

論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.39.2.153

KARI IMT 시스템의 GBAS 보정정보 검증시험

윤영선*, 임준후*, 조정호*, 허문범*

Verification Test for GBAS Correction Information of KARI IMT

Youngsun Yun*, Joonhoo Lim*, Jeongho Cho* and Moon-Beom Heo*

ABSTRACT

Korea Aerospace Research Institute (KARI) has implemented an integrity monitor testbed (IMT) to provide archived GPS data and test results for integrity monitoring algorithm development. To verify that the system is implemented based on international standard requirements, this paper represents the basic functional verification test results of the implemented testbed as a GBAS reference station. It compares the IMT generated GBAS message fields with those of PEGASUS, which is a baseline toolset accepted by international GBAS experts, to show the validity of the correction information. It also verifies the integrity and availability of the system through analysis on GBAS user data in the range and position domain.

초 록

한국항공우주연구원에서는 GBAS 기준국의 무결성 감시 알고리즘 개발을 위한 데이터 제공 및 시험을 위하여 무결성 감시 테스트베드를 구축하였다. 개발된 알고리즘의 정확한 구현 및 시험을 위해서는 기반이 되는 시설 및 소프트웨어의 기본 기능이 국제 표준에 부합하게 구현되어 있어야 하므로, 본 논문에서는 현재 구축된 테스트베드의 GBAS 기준국으로서의 기본 기능에 대한 검증시험을 수행한다. 이를 위해 국제적으로 신뢰받고 있는 프로그램인 PEGASUS와의 비교를 통하여 GBAS 보정 정보의 타당성을 확인하였으며, 이를 적용한 사용자 측면에서의 거리 영역 및 위치 영역에서의 데이터 분석을 통하여 시스템의 무결성 및 가용성 성능을 확인하였다.

Key Words : IMT(무결성 감시 테스트베드), GBAS(지상기반보강시스템), Verification Test(성능평가)

1. 서 론

GBAS (Ground Based Augmentation System)가 항공 사용자, 공항 및 관련 기관에 현재보다 개선된 항공교통 처리 능력과 효율성을 제공할 것으로 기대되면서 여러 국가에서는 GBAS를 이용한 항공기 유도 시스템에 대한 설치 및 운용

계획을 진행하거나 계획하고 있다.⁽¹⁾ 미국 Honeywell 사에서는 SLS-4000 시스템을 개발하여 2009년 9월 3일에 FAA로부터 최초로 GBAS Category(CAT)-I 서비스에 대한 시스템 설계 인증 (System Design Approval)을 받았으며, 이 장비는 현재 Memphis 공항에 설치되어 운용을 위한 시험이 진행 중이다. 이 외에도 호주, 브라질, 독일, 스페인 등의 국가에서 GBAS 시스템을 도입하여 시험을 진행 중이며, 시설 인증 및 운용 인증 절차 개발을 수행하고 있다.⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 일본에서는 자체적으로 GBAS 시스템을 개발하고 있으며 특히 전리층 이상 문제에 관심을 두고 연구를 진

† 2010년 10월 12일 접수 ~ 2011년 1월 10일 심사완료

* 정회원, 한국항공우주연구원 위성항행항법팀

교신저자, E-mail : ysyun@kari.re.kr

대전광역시 유성구 과학로 115번지

행 중이다.⁽⁵⁾ 또한, GBAS 기반의 CAT-II/III 운용을 위한 표준 개발이 진행 중이며 향후 수 년 내에 이를 이용한 시작품이 개발될 예정이다.⁽⁶⁾

이러한 동향에 맞추어, 한국 내에서 GBAS CAT-I 시스템에 대한 자체 인증 절차를 개발하고 CAT-II/III 관련 문제에 대한 연구를 수행하기 위한 연구 기반시설 및 기초 기술 확립을 위하여 한국항공우주연구원 (KARI, Korea Aerospace Research Institute)에서는 무결성 감시 테스트베드 (IMT, Integrity Monitor Testbed) 시스템을 자체적으로 개발하고 제주 공항에 설치하였다. 현재 IMT에는 GBAS를 위한 기본 보정정보 생성 및 무결성 감시 기능이 구현되어 있으며 향후 GBAS 관련 연구를 위한 데이터 제공, 개발 알고리즘 시험 등에 활용될 예정이다.

본 논문에서는 최근에 구축 및 설치된 KARI IMT 시스템에 대해 소개하고 IMT에서 생성된 GBAS 보정 데이터의 검증 시험을 수행하고 결과를 분석함으로써, 이 시스템이 국제 표준 요구조건을 만족시키도록 설계되어 있으며 향후 GBAS 관련 연구의 기반 시스템으로 이용이 가능한 수준으로 구현되어 있다는 것을 보이고자 한다.

II. 본 론

2.1 KARI IMT 시스템

KARI는 2006년부터 IMT 시스템을 구현하기 시작하여 2009년까지 제주 국제공항 화물청사 및 활주로 주변에 GPS 신호 수집 장비 및 데이터 처리 장비를 설치하였다.

