

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(4), 310-317(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.4.310

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

GPS 궤도오차의 기저선 거리에 따른 시선각 벡터 투영오차 분석

장진혁*, 안종선*, 부성춘***, 이철수***, 정상경*, 이영재**

Analysis on Line-Of-Sight (LOS) Vector Projection Errors according to the Baseline Distance of GPS Orbit Errors

JinHyeok Jang*, JongSun Ahn*, Sung-Chun Bu***, Chul-Soo Lee***,
SangKyung Sung* and Young Jae Lee**
Konkuk University* , ** , LIG Nex1***

ABSTRACT

Recently, many nations are operating and developing Global Navigation Satellite System (GNSS). Also, Satellite Based Augmentation System (SBAS), which uses the geostationary orbit, is operated presently in order to improve the performance of GNSS. The most widely-used SBAS is Wide Area Augmentation System (WAAS) of GPS developed by the United States. SBAS uses various algorithms to offer guaranteed accuracy, availability, continuity and integrity to its users. There is algorithm for guarantees the integrity of the satellite. This algorithm calculates the satellite errors, generates the correction and provides it to the users. The satellite orbit errors are calculated in three-dimensional space in this step. The reference placement is crucial for this three-dimensional calculation of satellite orbit errors. The wider the reference placement becomes, the wider LOS vectors spread, so the more the accuracy improves. For the next step, the regional features of the US and Korea need to be analyzed. Korea has a very narrow geographic features compared to the US. Hence, there may be a problem if the three-dimensional space method of satellite orbit error calculation is used without any modification. This paper suggests a method which uses scalar values to calculate satellite orbit errors instead of using three-dimensional space. Also, this paper proposes the feasibility for this method for a narrow area. The suggested method uses the scalar value, which is a projection of orbit errors on the LOS vector between a reference and a satellite. This method confirms the change in errors according to the baseline distance between Korea and America. The difference in the error change is compared to present the feasibility of the proposed method.

초 록

오늘날 다양한 나라에서 위성항법시스템을 운용, 개발하고 있다. 또한 GNSS의 성능향상을 위해 정지궤도위성을 이용하는 SBAS가 운용 중에 있다. 가장 대표적으로 사용되는 SBAS는 미국에서 개발한 GPS의 WAAS이다. SBAS에서는 사용자에게 정확성, 가용성, 연속성, 무결성을 보장하기 위해 다양한 알고리즘이 사용되고 있다. 이 중 위성에 대한 무결성

† Received : October 10, 2016 Revised : March 22, 2017 Accepted : March 29, 2017

** Corresponding author, E-mail : younglee@konkuk.ac.kr

을 보장하기 위한 알고리즘이 있다. 이 알고리즘은 위성오차를 추정하고 보정정보를 생성하여 사용자에게 제공한다. 여기서 위성궤도오차를 3차원으로 추정하게 된다. 이렇게 위성궤도오차를 3차원으로 추정하기 위해서는 기준국 배치가 중요하게 된다. 기준국의 배치가 넓을수록 시선각 벡터가 넓게 분포되어 추정 정확도가 향상될 수 있다. 여기서 대표적 SBAS 운영국인 미국과 한국의 지역적 특성으로 인한 분석을 수행하고자 한다. 한국은 미국에 비해 매우 협소한 지리적 특성을 가지고 있다. 따라서 3차원 위성궤도오차 추정 기법을 그대로 사용하기 어렵다. 본 논문에서는 협역지역에서 위성궤도오차를 3차원으로 추정하는 것이 아닌 스칼라로 값으로 사용하는 방식을 제안한다. 제안하는 기법은 기준국 (Reference)과 위성간의 시선각 (LOS, Line-Of-Sight) 벡터에 궤도오차를 투영한 스칼라 값을 이용하는 것이다. 이 방식을 이용하여 정상상태, 고장상태의 한국과 미국지역에서 기저선 거리에 따른 오차 변화를 확인하도록 한다. 이 오차변화 차이를 비교하여 제안하는 기법의 사용 가능성을 제시한다.

Key Words : SBAS (위성기반보정시스템), Satellite Orbit Error (위성궤도오차), Narrow Area (협역지역)

1. 서론

미국의 위성항법시스템인 GPS는 전 세계적으로 다양한 분야에 사용되고 있다. 또한 더 정확한 위성항법 정보를 제공하기 위해 GEO 위성을 이용한 보강시스템인 SBAS를 운용하고 있다. 이 시스템은 미국에서 개발한 WAAS이다. WAAS는 미국에 넓게 분포되어 있는 기준국을 이용하여 데이터를 수집, 처리한 후 GEO위성을 통해 사용자에게 보정정보를 제공한다[1]. WAAS는 현재 정상적으로 운용중인 SBAS로 가장 안정적인 서비스를 제공 중이다.

