

## GPS Galileo Time Offset (GGTO)의 항법해 영향 분석

주정민\*, 조정호\*, 허문범\*

## Analysis of GPS Galileo Time Offset Effects on Positioning

Jung-min Joo\*, Jeong-ho Cho\*, Moon-beom Heo\*

## 요약

미국의 GPS와 유럽연합의 Galileo 시스템과 같은 위성항법시스템(Global Navigation Satellite System, GNSS)은 정확한 시각과 주파수로 동기화된 항법신호를 지상의 사용자에게 제공하는 전 지구 측위시스템으로 이를 기반으로 넓은 범위에 걸쳐 항법 및 시각동기 서비스를 제공하고 있다. 이와 더불어 다중위성항법신호를 활용하여 측위를 할 경우 단독위성항법신호를 사용할 때 보다 가용 항법신호의 수가 증가하고 이에 따라 측위 정확도를 향상시킬 수 있다는 장점이 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 현재의 GPS와 Galileo 시스템은 각기 다른 기준 시각체계를 사용하고 있기 때문에 항법해 계산 시 시각 편이가 발생하며 이를 적절히 보정하지 못할 경우 통합 항법 측위 성능을 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 이러한 미국의 GPS와 유럽의 Galileo 시스템에 대한 기준 시각체계에 대한 차이점을 분석하고 시각체계 불일치에 따른 항법해 영향을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 또한, 현재 알려진 대표적 보정기법을 적용하였을 경우의 측위 정확도의 향상과 기법별 문제점에 대해서도 분석하였으며 기법별 문제점을 보완할 수 있는 새로운 기법에 대한 개념을 함께 제시한다.

**Key Words** : GPST, GST, GPS Galileo Time Offset

## ABSTRACT

The Global Navigation Satellite System (GNSS) like US Global Positioning System (GPS) and EU Galileo are based on providing precise time and frequency synchronized ranging signals. Because of the exploitation of very precise timing signals these GNSS are used to provide both navigation and time distribution services. Moreover, because the positioning accuracy will improve as more satellites become available, we should expect that a combination of Galileo and GPS will provide better performance than those of both systems separately. However, Galileo will not use the same time reference as GPS and thus, a time difference arises - the GPS-Galileo Time Offset (GGTO). The navigation solution calculated by receivers using signals from both navigation systems will consequently contain a supplementary error if the GGTO is not accounted for. In this paper, we compared GPS Time (GPST) with Galileo System Time (GST) and analyzed the effects of GGTO on positioning accuracy by simulation test. And then we also analyzed the characteristics of two representative GGTO correction methods such as the navigation message based method at system level and the estimation method at user level and propose the conceptual design of the novel correction method being capable of preventing previous method's problems.

## I. 서론

위성항법시스템(Global Navigation Satellite

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

◆ 주저자 : 한국항공우주연구원 교통·항법기술연구센터 위성항법팀, jmjoo@kari.re.kr, 정회원

\* 한국항공우주연구원 교통·항법기술연구센터 위성항법팀

논문번호 : KICS2012-10-476, 접수일자 : 2012년 10월 4일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 21일

System, GNSS)은 우주공간의 인공 위성군을 이용하여 지구상의 사용자에게 정확한 위치 및 시각정보를 제공하는 측위시스템이다. 오늘날 널리 쓰이고 있는 미국의 GPS 시스템이 대표적인 위성항법시스템이며 기존의 측위시스템에 비해 넓은 범위에 대하여 기상 조건에 상관없이 연속적이고 신뢰성 있는 항법 정보를 제공하기 때문에 국방 분야를 비롯한 육상, 해상, 항공 등 교통 분야, 측지, 측량, 통신 기지국 시각동기, 기상관측 등 다양한 분야에 활용되고 있으며 관련 시장 또한 급성장하고 있다. 이러한 이유로 유럽, 러시아, 중국 등에서는 GPS와 유사한 Galileo, GLONASS, COMPASS 위성항법시스템을 구축 중이며 멀지 않아 다중위성항법시스템 시대가 도래 할 것으로 예상된다<sup>[1]</sup>.

