

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 42(5), 368-375(2014)

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.5.368>

위성 양각별 시그마 팽창계수 분석을 통한 GBAS 가용성 향상

박종근*, 안중선*, 전향식**, 염찬홍**, 정상경*, 이영재*

Analysis of Sigma Inflation Factor with Respect to Elevation Angle for GBAS Availability Improvement

Jong-Geun Park*, Jongsun Ahn*, Hyang-Sig Jun**, Chan-Hong Yeom**,

Sangkyung Sung* and Young Jae Lee*

Konkuk University Aerospace Information System Engineering*

Korea Aerospace Research Institute CNS/ATM and Satellite Navigation Research Center**

ABSTRACT

The Ground Based Augmentation System (GBAS) is influenced by environmental factors, making analysis in the installation region important. This study has proposed the sigma inflation of the B-value considering the satellite elevation angle and analyzed the Vertical Protection Level (VPL) of the H1 hypothesis. After collecting data that meet the environmental conditions of the installation region, sigma expansion coefficients by the unit of satellite elevation angle (5°) have been estimated. The obtained results were functionalized through curve-fitting, and sigma inflation customized for the environmental conditions of the test region was proposed. Then, the characteristics were classified and analyzed depending on humidity and solar activities.

According to the sigma inflation with respect to elevation angle analysis, changes in the size of sigma inflation factors by the difference of humidity were minor. However, the VPL under the satellite elevation angle-based sigma inflation met integrity. Also, considering the sigma inflation factor with respect to elevation angle, compared to existing methods, high-integrity and improved availability is confirmed by removing unnecessary margins in high elevation angle satellite.

초 록

지역기반 위성항법보강시스템 (GBAS : Ground Based Augmentation System)은 환경적인 요인에 많은 영향을 받기 때문에 설치 운영될 지역의 환경 요인 분석이 중요하다. 본 연구는 위성 양각을 고려한 B-Value의 시그마 팽창을 제안하여 대립가설의 VPL (Vertical Protection Level) 성능을 분석하였다. 또한 해당지역의 환경조건을 만족하는 데이터를 수집하여 위성양각 5° 간격의 시그마 팽창계수를 산출하였다. 산출된 결과는 위성양각에 따라 커브피팅을 통해 함수화하여, 실험지역의 환경조건 (태양활동, 습윤 지연)에 알맞은 시그마 팽창을 제안하였다.

위성 양각에 따른 시그마 팽창계수 분석결과 습윤 지연에 의한 영향은 미미했으나, 태양활동에 의한 영향은 태양활동이 활발할수록 시그마 팽창계수가 증가하는 것을 확인할

† Received: September 27, 2013 Accepted: April 25, 2014

* Corresponding author, E-mail : younglee@konkuk.ac.kr<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 125-1348 / eISSN 2287-6871

수 있었다. 또한, 위성 양각을 고려한 시그마 팽창 계수의 적용으로, 기존 방법 대비 무결성 뿐만 아니라 고양각 위성에서의 불필요한 마진 제거가 가능하여 가용성이 향상됨을 확인할 수 있었다.

Key Words : GBAS(Ground Based Augmentation System), Sigma Inflation Factor(시그마 팽창계수), Elevation Angle(위성 양각)

I. 서 론

민간 항공분야에서는 기존 항행시스템 (VOR, DME, ILS 등)의 문제를 해결하고, 효율적이며 신뢰성이 높은 항법 서비스를 목적으로 위성항법보강시스템 (Augmentation System)을 운용하고 있다. 위성항법보강시스템은 위성항법시스템의 위치 정확도와 신뢰성 향상을 위하여 생성된 시스템으로, 크게 협역 보강항법시스템과, 광역 보강항법시스템으로 구분한다. 이 중 공항 근처와 같은 협역 지역에 CAT-I/II/III급 정밀 접근 및 이·착륙 서비스를 제공하는 지역기반 위성항법보강시스템을 GBAS (Ground Based-Augmentation System)라고 부른다.

GBAS는 현재 항공기 안전과 밀접한 관계가 있는 무결성 (Integrity) 분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 항공기 무결성 확보를 위해 기준국과 항공기에서 이상 (Abnormal or Fault) 신호를 검출 후 제거하여 이상값을 항법해 계산에 사용하지 않도록 하고 있다. 또한, 항공기 위치오차를 예측하여 이를 보호수준 (Protection Level)이라고 하며, 한계치 (Alert Limit)와 비교하여 시스템의 가용성을 판단하게 된다.