위성항법시스템의 중요성이 증가됨에 따라 다른 국가들에서도 위성항법시스템을 개발하고 운용 중에 있다. 또한 다른 국가들에서도 WAAS와 같이 더 정확한 위성항법정보를 얻기 위해 SBAS를 개발, 운용하고 있다. 아래 그림과 같이 유럽, 인도, 일본 등에서 SBAS를 운용하고자 하고 있다.

이런 세계적 흐름에 따라 한국에서도 위성항법시스템에 대한 연구와 SBAS에 대한 연구가

진행 중에 있다. 특히 한국형 SBAS인 KASS (Korea Augmentation Satellite System)도 연구 중에 있다. KASS에 대한 연구는 2019년까지 항공기를 제외한 분야에 정보를 제공하고 2022년까지 국내 공역을 비행하는 항공기에 정보를 제공하고자 하는 목표로 진행 중에 있다. 이렇게 KASS가 개발 될 경우 세계에서 7번째 SBAS 보유국이 될 것을 예상되고 있다[3].

KASS 개발을 위해 현재 가장 완성도가 높은 SBAS인 WAAS에 대한 선행 연구가 필요하다. 이때 미국과 한국의 지역적 차이를 먼저 살펴볼 필요가 있다. 두 지역적 차이 중 큰 부분을 차지하는 것이 국토의 면적차이가 될 수 있다. 미국 국토의 면적은 약 9,857,000 km²이고 한국의 면적은 약 100,210 km²이다. 미국에 비해 한국의 면적은 1% 정도이다. 이렇듯 한국과 미국의 국토 면적의 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다.

이런 지역적 분포에 영향이 있는 WAAS의 알고리즘들은 한국에 적용할 때 추가적인 분석이 필요하다. 이 중 위성궤도오차에 대한 추정은 지상 기준국의 배치 분포가 중요하다. 미국은 넓은 국토에 기준국을 배치시켜 기저선의 충분한 거리를 유지할 수 있지만 한국은 협역 지역의 한계로 기준국 배치를 넓게 만들 수 없다. 따라서 WAAS의 위성궤도오차를 추정하기 위한 기법의 한국지역 적용에 대하여 추가적 분석이 필요하다. 본 논문에서는 국외지역인 미국과 국내지역인 한반도에서 기저선 크기에 따른 위성궤도오차의 영향차이를 분석하였다. 이때 정상상태와 위성고장이 포함되어 있는 상태 모두 분석을 수행하였다. 이 분석의 결과로 협역지역에서는 위성



Fig. 1. World SBAS Operation Status [2]

궤도오차를 3차원 궤도로 추정 (WAAS추정 기법)하여 보정정보를 생성 할 필요 없이 시선각 벡터에 투영된 오차를 보정정보로 제공 할 수 있는 가능성을 제시한다.

본 논문은 아래와 같이 구성되어 있다. 먼저 진행하고자 하는 기법의 개념에 대하여 설명한다. 그 후 결과로 나타내고 하는 값에 대한 간단한 설명과 방법에 대하여 제시하도록 한다. 이후 제시하고자 하는 방법에 대하여 한국과 미국 지역의 동일한 시점의 데이터를 이용하여 결과를 보이고 정리하도록 한다.

II. 본 론

2.1 개요

Figure 2는 본 논문에서 수행하고자 하는 방법의 개념도이다. 먼저 위성궤도오차에 대하여 정의한다. 위성궤도오차는 실제 위성이 위치하고 있는 궤도와 GPS에서 제공하고 있는 방송궤도력으로 구해진 궤도와 의 차이를 의미한다. 이 차이를 알고리즘을 통해 추정하고 이를 보정정보로 생성하여 사용자에게 전달해 정확도를 향상시키는 것이 UDRE 알고리즘의 주요한 역할이 된다. 이를 WAAS에서는 광역기준국을 이용해 의사거리의 다른 오차들을 제거한 거리 값을 조합하여 3차원으로 위성의 궤도 오차를 추정한다. 이렇게 추정된 오차로 보정정보를 생성하고 사용자에게 제공하고 있다[4, 5, 6]. 하지만 이를 올바르게 수행하기 위해서는 넓은 기준국 분포가 필요로 한다. 한국 지역은 기준국의 분포를 넓게 가질 수 없기 때문에 이 WAAS의 알고리즘을 그대로 적용하기 힘들다. 이 어려움을 해결하기 위해 한국과 같은 협역지역에서는 기저선 거리에 따른 거리오차 (이후 시선각 벡터 투영오차로 표기)의 차이

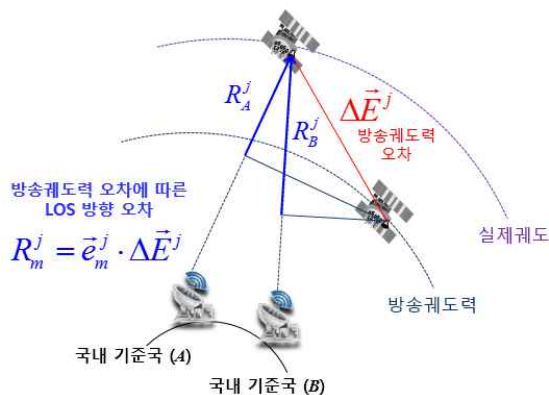


Fig. 2. Algorithm Concept

를 분석하였다. 이 분석결과로 협역지역인 한국에서 위성궤도오차를 시선각 벡터 (LOS, Line of Sight)에 투영한 스칼라 값으로 사용할 수 있다는 것을 제시하도록 한다.

