

## 論文

## GBAS 지상장비 구축을 위한 지상 및 비행시험 평가에 대한 연구

정명숙\*, 배중원\*, 전향식\*

## A Study on Ground and Flight Testing for GBAS Ground System Implementation

Myeong-Sook Jeong\*, Joongwon Bae\* and Hyang-Sig Jun\*

## ABSTRACT

After the GBAS ground system installing at the airport, a GBAS ground and flight testing must be conducted to verify functionality and performance of the system. Since Korea has no experience of the GBAS ground system installation, GBAS test and evaluation methods have never been studied so far. Therefore this paper analyzes the test items and methods for the GBAS ground and flight testing based on ICAO documents, FAA flight inspection manual and testing reports of other countries. As a result of the analysis, this paper proposes the GBAS ground and flight testing items in Korea, also describes the flight procedures for the GBAS flight testing.

**Key Words** : GBAS(위성항법보강시스템), ICAO(국제민간항공기구), FAA(미연방항공청), Precision Approach (정밀접근), Operational Approval(운용승인)

## 1. 서 론

현재 국내외 대부분의 공항에서는 공항에 접근하는 항공기에 대해 계기착륙시스템(ILS, Instrument Landing System)을 이용하여 항공기의 활주로 착륙을 유도하는 정밀접근서비스(Precision Approach Service)를 제공하고 있다. 계기착륙시스템은 지상에서 지향성 전파를 방사하여 항공기의 활주로 좌우 편위(Deviation)정보, 활공각(Approach Path Angle) 상하 편위 정보, 활주로의 거리정보 등을 제공하여 항공기의 활주로 정밀진입 착륙을 돕는 시설 중 하나로, 국제민간항공기구(ICAO, International Civil

Aviation Organization)에 의해 국제표준방식으로 채택되어 1950년대부터 실용화 및 상용 운용되어 오고 있다.

그러나 최근 세계 경제와 산업의 지속적인 성장세에 따라 항공교통 수요는 연평균 10%에 달하도록 급격히 증가하고 있으며, 이에 기존 계기착륙시스템을 이용한 항공기 이착륙 처리 능력은 한계에 달하고 있다. 따라서 항공교통량의 지속적인 증가에 대비하여 제한된 공역에서 공항의 항공기 수용 능력을 증가시킬 수 있는 새로운 기술에 대한 연구 필요성이 대두되었으며, 이에 1990년대부터 미국 및 유럽 선진국을 중심으로 위성항법시스템(GPS, Global Positioning System)을 기반으로 한 위성항법지역보강시스템(GBAS, Ground based augmentation system)에 대한 연구가 진행되어 오고 있다[1]. GBAS는 DGPS(Differential GPS) 개념을 활용하여 공항 근처 20NM 반경 이내에 위치한 항공기에 정밀위

2014년 05월 27일 접수 ~ 2014년 06월 17일 심사완료  
논문심사일 (2014.06.09, 1차)

\* 정희원, 한국항공우주연구원 차세대항행팀  
연락처, E-mail : msjeong@kari.re.kr  
대전시 유성구 과학로 169-84

치서비스(Precision Positioning Service)와 정밀접근서비스를 제공하는 시스템으로, 그 구성은 크게 지상장비와 항공기 탑재장비로 구성된다.

GBAS 지상장비에 대한 개발은 미국 Honeywell사, 프랑스 Thales사, 일본 NEC사 등에 의해 1990년대부터 지속적으로 연구 개발되어 왔으며, 최근 2009년 9월 미국 Honeywell사의 SLS-4000 모델이 미연방항공청(FAA, Federal Aviation Administration)로부터 세계 최초로 CAT-I(Category-I)급 제품인증을 획득하였으며, 현재로서도 세계 유일한 제품이다[2]. GBAS의 항공기 탑재장비인 MMR(Multi-Mode Receiver)은 미국 Rockwell Collins사, Honeywell사, 프랑스 Thales사 등에 의해 제품 개발이 이루어지고 있으며, 2004년 8월 Rockwell Collins사에서 개발한 GLU-925모델이 세계 최초로 FAA로부터 제품인증을 획득하였으며, 현재 Boeing B737NG, B747-8과 Airbus A350XWB, A320, A380에 탑재 운용되고 있다.

세계 여러 나라는 2009년 Honeywell사 SLS-4000 모델이 FAA로부터 CAT-I급 제품인증을 획득한 이후 각국 GBAS 시범공항에 SLS-4000 모델을 도입 및 설치하여 자국에서의 GBAS 운용성 및 적합성 연구를 활발히 진행해 오고 있다. 현재 독일 브레멘 공항이 Honeywell사의 SLS-4000 제품을 도입하여 설치 및 시험평가를 완료하고 2012년 2월부터 세계 최초로 GBAS CAT-I 상용 서비스를 제공하고 있으며, 2012년 9월 미국의 뉴약 공항도 세계에서 두 번째로 운용승인(Operational Approval)을 획득하였다. 이 밖에 호주 시드니 공항 및 스페인 말라가 공항 등이 2014년 내에 운용승인 획득을 목표로 사업을 진행 중에 있으며, 인도 체나이 공항 및 영국 세인트 헬레나 공항도 SLS-4000 제품을 도입 및 설치 진행 중에 있다.

국내의 경우도 국토교통부 지원 하에 항공우주연구원을 중심으로 2010년 9월부터 GBAS(Ground based augmentation system) CAT-I 시스템 운용기술 개발 연구를 진행해 오고 있으며, 이를 통해 2013년 7월 김포국제공항(이하 김포공항)에 Honeywell사 SLS-4000 설치 완료 하였다. 설치된 장비에 대해서는 2013년 7~8월경에 지상시험 평가를 수행하였고, 2014년 3월부터는 비행시험 평가를 진행 중에 있다.

GBAS 지상장비는 공항에 설치된 이후 운용승인을 통한 상용 서비스 제공에 앞서 반드시 지상 및 비행 시험평가를 통해 GBAS 지상장비의 제공 기능 및 성능이 평가 요구조건을 만족하는

지를 평가하여야 한다. 그러나 우리나라의 경우 지금까지 국내공항에 GBAS 지상장비를 설치한 경험이 전혀 없었기 때문에 시험평가 시 수행해야 할 시험평가 항목 및 방법에 대한 규정이 수립되어 있지 않다.