다중위성항법신호를 활용하여 측위를 할 경우 단독위성항법신호를 사용할 때 보다 가용 항법신호의 수가 증가하고 이에 따라 측위 정확도를 향상시킬 수 있다는 장점이 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 위성항법시스템별로 독자적으로 시스템 기준 시각체계를 가지고 있으므로 다중위성항법신호를 사용할 경우 시각체계 차이에 대한 적절한 보정이 선행되어야 한다<sup>[2]</sup>.

본 논문에서는 미국의 GPS에서 기준 시각으로 사용 중인 GPS Time과 유럽의 Galileo 시스템에 기준 시각으로 사용 예정인 Galileo System Time 대하여 기준 시각체계에 대한 차이점을 분석하고 시각체계 불일치에 따른 항법해 영향을 소프트웨어 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 현재 Galileo 시스템이 개발 중인 관계로 정상적인 항법신호의 수신에 어려움이 때문에 Galileo 시스템 개발에 참여중인 스페인 Deimos 사에서 개발한 전문 GPS/Galileo 신호생성용 소프트웨어인 GRANDA 시뮬레이터를 이용하였다. 다각적인 시뮬레이션 분석결과와 시각체계 불일치에 대한 보상이 이루어지지 못한 상태로 다중위성항법신호를 사용하였을 경우 단독위성항법신호만을 사용하였을 때 보다 오히려 측위능력이 떨어짐을 확인하였다. 이는 이중 위성항법시스템에서 방송하는 항법신호를 통합처리 후 항법해를 계산할 경우 시각체계 차이에 대한 적절한 보상이 요구되고 보상에 적용된 정보의 정확도와 정밀도에 따라 항법해 성능 향상에 많은 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 이에 현재 알려진 대표적인 보정기법들을 적용하였을 경우의 측위 정확도의 향상도와 기법별 문제점에 대해서도 분석하였다. 또한, 기법별 문제점을 보완할 수 있는 새로운 기법에 대

한 개념을 함께 제시한다.

## II. 본 론

### 2.1. GPS Galileo Time Offset (GGTO)

미국의 GPS와 유럽의 Galileo 위성항법시스템은 서로 독자적인 시각체계를 가지고 있다. GPS는 US Naval Observatory (USNO)에 의해 생성되는 GPS Time (GPST)을 사용하고 있으며 Galileo는 Galileo Time Service Provider에 의해 생성되는 Galileo System Time (GST)을 사용하고 있다. 현재 GPST의 경우 International Atomic Time (TAI) 기준 약 10ns 내외의 편차를 보이고 있으며 GST도 시스템 요구사항은 50ns이나 운용 시 GPS와 비슷한 성능을 보일 것으로 예상된다. GPST와 GST의 주요 차이점을 간단히 정리하면 아래 표 1과 같다<sup>[2]</sup>.

표 1. GPST와 GST의 주요 비교  
Table 1. Comparison GPST and GST

	GPST	GST
Type of time scale	Composite clock: average of GPS clocks computed in a Kalman filter	Master clock: steered active H-master
Produced at	Computations performed at the MCS	Physically produced at Galileo PTF
Access outside the system	Through broadcast corrections to satellite clocks	Through direct time transfer or through broadcast corrections to satellite clocks
Steering to TAI	Through USNO	Through Galileo Time Service Provider
Offset from TAI	14ns(rms in 2004)	50ns(95%,requirement)
Uncertainty of TAI offset	9ns(rms in 2004)	28ns(95%,requirement)

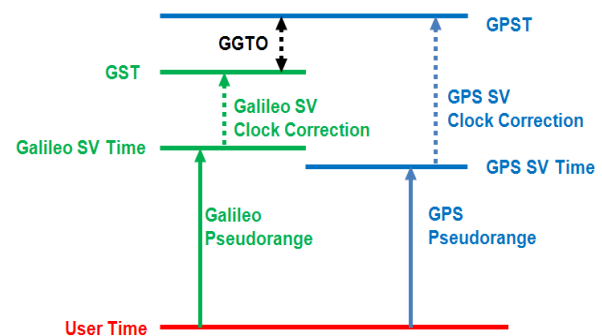


그림 1. GPS Galileo 시각편이  
Fig. 1. GPS Galileo Time Offset

이와 같이 서로 다른 시각체계를 가지고 있는 GPS와 Galileo의 항법신호를 통합 처리할 경우 그림 1에서 보는 바와 같이 두 시각 사이에는 바이어스 형태의 시각편이를 가지게 된다. 현재 알려진 바로는 일반적으로 41ns(95%) 크기의 GPS Galileo Time Offset (GGTO)가 존재하는 것으로 알려져 있다<sup>3-6)</sup>.