가능성을 확인하기 위해 아래와 같은 요소들을 분석해 보았다. 먼저 기저선 거리에 따라 시선각 벡터의 유사성을 확인하도록 하였다. 이때 벡터의 유사성을 파악하기 위해 내적을 이용하였다. 다음은 기저선 거리에 따라 시선각 벡터에 투영된 스칼라 오차의 차이를 확인해 보았다. 또한 이 시선각 벡터에 투영된 오차가 실제 사용하는 사용자의 입장에서 오차 크기를 확인하기 위해 수평 위치오차, 수직위치 오차에 대하여 분석을 수행하였다.

2.2 분석 요소

2.2.1 내적

시선각 벡터는 각 위성과 기준국 사이의 방향을 나타내는 단위벡터이다. 따라서 한 위성에서 두 기준국까지의 벡터의 방향은 달라진다. 기준국의 기저선이 길어질수록 두 시선각 벡터가 달라질 것이다. 내적을 통해 두 시선각 벡터의 유사성을 파악하도록 하였다

시선각 벡터의 크기는 모두 1로 동일하다. 그렇다면 두 시선각 벡터의 내적은 벡터의 끼인각으로 결정 난다.

$$\vec{e}_A \cdot \vec{e}_B = \|\vec{e}_A\| \|\vec{e}_B\| \cos\theta \quad (1)$$

두 벡터가 유사하면 할수록 내적의 결과는 1에 가까워 질 것이다. 이를 통해 기준점으로부터 기저선 거리에 따라 벡터의 유사성을 확인하도록 한다.

2.2.2 시선각 벡터 투영 오차

본 논문에서 제안하고자 하는 위성궤도오차를 표현하는 수치이다. 먼저 위성궤도오차를 정의한다. 일반적으로 GPS 위성의 정보를 얻기 위해서는 2시간마다 업데이트가 되는 항법메시지를 이용한다. 항법메시지 안의 파라미터들을 이용매 순간의 위성의 위치를 알 수 있다. 하지만 이는 미리 계산되어진 궤도의 정보를 간단한 수치로 표현된 것으로 현재 정확한 궤도를 표현하지 못한다. 보통 항법메시지를 통한 궤도오차는 1m 이내의 수준을 보이고 있다.

위성 실제 위치와 방송궤도력으로 구한 위성 좌표의 차이를 위성궤도오차로 가정하도록 한다. 이 오차를 시선각 벡터에 투영한 오차가 수식

(2)와 같이 계산될 수 있다.

$$\Delta R_m^j = e_m^j \cdot \Delta \vec{E}^j \quad (2)$$

위성궤도오차는 Fig. 2에서 보는 것과 같이 다른 시선각 벡터에 투영이 될 경우 다른 크기를 나타내게 된다. 하지만 시선각 벡터가 유사할 경우 유사한 값을 나타낼 것이다.

앞서 언급한 것처럼 기준국 배치가 넓게 분포될 수 있는 광역지역에서는 위성궤도오차를 추정하기 위해 3차원으로 추정하여도 충분한 정확도를 얻을 수 있다. 하지만 협역지역은 기준국의 분포가 조밀해진다. 이는 위성의 위치를 추정하고자 하는 방식에서 기준국들의 DOP이 좋지 않아진다고 볼 수 있다. 이는 다시 말하면 시선각 벡터가 유사해지고 일반적으로 이용되는 최소자승법에서 관측행렬의 성능이 안 좋아진다. 이 때문에 3차원으로 위성궤도오차를 추정할 경우 정확도가 저감될 수 있다[4]. 이 문제를 역으로 생각해보면 협역지역에서는 시선각 벡터 투영오차의 크기의 차이는 작다. 이를 이용하여 투영된 오차의 차이가 크지 않기 때문에 이 값을 보정정보로 이용하여도 큰 문제가 없을 것으로 예상된다. 이를 이후 실제 데이터를 기반으로한 시뮬레이션에 이용해 분석해 보았다. 또한 이 시선각 벡터 투영오차의 크기에 따라 수평위치오차, 수직위치오차의 차이를 분석하여 사용자 입장에서 발생할 수 있는 오차 수준을 확인해 보겠다.

