

GBAS 성능평가기술 연구

A Study of the GBAS Performance Test Requirement

오경륜*, 김중철(한국항공우주연구원), 남기욱(한국항공우주연구원)

1. 서 론

1980년대 초, 민간항공부분에서는 날로 증가하는 항공교통량의 증대로 인해 기존의 CNS/ATM(통신, 항법, 감시, 관제)으로는 가까운 미래의 항공교통량을 감당하지 못할 것이라는 우려가 제기되었다. 국제민간항공기구(ICAO)는 이러한 문제점을 극복하기 위해 FANS(Future Air Navigation System : 미래항행시스템)위원회를 설치하여 21세기를 대비한 새로운 개념의 CNS/ATM을 연구하기 시작하였다.

한국항공우주연구원에서도 1994년 이후 한국지형에 맞는 위성항행시스템에 대한 연구를 진행해 오고 있으며, 지난 2000년에는 비행시험을 실시한 바 있다.

그동안 국내의 DGNSS 실험은 주로 위치 정확도 성능평가에 집중되어 실시된 경향이 있으나, 실시간 DGNSS 서비스를 위해서는 여러 성능평가항목이 존재한다. 본 논문에서는 GBAS의 지상성능평가 및 VHF 데이터 링크 성능평가에 대한 연구결과를 요약하여 제시하였다.

2. 근거리 오차보정 시스템

차세대 CNS/ATM의 핵심기반인 GNSS는 여러 오차요인으로 인해 그 자체만으로는 항공기의 항법에서 요구되는 정확성(accuracy), 무결성(integrity), 연속성(continuity), 이용성(availability)을 만족할 수

없기 때문에 오차를 보정하기 위한 위성항행보정시스템이 요구된다. 위성항행보정시스템으로는 보정 정보 방송에 정지궤도위성을 이용하는 SBAS(Satellite-Based Augmentation System - WAAS, EGNOS, MSAS), 공항 등에서 VHF 데이터 링크를 이용하는 GBAS(Ground-Based Augmentation System - GBAS, GRAS) 등이 있다.

한국항공우주연구원은 지난 1999년에 RTCA(Radio Technical Commission for Aeronautics) Special CAT-I급의 KARI-GBAS의 지상 기준국시스템 및 항공기 탑재시스템을 개발하여 지상시험 및 비행시험을 수행한 바 있다.

2.1. KARI-GBAS 구성 및 비행시험 결과

• 지상시스템의 구성

지상시스템은 GPS 수신기와 데이터 처리 장치를 이중화하여 주(primary) 장치에 이상이 생길 경우 부(secondary) 장치가 그 역할을 수행할 수 있도록 구성하였다. 특히, DGNSS 데이터 처리 기능(오차보정값 계산 및 SARPs Type-1 Message 생성)을 수행하는 PC Server 2대 간에 상호감시(cross checking)를 위해 TCP/IP 물리적 계층을 이용한 LAN(Ethernet) 인터페이스를 구성하고, 상호 동작 감시를 위한 프로그램이 수행된다. 사후처리(post-processing)를 통해 위치 정확성

을 평가하기 위하여 Ashtech Z-12(L1/L2 24 채널 ; RTK 위치정확도 : 수평 3 cm, 수직 5cm) 수신기를 GPS 기준 안테나에서 L1 신호 분배기를 사용하여 설치하였다.

• 탑재시스템의 구성

탑재시스템은 GPS 수신기, VHF 데이터 링크 수신기, 컴퓨터, 디스플레이 장치, 전원 등으로 구성된다. L1 신호 분배기를 통하여 GPS 위성 신호를 평가용 장비인 Ashtech Z-12 수신기와 탑재시스템으로 분배하였다. 탑재시스템은 지상시스템으로부터 SARP's Type-1 Message를 수신한 뒤 수신 메시지에 포함된 Modified Z-Count, 위성별 Pseudorange Correction(PRC), Issue of Data(IOD), Range Rate Correction(RRC) 정보 등을 이용하여 자신의 위치를 계산하게 된다.