### 2.2. GGTO 보정기법

GGTO를 보정하기 위한 대표적 보정기법에는 항법메세지 보정정보를 활용한 보정기법과 측정치 기반의 추정보정기법이 있다<sup>4-8)</sup>. 먼저, 항법메세지 보정정보를 활용한 보정기법은 항법 위성으로부터 지상의 사용자에게 방송되는 항법메세지에 두 시스템 간 시각편이에 대한 보정정보를 제공함으로써 사용자가 항법해 계산에 이를 적용하는 방식이다. 이는 미국과 EU의 GPS Galileo 공동 사용 협약에 의해 가능하게 되었다. 이와 관련된 GGTO 계산 및 Galileo 의사거리 보정 수식을 정리하면 아래와 같다<sup>9)</sup>.

$$\begin{aligned} \Delta t_{GGTO} &= t_{Galileo} - t_{GPS} \\ &= a_0 + a_1 [t_{Galileo} - t_0 + 604800 (wn - wn_0)] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $t_{Galileo}$ 와  $t_{GPS}$ 는 각각 GST와 GPST를 의미하며  $a_0, a_1, t_0, wn_0$ 는 Galileo 항법메세지에서 제공되는 시각편이 보정정보이며  $wn$ 는 GST의 week number이다.

$$\rho_{Galileo, GPST} = \rho_{Galileo, GST} - \Delta t_{GGTO} \times c \quad (2)$$

위 수식(2)에서 보는 바와 같이 GPST를 기준으로 한 Galileo 항법신호의 의사거리( $\rho_{Galileo, GPST}$ )는 GST를 기준으로 한 Galileo 항법신호의 의사거리( $\rho_{Galileo, GST}$ )에서 앞의 수식(1)에서 구한 GGTO를 광속  $c$ 와 곱한 후 차분함으로써 구할 수 있다.

한편, 측정치 기반의 추정보정기법은 앞서 언급한 항법메세지에서 제공되는 별도의 보정정보 없이 항법해 계산 시 GGTO를 미지수로 포함하여 함께 추정하는 방식으로 이와 관련된 상태변수 및 측정치 모델은 아래와 같다.

$$X = [x_u \ y_u \ z_u \ B_{clock} \ B_{GGTO}]^T \quad (3)$$

$$\rho_{GPS} = \rho_{true} + B_{clock} - B_{GGTO} + n_{GPS} \quad (4)$$

$$\rho_{Galileo} = \rho_{true} + B_{clock} + n_{Galileo} \quad (5)$$

위 수식(3)에서  $x_u, y_u, z_u$ 는 ECEF 좌표계에서의 사용자 위치를 나타내며,  $B_{clock}$ 은 Galileo 시각 체계에서의 사용자 수신기의 시계오차이며  $B_{GGTO}$ 는 GGTO에 의한 오차를 의미한다. 한편, GPS 항법신호의 의사거리에서 수식(4)에서 보는 바와 같이 추정된 GGTO 오차를 차분함으로써 구해지며 Galileo 항법신호의 의사거리는 수식(5)와 같다. 여기서,  $n_{GPS}, n_{Galileo}$ 는 각각 GPS와 Galileo 항법신호의 측정치 노이즈이다.

현재 Galileo 시스템이 개발 중인 관계로 Galileo 항법메세지를 통한 시각체계 보정정보를 직접 획득하는 것이 어렵기 때문에 본 논문에서는 GGTO 보정기법을 적용한 전후의 항법해 정확도를 비교하기 위하여 측정치 기반의 추정보정기법을 우선 적용하여 분석을 수행하였으며 항법메세지 보정기법에 대해서는 보정정보의 정확도에 따른 항법해 성능 영향을 분석하였다.

