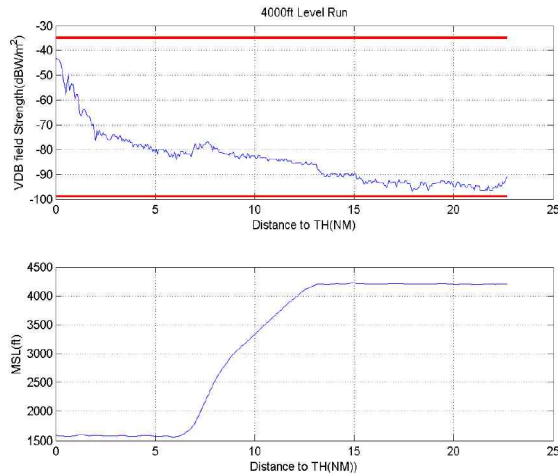


Fig. 16. VDB field strength - 4000ft level run

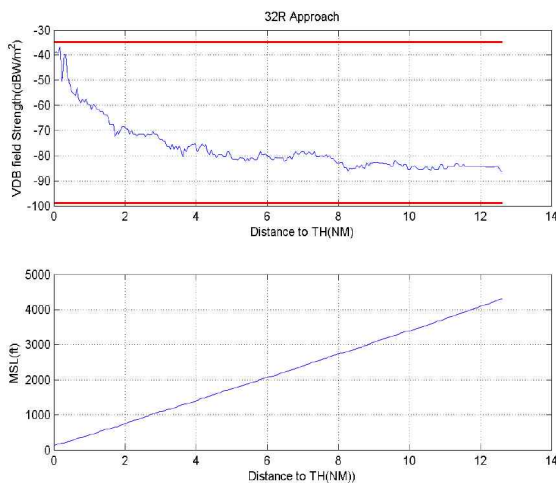


Fig. 17. VDB field strength-RWY 32R approach

Figure 16은 2014년 7월 21일 RWY 32방향에서 4000ft 저고도 Level Run 비행시 측정된 VDB 전계강도를 활주로 시단과 항공기 간의 거리 변화에 따라 나타낸 것이다. 김포공항 RWY 32방향의 경우 공항으로부터 약 10NM 떨어진 곳에 관악산이 위치하고 있기 때문에, 4000ft 저고도 Level Run 비행을 수행함에 있어 활주로 시단으로부터 약 13~22.7NM 구간에서는 항공기 고도를 약 4000ft로 유지하였고, 6~13NM 구간에서는 항공기 고도를 4000ft에서 1500ft로 천천히 하강하였으며, 활주로 시단에서부터 FAF(Final Approach Fix)가 위치한 6NM 구간에서는 1500ft의 고도를 유지하며 비행을 수행하였다. 그 결과 VDB 전계강도는 활주로 시단으로부터 약 21.7NM 떨어진 지점에서 -96.55dBW/m^2 의 최소 값을 가졌으며, 활주로 시단에 가까워질수록 그 값이 증가하여 활주로 시단에서는 약 -43.07

dBW/m^2 의 값을 가졌다. 또한 활주로 시단으로부터 13~20NM 떨어진 구간에서 진행된 10000ft 고고도 Level Run 비행의 경우 VDB 전계강도는 $-90\text{dBW/m}^2 \sim -95.12\text{dBW/m}^2$ 이내에서 값이 변하였으며, 평균은 약 -91.54dBW/m^2 정도였다.

Figure 17은 2014년 8월 11일 RWY 32R로의 Approach 비행시 측정된 VDB 전계강도를 활주로 시단과 항공기 간의 거리 변화에 따라 나타낸 것이다. 활주로 시단으로부터 약 12NM 떨어진 지점에서 VDB 전계강도는 -86.45dBW/m^2 로 측정되었고, 항공기가 활주로 시단에 가까워질수록 그 값은 증가하여 활주로 시단 부근에서 최대 -36.78dBW/m^2 의 값을 가졌다. 김포공항 VDB 안테나는 RWY 32R의 접근코스로부터 수평방향으로 약 150m 떨어진 곳에 위치하고 있기 때문에, Approach 시 항공기가 활주로에 근접할 경우 다른 활주로들에 비해 측정되는 VDB 전계강도 값이 상대적으로 높은 것을 확인하였다. RWY 32L로의 Approach시 활주로 시단 부근에서 측정되는 VDB 전계강도는 약 -40dBW/m^2 전후로 나타났으며, RWY 14L, RWY 14R의 활주로 시단은 VDB 안테나로부터 약 4km 이상 떨어져 있으므로 활주로 시단 부근에서 약 70dBW/m^2 의 VDB 전계강도가 측정되었다.