GPS 데이터 수집을 위해서 Fig. 1과 같이 4 세트의 NovAtel DL-V3 GPS 수신기와 NovAtel GPS-702-GG GPS 안테나가 설치되어 있으며 2세트는 화물청사 옥상, 나머지 2세트는 활주로 주변 초소에 설치되어 있다. 각 수신기는 Fig. 2와 같이 산업용 PC에 연결되어 수집된 데이터를 저장하고 동시에 기준국으로 전달한다.

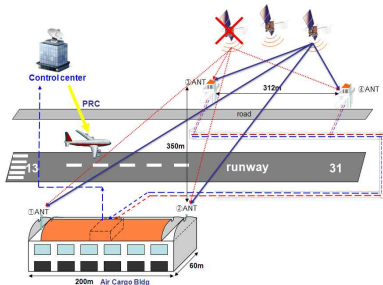


Fig. 1. KARI IMT overview



Fig. 2. IMT reference receiver station



Fig. 3. IMT reference station

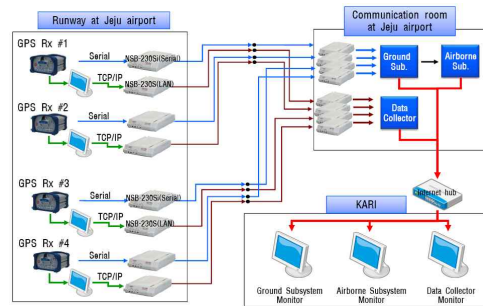


Fig. 4. IMT data collection

공항청사 통신실에 설치되어 있는 기준국 PC (Fig. 3)에서는 각 수신기로부터 시리얼 통신을 통해 GPS 데이터를 전달받아 기준국 프로그램에서 실시간으로 GBAS 보정정보를 생성하고 이를 GBAS 사용자 프로그램으로 전달하며, 동시에 수집된 데이터를 저장한다.

IMT 시스템은 독립적인 세 개의 저장 장치에 병렬로 수집 데이터를 저장하도록 구성되어 있다. Fig. 4에 나타난 것과 같이 GPS 수신기에 직접 연결된 산업용 PC에 데이터가 저장되고 이더넷(ethernet) 모뎀을 통해 기준국에 전달된 데이터는 기준국 PC에 저장된다. 한편 수집된 데이터는 대전 항공우주연구원의 데이터 저장 PC로 전달되어 별도로 저장된다. 이와 같은 다중 데이터 백업장치 구성을 통하여 지속적이고 안정적인 GPS 데이터 수집이 가능하고 이는 무결성 감시 연구에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

2.2 GBAS 보정메시지 생성

IMT 기준국 소프트웨어는 Fig. 5와 같이 화면이 구성되어 있으며 GPS 데이터를 수집하여

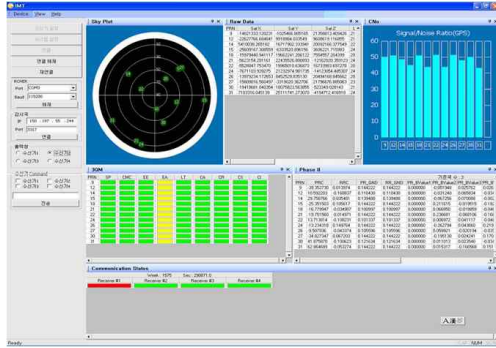


Fig. 5. IMT reference software

GBAS 보정 정보를 생성하고 이를 화면에 표시해 주는 역할을 한다. 소프트웨어는 실시간으로 입력되는 데이터를 처리할 수 있는 실시간 버전과 파일로 저장된 데이터를 처리할 수 있는 후처리 버전을 모두 가지고 있다. 두 버전은 파일 입출력 부분을 제외하고는 동일한 알고리즘으로 구성된다.

2.2.1 보정메시지 생성 및 적용 알고리즘

PRC (pseudorange correction), RRC (range rate correction), B-value 등을 포함한 GBAS 보정메시지 생성 및 적용은 ICAO (International Civil Aviation Organization)의 SARP's (International Standards and Recommended Practices)⁽⁷⁾, RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics)의 MASPS (Minimum Aviation System Performance Standards for the Local Area Augmentation System) 및 EUROCAE (European Organisation for Civil Aviation Equipment)의 MOPS (Minimum Operational Performance Specification for global navigation satellite GBAS ground equipment to support Category I operations)⁽⁸⁾ 문서의 일반적인 GBAS 알고리즘을 사용하였으므로 자세한 내용은 설명하지 않는다. 다만, 본 논문에서 사용된 알고리즘의 특이점은 다음과 같다.

의사거리 보정치 PRC 계산 시 PRC 값이 메시지 포맷에 정의된 범위 내에 포함되도록 하고 각 수신기에서 생성된 PRC의 크기 수준을 맞추기 위해 각 수신기의 시계 오차 성분을 추정하여 제거하여야 한다. 이 때 본 논문에서는 PEGASUS와 동일한 알고리즘을 사용하기 위하여 EUROCAE MOPS에서 사용한 식(1)을 사용하였다.

$$PRC_{sca}(i, j) = PRC_{csc}(i, j) - \sum_{i \in S_C} k_i \times PRC_{csc}(i, j) \quad (1)$$

PRC_{sca} : 스무딩 및 시계오차제거된 PRC

PRC_{csc} : 방송과 스무딩 된 PRC

i : 위성 인덱스

j : 기준국 수신기 인덱스

S_C : 모든 수신기에서 공통으로 수신하고 있는 위성의 집합

k_i : 위성 고도각에 따른 가중치 ($\sum_{i=1}^{N_C} k_i = 1$)

N_C : 집합 S_C 의 원소의 개수

RTCA 문서에서는 $k_i = 1/N_C$ 로 모든 위성에 대한 가중치를 동일하게 적용하고 있다.