이에 본 논문에서는 우선, GBAS 시스템의 구성 및 운용개념, GBAS 지상장비의 공항구축 절차에 대해 간략히 기술하고, ICAO, FAA, EUROCAE(European Organisation for Civil Aviation Equipment) 등에서 발간한 기술문서와 해외 시험평가 사례, 김포공항의 GBAS 지상장비 설치 및 시험평가 경험 등을 바탕으로 국내 공항에 GBAS CAT-I 지상장비 설치시 수행해야 할 지상 및 비행시험 평가항목을 도출하였다[3-6]. 그리고 각 시험평가 항목에 대한 간단한 시험평가 방법을 기술하였다.

## 2. GBAS 시스템 개요

### 2.1 구성 및 운용 개념

앞서 소개한 바와 같이 GBAS는 크게 지상장비와 항공기 탑재장비로 나뉘며, 지상장비는 다시 Fig. 1과 같이 3~4개의 기준국 수신기(Reference Receiver)와 VDB(VHF Data Broadcast) 안테나 그리고 주 처리장치(Main Processor)를 포함한 쉘터(Shelter)로 구성된다. 기준국 수신기는 GPS 위성정보를 수집하는 역할을 수행하며, 수집된 정보는 쉘터 내 주 처리장치로 보내져 GBAS 보정(Correction)정보 및 무결성(Integrity)정보 생성에 사용된다. 주 처리장치는 GBAS 보정정보와 무결성정보 이외에도 각 공항의 활주로 접근차트(Approach Chart) 정보를 바탕으로 최종접근정보(FAS, Final Approach Segment)도 함께 생성하며, 생성된 정보들은 VDB 안테나를 통해 항공기로 전송된다.

항공기 탑재장비인 MMR은 항공기에 장착된 GPS 및 VHF 안테나를 통해 GPS 신호와 GBAS VDB 신호(GBAS 보정정보, 무결성 정보, FAS 정보)를 수신하며, 수신된 정보 중 우선적으로 GPS 신호와 GBAS 보정정보를 이용하여 항공기의 정밀 위치좌표를 계산한다. 이후 계산된 항공기 정밀 위치좌표와 FAS 정보를 이용하여 항공기의 활주로 좌우 편위정보 및 활공각 상하 편위정보, 활주로의 거리정보 등을 계산하고, 계산된 이들 정보는 FMS(Flight Management System)을 통해 CDI(Course Deviation Indicator) 및 MFD(Multi-Function Display) 등의 계기를 통

해 조종사에게 전달 및 시현된다. 따라서 조종사는 GBAS 시스템을 통해 제공된 편위정보 및 활주로의 거리정보를 이용하여 활주로에 안전하게 착륙할 수 있게 된다.

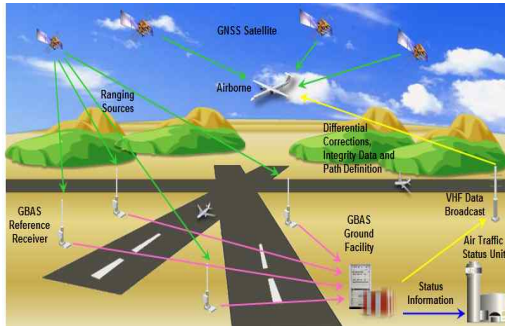


Fig. 1 GBAS Operational Concept

### 2.2 GBAS 지상장비의 공항구축 절차

공항에 접근하는 항공기에 GBAS 서비스를 제공하기 위해서는 우선 공항에 GBAS 지상장비를 설치하고, 설치된 지상장비의 기능 및 성능을 입증하여 정부로부터 운용 승인을 획득하여야 한다. 이를 위해서는 Fig. 2와 같은 일련의 절차를 거쳐야 하는데, 각 과정을 간단히 설명하면 다음과 같다.

우선, '지도 및 문헌 조사'와 '실측 방문 조사'는 공항 내 GBAS 지상장비를 설치할 후보지를 선정하는 과정으로, 여러 문헌 및 공항 내 현장 조사를 통해 GBAS 지상장비를 설치할 최종후보지를 선정한다. GBAS 지상장비를 설치할 공항 내 최종 후보지 선정이 완료되고 나면, '시설공사 준비' 과정을 통해 최종 설치후보지에서의 장비 설치공사를 위한 사전 준비 작업을 수행하고 '장비 설치' 과정을 통해 실제 GBAS 지상장비를 설치하는 작업을 수행하게 된다. 지상장비 설치가 완료 이후에는 '데이터 수집' 과정을 통해 설치된 기준국 수신기로부터 해당공항에서의 최소 3 일간의 GPS 데이터를 수집하고 '수집 데이터 분석' 과정을 통해 GBAS 주 처리장치에서 사용할 각종 파라미터 등을 도출한다. GBAS 지상장비는 장비가 설치된 지역에서의 GPS 신호품질에 따라 그 성능이 달리 나타나므로, 도출된 파라미터는 GBAS 주 처리장치의 입력파라미터로 적용한 후 약 14일간 GBAS 지상장비 운용을 통해 시스템의 안정성(Stability)을 검증 받게 된다. 만약 '안정성 시험'을 통과하지 못할 경우에는 다시 '데이터 수집' 과정과 '수집 데이터 분석' 과정을 통해 새로운 주 처리장치 입력 파라미터를 도출한

후 안정성 시험에 대한 재검증을 수행한다. 안정성 검증이 완료된 이후에는 '지상시험' 과정을 통해 지상에서의 GBAS 장비 기능 및 성능 평가를 수행하고, 이후 '비행시험' 과정을 통해 비행 성능평가를 수행한다. 비행시험이 완료되면 최종적인 현장인수검사(SAT, Site Acceptance Test)를 수행하고 유지보수 지침서, 자격인증서 발급 등의 운영준비 과정을 거쳐 완성 또는 준공검사를 수행하고 최종적으로 운용개시(Commissioning)가 이루어지게 된다.

