

## PEGASUS를 활용한 GBAS 성능평가 방안 연구

### A Study on the Performance Evaluation Methods for Ground-Based Augmentation System(GBAS) using PEGASUS

배중원\*, 김동민, 남기욱(한국항공우주연구원)

#### 1. 서 론

현존 계기착륙시설(ILS)을 대체할 항공용 위성 항법보정시스템인 *Ground-Based Augmentation System*(이하, *GBAS*)의 실용서비스를 위한 행보가 가속화되고 있다. Cat-I 급의 *GBAS* 성능 요구조건은 공간상 신호(*Signal In Space, SIS*) 요구사항을 4개의 성능지표(정확성, 무결성, 가용성, 연속성)화하여 국제민간항공기구(ICAO) 표준 및 권고 사항(*SARPs*)에 명시되어 있으며 *RTCA*, *EUROCAE* 등은 탑재장비를 위한 기능과 성능 요구사항을 정의한 문서를 이미 공포한바 있다. 시스템의 신뢰성과 안전성이 무엇보다 중요시되는 항행시스템으로써, *GBAS* 실용화의 가장 큰 걸림돌이었던 무결성(*integrity*) 감시와 검증에 위한 알고리즘들이 보장되고 그 효과가 조금씩 입증됨에 따라 안전성 검사와 인증을 통과한 *GBAS Cat-I*급 시스템의 본격적인 상용서비스가 2010년 경부터 가능할 것으로 전망된다.

*GBAS* 지상국 시스템은 미국의 *Honeywell*사, 유럽의 *Thales*사 제품이 대표적으로 그 중 *Honeywell*사의 *SLS* 시리즈는 미국뿐 아니라 호주, 스페인, 독일 등지에서 신규 구축이나 업그레이드 사업이 추진 중으로, 해당 국가의 시스템 운영기관과 인증기관은 실용화에 근접한 시스템 확보가 이제 가능하다는 판단 하에 해당 시스템의 운용기술 확보와 인증기술 확보에 전념하고 있다. 이를 위해서는 *GBAS* 시스템의 성능을 객관적이고 편리하게 평가할 수 있는 방법에 대한 고려가 필수적이다. 제작사에 의해 제시된 성능지표를 독립적인 시험을 통해 확인하고 시스템 변경시의 효과를 확인할 수 있는 공인된 틀을 사용하는 방법이 효율적인 것이다.

본 논문에서는 ICAO 표준의 *GBAS* 시스템 기술과 현재 진행 중인 *GBAS Cat-I* 기술개발 현황을 간략히 소개하고 유로콘트롤(*Eurocontrol*)에 의해 개발된 *PEGASUS* 틀을 사용하여 *GBAS* 시스템의 성능을 평가하는 방법에 대해 고찰하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 GBAS 개요

*GNSS* 단독 측위의 정확성을 개선하고 정확성의 완전성을 보장하여 항공항법에 이용하고자 개발된 보정시스템(*Augmentation System*) 기술에는 *ABAS*(*Aircraft Based AS - RAIM, AAIM*), *SBAS*(*Satellite Based AS - WAAS, EGNOS, MSAS*), *GBAS*(*Ground Based AS - LAAS*)가 있다. *GBAS*는 최종 정밀접근 단계에서의 운용을 주 목적으로 하지만 터미널 공역과 지상에서도 사용가능한 *GNSS* 보정 기술로 현재 *Cat-I*급 시스템의 상용화 개발이 완료 단계에 있고 *Cat-III/II*급 개발을 위한 기술 표준화도 활발히 진행되고 있다.

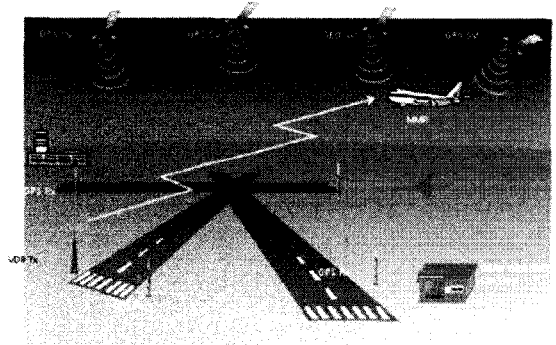


그림 1 GBAS 운용 개념도

*GBAS*는 위성시스템(*SV*), 지상시스템, 항공기 탑재시스템으로 구성된다. 지상시스템은 보통 2-4개의 *GNSS* 기준국 수신기, 보정정보를 계산하는 프로세서와 보정정보와 최종접근경로(*FAS*) 정보를 방송하는 *VDB* 장치로 구성되며, 항공기 탑재시스템은 *MMR*(*Multi Mode Receiver*)을 통해 지상 송신 정보를 획득하여, *GLS*(*GNSS Landing System*)나 *FMS*를 통해 계산된 유도정보를 다양

한 형태로 조종사에게 제공한다.