한편, GBAS 사용자에서는 보정치 적용 후 각 의사거리의 오차 수준을 다음 식(2)와 같이 계산한다.

$$\sigma_i^2 = \sigma_{pr_gnd,i}^2 + \sigma_{tropo,i}^2 + \sigma_{pr_air,i}^2 + \sigma_{iono,i}^2 \quad (2)$$

$\sigma_{pr_gnd,i}$: GBAS 기준국에서 방송한 의사거리 보정치의 오차 수준

$\sigma_{tropo,i}$: 잔여 대류층 지연 오차 수준

$\sigma_{pr_air,i}$: 수신기 잡음 및 다중경로 오차를 포함한 사용자 수신기의 의사거리 오차 수준

$\sigma_{iono,i}$: 잔여 전리층 지연 오차 수준

본 논문에서는 제주 공항에 설치된 네 개의 GPS 수신기 데이터를 기준국 데이터로 사용하였으므로 별도의 사용자 수신기가 설치되어 있지 않기 때문에 기준국 1번의 데이터를 GBAS 사용자 데이터로 사용하였다. 이 경우 대류층 및 전리층의 잔여 오차는 존재하지 않는다고 가정할 수 있고 $\sigma_{tropo,i}^2 = \sigma_{iono,i}^2 = 0$ 으로 표시할 수 있다.

$\sigma_{pr_air,i}^2$ 는 본래 항공기에 설치된 GPS 안테나 및 수신기를 사용했을 때의 오차 수준을 나타내는 값이지만 본 논문에서는 지상 기준국 중 한 개를 사용자 수신기로 가정하여 사용했으므로 지상 안테나 및 수신기의 오차 수준을 사용해야 하고 이를 위해서 σ_{pr_gnd} 를 이용하였다. σ_{pr_gnd} 는 모든 기준국의 데이터를 이용했을 때의 오차 수준을 나타내므로 네 개의 기준국 수신기를 사용한 본 논문의 경우에는 $\sigma_{pr_air,i}^2 = 4 \times \sigma_{pr_gnd,i}^2$ 로 나타낼 수 있다.⁽⁹⁾ 따라서 본 논문에서는 식(3)을 사용하도록 한다.

$$\sigma_i^2 = 5\sigma_{pr_gnd,i}^2 \quad (3)$$

2.2.2 σ_{pr_gnd} 및 팽창계수(Inflation Factor) 결정

사용자에게 방송할 σ_{pr_gnd} 를 결정하기 위하여 2010년 4월 30일에 수집된 데이터에서 계산된 B-value를 분석하였다. GBAS 기준국에서는 각

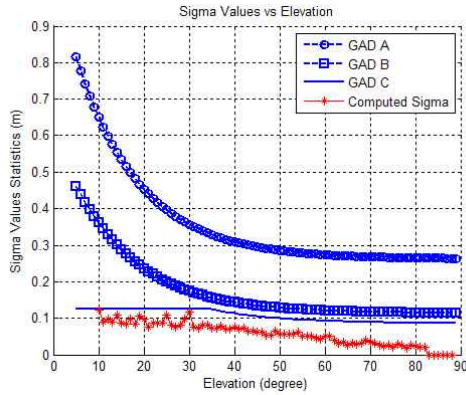


Fig. 6. σ_{pr_gnd} estimation

기준국 수신기에서 계산한 PRC의 평균값을 방송하고 이 때 사용된 방송용 PRC와 각 수신기의 PRC와의 차이를 B-value로 나타낸다. 따라서 B-value는 특정 수신기의 고장을 검출하기 위해 사용되며 각 수신기 의사거리의 잡음 수준을 나타내기 때문에 σ_{pr_gnd} 와 직접적으로 관련이 있다.⁽⁹⁾ 따라서 IMT에서 생성된 B-value를 PEGASUS의 CAP 모듈(2.3.1 절 참고)의 입력값으로 적용하였고 계산 결과는 Fig. 6과 같다.

$$\bar{\sigma}_{pr_gnd,i} = \begin{cases} \sqrt{\frac{(0.15 + 0.84e^{-\frac{\theta_i}{13.5}})^2}{M_i} + 0.04^2}, & \theta_i \geq 35^\circ \\ \sqrt{\frac{0.24^2}{M_i} + 0.04^2}, & \theta_i < 35^\circ \end{cases} \quad (4)$$

그림에 표시된 대로 계산된 표준편차가 GAD (Ground Accuracy Designator)-C 곡선의 값들보다 작으므로 σ_{pr_gnd} 의 기본값으로 식(4)와 같이 GAD-C로 정의된 함수를 사용하도록 한다.