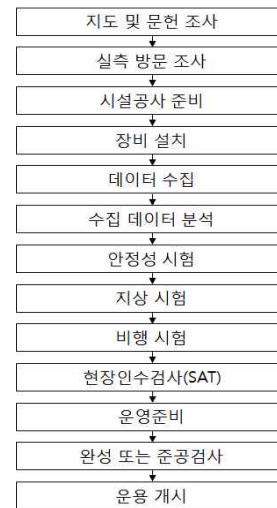


Fig. 2 GBAS Installation Process

### 3. GBAS 지상 및 비행시험 평가항목

국내 공항에 설치되는 항행안전시설의 경우, 국토교통부고시 제2013-736호 '항행안전무선시설의 설치 및 기술기준'에 의거하여 장비가 설치된 이후 지상 및 비행시험 평가를 통해 장비의 기능 및 성능 검증을 수행한 후 운용 개시가 이루어지도록 규정하고 있다[7]. GBAS 지상장비 또한 공항에 설치된 이후 Fig. 2와 같이 지상시험과 비행시험을 수행하도록 되어있으나, 현재 국내의 경우 이들 시험 수행 시 평가해야 할 시험 항목 및 평가 기준에 대한 규정이 수립 또는 고시되어 있지 않다. 이에 본 장에서는 ICAO에서 발간한 ICAO Doc 8071 Vol.2, ICAO Annex 10 Vol.1, 미국 FAA에서 발간한 FAA-Order-8200.1C, 유럽 EUROCAE에서 발간한 ED-114 등의 기술 문서들을 분석하여 국내 GBAS CAT-I 지상장비에 대한 지상시험 및 비행시험에서 수행해야 할 시험평가 항목을 도출 및 정리하였다. GBAS 지상시험은 공항내에서 GBAS 지상장비의 기능적 측면에

초점을 맞추어 장비가 정상적인 기능 및 동작을 수행하는지를 확인하는 시험으로, 일부 시험항목은 활주로 및 유도로를 이동체를 통해 이동하며 수행된다. 이에 반해 비행시험은 공항으로부터 약 23NM 이내 상공에서 일정한 비행방식에 따라 비행을 수행하며 GBAS VDB 신호통달 범위 및 항공기 코스정렬도 등 항공기의 활주로 정밀 진입 착륙을 돕는 시설로서의 실질적인 성능을 평가한다.

### 3.1 지상시험 항목

우선, GBAS 지상 및 비행시험 시 수행해야할 시험평가 항목을 규정하는데 있어 가장 기본이 되는 기술 문서는 ICAO Doc 8071 Vol.2이다. ICAO Doc 8071 Vol.2는 GBAS 지상 및 비행시험 시 수행해야할 최소한의 시험평가 항목에 대한 국제 권고 규정을 기술한 문서로, 이 문서는 항행무선설비 관련 국제 기술 표준을 규정한 ICAO Annex 10 Vol.1 문서를 바탕으로 시험평가 항목 및 평가 요구조건, 간략한 시험 방법 등을 규정하고 있다. 이에 GBAS 지상장비를 설치 및 운용하는 국가들은 각 국가별로 GBAS 지상 및 비행시험 시 수행해야할 시험항목을 규정하는데 있어 기본적으로 ICAO Doc 8071 Vol.2에 기술된 시험평가 항목을 따르고 있으며, 필요시 시험항목을 추가하기도 한다. 국내 ILS 장비의 지상 및 비행시험 평가 항목에 대한 규정 또한 ICAO Doc 8071 Vol.1 및 FAA-Order-8200.1C 등을 따르고 있다.

Table 1은 ICAO Doc 8071 Vol.2, ICAO Annex 10 Vol.1, EUROCAE ED-114에 기술된 GBAS 지상시험 항목 및 평가 기준을 바탕으로 국내 GBAS 지상시험 평가 시 수행해야할 시험항목을 도출한 것이다. 시험 항목은 총 13개로 정리할 수 있었으며, ICAO Doc 8071 Vol.2에 권고 규정된 일부 시험항목의 경우 시험 목적 및 방법이 유사한 경우 1개의 시험항목으로 묶어서 정리하였다. 그리고 ICAO Doc 8071 Vol.2는 2010년 5월 ICAO NSP(Navigation Systems Panel) CAT-II/III 서브그룹에 의해 2007년 5차 개정판 대비 일부 시험항목이 삭제 및 변경되었다.

삭제된 시험 항목은 불요방사(Unwanted Emission) 시험으로, 해당시험은 지상시험이 아닌 FAT(Factory Acceptance Test) 수행 단계에서 실시하는 것으로 변경되어 GBAS 지상시험 항목에서 삭제되었다. 또한 Table 1의 인접채널

(Adjacent Channel) 시험은 VDB 송신기의 출력이 인접한 채널에 미치는 영향을 평가하기 위한 시험으로, 기존에는 인접한 1차, 2차, 4차 그 밖의 고차 인접채널에 대해서도 평가를 수행하였으나, 개정을 통해 1차 인접채널에 대한 평가만을 수행하는 것으로 변경하였다. 따라서 Table 1의 GBAS 지상시험 평가 항목은 최신 국제 권고 규정을 반영하여 도출된 시험항목이며, 김포 공항에 설치된 GBAS 지상장비에 대한 시험평가 또한 Table 1을 기준으로 평가가 수행 완료되었다.

Table 1. GBAS Ground Testing Items and Requirements

시험 항목	평가 기준	관련 장절		
		Annex 10	Doc 8071	ED-114
위치영역 정확도 시험	< 16m 수평, < 4m 수직	-	4.3.12	-
의사거리영역 정확도 시험	GAD curve 이내	App.B 3.6.7.1.1	4.2.9to 4.2.11.2	5.4
연속성 시험	- VDB 송신 끊김 없음 - PL < AL - MT1 block ≥ 4	App.B 3.6.7.1.3	4.2.13 to 4.2.17	5.3.2
대류층 지연 및 잔차 불확실성 시험	송수신 정보 일치	-	4.2.20	-
전리층 잔차 불확실성 시험	송수신 정보 일치	-	4.2.21	-
기준국수신기 안테나 위상 중심 위치 정확도 시험	< 8cm	App.B 3.6.7.2.3.3	4.2.22	5.16.4
VDB 데이터 시험	송수신 정보 일치	App.B 3.6.4	4.2.23	-
신호간섭	GPS 신호세기 < interference mask	App. B 3.7	4.2.24	5.16.6
FAS 데이터 정확도 시험	< 0.4m 수평, < 0.25m 수직	App.B 3.6.7.2.4.1	4.2.25	-
주파수 및 주파수 안정성 시험	±0.0002% 이내	App.B 3.6.2.1	4.2.26	-
활주로 표면 신호통달범위 시험	-99dBW/m <sup>2</sup> ~ -35dBW/m <sup>2</sup> 이내	App.B 3.7.3.5.3.1.1	4.2.31 to 4.2.33	-
인접채널 시험	if VDB 출력 < 150Watt, relative power < -40dBc elseif VDB 출력 ≥ 150Watt, maximum power < 12dBm	App.B 3.7.3.5.4.4	4.2.29 4.2.30	5.6.2.1.7
VDB 송신 전력 모니터링 시험	3dB	App.B 3.6.7.3.1.3	4.2.34 to 4.2.36	-