3.4 GBAS 식별부호 및 VDB 데이터 확인 시험 결과

GBAS 식별부호(ID, Identity) 확인 시험 및 VDB 데이터 확인 시험은 VDB 메시지에 포함된 특정 데이터들이 항공기에 장착된 MMR 또는 VDB 수신기에서 오류없이 정상적으로 수신이 되는지를 확인하기 위한 시험이다.

GBAS ID는 공항에 설치되어 있는 GBAS 지상장비를 식별하기 위해 부여되는 식별자로서, 현재 수신되고 있는 VDB 신호가 어떠한 GBAS 지상장비로부터 방송되는 것인지를 GBAS 사용자에게 알려준다. GBAS ID는 VDB 메시지 헤더에 포함되어 있으며, 4개의 알파벳 문자로 구성되도록 규정되어 있다. 현재 김포공항의 GBAS ID는 'RKSS'로 설정되어 있는 상태이다.

Figure 18은 4000ft Arc, 4000ft Level Run, RWY 32R Approach 비행시 수신된 GBAS ID를 나타낸 것이다. MMR을 통해 수신된 GBAS ID가 'RKSS'와 일치할 경우에는 1로, 일치하지 않을 경우는 0으로 표기하도록 하였는데, Fig. 18과 같이 모든 비행동안 GBAS ID가 모두 정상적으로 수신되는 것을 확인할 수 있다. 단, 항공기가 GBAS 지상장비에 설정된 GBAS 서비스 반경인

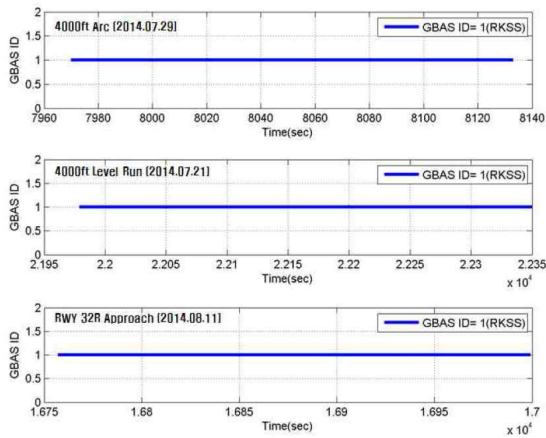


Fig. 18. GBAS ID

D_{max} (42km) 값을 벗어나서 비행할 경우에는 GBAS ID의 일부 문자가 깨져서 들어오는 것을 볼 수 있었다.

VDB 데이터 확인 시험은 Table 4와 같이 MT2, MT4에 포함된 몇몇 주요 데이터의 송수신 값의 일치성을 확인하기 위한 시험으로, 해당 데이터들은 모두 고정된 상수 또는 문자 값이다. Fig. 19와 Fig. 20은 2014년 7월 21일 수행된 10000ft Level Run 비행시 수신된 Table 4의 5개 MT2 파라미터의 값 변화를 나타낸 것으로, 그래프 우측 상단에 위치한 라벨은 김포공항 GBAS 지상장비에 설정된 MT2 파라미터의 송신 값이다. Fig. 19와 Fig. 20을 보면 비행동안 5개 파라미터의 데이터가 오류없이 모두 정상적으로 수신된 것을 확인할 수 있다. Fig. 21 또한 동일한

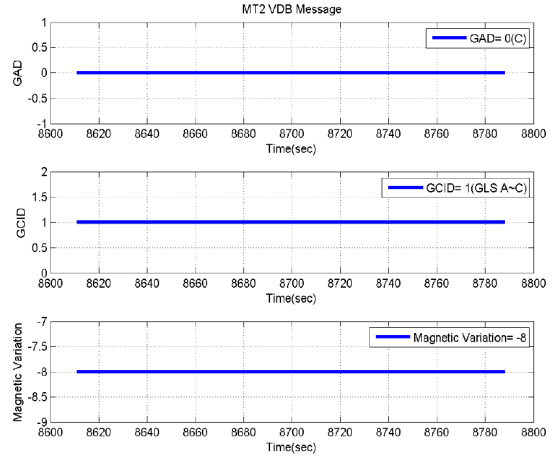


Fig. 19 Received MT2 data-(1)