이 때 실제 수집된 데이터 처리 결과를 이용하여 표준 편차를 계산하였으나 이 경우 제한된 표본 개수의 영향, 다중경로 및 수신기/안테나 오차의 혼합에 의한 영향 등이 고려되지 않았기 때문에, 계산된 표준 편차가 실제 오차 수준을 나타내지 못할 가능성이 존재한다.⁽⁹⁾ 따라서 이를 보상하기 위한 팽창 계수가 필요하며 본 논문에서는 위의 두 가지 영향을 고려한 팽창 계수를 결정하도록 한다.

제한된 표본 개수의 영향을 보상하기 위해서는 참고문헌들에서 사용한 1.2를 사용하도록 한다.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

오차의 혼합에 의한 영향을 위한 팽창 계수는 다음과 같은 방법으로 결정하였다.

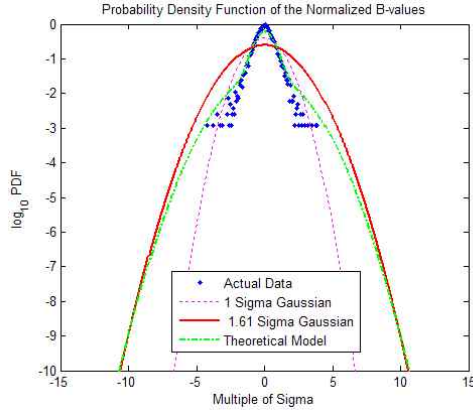


Fig. 7. Sigma inflation factor determination

Fig. 7과 같이 IMT에서 생성된 B-value를 표준화(normalize)하여 확률 분포를 나타내면 중앙 부분은 정규 분포를 따르지만 꼬리 부분이 두꺼운 형태의 분포가 형성되고 단일한 정규 분포를 따른다고 할 수 없기 때문에 일반적으로 Gaussian-Laplacian 또는 Gaussian-Mixture 모델을 이용하여 두꺼운 꼬리 분포를 가진 확률 분포로 표시하게 된다.

본 논문에서는 이 중에서 Gaussian-Mixture 모델을 사용하였으며 시행착오 법을 사용하여 샘플에서 나타난 확률을 포함할 수 있도록 가중치와 표준편차를 결정하였다. 이러한 모델 선정 및 파라미터 결정 과정에 대한 연구는 차후에 좀 더 이론적인 접근이 필요한 것으로 보인다.

$$f_{GM} = (1 - 0.15) \times N(0, 0.61) + 0.15 \times N(0, 1.7) \quad (5)$$

$N(\mu, \sigma)$: 평균이 μ 이고 표준 편차가 σ 인 정규 분포
식(5)의 확률 분포와 팽창 계수가 적용된 정규 분포의 누적확률분포가 같은 지점에서 5×10^{-9} 의 누적확률을 가지도록 하는 팽창 계수는 1.61로 결정된다. 이 때 5×10^{-9} 는 기준국 수신기가 네 개일 때 귀무가설 하에서의 고장검출 실패율 요구 조건이다.

따라서 최종적으로 IMT에서 사용자에게 전달하는 σ_{pr_gnd} 는 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma_{pr_gnd,i} = 1.2 \times 1.61 \times \bar{\sigma}_{pr_gnd,i} = 1.93 \times \bar{\sigma}_{pr_gnd,i} \quad (6)$$

2.3 GBAS 보정메시지 검증

본 단락에서는 국제적으로 인정받고 있는 GBAS 데이터 처리용 프로그램인 PEGASUS를 이용하여 IMT와 동일한 데이터를 처리하고 결과를 비교함으로써 IMT에서 생성된 GBAS 메시지를

를 검증하도록 한다. 분석을 위한 GPS 데이터는 2010년 4월 30일에 KARI IMT 기준국에서 24시간 동안 수집되었다.

2.3.1 PEGASUS를 통한 보정메시지 생성

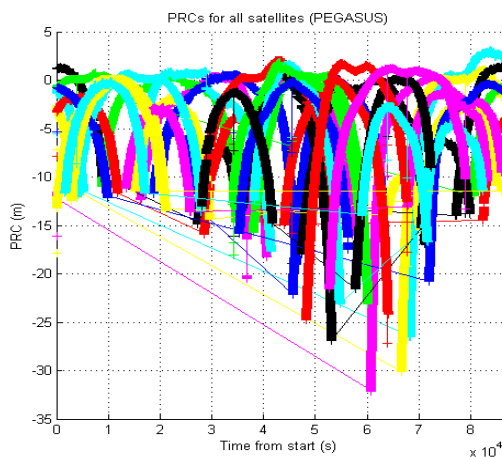
PEGASUS는 EUROCONTROL에서 개발한 GBAS 및 SBAS (Space Based Augmentation System) 데이터 처리 및 평가용 프로그램으로 국제 GBAS 워킹 그룹(IGWG, International GBAS Working Group)에서 GBAS 데이터 평가를 위한 기준 소프트웨어로 인정받고 있다.⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

PEGASUS는 여러 개의 독립적인 모듈로 구성되어 있으며 그 중 본 논문에서 활용된 모듈 및 각 모듈의 기능은 다음과 같다.⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