### 3.2 비행시험 항목

한편, GBAS 비행시험 평가 항목의 경우 ICAO Doc 8071 Vol.2와 미국 FAA-Order-8200.1C 문서를 기준으로 국내 GBAS 비행시험 시 수행할 시험항목을 Table 2와 같이 도출해 보았다.

FAA-Order-8200.1C는 미국 내 항행안전시설에 대한 비행점검(Flight Inspection) 시험 항목 및 평가 기준, 비행점검 방법 등을 기술한 문서로써, 미국 공항에 설치된 항행안전시설들은 모두 FAA-Order-8200.1C에 따라 비행점검을 수행하도록 규정하고 있다. FAA-Order-8200.1C에 기술된 비행점검 항목은 기본적으로 ICAO Doc 8071 Vol.2에 규정된 시험평가 항목을 따르고 있으며, 그 밖에 미국 항공법 및 공항 특성에 맞춰 몇 가지 시험 항목을 추가 하였다. 또한 시험평가 기준도 ICAO Doc 8071 Vol.2 보다 좀 더 구체적으로 기술되어 있다. 따라서 국내 GBAS 지상장비 설치 시 수행해야할 비행시험 항목은 Table 2와 같이 ICAO Doc 8071 Vol.2에서 제시된 5개 시험항목 이외에 FAA-Order-8200.1C 문서에 기록된 FAS 경보한계 시험 및 코스정렬 정확도 시험을 추가하여 시험항목을 도출하였다.

Table 2. GBAS Flight testing Items and Requirements

시험 항목	평가 기준	관련 장절	
		Doc 8071	8200.1C
FAS 데이터 시험	수신된 FAS 데이터와 해당 공항의 착륙 절차와 일치성	4.3.4	17.12f(2)
신호간섭	- 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: $-99\text{dBW}/\text{m}^2 \sim 35\text{dBW}/\text{m}^2$ 수직편파: $-103\text{dBW}/\text{m}^2 \sim 9\text{dBW}/\text{m}^2$	4.3.7~4.3.13	17.12g, 17.12b, 17.12d(1)
GBAS 식별 부호 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 $\pm 0.01$ 도 이내 - 활공각 기준 $\pm 0.05$ 도 이내 - TCH 기준 $\pm 2\text{m}$	-	17.12g

### 4. GBAS 지상 및 비행시험 평가방법

본 장에서는 3장에서 도출한 GBAS 지상 및 비행 시험평가 각 항목에 대한 간략한 시험평가 방법과 GBAS 비행시험 시 항공기의 표준 비행 방식에 대해 기술하였다.

#### 4.1 지상시험 평가방법

##### 4.1.1 위치영역 정확도 시험

위치영역 정확도 시험은 GBAS 보정정보를 이용하여 측정된 위치정보의 정확도를 평가하는 것으로, 단순히 기능적인 측면에서 위치 정확도를 평가할 뿐 정확도의 신뢰도까지 고려한 시험은 아니다. 따라서 시험 방법은 200초 간격으로 최소 3회 이상 연속으로 GBAS 위치정보의 오차를 측정 후, 측정된 GBAS 위치 오차가 위치 정확도 평가 요구조건(수평 16m, 수직 4m)을 만족하는지를 평가한다. 이때, 200초 간격으로 위치오차를 측정하는 것은 GBAS CAT-I 시스템의 스무딩 상수 100초를 고려하여 독립된 시험 샘플을 얻기 위함이다.

##### 4.1.2 의사거리영역 정확도 시험

의사거리영역 정확도 시험은 공항에 설치된 GBAS 지상장비에 적용된 의사거리보정정보(Pseudorange Correction)에 대한 정확도 성능 지표인 GAD(Ground Accuracy Designator)가 적절함을 평가하는 시험이다. 의사거리보정정보 정확도는 CMC(Code-Minus-Carrier) 또는 B-value 값을 이용하여 평가할 수 있는데, CMC를 이용한 방법은 GPS 이중주파수 신호를 필요로 하고 계산 과정도 B-value를 이용한 시험보다 다소 복잡하기 때문에 ICAO Doc 8071 Vol. 2에서는 B-value를 이용한 평가를 권고하고 있다[8].

따라서 B-value를 이용한 시험 평가 방법을 소개하면, 우선 공항에 설치된 GBAS 지상장비로부터 생성된 최소 24시간의 B-value 데이터를 수집하고, 수집된 B-value를 GBAS의 각 기준국 수신 기별 위성 양각(elevation)에 따른 B-value 표준 편차를 계산하여 그 값이 Fig. 3의 GAD 곡선 아래 분포할 경우 평가 조건을 만족한 것으로 판단한다.