### 2.3. GGTO를 고려한 항법해 오차 계산

일반적으로 위성항법신호를 이용한 항법해는 수식(6)의 선형화된 의사거리 측정치 모델에 최소 자승법(least square method)을 적용하여 구할 수 있다<sup>11)</sup>.

$$\Delta \rho + \nu = H \cdot \Delta X \quad (6)$$

여기서  $\Delta \rho$ 는 의사거리 추정치와 측정치의 차이를 의미하며  $H$ 는 수신기와 위성간의 관측행렬,  $\Delta X$ 는 위치변화량과 수신기 시계오차 변화량,  $\nu$ 는 측정치 노이즈 성분이다.

GGTO를 항법메세지를 이용하여 보정할 경우  $H$ 와  $\Delta X$ 는 각각 수식(7), (8)과 같이 새롭게 정의할 수 있다<sup>8)</sup>.

$$H_m = \begin{bmatrix} a_{x_1, GAL} & a_{y_1, GAL} & a_{z_1, GAL} & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{x_n, GAL} & a_{y_n, GAL} & a_{z_n, GAL} & 1 & 0 \\ a_{x_1, GPS} & a_{y_1, GPS} & a_{z_1, GPS} & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{x_m, GPS} & a_{y_m, GPS} & a_{z_m, GPS} & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\Delta X = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ -c \cdot \Delta t_{GAL} \\ -c \cdot \Delta t_{GPS} \end{bmatrix} \quad (8)$$

여기서  $a$ 는 수신기와  $n$ 개의 Galileo 위성,  $m$ 개의 GPS 위성간의 방향벡터를 의미하며  $c$ 는 광속으

로  $H_m$ 의 마지막 행이 CGTO의 영향을 반영한 것을 나타낸다.

항법해 오차는 앞서 정의한  $H_m$ 과 수식(10)의 측정치 공분산 행렬  $R$ 에 의해 아래의 수식(9)와 같이 구할 수 있다.

$$PE_m = (H_m^T \cdot H_m)^{-1} \cdot H_m^T \cdot R \cdot H_m \cdot (H_m^T \cdot H_m)^{-1} = [\sigma_{ij}^2] \quad (9)$$

$$R = \begin{bmatrix} \sigma_{1GAL}^2 & 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & \dots & & & \vdots \\ \vdots & 0 & \sigma_{nGAL}^2 & 0 & & & \vdots \\ \vdots & & 0 & \sigma_{1GPS}^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & \ddots & 0 & \vdots \\ \vdots & & & \dots & 0 & \sigma_{mGPS}^2 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & 0 & \sigma_{GGTO}^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\sigma_i^2 = \sigma_{sat.clock,i}^2 + \sigma_{rec.clock,i}^2 + \sigma_{iono,i}^2 + \sigma_{tropo,i}^2 + \sigma_{rn,i}^2 + \sigma_{mp,i,z}^2$$

여기서  $\sigma_i$ 는  $i$ 항법위성 측정치에 대한 오차를 의미하며 위성시계오차( $\sigma_{sat.clock,i}$ ), 수신기 시계오차( $\sigma_{rec.clock,i}$ ), 이온층 지연오차( $\sigma_{iono,i}$ ), 대류층 지연오차( $\sigma_{tropo,i}$ ), 수신기 잡음( $\sigma_{rn,i}$ ) 및 다중경로 오차( $\sigma_{mp,i}$ )로 구성된다.