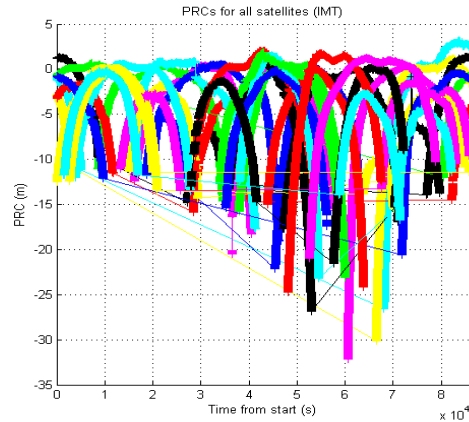
- Convertor: 각종 GPS 수신기의 데이터를 입력하여 PEGASUS의 모듈들이 사용할 수 있는 형태로 변환
- GGC (Generate GBAS Corrections): PEGASUS 포맷으로 변환된 GPS 데이터 및 사용자가 정의한 기준국 설정을 이용하여 국제 표준에 근거한 GBAS 보정 메시지를 생성
- CAP (Compute Accuracy Prediction): GGC 실행 결과를 이용하여 PRC에 대한 σ_{pr_gnd} 추정
- GNSS Solution: 사용자 GPS 데이터 및 GGC 실행 결과를 이용하여 사용자의 위치해 추정
- MFile Runner: 다양한 GPS, GBAS, SBAS 관련 데이터 및 처리 결과를 그래프로 표현

2.3.2 PEGASUS 생성 결과 비교

PEGASUS의 GGC 모듈과 IMT 후처리 프로그램에서 생성한 GBAS 메시지 Type 1의 주요 보정 정보인 PRC, RRC, B-value 결과를 그림으로 비교하였다.

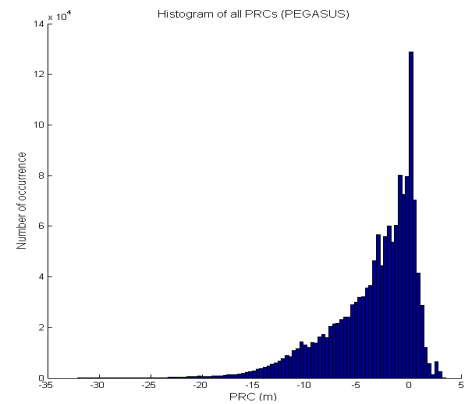


(a) PRCs generated by PEGASUS

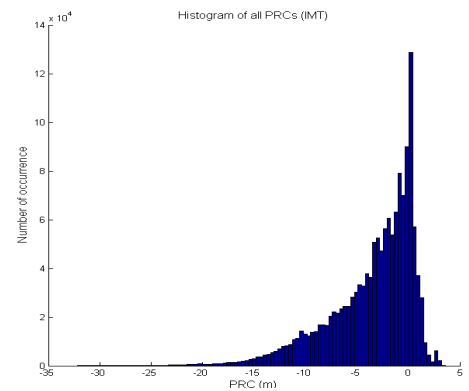


(b) PRCs generated by IMT

Fig. 8. Time plot of PRCs for all satellites



(a) PRCs generated by PEGASUS



(b) PRCs generated by IMT

Fig. 9. Histogram of PRCs for all satellites

Fig. 8은 24시간 동안의 모든 가시 위성에 대한 시간에 따른 PRC를 나타내고 Fig. 9는 이 데이터를 히스토그램으로 나타낸 것이다.

PRC 계산에는 Ephemeris 데이터를 이용한 위성 위치 및 시계 오차 계산, 반송파를 이용한 의사거리 스무딩, 수신기 시계 오차 추정 등의 기능이 필요하고 이 기능 중에 오류가 있을 경우에는 PRC의 범위 또는 전체 절대값의 수준이 달라지게 된다. 그림의 결과를 보면 거의 동일한 PRC가 생성된 것을 확인할 수 있고 이는 기본 PRC 계산 기능상에 큰 오류가 없음을 확인해 준다.

Fig. 10은 PRN22 위성에 대한 RRC 값의 변화를 보여준다. PRC 결과가 거의 일치하였기 때문에 PRC의 변화율인 RRC도 거의 동일한 결과를 보여주는 것을 확인할 수 있다. 다만 몇 개의 지점에서 IMT의 결과가 조금 튀는 부분을 볼 수 있는데 원인은 다음과 같다. PRC를 생성할 때의 수신기 시계 오차 추정 값은 식(1)에서 보여주듯이 가시위성수의 변화가 존재할 때 도약이 발생할 수밖에 없다. 이때의 PRC를 이용한 RRC는 실제 값을 나타낸다고 할 수 없으며 사용자 위치해에도 영향을 미치지 않는다. 하지만 PEGASUS에서는 이러한 경우에도 연속적인 RRC를 생성하도록 처리해 주는 알고리즘이 사용된 것에 비해,