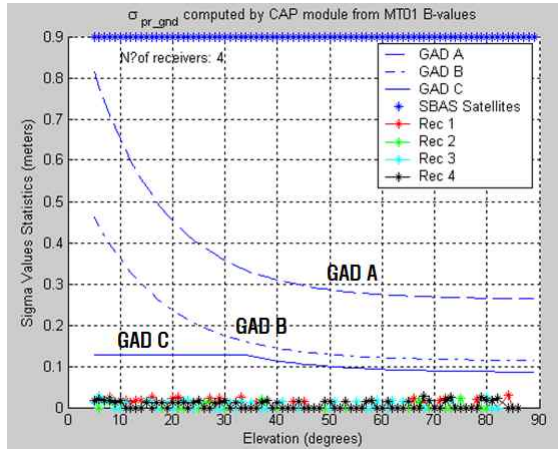


Fig. 3 GAD test result of Gimpo Airport

Fig. 3의 GAD 곡선은 식(1)과 Table 3을 통해 나타낼 수 있으며, GBAS CAT-I급 지상장비는 GAD C 등급이다[9].

$$S_{pr\_gn.d.GPS}(\theta_1) \leq \sqrt{\frac{(a_0 + a_1 e^{-\theta_1/\theta_0})^2}{M} + (a_2)^2} \quad (1)$$

Table 3. Non-aircraft Elements Accuracy Requirement

GAD	$\theta_i(^{\circ})$	$a_0$	$a_1$	$\theta_0$	$a_2$
A	$\geq 5$	0.5	1.65	14.3	0.08
B	$\geq 5$	0.16	1.07	15.5	0.08
C	$> 35$	0.15	0.84	15.5	0.04
	$5 \sim 35$	0.24	0	-	0.04

### 4.1.3 연속성 시험

연속성 시험은 주어진 시험 기간 동안 다음의 평가 조건들이 연속하여 모두 만족하는지를 평가하는 시험으로, ICAO Doc 8071 Vol.2에서는 연속성 시험 기간으로 1263시간(52.6일)으로 권고하고 있다.

- VDB 신호가 중단 또는 끊김이 없어야 함
- 보호수준(PL, Protection Level)이 경보한계(AL, Alert Limit)를 초과하지 않아야 함
- VDB MT1 메시지에 최소 4개 이상의 위성에 대한 의사거리보정정보가 포함되어 있어야 함.

### 4.1.4 대류층 지연 및 잔차 불확실성 시험

GBAS는 GBAS 장비가 설치된 공항의 최근 1년치 기상데이터(온도, 압력, 상대습도)를 이용하여 다음 3개의 대류층 관련 파라미터를 계산하고

이를 VDB MT2 메시지를 통해 항공기로 전송한다.

- 대류층 굴절지수
- 대류층 Scale Height
- 대류층 굴절률 불확실성

이 시험은 GBAS 장비에서 송신한 대류층 파라미터 값이 데이터 오류 없이 전송되는지를 확인하기 위한 시험으로, 시험방법은 GBAS 지상장비에서 전송한 대류층 파라미터와 공항 내 활주로 및 유도도 등을 이동하며 MMR 또는 VDB 수신기를 통해 수신된 값이 일치하는지를 확인함으로써 평가할 수 있다.

### 4.1.5 전리층 잔차 불확실성 시험

전리층 잔차 불확실성 시험 시험은 VDB MT2 메시지를 통해 전송되는  $\sigma_{vert-iono-gradient}$  값이 데이터 오류 없이 MMR 또는 VDB 수신기를 통해 수신되는지를 확인하기 위한 시험으로, 시험방법은 대류층 지연 및 잔차 불확실성 시험과 동일하다.

### 4.1.6 기준국 수신기 안테나 위상중심 위치 정확도 시험

GBAS 지상장비는 장비에 입력된 기준국 수신기 안테나 위상중심 좌표 값을 이용하여 의사거리보정정보를 생성한다. 기준국 수신기 안테나 위상중심 좌표가 오차를 클 경우, 생성되는 보정정보의 정확도가 떨어지게 되고 이는 결국 GBAS 위치정보의 정확도가 낮아지는 결과를 가져온다. 따라서 본 시험은 GBAS 지상장비에 입력된 기준국 수신기 안테나 위상중심 좌표 값의 정확도를 확인하기 위한 시험으로, 시험은 설치가 완료된 기준국 수신기에 GPS 신호분배기(Splitter) 및 GPS 2중주파수 수신기를 설치하여 실제 기준국 수신기 안테나를 통해 수신된 GPS 데이터를 수집한 후 후처리를 통해 수 mm의 위치 정확도를 갖는 기준국 수신기 안테나 위상중심 좌표 얻고, 이를 GBAS 지상장비에 입력된 좌표값을 비교하여 그 값이 8cm 이내 인지를 확인함으로써 평가한다.

### 4.1.7 VDB 데이터 시험

VDB 데이터 시험은 Table 4와 같이 GBAS 지상장비에서 송신하는 VDB MT1, MT2, MT4 메시지에 포함된 데이터 값이 오류없이 정상적으로



전송되는지를 평가하기 위한 시험이다.

시험은 공항내 활주로 및 유도로 등을 이동하며 MMR 또는 VDB 수신기를 통해 수신된 Table 4의 VDB 데이터가 지상장비에서 송신한 값과 일치하는지를 확인함으로써 평가된다.

Table 4. VDB Data

VDB	데이터 내용
MT1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SSID(Station Slot ID)</li> <li>• MBI(Message Block ID)</li> <li>• GBAS ID</li> </ul>
MT2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SSID(Station Slot ID)</li> <li>• MBI(Message Block ID)</li> <li>• GBAS ID</li> <li>• GBAS Reference Receivers</li> <li>• GBAS Accuracy Designator Letter</li> <li>• GBAS Continuity/Integrity Designator</li> <li>• Local Magnetic Variation</li> <li>• Latitude/Longitude/Ellipsoid Height</li> <li>• Reference Station Data Selector</li> <li>• Maximum use distance(Dmax)</li> <li>• Kmd_e_POS,GPS</li> <li>• Kmd_e_CAT1,GPS</li> <li>• Kmd_e_POS,GLONASS</li> <li>• Kmd_e_CAT1,GLONASS</li> </ul>
MT4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SSID(Station Slot ID)</li> <li>• MBI(Message Block ID)</li> <li>• GBAS ID</li> <li>• Data Set Length</li> <li>• FASLAL</li> <li>• FASVAL</li> </ul>

#### 4.1.8 신호간섭 시험

GBAS 지상시험에서 수행하는 신호간섭 시험은 기준국 수신기 주변 또는 공항 내에서 GPS L1 주파수에 대한 신호간섭(Interference) 유무를 확인하기 위한 시험으로, 평가는 공항내에서 측정된 GPS 신호의 세기가 Table 5의 신호간섭 한계치(Threshold)를 초과하지 않을 경우 외부 신호간섭이 없는 것으로 판단하게 된다. 이 시험은 공항내 차량이동 시험을 통해 수행 및 평가되어야 한다.