2.2.3 수평, 수직 위치오차

2.2.2절까지 구한 시선각 벡터 투영오차를 이용해 수평, 수직 위치오차를 구하여 사용자 입장에서 오차 수준을 파악해 보았다.

$$\Delta X = (H^T H)^{-1} H^T \Delta R_{AB} \quad (3)$$

$$\Delta R_{AB} = \begin{bmatrix} \Delta R_A^1 - \Delta R_B^1 \\ \Delta R_A^2 - \Delta R_B^2 \\ \vdots \\ \Delta R_A^j - \Delta R_B^j \end{bmatrix} \quad (4)$$

위 수식에서 H 는 가시위성들에 대한 관측행렬을 나타내고 있다. ΔR_{AB} 은 기준위치에서 발생한 오차와 비교위치에서 발생한 오차의 차다. 따라서 기준위치에서 비교위치 사이의 위성오차로 발생하는 시선각 벡터의 크기를 의미한다. 또한 가시위성에서 발생하는 값을 벡터화 시킨 값이다. 위와 같은 이유로 기준위치에서의 관측행

렬 H 를 그대로 이용하여도 무방하다. 이 결과를 수평에 관한 값과 수직에 관한 값으로 나누어 결과를 나타내었다.

2.3 결과 분석

2.3.1 분석 데이터

2.2절에서 언급한 요소들을 구현하기 위한 실제 데이터들을 사용하였다. 먼저 IGS와 방송궤도력의 정보를 이용하여 실제 발생하고 있는 위성오차를 이용하여 분석을 실시하였다. 실제 위성의 위치는 IGS의 Final Products를 사용하였고 방송궤도력 정보는 국토지리정보원의 RINEX Navigation 정보를 사용하였다. IGS Final Products는 2~18일 이후 FTP를 이용해 제공되고 정확성은 2.5cm 이내이다.

사용 데이터 기간은 2011년 2월 13일 ~ 2011년 2월 19일 (1주일)이다. IGS Final Products의 데이터 주기가 15분이므로 충분한 수의 샘플을 위해 1주일 동안의 데이터를 사용하였다. 또한 정상상태와 고장위성이 포함된 결과를 모두 확인하기 위해 고장이 있는 기간을 선택하였다. 고장은 2월 15일 16:00 ~ 23:45 동안 PRN 21위성에 포함되어 있다. 고장의 크기는 Fig. 3과 같이 각 축별로 점점 커져 약 1,000m 정도까지 증가하는 경향을 보였다.

이 위성이 고장 난 상황은 미국 상공에서 위성이 가시되는 상황이다. 따라서 미국에서의 정상상태에서는 본 PRN을 제외하고 분석을 수행하였고 한국지역에서는 가시되는 상황이 아니기 때문에 별다른 프로세스를 진행하지 않았다. 한국지역에서 고장상황 시뮬레이션은 미국에서 동일한 시점인 2월 15일 16:00 ~ 23:45에 적용하였고 본 시점에 비슷한 양상을 나타내고 있는 PRN 19에 고장을 설정하였다. 이렇게 상황을 최대한 동일하게

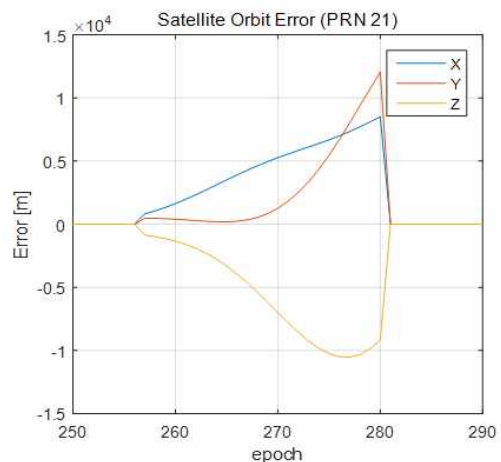


Fig. 3. Satellite Orbit Error

적용하여 분석하였다. 또한 본 논문에서는 위성계도오차에 관한 영향분석만을 수행하고 있기 때문에 다른 오차의 영향은 배제한 상태이다.

2.2절에서 설명한 각 요소를 기저선 거리에 따른 차이로 분석을 수행하고 있다. 따라서 기준위치와 위도, 경도 변화에 따른 비교위치를 결정하고 4가지 요소를 비교하였다. 본 논문에서는 한국과 미국지역에 대한 비교분석을 수행하고 있으므로 두 지역의 중간을 나타낼 수 있는 기준국을 기준위치로 사용하였다. 또한 두 기준국 모두 IGS

기준국으로 선정하였다. 한국은 수원 (SUWN) 기준국, 미국은 국립표준기술연구원 (NIST) 기준국을 기준위치로 선정하였다. 기준위치는 결과 그래프에서 X표시로 위치를 표현하였다.