보호수준을 계산하기 위해 의사거리 보정정보 오차를 영 평균 (Zero mean) 및 정규분포 (Gaussian Distribution)로 가정한다. 하지만, 환경변화에 따른 비 공통 오차 및 통계적 불확실성 등으로 인해 의사거리 보정정보 (Pseudorange Correction) 오차는 영 평균, 정규분포를 따르지 않는다. 따라서 의사거리 보정정보 오차를 영 평균 정규분포로 생각할 경우 위 오차의 특성에 따라 고장이 발생할 경우에도 인식하지 못해 시스템의 무결성을 보장할 수 없다. 이를 보완하기 위해 실제 보정정보 오차에 의한 영향을 포함할 수 있는 적절한 시그마 팽창을 적용하는 연구가 진행되고 있다[1-3]. 또한 태양활동에 따라 변화하는 전리층 (Ionosphere)을 정확하게 예측하여 전리층 지연이 의사거리 보정정보 오차에 미치는 영향을 일간 태양활동에 따라 나누어 분석한 연구도 진행되었다[4-6].

본 논문에서는 기존 연구들에서 분석하지 않았던 위성 양각을 고려한 시그마 팽창을 제안하고 그 분석을 위해 위성 양각을 5° 단위로 나누어 시그마 팽창계수를 산출하였다. 일반적으로 저양각에서는 위성항법시스템의 특성상 다중경로 (Multipath) 오차가 빈번히 발생하며 그 크기 또한 크지만, 공항 근처에 설치되는 GBAS의 특성상 개활지에 설치되는 시스템인 만큼 다중경로 오차의 위험이 적기 때문에 본 논문에서는 전리층 및 대류층 오차가 시그마 팽창계수에 얼마만큼 영향을 미치는지에 대한 연구에 집중하여 분석을 진행하였다.

대류층과 전리층 환경이 시그마 팽창에 미치는 영향을 분석하기 위해 습윤 지연과 전리층 총 전자수를 기반으로 한 태양활동 정도에 따른 시그마 팽창을 분석하였다. 그리고 산출한 시그마 팽창계수 값들을 모델링화 하여 GBAS 신뢰성 판단에 사용되는 보호수준에 적용하고 기존의 시그마 팽창 방법과 성능비교를 진행하였다.

II. 본 론

2.1 시그마 팽창

2.1.1 위성양각을 고려한 시그마 팽창

GBAS에서는 영 평균 정규분포를 따르지 않는 실제 오차를 포함하기 위해 시그마를 일정부분 팽창하는 것을 시그마 팽창 (Sigma Inflation)이라고 한다. 무결성을 만족시키기 위해 지상국에서 고장난 정보를 검출하지 못할 확률인 HMI (Harzard Misleading Information)이 2×10^{-7} 이하여야 하므로[2] 시그마값에 일정한 값을 곱해 줌으로써 실제 위치 오차 분산값을 모두 포함할 수 있어야 한다.

시그마 팽창을 적용하여 전체 보정정보 오차 성분을 포함할 수 있도록 시그마 팽창계수를 산출하여 보호수준을 계산하는 데 사용함으로써 GBAS의 무결성을 향상시킬 수 있다. 하지만, 과도한 시그마 팽창계수를 적용할 경우 계산된 보호수준이 한계값을 넘는 경우가 발생할 수 있어

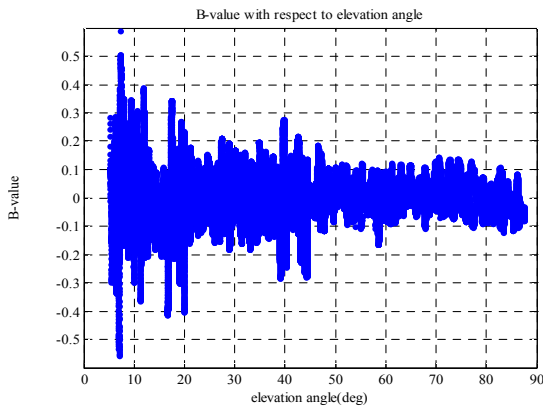


Fig. 1. B-value Result with Respect to Elevation Angle (Jeju International Airport Data)

가용성이 위협 받을 수 있다. 따라서 적절한 시그마 팽창계수를 적용하는 것이 중요하며 이를 위해서 본 논문에서는 연간 태양활동과 대류층 지연량에 따른 시그마 팽창의 변화를 분석하였고, 위성양각을 고려한 시그마 팽창을 제안하여 기존 시그마 팽창방식과의 성능을 보호수준에 적용하여 비교 분석하였으며, 위성양각을 고려한 시그마 팽창 방식을 적용하여 분석을 진행하였다.