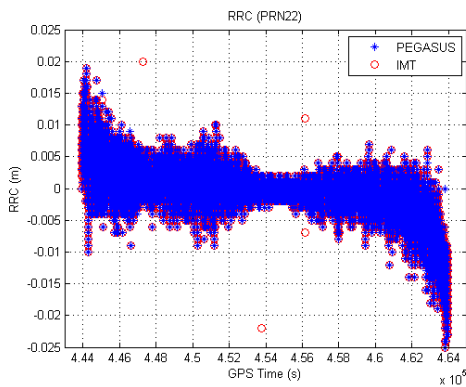


Fig. 10. Time plot of RRC for PRN22

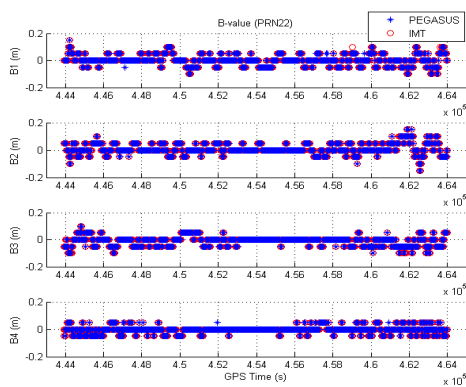


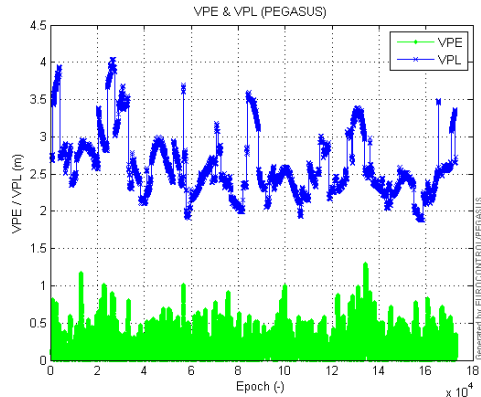
Fig. 11. Time plot of B-values for PRN22

IMT에서는 아직 이 부분을 고려하지 않고 있다. 따라서 그림에서의 불연속점들은 사용자 성능과는 무관하나 차후 개선될 수 있는 부분이다.

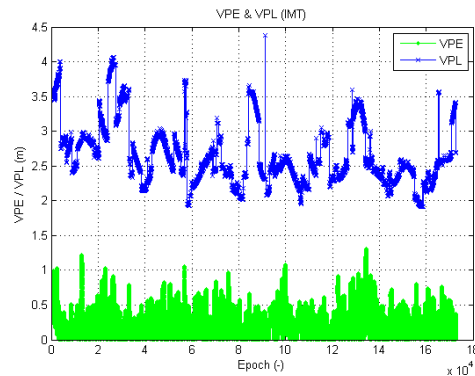
Fig. 11은 PRN22 위성에 대한 B-value들의 변화를 보여준다. 각각 기준국 수신기 1, 2, 3, 4 번에 대한 B-value이고 역시 PEGASUS와 IMT에서 생성한 결과가 거의 일치함을 볼 수 있다.

위와 같이 PEGASUS와 IMT에서 생성한 주요 보정정보들을 그림을 통해 살펴보고 두 결과가 거의 일치함을 확인하였으나 정량적으로 확인하기에는 부족함이 있으므로 이 보정정보들을 이용한 사용자에서의 최종 위치해 결과를 통해서 종합적인 성능을 확인해 보기로 한다.

이를 위해 PEGASUS의 GNSS solution 모듈을 사용하도록 하였고 입력 값으로 PEGASUS의 GGC 모듈에서 생성한 GBAS Type 1 데이터 파일과 IMT에서 생성한 데이터를 PEGASUS GGC 형식으로 저장한 데이터 파일을 이용하여 각각에 대한 GBAS 사용자 결과를 출력하였다. 사용자



(a) VPE and VPL using PEGASUS generated GBAS message



(b) VPE and VPL using IMT generated GBAS message

Fig. 12. Time plot of GBAS user VPE and VPL

Table 1. GBAS user performance comparison without inflation factor

	PEGASUS	IMT
HPE (m, 95%)	0.3	0.3
HPL (m, 99%)	2.2	2.3
VPE (m, 95%)	0.4	0.4
VPL (m, 99%)	3.9	3.9

데이터로는 앞서서도 언급하였듯이 IMT 기준국 1번의 데이터를 사용하였다. 한편, PEGASUS의 내부 알고리즘은 사용자가 임의로 수정할 수 없으므로 식 (3)과 (4)는 사용되지 않았으며, 이 결과는 PEGASUS와 IMT가 생성한 보정정보의 비교를 위해서만 사용 가능하다.

Fig. 12에 각각의 경우에 대한 수직위치오차 (VPE, Vertical Position Error)와 수직보호수준 (VPL, Vertical Protection Level)의 변화를 나타냈으며 두 결과는 일부 지점을 제외하고는 일치하는 값을 가지는 것을 보여주고 Table 1에서도 거의 동일한 결과를 생성한 것을 확인할 수 있다.

PEGASUS의 내부 알고리즘을 직접 확인할 수가 없기 때문에 정확한 원인을 설명할 수는 없으나 일부 지점의 차이는 데이터 활용 정책에 차이가 있기 때문으로 보인다. 즉, 새로운 Ephemeris 데이터를 입수한 이후 사용할 때까지의 대기시간, 품질 감시 알고리즘 및 이상 검출 후 재사용까지의 대기시간 등을 그 예로 들 수 있다. 하지만 이 차이는 전체 성능에 미치는 영향이 미미하고 각 시스템의 설계의 차이이므로 받아들일 수 있는 수준으로 판단된다.