KARI-GBAS에 대한 비행시험은 울산공항에서 4차례에 걸쳐 실시되었으며, 4차 비행시험에서의 위치오차는 수평오차가 1.805m(2dRMS), 수직오차는 3.307m(2dRMS)이었다.

3. 항공통신링크 기술개발 동향

현행 항공통신링크의 문제로는 전파의 특성상 가시거리권(LOS; Line Of Sight) 내에서만 통신이 가능하고, 잡음 및 혼신 등이 항공기 안전운항에 저해요소로 작용하고 있다는 점이다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 음성위주의 현행 통신시스템은 데이터 기반의 통신시스템으로 전환되고, 지역적 특성에 따른 데이터 링크를 활용하게 된다.

음성 및 데이터 송수신이 동시에 가능한 VDL M3(VHF Data Link Mode 3)에 대한 연구가 미국 FAA를 중심으로 멕시코 만에서 NEXCOM이라는 프로그램으로 진행 중

에 있으며, 유럽에서는 CNS/ATM의 핵심 통신링크로서, VDL M4를 선택하여 이에 대한 연구가 진행 중에 있다.

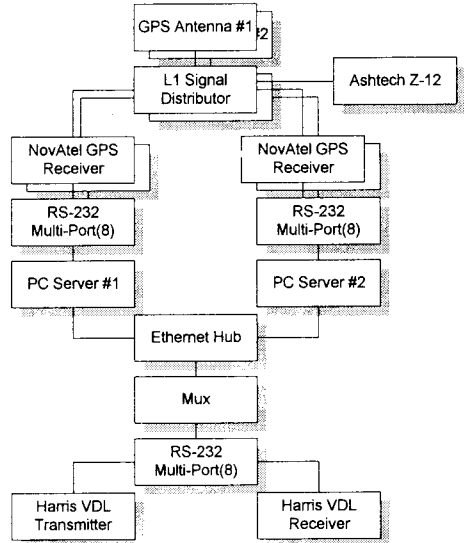


그림 1. 지상시스템 구성도

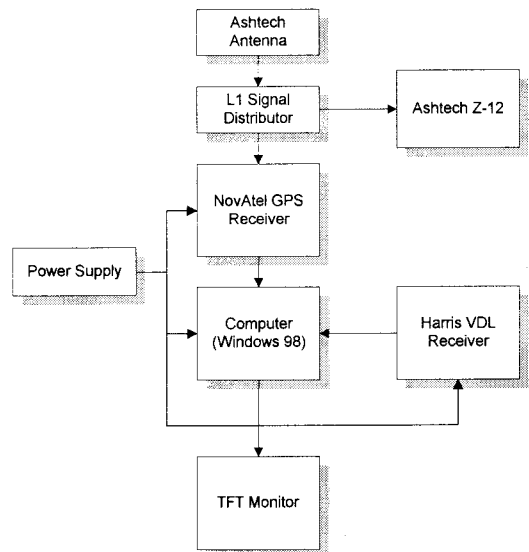


그림 2. 탑재시스템 구성도

표1에서는 ICAO에서 명명된 각 VDL 모드별 특성과 향후 확장성 및 유연성에 대해 비교하였는데, 특히 주목할 점은 VDL M4의 경우

지상의 어떠한 시설에 의존하지 않고도 운영이 가능하다는 점이다.

그림3에서는 각 VDL Mode별 데이터 구조를 비교하였는데, 보다 많은 타임슬롯(Time Slot)의 확보가 보다 유연하고 강건한 데이터 링크의 조건임을 알 수 있다.

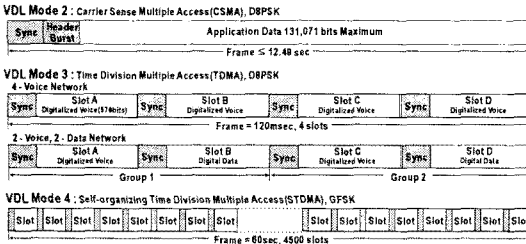


그림 3. VDL Mode별 데이터 구조 비교

ICAO에서 개발 중인 GBAS SARPs에서 정의된 DGNSS 데이터 링크는 표1의 VDL M3로 D8PSK변조의 데이터 링크를 사용하는 것으로 정의되어 있다.