기존 시그마 팽창 방식은 위성양각의 구분 없이 전체 기준국의 보정정보 일치성을 나타내는 B-Value중 가장 큰 값을 포함하는 시그마 팽창계수 값을 적용하여 사용하였다. 하지만, Fig. 1을 통해 알 수 있듯이 GBAS 다중 기준국에서 실제 생성하는 B-Value는 위성 양각이 낮을수록 의사거리 보정정보의 일치성이 작아 그 값이 크고, 고양각 위성으로 갈수록 그 크기가 감소한다. 따라서 B-Value를 통해 계산하는 시그마 팽창계수를 생각했을 때, 위성양각을 고려함을 확인하였으며, 이를 바탕으로 저양각 위성과 고양각 위성의 시그마 팽창계수 산출을 구분하여 분석하는 방법을 제안하였다.

2.2 위성양각을 고려한 시그마 팽창 특성 분석

2.2.1 습윤 지연에 따른 시그마 팽창 분석

대류층 지연 오차는 대류층에 영향으로 인한 신호 굴절로 인해 발생한다. 대류층 오차는 크게 건조대기와 습윤 대기에 의해 그 크기가 다르다. 습윤 대기에 의한 영향은 전체 대류층 지연 오차의 10%정도이고, 나머지 90%는 건조대기에 의한 지연이다. 하지만 습윤 대기에 의해 대류층 지연 오차의 경향이 결정되므로, 본 논문에서는 대류

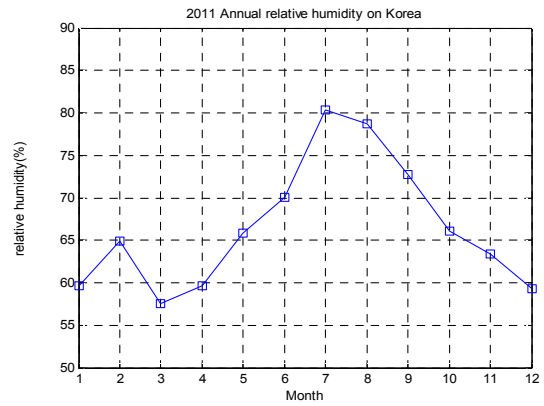


Fig. 2. 2011 Annual Relative Humidity on Korea

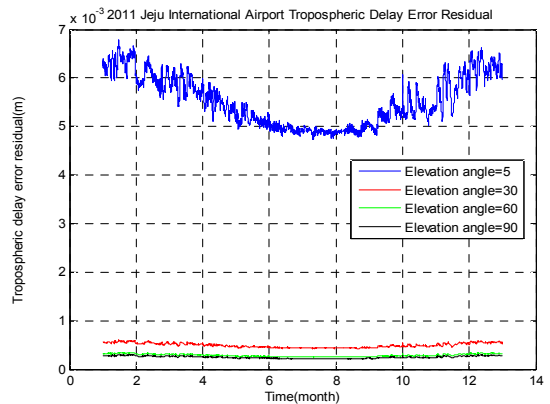


Fig. 3. 2011 Jeju International Airport Tropospheric Delay Error Residual

층 지연이 시그마 팽창에 미치는 영향을 분석 진행을 위해 실험지역의 연간 상대습도를 분석하고 데이터 수집지역의 실제 대류층 지연오차를 계산하여 GBAS CAT I의 결심고도에서의 사용자와 기준국간의 대류층 지연오차 잔차를 계산하였다. 이를 바탕으로 대류층 지연오차 잔차의 연간 변화 경향과 실험지의 습도변화를 파악하여 습윤 지연에 따른 데이터의 시그마 팽창 특성 분석을 진행하였다.

통계적으로 국내에서는 습도가 가장 높은 달은 7월이며 (80~90%) 습도가 가장 낮은 달은 1월과 4월 (30~55%)로 알려져 있다. Fig. 2는 2011년 국내지역의 연간 상대습도 평균치를 나타낸 그래프이며 Fig. 3은 2011년 제주 국제공항의 연간 대류층 지연오차 잔차 그래프를 위성양각에 따라 구분하여 나타낸 그래프이다. 상대습도 분석을 위해 사용한 데이터는 제주, 서울, 인천, 춘천, 강릉, 군산, 영주를 포함한 7곳의 기상청데이터를 사용하였다. 제주공항의 대류층 지연오차

잔차를 분석한 결과 여름철에 다가갈수록 그 크기가 감소했다가 가을에 접어들면서 다시 크기가 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 연간 제주지역의 대류권 지연 오차에 대한 습윤 지연의 경향을 파악할 수 있고 이 지표를 기준으로 습윤 지연 경향과 상대습도를 함께 고려하여 상대습도가 55%이하인 날을 건조한 날, 습도가 80%이상인 날을 습윤한 날로 지정하고 습윤 지연에 따른 시그마 팽창 분석에 사용하였다.