2.4 GBAS 메시지 사용자 적용 성능

앞 단락에서는 IMT에서 생성한 PRC, RRC, B-value 등의 GBAS 보정정보가 PEGASUS의 결과와 거의 일치하는 것을 확인하여 IMT의 GBAS 기준국으로써의 보정정보 생성 기능이 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 σ_{pr_gnd} 는 GAD-C 모델값을 그대로 사용하였고 사용자의 의사거리 표준 편차도 실제 시스템을 반영하는 값을 사용하지 못하였으므로 정확성 및 가용성 성능을 판단할 수는 없었다.

따라서 본 단락에서는 IMT의 사용자 프로그램을 활용하여 IMT 기준국 프로그램에서 생성한 σ_{pr_gnd} 가 무결성을 만족하면서 CAT-I 가용성을 만족할 수 있는 지에 대한 가능성을 확인해 보도록 한다.

우선 σ_{pr_gnd} 를 적용한 사용자 의사거리 표준편

차 σ_i 가 보정치를 적용한 사용자 의사거리의 오차 수준을 적절히 표현해 주는지를 확인하기 위해 사용자 보정 의사거리의 잔차와 팽창 계수 적용 전 및 후의 σ_{pr_gnd} 를 사용한 정규분포를 QQ plot으로 표현하였다. QQ plot에서 곡선의 기울기는 해당 표본의 표준 편차를 의미한다. Fig. 13에서 $N(0, 1)$ 은 팽창 계수를 적용하기 전의 정규 분포를 의미하는데 이 분포는 보정 의사거리 잔차의 확률 분포를 포함하지 못하는 것을 볼 수 있다. 즉 실제 오차의 수준 보다 작은 값을 가지기 때문에 사용자의 무결성에 위험 요인이 될 수 있다는 것을 의미한다. 반면에 팽창 계수를 적용한 분포인 $N(0, 1.93)$ 분포는 전체 구간에서 보정 의사거리 잔차의 분포를 포함하기 때문에 실제 오차 수준보다 큰 값을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 식 (6)을 통해 사용자에게 전달된 σ_{pr_gnd} 는 거리 영역에서 보았을 때 사용자의 무결성을 만족시킬 수 있는 조건을 갖추었다고 판단된다.

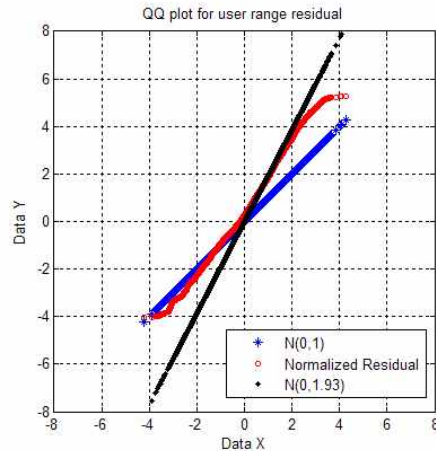


Fig. 13. User range residual QQ plot

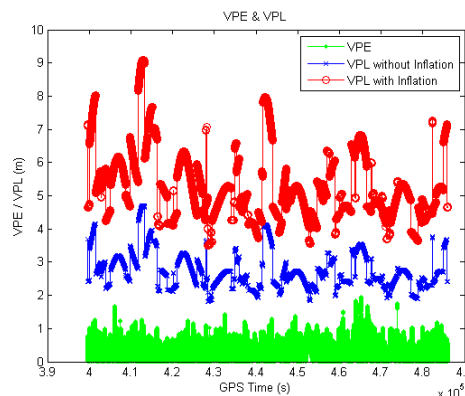


Fig. 14. Time plot of VPE & VPL

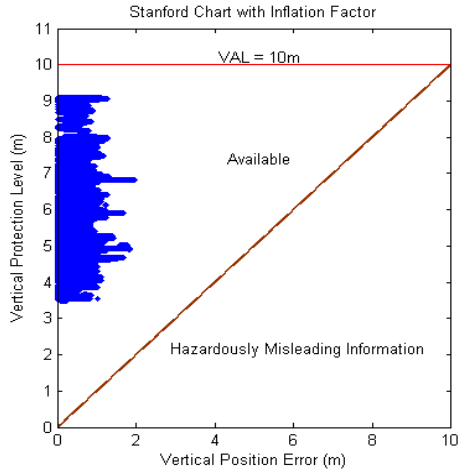


Fig. 15. VPL-VPE plot

Fig. 14는 이를 위치 영역으로 옮겨서 사용자의 수직위치오차와 각 경우에 대한 수직보호수준의 변화를 표시한 그림이다. 이때는 팽창 계수 적용 전에도 위치오차가 보호수준을 초과하는 부분이 없기는 하지만 그 여유가 부족해 보이는 부분이 있는 것을 볼 수 있다. 하지만 팽창 계수 적용 후에는 보다 여유 있게 보호수준이 위치오차를 포함하고 있어서 무결성 위험이 매우 적어짐을 나타내고 있다.

이때의 위치오차와 보호수준을 Fig. 15와 같이 나타내면 모든 점들이 CAT-I 요구조건인 10m의 수직경보한계 (VAL, Vertical Alert Limit) 내에 들어오면서 심각한 오류정보 (HMI, Hazardously Misleading Information)의 영역에는 들어가지 않기 때문에 무결성 및 가용성을 만족시킬 수 있는 가능성을 보여준다고 판단할 수 있다.