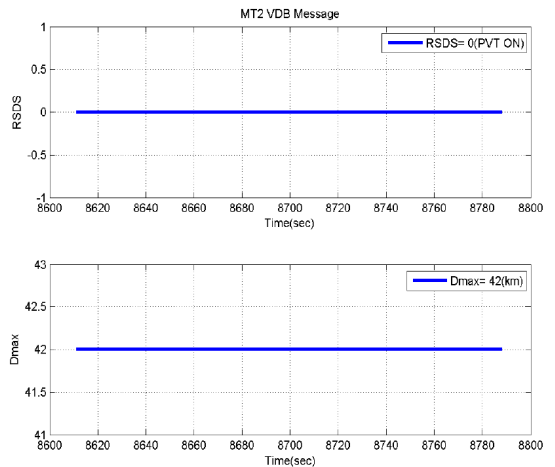


Fig. 20 Received MT2 data-(2)

Table 4. VDB MT2, MT4 data

MT	Parameters	김포공항 설정값
MT2	GBAS Accuracy Designator Letter(GAD)	C
	GBAS Continuity/Integrity Designator (GCID)	GLS A~C
	Reference Station Data Selector(RSDS)	-8°
	Maximum Use Distance(Dmax)	0
	Magnetic Variation	42km
MT4	<ul style="list-style-type: none"> • Operation Type • Airport Identification • Runway Number • Runway Letter • Approach Performance Designator (APD) • Route Indicator(RI) • Reference Path Data Selector(RPDS) • Reference Path Identifier(RPI) • FASVAL, FASLAL • Final Approach Segment CRC (FAS CRC) 	Table 1 참조

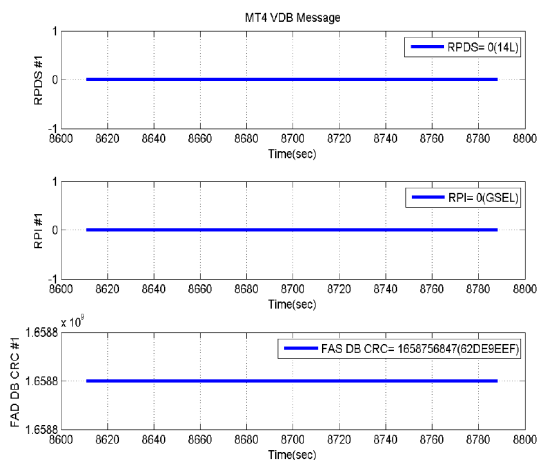


Fig. 21. Received MT4-RPDS, RPI

10000ft Level Run 비행시 수신된 MT4의 RPDS, RPI, FAS CRC 정보를 나타낸 것으로, 지상장비에 설정된 값과 수신 값이 서로 일치하는 것을 볼 수 있다. 그 밖에 Table 4의 Operation Type,

APD, RI, FASVAL, FASLAL 등도 모두 정상적으로 수신되었으며, Arc, Approach 비행시에도 동일한 결과를 얻었다.

3.5 FAS 경보한계 시험 결과

최종접근구간 경보한계 시험은 항공기가 Approach 비행시 최종접근구간에서 수평보호수준(LPL)과 수직보호수준(VPL)이 각각 수평보호한계(LAL, Lateral Alert Limit)와 수직보호한계(VAL, Vertical Alert Limit)를 초과하지 않는지를 확인하는 시험이다. 최종접근구간은 접근차트 상의 FAF에서 항공기 결심고도(Decision Height) 까지의 구간으로 김포공항 RWY 32L 또는 RWY 32R의 접근차트 상의 FAF는 활주로 시단으로부터 약 6NM쯤에 위치하고 RWY 14L 또는 RWY 14R의 FAF는 활주로 시단으로부터 약 4NM 떨어져 있다. 결심고도는 조종사가 활주로 착륙을 할지 또는 착륙을 포기하고 복행(Go Around) 할지를 결정하는 고도로써, 접근차트 상에 그 값이 표기되며 CAT-I의 경우 결심고도는 200ft이고, 활주로 시단으로부터 대략 873m쯤 떨어져 있다.