다음으로는 비교 범위 설정에 대하여 설명하도록 한다. 한국지역은 수원 기준국을 기준으로 하고 위도는 북위 31도~43도, 경도는 동경 121도~133도의 범위를 비교하였다. Grid의 해상도는 위도, 경도 모두 0.5도로 수행하였다. 미국은 국립표준기술연구원을 중심으로 위도는 북위 25도~55도이고 경도는 서경 145도~65도이다. Grid의 해상도는 한국과 동일하게 0.5도로 설정하였다.

각 요소에 대하여 Color map을 통한 Contour로 표현하였다. 또한 각 요소를 한국, 미국으로 비교하며 분석을 수행하였다. 분석은 일주일 동안의 수치를 2 Sigma로 나타내었다.

2.3.2 내적

내적은 수식 (1)로 계산되는 값으로 물리적 단위를 가지지 않고 수치가 작을수록 두 시선각 벡터의 유사성이 떨어진다. Fig. 4의 결과를 보면 전체적인 수치의 변화가 크지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 위성의 고도에 비하여 지표면 상에서의 거리가 매우 작은 수치이므로 기저선이 길게 되어도 내적의 차이가 크게 나지 않는다. 절대적인 수치적 비교를 무의미하지만 지역에 따른 상대적 크기 비교는 가능하다. 또한 내적은 고장의 상황과는 무관한 값이다.

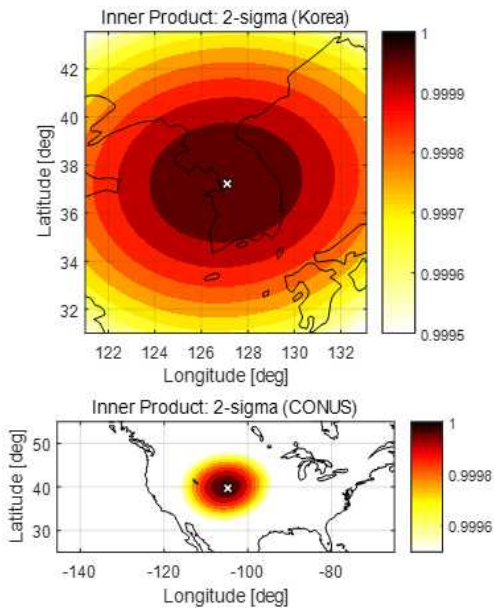


Fig. 4. Inner Product (Normal)

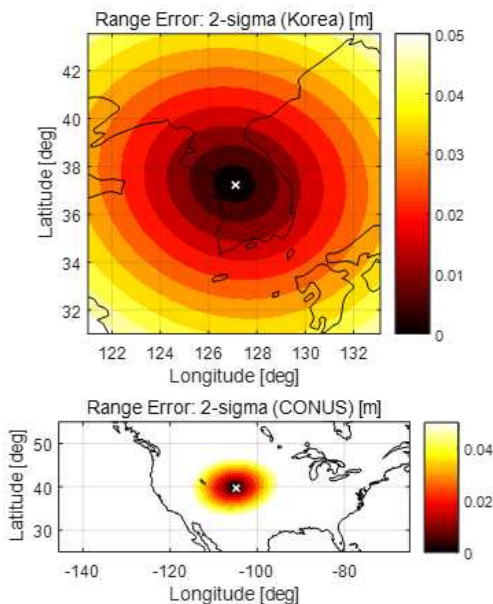


Fig. 5. Range Error (Normal)

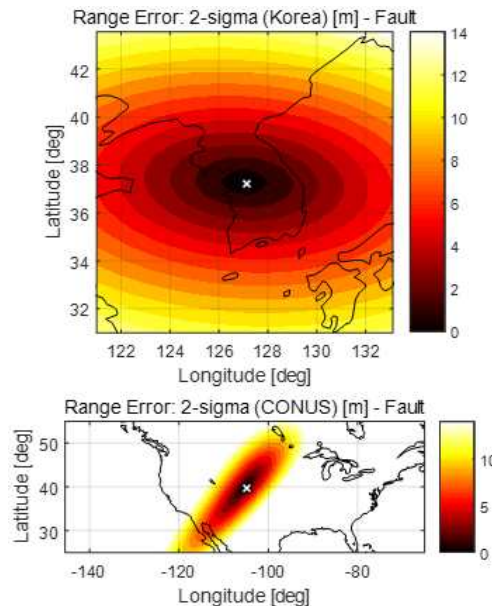


Fig. 6. Range Error (Fault)

2.3.3 시선각 벡터 투영 오차

기준위치로부터 지정된 지점까지 시선각 벡터에 투영된 오차의 차이를 보이고 있다. 수식 (2)를 적용해 나타낸 Fig. 5, 6를 보면 예상한 결과처럼 기저선 거리에 따른 시선각 벡터 투영오차가 미국지역에 비해 한국지역이 작은 것을 확인할 수 있다. 정상상태, 고장상태 모두 한국지역에서 크기가 미국지역에 비해 작다.