#### 4.1.9 FAS 데이터 정확도 시험

GBAS 지상장비는 VDB MT4 메시지를 통해 항공기의 최종접근 및 활주로 착륙을 위한 FAS 정보를 전송하고 있는데, 이 FAS 정보에는 각 활주로의 활주로 시(좌)단(LTP/FTP, Landing Threshold Point/Fictitious Threshold Point) 좌표와 활주로 비행경로 정렬지점(FPAP, Flight Path Alignment Point) 좌표가 포함되어 있다.

LTP/FTP 및 FPAP 좌표 정보는 항공기의 활주로 좌우 편위 및 활공각 상하 편위 계산에 사용되는 값으로 좌표값의 정확도는 항공기의 활주로 편위정보 정확도에 곧 바로 영향을 미치게 된다.

따라서 FAS 데이터 정확도 시험은 FAS 데이터에 포함된 LTP/FTP 및 FPAP 좌표 정보의 정확도를 평가하는 시험으로, 평가는 정밀 좌표측량 기기를 이용하여 해당 좌표점에서의 위치를 측량하고, 그 정확도가 수평 0.4m 미만, 수직 0.25m 미만인지를 확인함으로써 평가된다.

Table 5. GPS Interference Thresholds

Frequency range $f_i$ of the interference signal	Interference thresholds for receivers used for precision approach phase of flight
$f_i \leq 1\ 315$ MHz	25.5 dBm
$1\ 315$ MHz $< f_i \leq 1\ 525$ MHz	Linearly decreasing from 25.5 dBm to -12 dBm
$1\ 525$ MHz $< f_i \leq 1\ 565.42$ MHz	Linearly decreasing from -12 dBm to -120.5 dBm
$1\ 565.42$ MHz $< f_i \leq 1\ 585.42$ MHz	-120.5 dBm
$1\ 585.42$ MHz $< f_i \leq 1\ 610$ MHz	Linearly increasing from -120.5 dBm to -30 dBm
$1\ 610$ MHz $< f_i \leq 1\ 618$ MHz	Linearly increasing from -30 dBm to -12 dBm
$1\ 618$ MHz $< f_i \leq 2\ 000$ MHz	Linearly increasing from -12 dBm to 21.5 dBm
$f_i > 2\ 000$ MHz	21.5 dBm

#### 4.1.10 주파수 및 주파수 안정성 시험

본 시험은 GBAS 지상장비의 VDB 송신기에서 출력되는 전파의 주파수를 측정하여, 측정된 주파수가 GBAS 지상장비에 할당된 주파수를 기준으로  $\pm 0.0002\%$ ( $\pm 2$ PPM) 오차 범위 내에서 안정적으로 출력되는지를 평가하기 위한 시험이다. 평가는 VDB 송신기 출력단에 주파수 카운터 또는 스펙트럼 분석기 등을 연결하여 출력 주파수를 모니터링 함으로써 간단히 평가할 수 있다.

#### 4.1.11 활주로 표면 신호통달범위 시험

VDB 안테나는 공항 안에 설치되므로 공항내 활주로 및 유도로를 이동하는 항공기는 비행하는 항공기에 비해 상대적으로 강한 세기의 VDB 전파를 받게 되는데, 만약 그 값이 평가 기준을 초과하게 될 경우 항공기에 장착된 MMR은 VDB 신호 포화(Saturation)로 인해 비정상 동작할 수 있다. 따라서 본 시험은 활주로 및 유도로에서 VDB 신호의 전계강도를 측정하여 그 값이 Table 1의 평가 기준을 만족하는지를 평가하는 시험이다. 시험은 이동이 가능한 차량에 활주로 및 유도로 표면으로부터 약 12ft 높이에 VDB 안테나를 설치하고, 활주로 및 유도로를 이동하며

VDB 전계강도를 측정하여 평가한다.

#### 4.1.12 인접채널 시험

GBAS 지상장비의 VDB 송신기에서 출력되는 전파는 공항내 인접한 채널에 영향을 미쳐서는 안 된다. 본 시험은 VDB 송신기 출력이 VDB 송신기의 중심주파수를 기준으로 25kHz 떨어진 1차 인접채널에 영향을 미치는지 유무를 평가하기 위한 시험이다.

평가 방법은 우선 VDB 출력을 측정하고 그 값이 150Watt를 초과하지 않을 경우, 인접한 1차 채널의 상대출력(Relative Power)를 측정하여 그 값이 -40dBc를 초과하지 않을 경우 평가 기준을 만족하는 것으로 판단한다. 만약 VDB 출력이 150Watt를 초과할 경우에는 1차 인접채널의 최대출력을 측정하여 그 값이 12dBm을 넘지 않을 경우 평가 기준을 만족한 것으로 판단한다.

#### 4.1.13 VDB 송신 전력 모니터링 시험

VDB 송신기 전력 모니터링 시험은 VDB 송신기의 출력 안정성을 평가하기 위한 시험으로, 평가는 장시간 VDB 송신기의 출력을 측정하고 그 값이 3dB이상 크게 증가 또는 감소하는 현상이 1초를 초과하지 않을 경우 출력이 안정한 것으로 판단한다.

### 4.2 GBAS 표준 비행방식

비행시험을 통해 GBAS 지상장비의 공간신호를 분석 및 평가하기 위해서는 다음의 3가지 표준 비행방식을 실시하고, 각 비행에 대해 Table 2의 비행시험 평가항목들을 평가하게 된다. 먼저 각 비행방식을 간략히 소개하면 다음과 같다.

#### 4.2.1 Arc 비행방식

Arc 비행은 Fig. 4와 같이 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 장애물회피고도(LCA: Lowest Clearance Altitude)로 하며, 비행범위는 공역의 제한 또는 금지구역이 없는 경우에는 활주로 중심선을 기준으로 좌우 35도로하여 비행하는 방식이다.

#### 4.2.2 Level Run 비행방식

Level Run 비행은 크게 저고도 Level Run 비

행과 고고도 Level 비행으로 나뉜다. 저고도 Level Run 비행은 비행위치는 활주로 시단으로부터 21NM에서 시작하고 그 기준 축선은 활주로 중심선 또는 절차상에 명시된 활주로의 중심 방위각선상을 기준하며, 비행고도는 항공기 접지지역(Touchdown)을 기준으로 약 2,000ft 고도 또는 최저 장애물 회피고도로하여 그 고도와 속도를 일정하게 유지하면서 활주로 시단으로부터 2.5NM까지 수평 비행하는 방식이다.