보호수준 (PL, Protection Level)은 GBAS를 통해 계산된 항공기 위치정보의 오차를 예측한 값으로, 각종 측정값 오차 모델, GBAS 지상장비에서 방송되는 무결성 파라미터와 위성과의 기하정보(DOP) 등을 기반으로 계산된다. PL이 커질수록 무결성 확보 측면에서는 유리하지만, 그 값이 경보한계(AL, Alert Limit)를 초과할 경우에는 항공기가 접근코스로부터 벗어나 위험지역으로 들어갈 수도 있기 때문에 항공기 정상 운행이 어려운 것으로 판단한다. 따라서 최종접근구간 경보한계 시험은 Approach 비행시 MMR을 통해 계산 및 출력되는 수평 및 수직 보호수준이 Table 5와 Table 6의 공식에 의해 계산된 수평

및 수직 경보한계를 초과하지 않는지를 평가하는 시험이다. 김포공항의 GBAS 지상장비는 CAT-I Approach를 지원하기 때문에 GBAS 지상장비는 MT4를 통해 FASLAL은 40m, FASVAL은 10m로 방송하고 있다.

Figure 22는 김포공항 RWY 14R로의 Approach 시 MMR에서 출력되는 LPL과 VPL 값을 항공기 위치정보와 Table 5, Table 6의 공식을 통해 계산된 LAL, VAL 값과 항공기와 활주로 시단간의 거리를 기준으로 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 22를 보면 LPL은 활주로 시단으로부터 4NM 떨어진 FAF 지점에서 4.31m의 값을 가졌으며, 활주로 시단에 근접할수록 그 값이 감소하여 활주로 시단에서는 3.45m의 값을 가졌다. VPL 또한 FAF 지점에서는 2.69m, 활주로 시단에서는 2.13m의 값을 가졌다. 최종접근구간 이외의 접근구간에서도 전반적으로 LPL과 VPL은 LAL과 VAL을 대비 훨씬 작은 값을 가지는 것을 볼 수 있다.

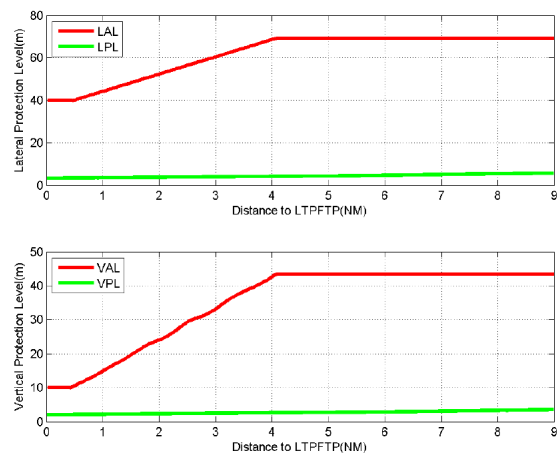


Fig. 22. LPL and VPL - RWY 14R approach

Table 5. Lateral alert limit

구분	활주로서단으로부터의 수평거리(D)	수평경보한계(m)
수평 경보 한계 (LAL)	$D \leq 873m$	FASLAL
	$873m < D \leq 7500m$	$0.0044 \cdot D(m) + FASLAL - 3.85$
	$D > 7500m$	$FASLAL + 29.15$

Table 6. Vertical alert limit

구분	활주로서단으로부터의 고도(H)	수직경보한계(m)
수직 경보 한계 (VAL)	$H \leq 200ft$	FASVAL
	$200ft < H \leq 1340ft$	$0.02925 \cdot H(m) + FASVAL - 5.85$
	$D > 1340ft$	$FASVAL + 33.35$