GBAS Cat-I 지상시스템은 기준국 수신기로부터 전달된 GPS L1 신호의 반송파 위상(carrier phase)을 이용 스무딩된 의사거리(pseudorange)의 보정치를 다음과 같은 과정을 통해 결정한다.

위성시계 오차의 추정치  $\Delta t_{sv}$ 는 다음 식으로 계산된다.

$$\Delta t_{sv-GPS} = \alpha_{f0} + \alpha_{f1}(t - t_{OC}) + \alpha_{f2}(t - t_{OC})^2 + \Delta t_r - T_{GD} \quad (1)$$

수식 (1)에 필요한 정보는 GPS subframe으로부터 획득 한다. 각 기준국 수신기(j)로부터 의사거리 측정치(i)는 다음과 같은 필터를 사용하여 스무딩 된다.

$$P_{CSX}(i,j) = \alpha P + (1-\alpha) \left( P_{CSX} + \frac{\lambda}{2\pi} (\phi_n - \phi_{n-1}) \right) \quad (2)$$

여기서, PCSC는 스무딩된 의사거리, P는 원(raw) 의사거리 측정치,  $\lambda$ 는 L1 신호의 파장,  $\phi$ 는 반송파 위상,  $\alpha$ 는 필터의 가산 함수(weighting function)로 샘플링 인터벌(T)와 같으며 보통 100을 사용한다.

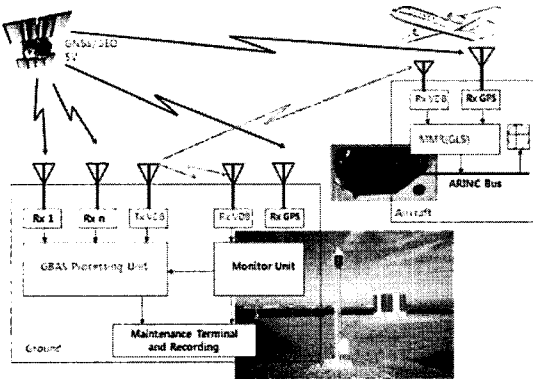


그림 2 GBAS 시스템 구성도

반송파 위상으로 스무딩되고 위성신호 오차를 보정한 의사거리 보정치는 다음과 같이 계산된다.

$$PRC_{CSX}(i,j) = R(i,j) - P_{CSX}(i,j) - (C \times \Delta t_{sv-GPS}(i)) \quad (3)$$

각 기준국 수신기의 시계 오차 조정치는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta t_j = \sum_{i \in S_c} k_i \times PRC_{CSX}(i,j) \quad \sum_{i=1}^N K_i = 1 \quad (4)$$

여기서,  $S_c$ 는 모든 기준국 수신기에 의해 트랙된 유효한 위성의 집합,  $N_c$ 는  $S_c$  원소의 개수,  $k_i$ 는 수식(4)의 두 번째 부분을 만족하는 weighting factor에 해당된다.

반송파 스무딩되고 수신기 시계오차가 조정된 의사거리 보정치  $PRC_{SCA}$ 는 다음 식과 같다.

$$PRC_{SCA}(i,j) = PRC_{CSX}(i,j) - \Delta t_j \quad (5)$$

최종적으로 전송되는 의사거리 보정치는 다음과 같이 계산된다.

$$PRC_{TX}(i) = \frac{1}{M(i)} \sum_{j=1}^{M(i)} PRC_{SCA}(i,j) \quad (6)$$

여기서,  $M(i)$ 는 위성 i에 대해 유효한 PRC를 생성하는 유효 수신기 개수,  $S_i$ 는 위성 i에 대해 유효한 측정치를 갖는 기준국 수신기의 집합이다.