2.3.4 수평 위치오차

시선각 벡터 투영오차 차이로 발생하는 수평

오차의 차이 비교를 수행하였다. 시선각 벡터 투영 오차에서 나타난 크기차이에 따라 수평위치오차도 차이가 발생하게 된다. 앞선 결과같이 Fig. 7, 8에서 보이는 것처럼 정상상태, 고장상태 모두 한국지역의 오차가 더 작다. 수평 위치오차와 수직위치오차를 나타내기 위해 수식 (3)을 이용하였다.

2.3.5 수직 위치오차

수평위치오차에 이어 수직위치오차도 Fig. 9, 10 결과로 확인해 보았다. 수평위치오차보다는 작은 차이를 보인다. 실제 GPS를 이용할 경우 수직오

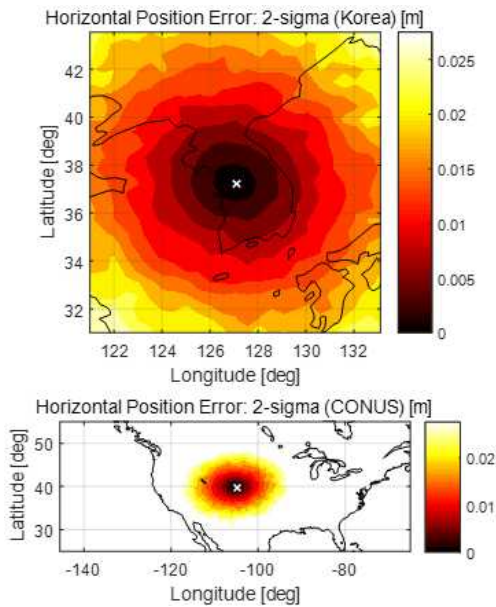


Fig. 7. Horizontal Position Error (Normal)

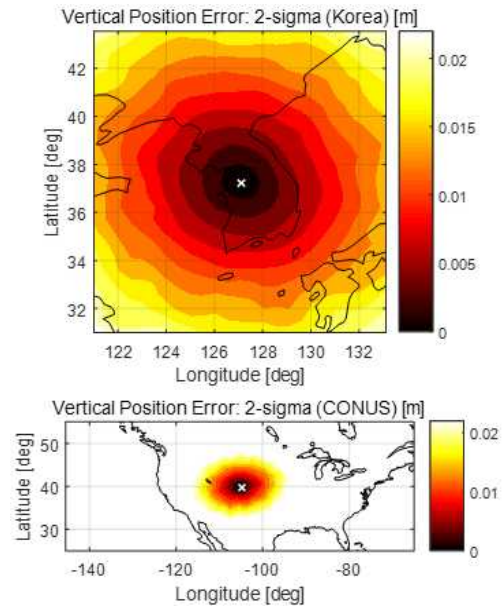


Fig. 9. Vertical Position Error (Normal)

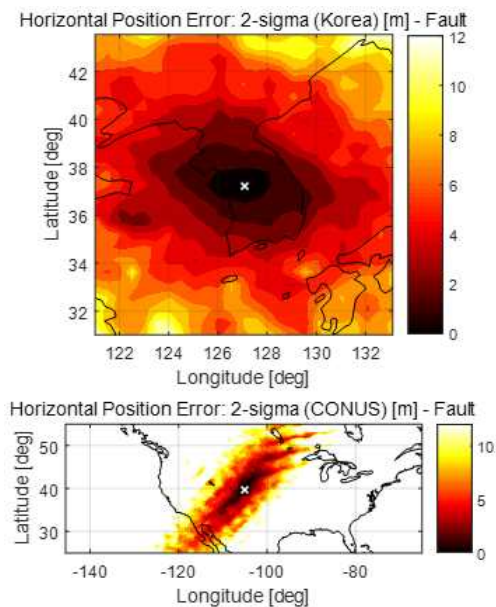


Fig. 8. Horizontal Position Error (Fault)

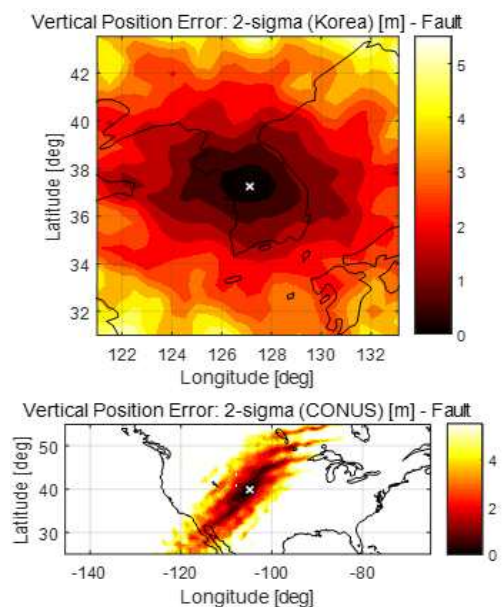


Fig. 10. Vertical Position Error (Fault)

차의 크기가 더 큰 결과를 가지겠지만 본 논문에서는 기저선 거리에 따른 오차의 차이를 비교하고 있는 것이다. 또한 다른 오차요인은 배제하고 위성궤도오차만을 고려하고 있다. 이에 따라 수평오차와의 크기가 다르게 적용될 수 있다.