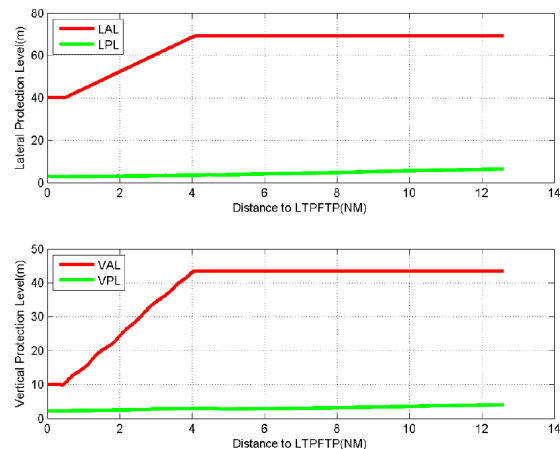


Fig. 23. LPL and VPL - RWY 32R approach

Figure 23은 김포공항 RWY 32R의 Approach 시 얻어진 LPL과 VPL 값을 Fig. 22와 동일한 방식으로 나타낸 것이다. LPL의 경우 활주로 시단으로부터 12NM 떨어진 지점에서 약 6.38m의 값을 가졌으며, 그 값이 서서히 감소하여 활주로 시단 상공을 통과하는 지점에서는 약 2.92m의 값을 가졌다. VPL 또한 활주로 시단으로부터 12NM 지점에서는 4.03m의 값을 가졌으며, 활주로 시단 근처에서는 2.29m의 값을 가졌다. 또한 RWY 14R과 RWY 32R 이외에도 RWY 14L와 RWY 32L에 대해서도 여러 차례 Approach 비행 시험을 수행하였으며, 이 경우에도 LPL과 VPL 값이 각각 LAL과 VAL을 초과하는 경우는 볼 수 없었다. 본 시험에서 PL이 AL을 초과하는지 또는 초과하지 않는지를 보는 것은 결국, 항공기의 활주로 접근시 GBAS 시스템의 가용여부를 확인하는 것인데 다수의 Approach 비행 시험을 수행하는 동안 한 차례도 GBAS 시스템의 가용성이 깨진 적은 없었다.

3.6 코스정렬 정확도 시험 결과

항공기가 안전하게 활주로에 착륙하기 위해서는 항공기는 활공각과 활주로 중심축을 기준으로 한 접근코스와 최대한 정렬(Alignment)을 맞추어 착륙하여야 한다. 코스정렬 정확도 시험은 항공기가 GLS Autopilot을 통해 Approach 비행을 수행할 때, 활주로 시단에서부터 1NM까지의 구간에서 항공기가 활주로 중심선을 기준으로 평균 ± 0.1 도 이하로 정렬(Alignment)을 맞추었는지, 그리고 활주로 시단으로부터 3500ft 떨어진 지점에서부터 4NM까지의 구간에서 항공기가 접근차트 상의 활공각을 기준으로 평균 ± 0.05 도 이하의 정렬을 맞추었는지를 평가한다. 또한 항공기가 활주로 시단을 통과할 때 활주로 표면으로부터의 항공기 고도 값이 접근차트 상에 명기된 TCH 값을 기준으로 $\pm 2m$ 이내로 통과하였는지를 평가한다.

평가 방법은 우선 항공기가 자동착륙을 수행할 시 항공기의 실제 비행궤적을 계산한 후, 계산된 비행궤적을 바탕으로 활주로 중심선을 기준으로 좌우로 항공기가 얼마나 벗어나 있는지를 나타내는 수평편위(Lateral Deviation)와 활공각을 기준으로 상하로 항공기가 얼마나 벗어나 있는지를 나타내는 수직편위(Vertical Deviation)를 계산한다[12]. 그리고 각 평가 구간에서의 수평편위와 수직편위의 평균 값을 구하고, 그 값이 각각 ± 0.1 도와 ± 0.05 도 이하를 만족하는지를 평가한다. 활주로 시단 통과높이도 또한 실제 항공기

위치정보를 바탕으로 항공기가 활주로 시단을 통과하는 시점에서 활주로 시단으로부터의 항공기 고도를 구한 후 접근차트상의 TCH 값과의 차를 계산하고 그 차이가 $\pm 2m$ 이내 인지를 확인한다.

본 시험의 평가를 위해 항공기 실제 비행궤적은 GBAS 탑재시험평가장비에 의해 저장된 GPS L1/L2 raw 데이터를 CSRS-PPP(Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning) 프로그램을 통해 후처리하여 얻었다. CSRS-PPP는 수 cm의 위치 정확도를 제공하는 GPS 후처리 프로그램이므로, CSRS-PPP를 통해 얻어진 항공기 위치정보는 실제 항공기 위치정보로 간주할 수 있다.