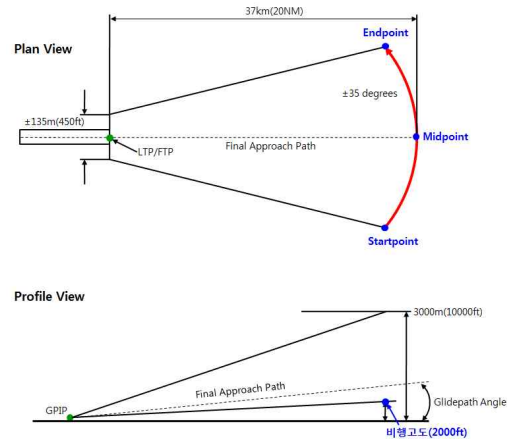


Fig. 4 Arc

반면 고고도 Level Run 비행은 비행위치는 활주로 시단으로부터 20NM에서 시작하고 그 기준 축선은 활주로 중심선 또는 절차상에 명시된 활주로의 중심 방위각선상을 기준으로 하며, 비행고도는 항공기 접지지역을 기준으로 약 10,000ft 고도 또는 최저 장애물 회피고도를 계산한 고도로 하여 그 고도와 속도를 일정하게 유지하면서 활주로 시단으로부터 13NM까지 수평 비행하는 방식이다.

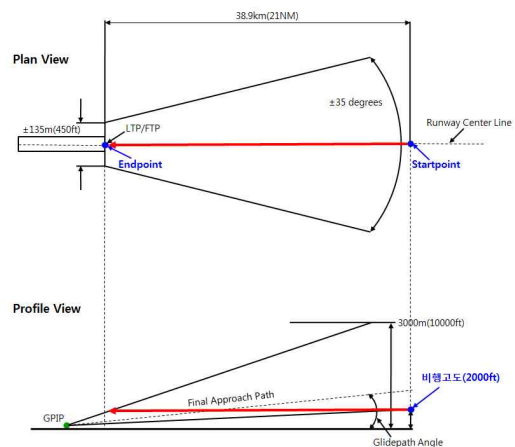


Fig. 5 Low Altitude Level Run



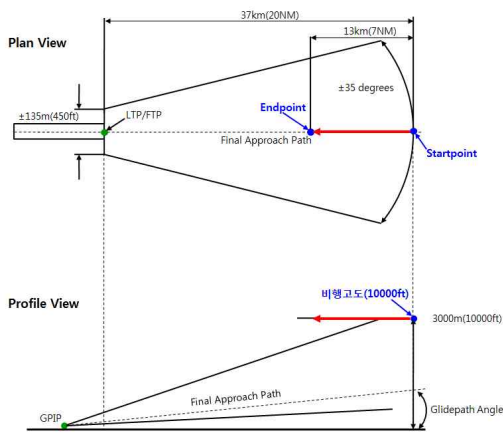


Fig. 6 High Altitude Level Run

### 4.2.3 최종접근(Final Approach) 비행

최종접근 비행은 활주로 시단으로부터 요구되는 지점(최소 10NM)에서 GBAS 최종접근구간 정보에 따른 최종접근코스(On Course/On Path) 선상을 따라 고도 100ft 지점까지 비행하는 방식이다.

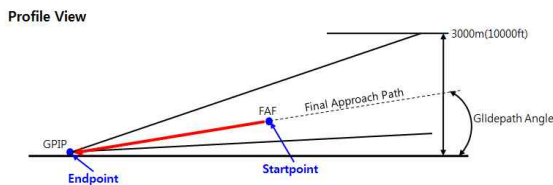


Fig. 7 Final Approach

단, Table 2의 요구되는 GBAS VDB 신호통달 범위가 활주로 표면으로부터 12ft 지점까지 확장 될 경우에는 항공기 접지지역까지 비행한다.

## 4.3 비행시험 평가방법

### 4.3.1 FAS 데이터 시험

VDB MT4에 포함된 FAS 데이터는 해당 공항의 각 활주로 별 접근차트 정보를 바탕으로 생성되는데, 본 시험은 비행시험을 통해 수신된 FAS 데이터가 해당공항의 접근차트 정보와 일치하는지를 확인하는 시험이다. 평가는 비행 전 해당공항의 접근차트를 통해 다음 정보들을 미리 확인하고, Arc 비행, Level Run 비행, 최종접근 비행 수행 시 수신된 FAS 정보 내의 해당 값들과의 일치 여부를 확인하는 것으로 평가된다.

- 공항 식별자(Airport ID),

- 활주로 번호(Runway Number)
- 활주로 방향문자(Runway Letter)
- 활주로서단의 위도/경도/고도
- 활주로서단 통과높이(TCH)
- 활공각

### 4.3.2 신호간섭 시험

GBAS 비행시험 시 수행되는 신호간섭 시험은 지상 신호간섭 시험과 달리 GPS 신호에 대한 신호간섭 이외에 VDB 신호에 대한 간섭도 함께 평가한다. 본 시험은 항공기가 Arc 비행, Level Run 비행, 최종접근 비행을 수행하는 동안 VDB 주파수를 측정하여 그 값이 ±100kHz 이내이고 수신된 GBAS 보정정보의 신호 손실 및 오류가 없는지를 평가한다. 또한 GPS 신호세기를 측정하여 그 값이 -130dBm ~ -123dBm 이내이고, 수신된 GPS 정보들이 다음을 만족하는지를 평가하는 시험이다.

Table 6. 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

### 4.3.3 VDB 신호통달범위 시험

VDB 신호통달범위 시험은 Arc 비행, Level Run 비행, 최종접근 비행 수행 시 측정된 VDB 신호의 전계강도가 Table 2의 평가 기준을 만족하는지를 평가하는 시험으로, GBAS 지상장비의 VDB안테나가 수평편파일 경우 VDB 전계강도는 -99dBW/m<sup>2</sup> ~ -35dBW/m<sup>2</sup> 또는 215μV/m ~ 0.350V/m 이내여야하고, 수직편파일 경우에는 -103dBW/m<sup>2</sup> ~ -39dBW/m<sup>2</sup> 또는 136μV/m ~ 0.221μV/m 이내여야 한다.