## 2.2 GBAS Cat-I급 기술개발 현황

미국의 FAA와 Honeywell사는 Cat-I급 LAAS 개발을 위해 System Approval, Facility Approval, Service Approval을 단계적으로 추진하고 있으며 댐피스에 설치된 시스템에 대한 인증 작업을 2008년 완료할 계획이다. 이 시스템은 특히 무결성 감시 능력이 강화된 것이 특징이다. 또한 호주 시드니에 설치 중인 시스템에서의 시험결과를 공동 활용하여 인증 작업을 가속화하는 방안을 추진하고 있다.

호주의 시드니 공항(ASA, 업그레이드), 독일의 브레멘 공항(DFS, 신규설치), 스페인의 말라가 공항(AENA, 업그레이드)에서도 대략 2008-2009년을 목표로 Honeywell사의 ICAO Cat-I 규격을 만족하는 지상시스템 설치 및 인증 사업이 추진되고 있다. 호주 Qantas 항공사는 R. Collins사의 GLS 장치가 장착된 B737NG 기종을 도입하여 시드니 공항에서의 GBAS 시험사업을 지원하고 있다.

프랑스의 경우에는 툴루즈 공항에 Thales사의 GBAS 시스템을 설치하여 운용 중으로 Airbus사의 GBAS 항공전자장비 탑재시스템 개발 및 인

증작업에 활용하고 있다. 에어버스사의 A380 항공기에서의 GLS 시스템 인증이 거의 완료된 것으로 알려져 있다. 탑재시스템의 경우 R. Collins 사의 GLS 시스템(MMR GLU-925)이 대표적으로 보잉사와 에어버스사의 GBAS 탑재장비로 탑재되고 있으며, 이미 일부 기종(B737NG, A380, A320)에 대한 인증작업이 거의 완료되었다.

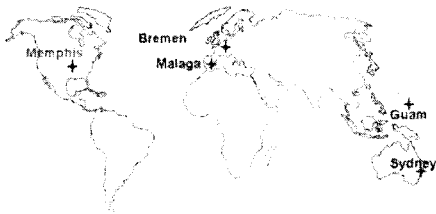


그림 3 GBAS 시범사업이 추진 중인 도시

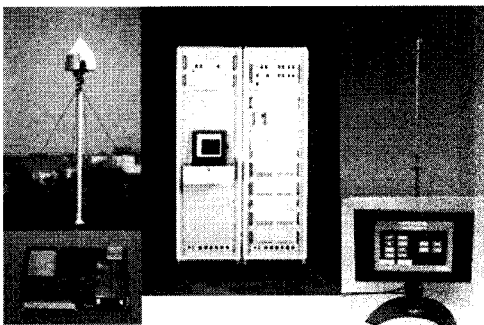


그림 4 Honeywell사의 LAAS 시스템

### 2.3 PEGASUS 소개

항법시스템의 검증 과정에는 수많은 데이터에 대한 평가 과정이 보편적이지만 대개 복잡한 작업이 되게 마련이다. 특히 GNSS 데이터 관련 분석 작업에는 관련 결과를 효과적으로 생성해 주는 적절한 컴퓨터 툴의 사용이 필수적이다.

PEGASUS (Prototype EGNOS and GBAS Analysis System Using SAPPHIRE)는 EUROCONTROL에 의해 개발된 SBAS, GBAS 데이터 처리 및 분석용 도구이다. 사용된 알고리즘은 관련 국제기술표준 규격에 부합하고 편리한 사용자 인터페이스를 제공하여 유럽의 항공교통 서비스 제공기관에서 시스템의 검증과 설치, 인증 과정에서 다양하게 사용할 수 있도록 개발되었다. 프로그램은 PEGASUS 프레임과 여러 기능을 지원하는 모듈들로 구성되어 있으며, 시나리

오와 파라미터 설정이 인터랙티브하게 가능한 GUI 모드를 지원하고 모듈별 독립적인 실행과 명령 라인을 통한 배치 모드도 가능하다.