Figure 24와 Fig. 25는 2014년 8월 11일 김포공항 RWY 32R로의 GLS autopilot 5회, ILS autopilot 5회 시험시 얻어진 수평편위와 수직편위를 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 24의 수평편위의 경우 5회 시험에서 평가 전 구간에 걸쳐 GLS와 ILS가 모두 ± 0.1 도 범위 이내에 값을 가졌으며, 평가 구간에서의 수평편위 평균값 또한 Table 7, Table 8의 같이 평가 기준을 만족함을 알 수 있다. 이에 반해 Fig. 25의 수직편위의 경

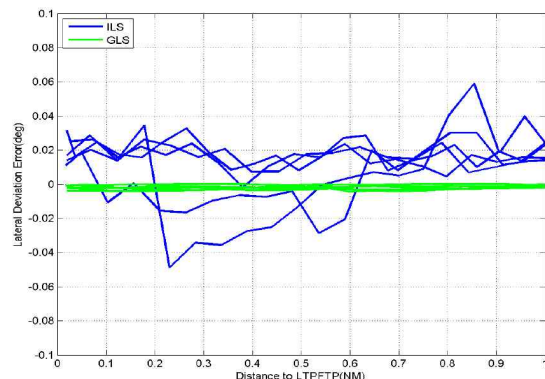


Fig. 24. Lateral Deviation - RWY 32R approach

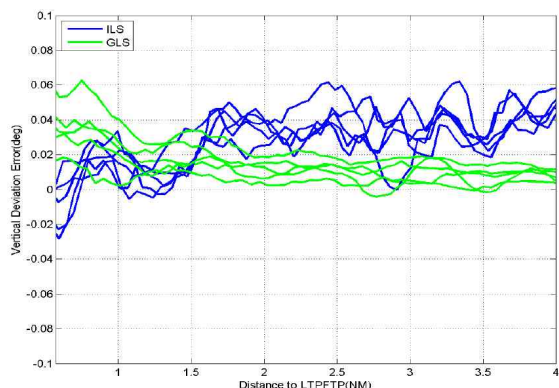


Fig. 25. Vertical Deviation - RWY 32R approach

Table 7. ILS aightment results

횟수	수평편위 평균값(deg)	수직편위 평균값(deg)
1차	0.01538	0.02847
2차	0.00300	0.02457
3차	0.01762	0.04487
4차	0.02095	0.04785
5차	0.01904	0.03717

Table 8. GLS aightment results

횟수	수평편위 평균값(deg)	수직편위 평균값(deg)
1차	-0.00156	0.01397
2차	-2.4099e-05	0.01749
3차	-0.00023	0.00613
4차	-0.00013	0.00521
5차	-0.00022	0.00276

우 평가 구간에서의 GLS와 ILS 수직편위가 일부 ± 0.05 도를 초과하는 것을 볼 수 있을 뿐만 아니라, 활주로 시단 부근에서 수직편위 값이 급증하는 것을 볼 수 있다. 이는 Approach 비행시험시 항공기가 활주로에 완전히 착륙하지 않고 활주로 시단에 근접하였을 때 항공기 기수를 들어 Low Approach를 하였기 때문이다. 일부 구간에서 수직편위 값이 ± 0.05 도를 초과하더라도, 평가 구간에서의 전체 평균값은 Table 7, Table 8과 같이 5회 모두 평가 기준인 ± 0.05 도를 만족하였다. 또한 활주로 시단 통과시 항공기 고도는 접근차트의 TCH 대비 약 0.5m 이하의 오차를 보였으며 이는 평가 기준인 ± 2 m 이하를 충분히 만족하였다. 이러한 결과들은 김포공항의 GBAS 지상장비가 CAT-I 정밀접근을 충분히 제공할 수 있음을 의미한다. 또한 Fig. 24와 Fig. 25를 통해 ILS 대비 GLS의 정렬정확도가 훨씬 더 뛰어난 것 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2013년 7월 김포공항에 설치 완료된 GBAS 지상장비에 대해 국토교통부 비행 점검센터의 비행감사용 항공기를 이용한 GBAS CAT-I 비행시험평가 내용을 기술하였다. 우선 시험을 위한 GBAS CAT-I 비행시험 평가항목 및 평가기준을 제시하였고, 구체적인 비행방식을 소개하였으며, 시험평가를 위해 사용된 시험장비에 대해 소개하였다. 그리고 김포공항에서 여러 차례 수행된 Arc, Level Run, Approach 비행을 통해 얻어진 각 시험항목별 평가결과 및 분석 내용을 기술하였다. 비행시험결과 김포공항의 GBAS 신호통달범위 내에서 VDB 신호는 데이터 오류