2.2.2 태양활동에 따른 시그마 팽창 분석

전리층의 변화는 주로 태양 활동과 밀접한 관계가 있으며, 태양 흑점 폭발이 발생하게 되면 태양 x선, 코로나 질량 방출, 고에너지 입자들이 지구에 도달 하면서 전리층을 교란 시키거나 지구 자기장을 교란 시킨다. 태양 흑점 활동은 약 11년을 주기로 증감이 반복되고 있으며, 당해년도인 2013년에 태양 흑점 활동이 극대기에 돌입했다. 전자기 신호를 사용하여 측위를 하는 GPS는 자유전자로 구성된 전리층을 통과하면서 코드와 위상 신호가 모두 굴절되어 측위에 오차가 발생하게 된다. 태양활동이 시그마 팽창에 미치는 영향을 알아보기 위해 NASA에서 제공한 태양 흑점 활동 주기와 실험지역의 연간 TEC (Total Electron Contents) 변화를 분석하였다[10]. 분석 결과 연간 태양활동 정도는 춘분과 추분점에서 가장 크고 여름과 겨울에 저조함을 확인하였다.

2.3 위성 양각을 고려한 시그마 팽창계수 모델링

위성 양각을 5° 단위로 구분하여 획득한 양각별 시그마 팽창계수를 커브 피팅 (Curve fitting)을 통해 모델링하여 각 획득한 시그마 팽창계수에 해당되는 위성 양각이 아닌 양각의 시그마 팽창계수에 대한 보간을 수행 하였다.

2.4 실험 및 분석

2.4.1 실험 환경

환경적인 요인의 분석을 위하여 제주 국제공항에 설치된 한국항공우주연구원의 GBAS Testbed에서 수집한 데이터 (Table 1)를 바탕으로 시그마 팽창에 대해 분석하였다.

Table 1. Data Collection Environment

수집 장소	제주공항 KARI GBAS 시험 기준국
수집 일시	2011년 7월 및 11월
수신기	Novatel OEM-V (3EA)
수집 시간	새벽 (2시~7시), 낮 (12시~17시)

시그마 팽창계수 산출 시 각 Sample의 독립성을 만족하기 위해 스무딩 상수 적용 후 생성되는 Sample을 200초 마다 하나씩 산출하여 사용하였고, 일별 전리층 변화 정도를 구분하기 위해 새벽과 낮 각 5시간으로 하루를 구분하여 분석을 진행하였다.

2.4.2 습윤 지연에 따른 시그마 팽창 변화 분석 결과

먼저 습윤 지연에 따른 시그마 팽창 변화를 습도와 함께 고려하여 데이터를 분석하기 위해 대류권 지연 오차 잔차가 작고 습도의 변화 때문에 습윤 지연 불확실성이 큰 2011년 6월의 수집 데이터를 가지고 시그마 팽창계수를 분석하였다. Fig. 4는 건조한 날과 습한 날의 시그마 팽창계수 비교이고, Fig. 5는 Fig. 4의 결과에 대하여 위성양각을 5°별로 구분해 시그마 팽창계수 변화를 나타낸 그래프이다.

분석결과 습윤 지연에 따른 시그마 팽창계수의 크기 변화는 미비 하였다. 하지만, 양각에 따른 시그마 팽창계수의 변화를 확인해본 결과 15° 이하의 저양각 위성에서 그 크기 변화가 급격함을 확인하였다. 위성 양각은 15°를 기준으로 저양각/고양각 위성으로 구분하였으며, 결과적으로 양각에 따른 시그마 팽창 계수의 고려가 필요함을 확인하였다.