이로부터 수평 및 수직 위치오차와 시각 오차는 각각 수식(11~13)으로 정의된다.

$$HE = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2} \quad (11)$$

$$VE = \sqrt{\sigma_{33}^2} \quad (12)$$

$$TE = \sqrt{\sigma_{44}^2 + \sigma_{55}^2} \quad (13)$$

한편, GGTO를 측정치 기반의 추정보정기법을 이용하여 보정할 경우  $H$ 와  $\Delta X$ 는 각각 수식(14), (15)와 같이 정의될 수 있는데 이 경우 미지수가 5개이므로 항법메세지를 이용하는 경우와 달리 GGTO를 추정하기 위해서는 최소 5개 이상의 항법 신호가 필요하게 된다<sup>[8]</sup>.

$$H_{GGTO} = \begin{bmatrix} a_{x_1} & a_{y_1} & a_{z_1} & 1 & k_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{x_n} & a_{y_n} & a_{z_n} & 1 & k_n \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\Delta X = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ -c \cdot \Delta t \\ -c \cdot \Delta t_{GGTO} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$n$ 개의 GPS 및 Galileo 항법신호에 대해  $k$ 는 만약 GPST가 기준 시각일 경우 GPS 측정치에 대해서는 0으로 Galileo 측정치에 대해서는 1로 설정되며 GST가 기준 시각일 경우에는 반대로 설정된다.

항법해 오차는  $H_{GGTO}$ 와 수식(10)의 측정치 공분산 행렬  $R$ 에 의해 아래의 수식(16)과 같이 구할 수 있으며 이에 따른 수평 및 수직 위치오차는 위 수식(11), (12)와 같고 시각 오차와 GGTO 추정 오차는 각각 아래의 수식(17), (18)과 같이 정의할 수 있다.

$$PE_{GGTO} = (H_{GGTO}^T \cdot H_{GGTO})^{-1} \cdot H_{GGTO}^T \cdot R \cdot H_{GGTO} \cdot (H_{GGTO}^T \cdot H_{GGTO})^{-1} = [\sigma_{ij}^2] \quad (16)$$

$$TE = \sqrt{\sigma_{44}^2} \quad (17)$$

$$TE_{GGTO} = \sqrt{\sigma_{55}^2} \quad (18)$$

### III. 실험

#### 3.1. 시뮬레이션 분석 환경

본 논문에서는 GGTO의 항법해 영향 분석에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 Galileo 시스템 개발에 참여중인 스페인 Deimos사에서 제작한 그림 2의 GRANADA SW 시뮬레이터를 이용하여 GPS 및 Galileo 항법신호를 생성하였다. 우선 위성 차단각(Mask angle)을 5도로 설정하여 GPS L1 24채널, Galileo E1 27채널의 신호를 생성하였으며 12시간 동안의 항법신호를 120초 간격으로 생성하였다.

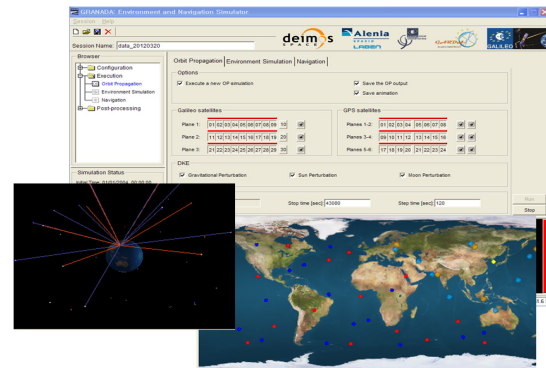


그림 2. GRANADA 소프트웨어 시뮬레이터  
Fig. 2. GRANADA SW Simulator

생성된 신호는 최대한 GGTO의 영향만을 고려하기 위하여 궤도 오차, 위성 및 수신기 시계 오차, 이온층 오차, 대류층 오차, 다중경로 오차 등 다양한 오차 성분은 완전히 보정된 것으로 가정하여 해당 오차를 제거하였다. 아래의 그림 3은 분석을 위해 생성된 GPS 및 Galileo 항법신호에 대한 위성 양각(Elevation angle)과 가시위성 수를 나타낸다.