2.3.6 최대 오차 분석

지금까지는 각 요소의 평균적 차이 값을 나타내었다. 추가적으로 정상상태에서 수평위치오차의 최대 오차에 따른 분석 결과를 나타내었다. 본 논문에서 분석하고자 하는 것은 위성의 오차 크기 따라 다른 결과를 나타낸다. 그에 따라 한 경우를 나타내고 있는 고장상태에 대한 분석은 포함시키지 않았다. Fig 11에서 확인할 수 있듯이 정상상태에서의 최대 위치 오차를 나타내는 부분에서도 cm 수준의 작은 결과를 나타내고 있다. 이 결과 수식 (3)을 이용하여 수행되었다.

2.3.7 특정위치 (기저선 길이)에 따른 결과 비교

지금까지 Contour를 이용한 결과를 나타내었다. 이 결과로 한국지역과 미국지역에서 정상상태, 고장상태의 각 요소별 크기를 대략적으로 비교할 수 있다. 본 절에서는 각 지역에서 기준 위치와 먼 위치를 정하고 이 위치들에서의 결과를 정량적으로 나타낸다. 이를 이용해 기저선 거리에 따른 각 요소의 크기차이를 비교해본다.

Table 1. Error for baseline distance

기준위치	한 국 (수원)				미 국 (국립표준기술연구원)	
	제주 (약 410km)		함경북도 (약 640km)		마이애미 (약 2600km)	
지점위치 (기저선 거리)	정상상태	고장상태	정상상태	고장상태	정상상태	고장상태
시선각 벡터 투영오차	0.0264m	7.819m	0.0360m	10.87m	0.1752m	84.01m
수평위치 오차	0.0123m	8.223m	0.0173m	9.055m	0.0750m	63.89m
수직위치 오차	0.0120m	2.540m	0.0144m	3.372m	0.0677m	28.48m

설정하고자 하는 위치는 아래에 설명하는 것과 같다. 한국에서는 수원으로부터 남한과 북한의 국토 내 최대 Baseline 지점을 선택하였다. 미국에는 본토 지점 중 가장 긴 기저선을 가지는 위치로 지점을 선정하였다. 한국은 제주와 함경북도가 지정한 위치가 되었고 미국은 마이애미 지역으로 선정하였다. 기준위치에서 각 기준위치까지의 기저선은 제주: 약 410 km, 함경북도: 약 640 km, 마이애미: 약 2600 km이다. 이에 따른 요소별 결과는 Table 1로 정리해 두었다.

기저선의 길이는 제주, 함경북도, 마이애미 순서로 증가하는 것을 볼 수 있다. 예상한 것과 같이 기저선 증가에 따라 오차가 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

III. 결 론

한국지역과 미국지역은 국토 면적 차이가 크다. 이에 따라 기저선의 길이 또한 차이가 나게 된다. 기저선 차이의 따른 위성궤도오차 크기차이를 몇 가지 요소를 통해 분석해 보았다. 기저선의 길이 차이가 매우 큰 것에 따라 각 요소의 오차도 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 정상상태는 절대적인 크기차이는 적지만 기저선 거리에 따라 차이가 발생하고 있는 것을 볼 수 있다. 절대적인 크기가 작은 이유는 위성궤도오차 크기가 크지 않고 이 오차가 시선각 벡터에 투영되게 된다. 이렇게 시선각 벡터에 투영된 오차를 기저선 크기에 따라 비교하여 나타낸 값이므로 절대적 수치는 작다. 하지만 고장이 발생할 경우 수치적 비교를 해볼 필요가 있다. 한 위성의 고장이 발생함에 따라 시선각 벡터 투영 오차가 커진다. 이 시선각 벡터 투영오차가 기저선 크기에 따라 차이가 발생하게 된다. 미국에서는 결과가 84.01 m이고 한국에서는 약 8 m정도 크기가 나타나게 된다. 일반적인 Standalone GPS의 위치 오차는 2 Sigma 수준에서 수평에서 9 m이하, 수직에서 15m 이하이다. 또한 URE 오차는 7.8 m 정도로 알려져 있다[7].