2.4.3 태양활동에 따른 시그마 팽창 변화 분석결과

태양활동에 따른 시그마 팽창 변화 분석을 위해 전리층 총 전자수를 기준으로 태양활동이 활

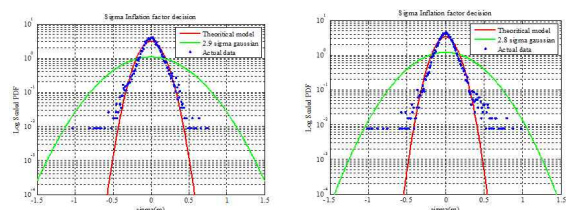


Fig. 4. Sigma Inflation at Dry Day (Left : Dawn (49.7%), Right : Dawn (82.1%))

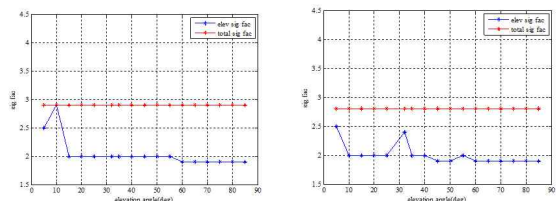


Fig. 5. Sigma Inflation Factor with Respect to Elevation Angle at Dry Day (Left : Dawn (49.7%), Right : Dawn (82.1%))

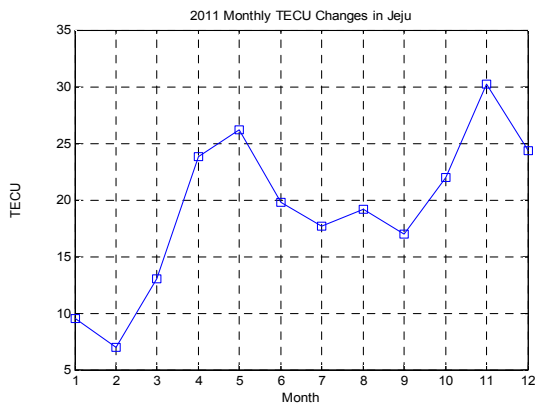


Fig. 6. 2011 Monthly TECU Changes in Jeju

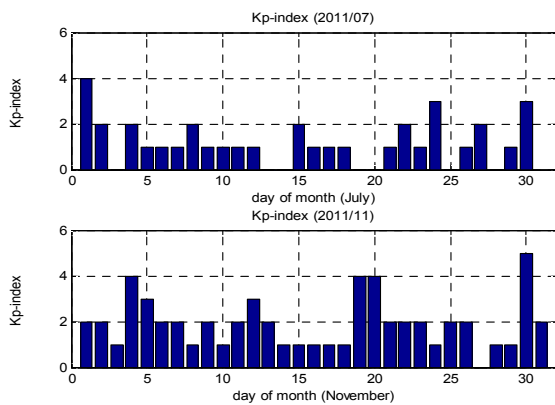


Fig. 7. 2011 Kp index (up: july down: november)

Table 2. Data Collection Information

태양 활동 저조 일시	여름철 2011년 7월 4~7일 (4일치 Data)
태양 활동 활발 일시	추분점 근처 2011년 11월 2~5일 (4일치 Data)

발한 일시와 저조한 일시를 구분하였다.

Figure 6의 제주지역 연간 전리층 총 전자수의 변화 분석 결과 준, 추분점 근처 에서 전리층 총 전자수가 가장 큰 것을 확인할 수 있었고, 알려진 태양활동 주기와 관련하여 7~8월 여름철에 전리층 총 전자수가 가장 작은 것을 알 수 있었다. 또한 Fig. 7의 Kp 인덱스 변화를 바탕으로 태양활동 정도에 따른 분석 일시를 선정하였으며 선정한 일시는 Table 2에 기재하였다.

태양활동 정도에 따른 시그마 팽창 계수 변화 분석결과 Fig. 8~11를 통해 알 수 있듯이, 연중 시기 (춘추분 > 여름)와 하루 중 시간 (낮 > 새벽)에 따라 편차가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 위성 양각을 구분하여 제안한 시그마

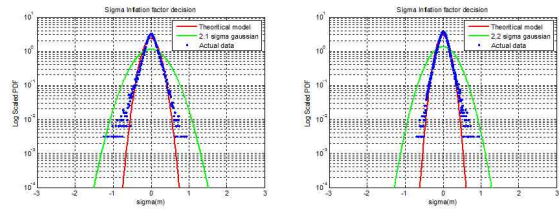


Fig. 8. Sigma Inflation at Low Solar Activity Day (Left : Dawn, Right : Noon)

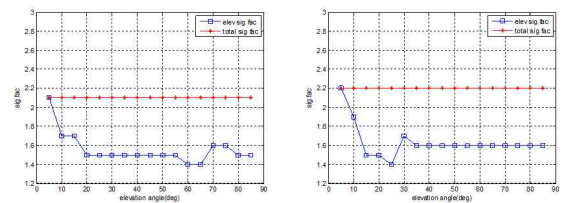


Fig. 9. Sigma Inflation Factor with Respect to Elevation Angle at Low Solar Activity Day (Left : Dawn, Right : Noon)