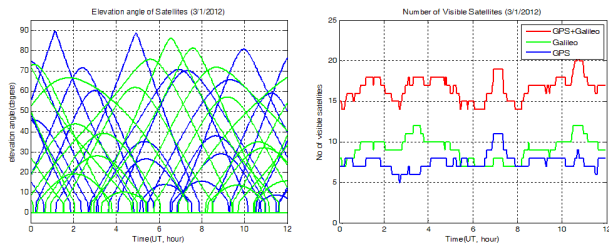


그림 3. 가시위성 양각(좌)과 가시위성 수(우)  
Fig. 3. Elevation angle(left) and number(right) of visible satellites

앞서 언급한 바와 같이 다중위성항법신호를 사용할 경우 가시위성 수가 2배 정도 증가함을 볼 수 있다. 한편, 그림 4는 생성된 항법신호에 대한 Horizontal Dilution Of Precision (HDOP)과 Vertical Dilution Of Precision (VDOP)을 각각 나타낸 것으로 다중위성항법신호를 사용할 경우 단독으로 사용할 때 보다 HDOP는 약 39% 정도, VDOP는 약 32% 정도 향상됨을 확인할 수 있다.

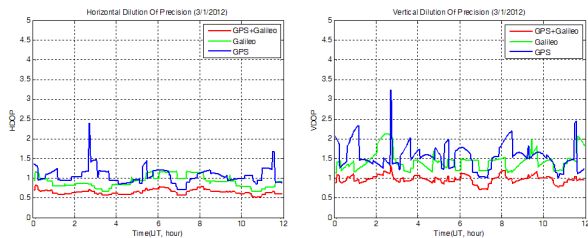


그림 4. 수평 위치 정밀도 저하율(좌)과 수직 위치 정밀도 저하율(우)  
Fig. 4. HDOP(left) and VDOP(right)

### 3.2. GGTO 항법해 영향분석

GGTO가 항법해 정확도에 미치는 영향을 살펴보기 위해 앞서 설명한 바와 같이 생성된 항법신호를 이용하여 GGTO를 보정하지 못했을 경우의 항법해 위치 오차(그림 5)와 측정치 기반의 추정보정기법을 적용하여 보정했을 경우의 항법해 위치 오차(그림 6)를 분석하였다. 이를 위하여 생성된 항법신호에 일반적인 41ns(95%) 크기의 GGTO를 인가하였으며

다른 항법해 산출에 영향을 미치는 오차요인은 배제하였다.

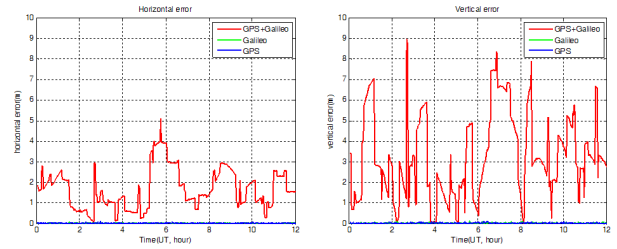


그림 5. 수평 위치오차(좌)와 수직 위치오차(우) - 보정 전  
Fig. 5. Horizontal error(left) and Vertical error(right) - before correction

위의 그림 5의 결과에서 보듯이 GGTO를 적절히 보정하지 못한 상태에서 GPS, Galileo 항법신호를 함께 사용한 경우 단독으로 사용하였을 때 보다 오히려 훨씬 큰 위치 오차가 발생함을 확인할 수 있으며 또한 수평 위치오차 보다 수직 위치오차에서 더 많은 영향을 받음을 알 수 있다.

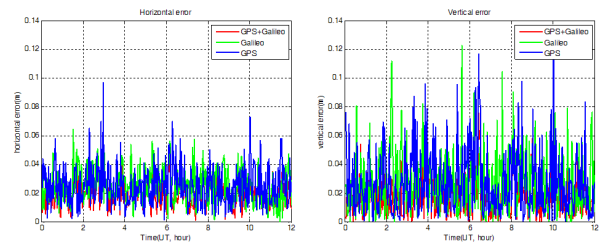


그림 6. 수평 위치오차(좌)와 수직 위치오차(우) - 보정 후  
Fig. 6. Horizontal error(left) and Vertical error(right) - after correction

한편, 그림 6은 측정치 기반의 추정보정기법을 적용하여 인가된 GGTO를 보정한 결과로 보정 후에는 그림 5의 보정 전 위치오차 보다 상당히 줄어든 위치오차를 보임을 알 수 있으며 GPS와 Galileo를 함께 다중으로 사용하였을 경우 단독으로 사용하였을 때 보다 더 좋은 항법해 성능을 보임을 확인할 수 있다.