### 4.3.4 GBAS 식별부호 시험

GBAS 식별부호(GBAS Identification)은 4개의 문자로 구성되며, 공항에 설치된 GBAS 지상장비를 구분 및 식별하기 위해 GBAS 지상장비 별로

달리 부여된다. 본 시험은 GBAS 신호통달범위 내에서 VDB 메시지의 헤더에 포함된 GBAS 식별부호가 정확하게 식별되는지를 확인하기 위한 시험으로, 평가는 항공기가 Arc 비행, Level Run 비행, 최종접근 비행을 수행하는 동안 MMR을 통해 수신된 VDB 데이터의 GBAS ID를 확인하고 그 값이 오류 없이 정상적으로 수신되었는지를 확인함으로써 평가된다.

### 4.3.5 VDB 데이터 시험

본 시험은 항공기가 Arc 비행, Level Run 비행, 최종접근 비행을 수행하는 동안 수신된 Table 7의 VDB MT2, MT4 정보가 데이터 오류 없이 정상적으로 수신되었는지를 확인하기 위한 시험으로, 평가는 비행시험을 통해 송수신된 Table 7의 값이 서로 일치할 경우 평가 기준을 만족한 것으로 판단한다. Table 7의 각 값은 시간에 따라 변하지 않는 고정된 값이다.

Table 7. VDB MT2 & MT4 Data

VDB 데이터	평가 항목
MT2	GAD Letter
	GCID
	RSDS
	Dmax
	Magnetic Variation
MT4	Operation Type
	Airport ID
	Runway Number
	Runway Letter
	APD
	Route Indicator
	RPDS
	RPI
	FASVAL
	FASLAL

### 4.3.6 FAS 경보한계 시험

본 시험은 항공기가 최종접근 비행을 수행하는 동안 평가되는 시험으로, 최종접근 구간에서의 GBAS 시스템의 가용성을 평가하는 시험이다. 평가는 항공기가 Fig. 7의 최종접근 구간을 비행하는 동안 MMR을 통해 출력되는 수평보호수준(LPL, Lateral Protection Level)과 수직보호수준(VPL, Vertical Protection Level)이 각각 VDB MT4에 포함된 최종접근구간 수평경보한계(FASLAL, FAS Lateral Alert Limit)와 최종접근구간 수직경보한계(FASVAL, FAS Vertical Alert

Limit) 보다 작을 경우 평가 요구조건을 만족한 것으로 판단한다.

### 4.3.7 코스정렬 정확도 시험

코스정렬 정확도 시험은 GBAS 시스템이 항공기에 제공하는 활주로 착륙 유도정보의 정확도를 평가하기 위한 시험으로, 본 시험은 항공기가 최종접근 비행을 수행하는 동안 MMR을 통해 출력되는 다음 정보의 정확도를 평가하기 위한 시험이다.

- 활주로 좌우 편위 정보
- 활공각 상하 편위 정보
- 시단통과높이 정보

본 시험의 정확한 평가를 위해서는 자동착륙 접근방식(Autopilot)을 통해 최종접근 비행을 수행하여야 하며, 평가는 최종접근 비행 중 MMR을 통해 출력된 활주로 좌우 편위정보가 활주로 중심선을 기준으로  $\pm 0.01$ 도 이내에 있고, 활공각 상하 편위 정보가 활공각을 기준으로  $\pm 0.05$ 도 이내에 있으며, 항공기가 활주로 시단을 통과할 때의 고도가 접근차트상의 TCH 값을 기준으로  $\pm 2m$  이내에 있을 경우 평가 요구조건을 만족한 것으로 판단한다.

## 5. 결 론

GBAS 지상장비를 공항에 설치하고 운용승인을 획득하기 위해서는 반드시 지상 및 비행시험을 통해 기능 및 성능 검증을 받아야한다. 그러나 국내의 경우 2013년 김포공항에 Honeywell사 SLS-4000을 설치하기 이전까지 GBAS 지상장비를 구축 및 설치한 경험이 없기 때문에 GBAS 지상 및 비행시험 수행 시 평가해야 할 시험항목에 대한 규정이 마련되어 있지 않다.

이에 본 논문에서는 ICAO, FAA, EUROCAE 등에서 발간한 기술문서와 해외 시험평가 자료, 김포공항의 GBAS 지상장비 설치 및 시험평가 경험 등을 바탕으로, 국내 GBAS CAT-I 지상장비 설치시 수행해야할 지상 및 비행시험 평가항목을 도출하고, 각 시험평가 항목에 대한 시험평가 방법을 기술하였다. 또한 GBAS 비행시험 평가를 위해 항공기에 요구되는 3가지 표준 비행방식에 대해서도 함께 기술하였다. 본 논문에서 제시하는 시험평가 항목 및 평가 기준은 향후 국내 GBAS 지상장비 구축을 위한 국가 기준 및 고시 규정 수립에 있어 그 활용성이 높을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부에서 지원하는 '위성항법 지역보강시스템 운용기술 개발'과제의 일환으로 수행된 연구결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 전향식, 김동민, 염찬홍, "GBAS 인증체계기술 개발을 위한 환경구축 연구", 한국항공우주학회 춘계학술발표회 논문집(II), 2010, pp. 1554~1557.
- 2) 정명숙, 최철희, 고완진, 고유리, 배중원, 전향식, 김동민, "GBAS 지상시스템 설치후보지 선정을 위한 김포국제공항의 GPS 신호환경 분석", 한국항공우주학회지, 제41권 제1호, 2013.01, pp.70~78.
- 3) ICAO Doc. 8071 Vol. 2, "Manual on Testing of Radio Navigation Aids", Fifth Edition, 2007.
- 4) 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.
- 5) FAA-Order-8200.1C, "Flight Inspection Manual", 2011.
- 6) 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.
- 7) 국토교통부고시 제2013-736호, "항행안전무선시설의 설치 및 기술기준", 2013.05.
- 8) 정명숙, 최철희, 고완진, 고유리, 배중원, 전향식, 김동민, "김포공항의 GPS 위성신호 수신환경 분석", 한국항공우주학회 춘계학술대회, 2012.
- 9) RTCA Do-245A, "Minimum Aviation System Performance Standards for Local Area Augmentation System", December 2004.