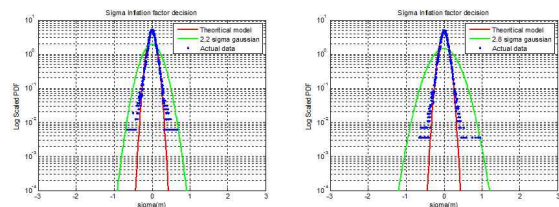


Fig. 10. Sigma Inflation at High Solar Activity Day (Left : Dawn, Right : Noon)

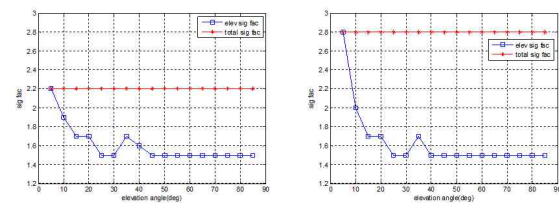


Fig. 11. Sigma Inflation Factor with Respect to Elevation Angle at High Solar Activity Day (Left : Dawn, Right : Noon)

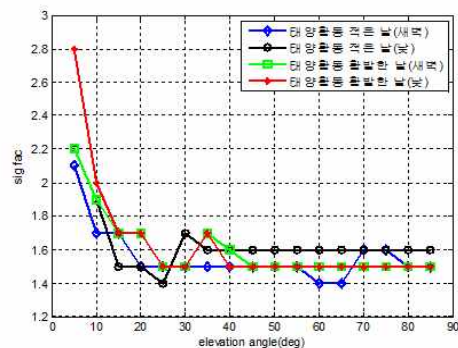


Fig. 12. Summary of Sigma Inflation Factor with respect to Solar Activity

팽창계수는 저양각 위성일수록 커짐을 확인하였다. 따라서 전체 데이터를 사용하여 산출하는 기존의 시그마 팽창계수와 달리 위성 양각 5°단위로 구분된 시그마 팽창계수는 저양각위성의 보정정보 오차를 포함하여 무결성 및 가용성을 확보할 수 있으며, 고양각 위성에서의 불필요한 시그마 팽창계수의 마진을 확보하여 가용성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 하지만 위성의 양각이 높아짐에 따라 시그마 팽창계수의 크기가 감소하는 것이 아니라 크기는 작지만 그 값이 조금 커지는 부분도 발생하는데, 이는 이론적인 샘플의 개수를 만족시키지 못했기 때문에 일어나는 현상으로 판단된다. 일반적으로 CAT-II/III의 H0 가설하의 무결성 위험은 1.2×10^{-10} 에 해당하며 이를 만족하기 위해서는 10^{10} 개의 이론적인 샘플이 필요하지만, 물리적으로 이 개수의 샘플을 만족시키는 것은 불가능하다. 이러한 점을 고려하여 앞서 분석한 위성 양각에 따른 보정정보 오차 모델을 통해 봤을 때, 분석하는 샘플의 개수가 늘어날수록 저양각 위성에서는 시그마 팽창계수의 크기가 크고, 고양각 위성으로 갈수록 시그마 팽창계수의 크기가 작아지는 경향이 더욱 뚜렷해 질 것으로 판단된다[7].

위성양각에 따라 산출한 시그마 팽창계수는 지수함수의 커브 피팅을 사용하여 모델링을 진행하였다. 또한 가용성 분석을 위해 수직방향 보호수준에 커브 피팅을 통해 함수화한 시그마 팽창계수를 적용하여 실제 수직 방향 오차와 비교하였으며, 실험 분석을 위한 보호수준을 계산하기 위해 PDM (Position Domain Monitoring) 기법을 적용하고 대립가설 (H1)의 보호수준을 계산하였다. PDM 기법에서는 이동국과 지상국의 위치가 매우 가깝기 때문에 거리를 무시하고, 이동국이 지상국과 같은 지상에 있기 때문에 항공기 오차 모델, 대류층 및 전리층 오차모델을 지상국 모델로 대체하여 사용한다[7-8]. 기존의 GBAS 수직방향 보호수준의 계산식과 PDM 기법을 적용하여 변형한 H1가설의 수직방향 보호수준 (Vertical Protection Level)의 계산식은 아래와 같다.