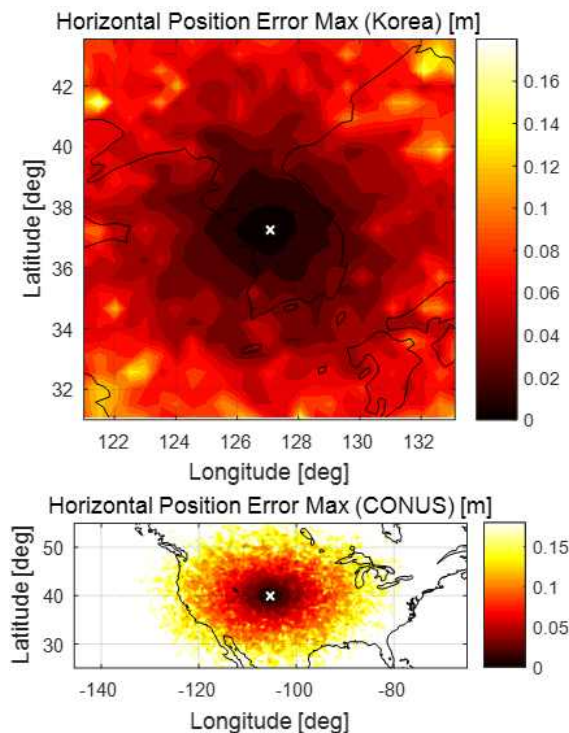


Fig. 11. Horizontal Position Max Error (Normal)

고장상황에서의 한국 지역 오차는 Standalone GPS 오차 수준의 수치를 나타내고 있다. 이는 고장이 발생할 경우에도 같은 보정정보를 사용할 경우 Standalone GPS Worst Case 오차 수준이 발생한다고 볼 수 있다. 하지만 한국 지역을 좀 더 벗어 날 경우는 제안 하고자 하는 가능성이 불가능 할 것을 예측할 수 있다.

이처럼 위성의 고장이 발생할 경우 미국에서는 중앙 지역에서 계산된 시선각 벡터 투영오차를 기저선이 먼 지역에서 사용하기 어렵다. 이와 같은 이유로 광역지역에서 수집되는 정보를 이용해 사용하고자 하는 위치에 따라 보정정보를 제공하고 있다. 하지만 한국과 같이 협역지역에서는 고장이 발생할 경우에도 위치에 따른 오차가 발생한다. 하지만 미국지역에 비해 작은 크기이다. 이를 통해 한반도의 가운데 지역에서 생성된 보정정보를 다른 지역에서 사용할 경우에도 시선각 벡터 투영오차의 크기가 많이 변하지 않는다. 또한 협역지역에서 기저선 크기에 따라 위성궤도로 인한 변화는 크지 않다는 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해 위성궤도오차에 대한 보정정보는 지역에 따라 다르게 제공하는 것은 불필요 할 것으로 보인다. 따라서 위성궤도오차 추정보다는 시선각 벡터에 투영된 오차를 좀 더 정확하게 추정하기 위해 다른 오차들을 더 정확하게 추정하는 것이 중요하다. 이와 같은 결론으로 협역 지역인 한국지역에서는 위성궤도오차를 추정하기 위해 기존의 3차원 방식이 아닌 다른 방식의 필요성을 파악할 수 있다.

본 논문에서는 협역 지역 내에서 지역에 따라 시선각 벡터 투영오차 차이가 작은 것을 확인 하였다. 이를 통해 협역 지역 내에서는 위성의 오차

를 3차원으로 추정하고 이를 지역에 따라 거리오차로 투영하는 과정이 불필요 하고 다른 오차요인을 잘 추정하여 제거한 거리오차 값을 위성궤도오차 보정정보로 사용하여도 가능할 것을 확인하였다. 이 결과를 기반으로 기저선 변화에 따른 위성궤도오차의 크기에 변화, 위성군 배치에 따른 분석을 추가적으로 수행해 협역지역에서 적용 가능한 모델을 제시하는 추가적 연구를 수행하고자 한다.

References

- 1) M. S. Jeong, *Process and Analysis of Satellite Based Augmentation System Data*, Ph. D. Dissertation, Korea Aerospace University, 2009.
- 2) www.egnos-portal.eu
- 3) www.kari.re.kr
- 4) D. Y. Kim, *A study on correction generation algorithms for wide area differential GNSS*, Ph. D. Dissertation, Seoul National University, 2007,
- 5) RTCA, Inc., *Minimum Operational Performance Standards for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment*, RTCA DO-229C, Nov. 2001.
- 6) J. G. Park, *Analysis of UDRE Monitoring Algorithm for Integrity Test of Satellite Based Augmentation System for Korean Region*, Master Dissertation, Konkuk University, 2014.
- 7) DoD, GPS NAVSTAR, *GLOBAL POSITIONING SYSTEM STANDARD POSITIONING SERVICE PERFORMANCE STANDARD*, 4th Edition, 2008.