표 1. ICAO의 VDL 시스템 비교

특성/요구능력	VHF Data Links 시스템		
	VDL Mode 2 (CSMA)	VDL Mode 3 (TDMA)	VDL Mode 4 (STDMA)
전송률/변조	31.5kbps/D8PSK	31.5kbps/D8PSK	19.2kbps/GFSK
지역 간 운용	지상시설 의존	지상master국 의존	어디서나 사용가능
무결성	모든 VDL Mode는 적절한 이행으로 무결성 확보 가능		
링크 강건성	교통량이 많은 경우 불가	변조체계의 한계로 강건 안함	강건
수용성 2020년	사용가능한 스펙트럼 문제로 불가	D8PSK 변조의 문제로 불가	강건, 7개의 채널확보 문제
유연성	ADS-B와 ATM에 부적합	제한된 유연성	유연

4. GBAS 성능평가기술 연구

국내에서 수행한 GBAS 실험의 평가는 대부분 위치정확도 부분에 대한 평가가 주를 이루

어 왔으나, 실시간 항법용으로 서비스하기 위해서는 다양한 GBAS 성능평가 항목이 있다. 본 논문에서는 지상시험 및 데이터 링크에 대한 평가항목에 대해 요약하고, 항공기 정밀접근 및 이.착륙에 가장 중요한 요소인 FAS(Final Approach Segment) 데이터 블록에 대해 정리하였다.

4.1. 성능평가의 목적

기본적인 항법시스템의 성능 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{Navigation System Error(NSE)} + \text{Flight Technical Error(FTE)} = \text{Total System Error(TSE)}$$

항법시스템오차는 항법정보를 제공하는 센서로부터 기인하는 것으로, 예로써 GPS NSE는 수신기 잡음오차, 클럭오차, 이온층 지연오차 등이 있다. FTE는 조종사에 의한 항공기 위치 항로편차, 측풍에 의한 항공기 위치 항로편차, 항공기 자동항법제어시스템 지연에 의한 항공기 위치 항로편차 등이 포함된다.(Curt Keedy, 1999)

GBAS 성능평가의 목적은 항법시스템의 오차를 정확히 파악함으로써 실제 항공기 운항 중에 발생한 총 오차에서 항공기 조종 등으로 발생할 수 있는 FTE를 규정할 수 있게 하기 위함이다. 또한 GBAS에 근거한 정밀접근 절차 개발은 GBAS 정보를 제공하는 기준의 신뢰성을 확보한 후 가능하므로, GBAS 접근절차 개발의 기초를 설정하는 목적이 있다. 향후 GBAS 비행점검은 GBAS 성능평가가 정확히 이루어진 이후 이루어져야 한다.

4.2. 지상시험 평가항목

GBAS 지상시험의 목적은 GBAS 표준에서 요구하는 시스템 성능을 검증하기 위한 것으로 위치정확도, GNSS 신호 무결성 모니터링, GBAS 방송데이터 등을 평가하게 된다. 지상시험에서는 VHF 데이터 링크에 대한 평가가 포함된다.

• GAD 평가

의사거리 정확도 성능은 GAD(Ground Accuracy Designator)와 설치된 기준국 수신기 수에 의해 분류된다. GPS 위성 양각에 따른 의사거리 보정값과 다중경로 영향, 기준국 수신기의 열오차 등이 의사거리 보정값에 주는 영향 등을 분석하여야 한다.

• 의사거리 보정 정확도

의사거리 보정 정확도는 CMC(Code Minus Carrier) 분석 또는 B값 분석을 통해 평가할 수 있다.

- CMC분석 : 의사거리 오차를 직접 관측하여 분석한다. 이중 주파수 수신기와 안테나가 필요하다.

- B값 분석 : B 방송 파라미터로부터 오차 평가를 통해 분석할 수 있다. B 방송 파라미터는 의사거리 보정 방송값에 특정 기준국 수신기로부터 발생하는 의사거리 오차를 나타낸다.