$$VPL_{H1} = |B_{z,m}| + K_{md} \sqrt{\sum_{n=1}^N S_{vertical,n}^2 [\sigma_{air,n}^2 + \sigma_{tropo,n}^2 + \sigma_{iono,n}^2 + (f_{\infty} \sigma_{pr-ground})^2]} \quad (1)$$

$$VPL_{H1} = |B_{z,m}| + K_{md} \sqrt{\sum_{n=1}^N S_{vertical,n}^2 [3(f_{\infty} \sigma_{pr-ground,n})^2 + (f_{\infty} \sigma_{pr-ground,n})^2]} \quad (2)$$

$$G = \begin{bmatrix} -\cos El_1(k) \cos Az_1(k) & -\cos El_1(k) \sin Az_1(k) & -\sin El_1(k) & 1 \\ -\cos El_2(k) \cos Az_2(k) & -\cos El_2(k) \sin Az_2(k) & -\sin El_2(k) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -\cos El_N(k) \cos Az_N(k) & -\cos El_N(k) \sin Az_N(k) & -\sin El_N(k) & 1 \end{bmatrix}$$

$$W^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_N^2 \end{bmatrix}$$

- K_{ffmd} : H0가설확률마진상수
- $S_{vertical,n}^2$: 투영(Projection)행렬
- σ_n^2 : 오차성분분산모델
- El_n : 위성양각(degree)
- Az_n : 위성방위각(degree)
- N : 가시위성개수
- W : 측정값오차가중치행렬
- G : 위성LOS(LineofSight)행렬

위 식 (2)를 바탕으로 Table 2에서 정한 실험일의 데이터를 새벽과 낮으로 구분하여 지수함수를 통해 모델링 한 결과는 아래와 같다. 아래 식 (3)~(6)은 Fig. 13에 대한 모델링 함수를 나타내며, 차례대로 태양활동이 저조한 날의 새벽, 낮, 태양활동이 활발한 날의 새벽, 낮 데이터의 함수이다.

$$f(x) = 1.31 \exp^{-0.1466x} + 1.453 \quad (3)$$

$$f(x) = 1.985 \exp^{-0.2052x} + 1.506 \quad (4)$$

$$f(x) = 1.256 \exp^{-0.1401x} + 1.587 \quad (5)$$

$$f(x) = 3.427 \exp^{-0.2063x} + 1.582 \quad (6)$$

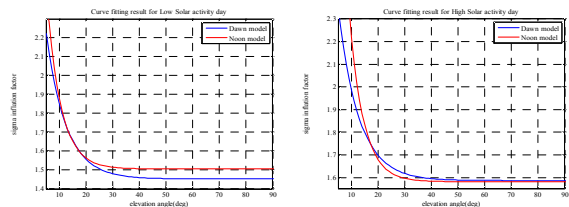


Fig. 13. Exponential Curve Fitting Model (left: Low Solar Activity Day (2011.07.04.~07) right: High Solar Activity Day(2011.11.02.~05))

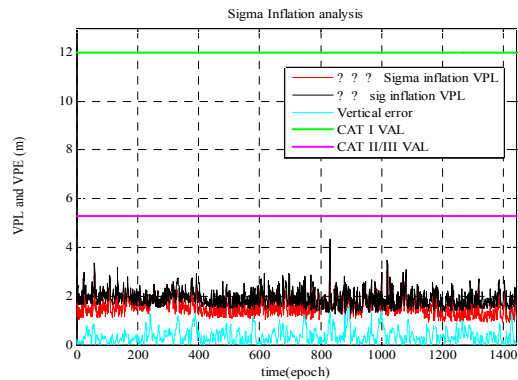


Fig. 14. Sigma Inflation Analysis

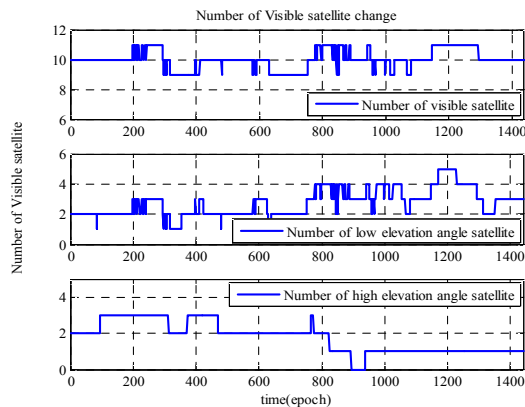


Fig. 15. Number of Visible Satellites (Visible/Low Elevation/High elevation)

Figure 14는 기존 시그마 팽창 계수와 위성 양각을 고려한 시그마 팽창계수가 Fig. 15에서 보여주는 가시위성 중 고양각 위성의 비율이 높을 때 더욱 큰 차이가 나 가용성의 기존의 방법에 비해 가용성이 향상된 것을 나타낸 그래프이다.