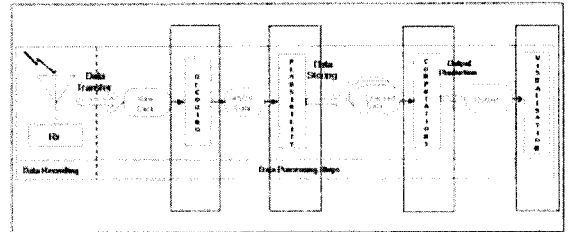


그림 5 PEGASUS의 데이터 처리 흐름도

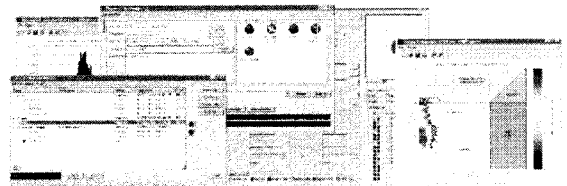


그림 6 PEGASUS 화면 예시

### 2.4 GBAS 성능평가 방안 고찰

PEGASUS는 다음과 같은 기능을 지원하기 위해서 개발되었다.

- 항공분야 GNSS 시스템(SBAS, GBAS)의 운용 검증
- 미래 혹은 실험목적의 시스템에 대한 성능 예측
- 지상국 서브시스템의 설치를 위한 사이트 선택

이러한 목적을 위해서 PEGASUS는 표 1과 같은 다양한 기능을 제공한다.

PEGASUS는 GBAS 지상/탑재 시스템의 성능을 분석할 수 있는 기능과 지상시스템의 보정메시지 생성도 가능한 기능을 보유하고 있다.

지상국 시스템의 GPS raw data 입력값으로 하여 GBAS 알고리즘을 이용한 보정정보 생성, 위치 계산(GBAS Positioning Service), 메시지 생성(MT1, MT2, MT4)이 가능하며, 탑재시스템의 MMR 출력을 이용하여 궤적 에러에 대한 Dynamic한 분석 작업도 가능하다. 무엇보다 HPL(Horizontal Protection Level), VPL(Vertical Protection Level) 등이 자동 계산되어 정확성, 무결성, 가용성 계산이 손쉬워 지는 장점이 있다.

| 주요 기능   | 관련 모듈  |
|---|--|
| GNSS 장비로부터의 raw binary data 변환  | Convertor  |
| 정의된 운용을 위한 무결성 데이터와 함께 MOPS 호환 방식(SBAS, GBAS, 기본 GPS를 사용)으로 위치 계산                 | Gnss_Solution  |
| 궤적 에러(trjectory error)의 계산(NSE, TSE, FTE)   | Dynamics, Procedure  |
| 주어진 위치 혹은 지역에서 달성 가능한 요구된 무결성(integrity)과 더불어 정확성(accuracy), 가용성(availability) 예측 | Xpl_Estimation   |
| GBAS 지상국 처리 알고리즘에 대한 시뮬레이션  | MARS3 modules  |
| 결과값의 인터랙티브한 시각화 및 요약 보고서의 자동 생성   | Report and Analyses Tools (Compiled Matlab scripts, Filewatch) |

표 2. PEGASUS의 주요기능과 관련 모듈

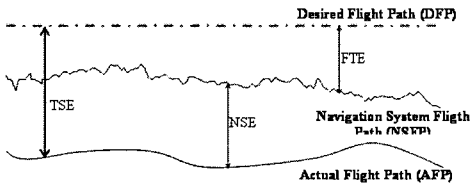


그림 7 GBAS accuracy and error

### 2.5 PEGASUS 사용 예제

항우연에 설치된 GPS 데이터 수집장치를 이용하여 수집된 GPS Raw Data를 이용, PEGASUS 툴을 사용하여 얻은 GPS 위치와 비교해 보았다. GIPSY를 이용하여 2006년 12월 14일 결정된 기준점의 위치는 다음과 같고 07년 1월 15일 데이터로 PEGASUS에서 처리한 데이터와 거의 유사한 것을 확인하였다.

| 구분      | 위도(deg)    | 경도(deg)     | 고도(m) |
|---------|------------|-------------|-------|
| KG2 기준점 | 36.3779946 | 127.3553002 | 88.41 |