두 가지 방법 중 B값 분석에 의한 방법이 권장되는데, GAD 설치된 GNSS 수신기와 안테나로부터 얻어진 데이터를 수집하여 평가되어야 하기 때문이다.(ICAO, 2004)

• 위치정확도

GBAS 위치정확도는 정밀히 측위된 지점에서 최소 200초 이상의 3개의 독립적인 데이터 수집을 통해 수행되어야 한다. 다중경

로 오차요인을 충분히 제거하여야 하며, 만일 요구되는 위치정확도를 얻지 못한 경우에는 정밀히 측위된 다른 지점에서 반복 수행하여 위치정확도 요구조건을 만족하지 못한 경우가 운영 중인 GBAS 시스템의 결함인지 측정 지점의 수신환경에 의한 것인지를 분명히 밝혀야 한다.

• 연속성

연속성의 성능은 특정 지역에 GBAS를 설치하고 운영하는 환경 하에서 평가되어야 한다. 연속성은 VHF로 방송되는 신호의 전계강도가 최소값 이하 또는 중단의 상황과 관련이 있다. GBAS 설치 후 실시되는 연속성 평가에서는 60% 신뢰구간에서 요구조건을 만족하여야 한다.

GBAS에서 요구되는 연속성은 MTBO(Mean Time Between Outages) 1263시간이다. 실제 측정은 5-8회 VHF 방송 중단의 평균 MTBO를 계산하여 연속성을 평가한다. 연속성에 대한 자세한 사항은 ICAO EUR DOC 012(1판, 2002.12)를 참고하면 된다.(ICAO, 2004)

• 무결성

특정지역이 GBAS를 설계할 때 수치적 모델에 의한 평가 또는 실험적인 데이터 수집 등을 통해 무결성 기준을 설정하여야 한다. 무결성 기준을 선정함에 있어 다음의 사항이 반드시 고려되어 반영되어야 한다.

- 지상 수신기 잡음과 다중경로 환경
- 지상반사에 의한 다중경로오차 및 건물에 의한 반사영향
- 안테나 위상중심 정확도 등 시스템 오차
- 계절의 변화 등에 의한 장기 변화 오차

표 2. 최소 GBAS 지상시험 요구사항 요약

구분	파라미터	허용치	불확실성
Accuracy	의사거리 Domain	<0.05m	N/A
	위치 Domain	<4m 수직 <16m 수평	0.5m
Continuity		본문 참조	본문 참조
Broadcast SIS integrity	지상의소리 불확실성	N/A	본문 참조
	대류권지연 파라미터	제공 데이터 일치	N/A
	이온층 불확실성 예측	제공 데이터 일치	N/A
Reference Antenna Phase Center Position accuracy		<8cm	1cm
Data content		Exact match	N/A
Ranging Signal Interference		추후 정리	3dB
FAS data points accuracy		0.25m	0.05m
Monitoring	GNSS ranging sources	TBD	TBD

4.3. 데이터 링크 평가항목

데이터 링크 평가항목 중 활주로 커버리지는 활주로 상공 3.7m(12ft)지점에서 최소, 최고 VDB(VHF Data Broadcasting) 전계강도를 만족하여야 한다. 측정은 차량에 GPS 수신기와 안테나 및 VHF 수신장비를 설치하고 활주로 중앙선을 따라 측정한다.

4.4. FAS 데이터

FAS 데이터 블록은 항공기 정밀접근 및 착륙에 필요한 정보를 제공한다. FAS 데이터 블록은 항공기 자동항법장치에 전달되어 기존에 정의된 공항 데이터베이스와 연동하여 항공기 정밀접근 및 착륙을 유도하게 된다. FAS 데이터 블록의 성능평가는 비행 중인 항공기뿐만 아니라 지상모니터링 시스템을 통해서 지속적으로 확인되어야 하는

사항으로 항공기의 공항접근을 위한 최상의 정보가 제공되어야 하는 중요한 메시지다.

FAS 데이터 블록의 정보는 그림4와 같이 도시할 수 있으며, 그 구성을 살펴보면 ILS의 접근방식을 연상할 수 있는데, 이러한 이유로 GBAS에 의한 착륙시스템을 GLS(GNSS Landing System)이라 부른다.