결과적으로 위성 양각에 따른 시그마 팽창 계수의 성능 분석을 위해 모델링한 시그마 팽창계수를 수직방향 보호수준에 적용한 결과 기존 시그마 팽창 방식을 적용하여 산출한 시그마 팽창계수와 비교하여 위성 양각을 고려한 시그마 팽창계수를 적용한 수직방향 보호수준은 가시위성 중 저양각 위성의 비율의 큰 경우에는 기존의 시그마 팽창계수와 비슷한 가용성을 나타냈으며, 가시위성 중 고양각 위성이 많은 경우 기존 방법과 비교하여 무결성은 똑같이 만족하며 시그마 팽창계수 마진의 감소를 통한 가용성은 향상됨을 확인할 수 있었다.

III. 결 론

본 연구에서는 습윤 지연과 태양활동에 따른 시그마 팽창 변화를 위성 양각에 따라 분석하였다.

습윤 지연에 따른 시그마 팽창계수의 변화는 습도와 함께 고려하여 건조한 날과 습한 날의 크기 차이가 미미 하였으나, 위성 양각을 고려한 시그마 팽창계수의 고려가 필요함을 확인하였다. 또한 태양활동에 따른 시그마 팽창 변화는 하루 중 전리층 지연량이 작은 새벽시간 (02~07시)이 전리층 지연이 상대적으로 큰 낮 시간 (12~17시)에 비해 시그마 팽창계수가 작음을 알 수 있었다. 더불어 연간 태양활동이 활발한 시기 일수록 전체적인 시그마 팽창계수의 크기가 증가하였고,

습도와 마찬가지로 저 양각일수록 시그마 팽창계수가 증가함을 확인하였다.

결과적으로 구분된 양각별로 산출한 시그마 팽창계수를 커브피팅을 통해 모델링해 수직방향 보호수준에 적용해 보았을 때 기존 시그마 팽창계수의 크기를 좌우하는 것은 주로 저양각 위성이며 기존 시그마 팽창 방법과 달리 위성 양각을 구분하여 시그마 팽창계수를 산출하면 고양각 위성에서의 불필요한 마진을 줄일 수 있었다. 따라서 양각을 구분하여 시그마 팽창을 산출한다면 GBAS의 무결성은 만족시키며, 기존 시그마 팽창에 비해 가용성을 향상시킬 수 있다.

후 기

본 논문은 국토교통부 항공용 위성항행 통신 기술 개발 사업 (10항공-항행01)의 연구비 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- 1) B. Pervan, S. Pullen and I. Sayim, "Sigma Estimation, Inflation and Monitoring In the LAAS Ground System", *Proceeding of ION GPS*, Salt Lake City, UT, Sept. 19~22, 2000.
- 2) B. Pervan, I. Sayim, "Sigma Inflation for the Local Area Augmentation of GPS", *IEEE Transaction on aerospace and electronic system*, Vol. 37, No. 4, 2001
- 3) J. Rife, S. Pullen and B. pervan, "Core Overbounding and its Implivation fot LAAS Integrity", *Proceeding of ION GNSS 2004*, Long Beach, CA, Sept. 21~24, 2004
- 4) M. Luo, et. al, "LAAS Ionosphere Spatial Gradient Threat Model and Impact of LGF and Airborne Monitoring", *Institute of Navigation's GPS/GNSS Meeting*, Portlanf, Oregon, USA, Sept. 2003.
- 5) H. Konno, S. Pullen, M. Lue, and P. Enge, "Analysis of Ionosphere Gradient Using Japan GEONET data", *Institute of Navigation Naticanl Technical Meeting*, San Diego, CA, Jan. 2005.
- 6) Jung Rae Kim, Tea Young Yang, Young Jae Lee, Hyang-Sig Jun, Ki Wook Nam, "Preliminary Study of Ionosphere for Global Navigation Satellite Systems", *Journal of the*

Korean Society for Aviation and Aeronautics, Vol.14, No.1, March, 2006, pp 55~62.

7) Jiyun Lee, "GPS-Based Aircraft Landing System with Enhanced Performance: Beyond Accuracy", Ph.D. dissertation, Stanford University, 2005.

8) Jiyun Lee, S. Pullen, "Sigma Overbounding using a Position Domain Method for the Local Area Augmentation of GPS", *IEEE*, June, 16th, 2008.

9) Hyang-Sig Jun, "study on improving GBAS performance and reliability using the analysis of regional environmental factors", Ph.D. dissertation, Busan University, 2010.

10) Sun Jun No, Junghui Han, Jaehyeon Kwon, "Efficiency Analysis of Solar Flare Monitoring Using GPS Measurements", The Korean Association of Geographic Information Studies 2012 Autumn Conference, November, 8th, 2012.