단, 식 (3)은 GBAS 항공기 사용자에게 적용했을 때는 달라진다는 것을 고려해야 하기 때문에 현재의 시험 결과는 항공기 사용자를 이용한 결과와는 다를 수 있고 정확한 사용자 성능 분석이 필요할 경우에는 장시간의 비행 시험 또는 항공기를 이용한 정적 시험이 필요하다.

III. 결 론

본 논문에서는 KARI IMT 시스템에 대한 소개 및 기본 기능에 대한 성능 평가 결과가 제시되었다. 24시간 동안 IMT 기준국에서 수집된 데이터에 대한 IMT 프로그램에서의 처리 결과가 PEGASUS의 결과와 비교되었고 두 결과가 거의 일치하는 것을 확인하여 IMT의 기본 기능이 국

제 표준에 따라 정상 동작함을 보였다. 또한 보정정보의 사용자 적용 시의 의사거리 잔차 및 위치해의 오차와 보호 수준을 분석함으로써 생성된 보정 정보가 시스템의 무결성 및 가용성을 만족시킬 수 있음을 확인하였다. 따라서 현재 구현된 IMT는 차후 GBAS 관련 무결성 감시 알고리즘의 개발 및 시험에 사용될 수 있는 수준으로 개발되었다고 판단할 수 있다.

본 논문에서는 24시간의 데이터만을 후처리를 통해 사용하였기 때문에 알고리즘 상에서의 정확성, 무결성 및 가용성 만족 가능성을 확인할 수 있었으나, 실시간 시스템 전체의 무결성, 연속성 및 가용성을 평가하기 위해서는 향후 장기간의 실시간 정적 시험이 필요할 것으로 예상된다. 이때 매우 낮은 확률의 요구 조건을 갖는 무결성 및 연속성 성능을 실제로 확인하기에는 너무 긴 시간의 시험이 필요하므로 실현 가능한 시험 시간 및 이에 대한 통계적 해석방법에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 보인다.

향후 본 시스템에 대한 장시간의 시험이 지속적으로 수행되어 문제점 발생 시 개선 작업이 진행될 예정이며, 국내 연구자들의 GBAS 무결성 감시 알고리즘에 대한 구현 및 시험에 적극 활용될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 국토해양부 항공용 위성항행 통신 시스템 개발사업(10항공-항행01)의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) FAA, "Navigation Services", <http://www.faa.gov>.
- 2) Lipp, A., Quiles, A., Reche, M., Dunkel W. and Grand-Perret, S., "Initial GBAS Experiences in Europe", *Proceedings of ION GNSS 2005* (Long Beach, CA), 2005, pp. 2911-2922.
- 3) Hecker, P., Schachtebeck, P., Feuerle, T., Bestmann, U. and Butzmuehlen, C., "Preparation for GBAS at Braunschweig Research Airport - Flight Tests Results", *Proceedings of ION NTM 2006* (Monterey, CA), 2006, pp. 726-734.
- 4) Callejo, P., Alvarez, A. and Javier de Blas,

F., "Aena GBAS CAT I Implementation at Malaga Airport: Towards an Operational GNSS Landing System", *Proceedings of ENC-GNSS 2009* (Naples, Italy), 2009.

5) Komatsubara, T., "Future Plan and GBAS update in Japan", *Presentations of International GBAS Working Group 10* (Brussels, Belgium), 2010.

6) Shively, C.A., Hsiao, T.T., "Availability of GAST D GBAS Considering Continuity of Airborne Monitors", MITRE Corporation, 2009.

7) ICAO, *International Standards and Recommended Practices, Annex 10*, 2001.

8) EUROCAE, *Minimum Operational Performance Specification for Global Navigation Satellite Ground Based Augmentation System Ground Equipment to Support Category I Operations* (ED-114), 2003.

9) Lee, J., "GPS-Based Aircraft Landing Systems with Enhanced Performance: Beyond Accuracy", Ph.D Dissertation, Stanford University, 2005.

10) Pervan, B. and Sayim, I., "Sigma Inflation for the Local Area Augmentation of

GPS", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 37, No. 4, Oct. 2001, pp. 1301~1311.

11) Lipp, A., "Validating the Interoperability of Ground-Based Augmentation Systems (GBAS)", http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/EEC_News_2008_1_GBAS.html, 2008.

12) EUROCONTROL, <http://www.ecacnav.com/Tools/PEGASUS>.

13) EUROCONTROL, *MARS3 Technical Note for PEGASUS*, 2006.

14) EUROCONTROL, *PEGASUS GBAS Tutorial*, 2006.

15) Yun, Y., Lim, J., Cho, J., Heo, M., "Initial Performance Assessment of KARI IMT using PEGASUS", *Proceedings of International Symposium on GPS/GNSS 2010* (Taipei, Taiwan), 2010.

16) 임준후, 윤영선, 조정호, 허문범, "GBAS 사용자의 의사거리 잔차 및 보호 수준을 이용한 IMT σ_{pr_gnd} 의 적합성 분석", The 17th GNSS Workshop, 2010.