표 3. KARI GPS 기준점(KG3) 좌표

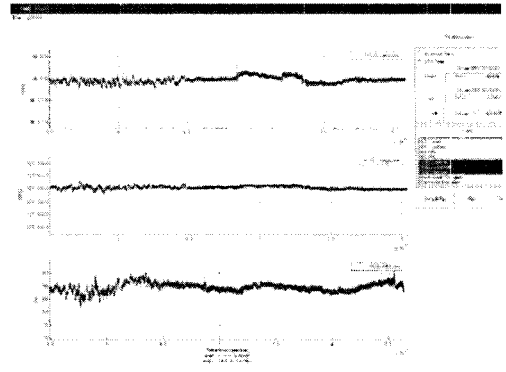


그림 8 PEGASUS를 사용한 위치 계산

그림 9와 10은 PEGASUS에 포함된 샘플 데이터를 이용하여 GBAS MT1(Message Type 1)을 이용하여 MT1에 포함된 PRC, RRC를 분석한 결과이다. 본 연구에서는 향후 국내에서 실제 이용 가능한 데이터를 이용하여 분석 작업을 수행할 예정이다.

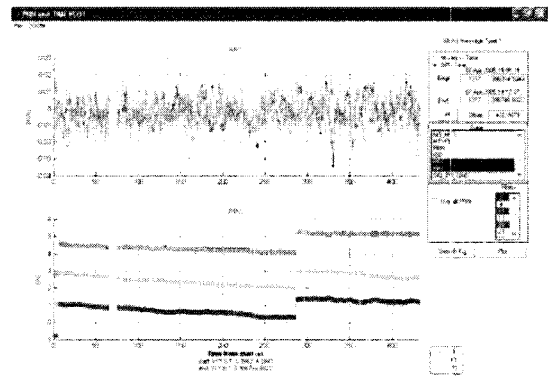


그림 9 PRC, RRC 분석 결과

### 3. 결론

본 논문에서는 GBAS 기술과 세계 선진 국가의 Cat-I급 GBAS 시스템 개발현황을 소개하고, 유로콘트롤이 개발하여 배포하고 있는 GBAS 성능 예측 및 분석 도구를 사용하여 성능평가에 활용하는 방안을 제시하였다.

ILS를 대체할 GBAS 시스템은 단기적으로 ILS-like 한 정밀접근 및 착륙유도가 가능하고 Curved Approach 등이 가능한 장점이 있어 지형상 ILS 구축이 어려운 국내 일부 공항에 경제적

인 적용이 가능하리라 기대된다.

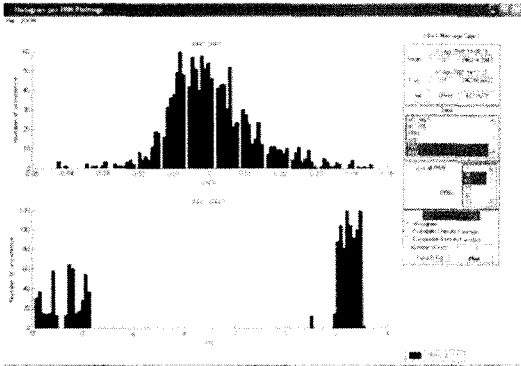


Fig. 10 PRC, RRC 통계 분석 화면

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 “항공용 위성항법시스템 기반기술 개발” 및 “차세대 항공 데이터통신시스템(VHF Data Link) 개발” 연구개발사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 1) ICAO Annex 10, "Aeronautical Telecommunications - Radio Navigation Aids" International Standards and Recommended Practices, Volume I July 1996.
- 2) The 6th International GBAS Working Group Meeting Presentation Material,
- 3) EUROCONTROL Navigation Domain - PEGASUS, Seattle, USA, July 17-20 2007  
<http://www.ecacnav.com/content.asp?CatID=63>
- 4) EUROCONTROL, PEG-SUM-01, "PEGASUS Software User Manual", Issue Q, 7 June 2006.
- 5) EUROCONTROL, PEG-GBAS-TN02, "PEGASUS Operational Validation PEGASUS MARS Development", Rev. D, 20. March, 2006.
- 6) EUROCONTROL, MARS3-TUT-01, "PEGASUS GBAS Tutorial", Rev. E, 24. March, 2006.
- 7) Walker, R. E., Stone, A. R., and Shandor, M., "Secondary Gas Injection in a Conical Rocket Nozzle," *AIAA Journal*, Vol. 1, Feb. 1963, pp.334~338.