없이 정상적으로 잘 수신이 되고 있으며, VDB 전계강도 또한 평가 기준을 충분히 만족함을 확인하였다. 그리고 항공기의 활주로 Approach시 최종접근구간에서의 수평 및 수직 보호수준은 대략 5m 이하로 평가기준인 보호한계 대비 그 값이 현저히 작은 것을 확인하였다. 코스정렬 정확도 시험을 통해 김포공항의 GBAS 지상장비가 CAT-I 정밀접근서비스를 충분히 제공할 수 있음을 확인하였고, 또한 GBAS가 제공하는 접근정보의 정확도가 ILS보다 우수함을 확인하였다.

본 연구를 수행하기에 앞서 국내의 경우 GBAS 지상장비를 국내 공항에 설치한 경험이 없었기 때문에 GBAS 비행시험에 대한 평가 기준 및 절차가 수립되어 있지 않을 뿐만 아니라 시험결과에 대한 분석 방법 또한 모호하였다. 그러나 본 연구를 통해 수립된 국내 GBAS CAT-I 비행시험 기준 및 절차를 검증하였고, GBAS 비행시험에 대한 시험평가 기술 및 노하우를 확보하였다. 본 연구를 통해 확보된 기술은 향후 다른 국내 공항으로의 GBAS 지상장비 설치가 확대될 경우 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 국토교통부에서 지원한 “위성항법 지역보강시스템 운용기술 개발”과제의 일환으로 수행된 연구결과와 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- 1) Jeong, M. S., Choi, C. H., Ko, W. J., Ko Y., Bae, J. W., Jun H. S. and Kim D. M., “Analysis of GPS Signal Environment for GBAS Siting in Gimpo International Airport”, Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol 41, No. 1, pp. 70~78.
- 2) Bae J. W., Jun, H. S., Kim, D. M. and Yeom, C. H., “Overview of Worldwide GBAS R&D and Implementation”, Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 9, No. 2, pp. 187~195.
- 3) Notification No. 2014-697 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Regulation for flight inspection of Air Navigation Aids”, 2014.11.
- 4) Notification No. 2013-736 of the Ministry

of Land, Infrastructure and Transport, "Installation and standard of Air Navigation Aids", 2013.05.

5) Jeong, M. S, Bae, J. W. and Jun, H. S, "A Study on Ground and Flight Testing for GBAS Ground System Implementation", Journal of The Korean Society for Aviation and Aeronautics, Vol. 22, No. 2, pp. 16~26.

6) ICAO Doc. 8071 Vol. 2, "Manual on Testing of Radio Navigation Aids", Fifth Edition, 2007.

7) FAA-Order-8200.1C, "Flight Inspection Manual", 2011.

8) ICAO Annex 10 Vol. 1, "Annex 10 to Convention on International Civil Aviation: Aeronautical Telecommunications. Volume I -

Radio Navigation Aids", Sixth Edition, ICAO Montreal, July 2006.

9) EUROCAE ED-114, "Minimum Operational Performance Specification for Global Navigation Satellite Ground Based Augmentation System Ground Equipment to Support Category I Operations", EUROCAE WG-28 SG2, September 2003.

10) RTCA Do-245A, "Minimum Aviation System Performance Standards for Local Area Augmentation System", December 2004.

11) Jeong, M. S., Ko, W. J., Bae, J. W. and Jun, H. S., "Preliminary Design of GBAS Onboard Test Equipment", Journal of The Korean GNSS Society, Vol. 2, No.1, pp. 41~48.

12) EUROCONTROL, "PEGASUS GNSS_Solution: Design Justification", 2006.