표 3. 최소 GBAS VHF 데이터 방송 지상시험 요구사항 요약

구분	파라미터	허용치	불확실성
Carrier Frequency (assigned channel)		assigned channel	N/A
Carrier Frequency stability		±0.0002%	0.0001%
Unwanted Emissions		-53dBm	1dB
Power Transmitted in Adjacent Channels	1 st , 2 nd , 4 th	추후정리	1dB
	Above the 4th	추후정리	
Runway surface coverage(권고)		>-99dBW/m ² to -35dBW/m ²	±3dB
Monitoring	TDMA slot monitoring	Assigned slot	N/A
	VDB Transmitter Power	3dB	1dB

표 4. FAS 데이터 블록(ICAO NSP, 2004)

Data content	Bits used	Range of values	Resolution
Operation type	4	0 to 15	1
SBAS provider ID	4	0 to 15	1
Airport ID	32		
Runway number	6	0 to 36	1
Runway letter	2		
Approach performance designator	3	0 to 7	1
Route indicator	5		
Reference path data selector	8	0 to 48	1
Reference path identifier	32		
LTP/FTP latitude	32	±90.0°	0.0005

			arcsec
LTP/FTP longitude	32	±180.0°	0.0005 arcsec
LTP/FTP height	16	512.0 to 6041.5 m	0.1 m
ΔFPAP latitude	24	±1.0°	0.0005 arcsec
ΔFPAP longitude	24	±1.0°	0.0005 arcsec
Approach TCH (Note)	15	0 to 1638.35 m or (0 to 3276.7 ft)	0.05 m or (0.1 ft)
Approach TCH units selector	1		
GPA	16	0 to 90.0°	0.01°
Course width	8	80 to 143.75 m	0.25 m
ΔLength offset	8	0 to 2032 m	8 m
Final approach segment CRC	32		

서는 RTCM 포맷의 실시간 GBAS 서비스를 제공하고 있다. 본 논문은 향후 항공기 운항과 관련한 GBAS 실시에 대비하여 성능평가의 체계 확립을 위한 기초연구로서 수행되었으며, 비행시험을 통한 성능평가 부분에 대한 평가항목이 추가적으로 연구되어야 할 것이다. 향후 RTCA 포맷을 기반으로 하는 GBAS 총 메시지 구성에 대한 분석이 진행되어야 할 것이며, 특정 공항을 대상으로 하는 FAS 데이터 블록 구성에 대한 연구도 진행되어야 할 것이다.

후 기

본 논문은 2004년도 공공기술연구회에서 지원된 한국항공우주연구원 기본연구사업의 연구결과이며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Curt Keedy, "Flight Inspection : Ensuring Safe Skies," GPS world, Sep. 1999, page 49
- [2] ICAO, "Manual on Testing of Radio Navigation Aids, Ground-Based Augmentation System", ICAO Doc 8071, 2004, pp4-1~4-17
- [3] ICAO NSP, "GRAS SARPs : ANNEX10 Vol 1 Amendment 77," ICAO NSP, Oct. 2004, pp33~36

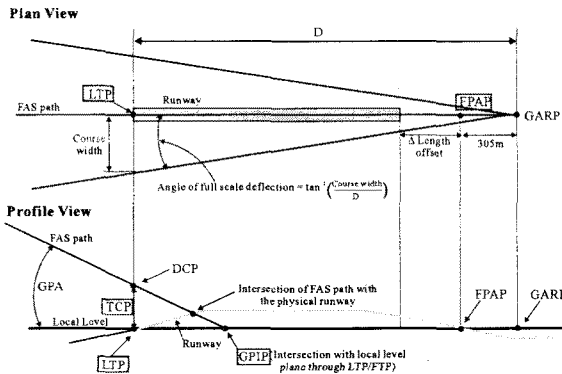


그림 4. FAS 데이터 도식

5. 결 론

그동안 국내에서는 GNSS 기반의 위치정확도 향상을 위한 다양한 형태의 GBAS 관련 실험이 수행되었으며, 해상항법 분야에