하지만, 측정치 기반의 추정보정기법의 경우 수식(15)의 상태변수 정의에서 보는 바와 같이 5개의 미지수를 추정하여야 하는 관계로 최소 5개 이상의 가시위성 항법신호가 확보되어야 하는 제한 조건이 있다. 일반적인 환경에서는 충분한 가시위성을 확보할 수 있으나 고층 빌딩이 밀집한 도심지역에서는 문제가 될 수 있다.

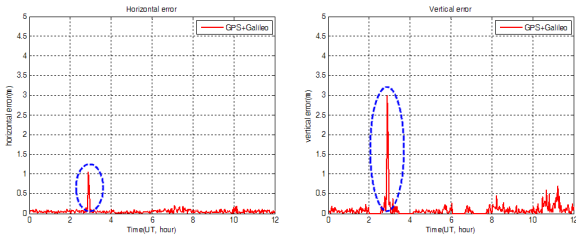


그림 7. 수평 위치오차(좌)와 수직 위치오차(우) - 가시 위성 미확보 시 보정 후  
 Fig. 7. Horizontal error(left) and Vertical error(right) - after correction when not sufficient satellite signals

그림 7은 도심 환경을 가정해 위성 차단각을 40도로 설정하여 생성한 항법신호에 대하여 측정치 기반의 추정보정기법을 이용하여 GGTO를 보정 한 결과로 가시위성 수가 5개 미만일 때(파란색 표시 부분) 위치오차가 가시 위성 수가 5개 이상일 때 보다 급격히 증가함을 보여준다. 이와 같이 GGTO를 보정 할 때 측정치 기반의 추정보정기법을 사용하기 위해서는 반드시 5개 이상의 충분한 가시 위성 확보가 요구되며 그렇지 못할 경우에는 항법메세지 보정정보를 활용한 보정기법을 사용하여야만 한다.

하지만, 항법메세지 보정정보를 활용한 보정기법을 사용할 경우에도 GGTO 보정에 적용된 보정정보의 정확도에 따라 항법해 성능이 크게 달라지는데 그림 (8), (9)는 이러한 항법메세지 보정정보 정확도에 따른 수평 위치오차를 나타낸다.



그림 8. 위성 차단각 5도 일 때의 수평 위치오차 - 항법메세지 보정정보 오차: 0ns(좌), 2ns(중), 5ns(우)  
 Fig. 8. Horizontal error(Mask angle: 5°) - Uncertainty of message correction: 0ns(left), 2ns(middle) and 5ns(right)



그림 9. 위성 차단각 40도 일 때의 수평 위치오차 - 항법메세지 보정정보 오차: 0ns(좌), 2ns(중), 5ns(우)  
 Fig. 9. Horizontal error(Mask angle: 40°) - Uncertainty of message correction: 0ns(left), 2ns(middle) and 5ns(right)

그림 8에서 나타난 바와 같이 GGTO 보정 시 사용되는 항법메세지 보정정보의 오차 크기에 비례하여 수평 위치오차가 증가함을 확인할 수 있다. 또한 그림 9에서 보는 바와 같이 위성 차단각이 40도로 가시위성 수가 5개 미만일 경우에도 그림 7의 결과와 달리 GGTO의 보정이 가능하나 항법메세지 보정정보의 추정 정확도가 낮을수록 수평 위치 정확도가 더 크게 나빠짐을 알 수 있다. GGTO를 보정하기 위하여 별도의 보정정보가 필요 없는 측정치 기반의 추정보정기법을 사용 시에는 5개 이상의 충분한 가시위성의 항법신호가 필요하며 항법메세지 보정정보를 활용한 보정기법을 사용 시에는 지상시스템에서 생성되어 항법메세지를 통하여 제공되는 GGTO 보정정보의 정확도가 높아야만 다중위성항법 환경에서의 높은 항법해 성능을 얻을 수 있다<sup>10)</sup>. 본 논문의 시뮬레이션 환경에서는 항법메세지 보정정보의 추정 오차가 2ns 이하일 경우 측정치 기반의 추정보정기법을 사용하였을 때 보다 상대적으로 보다 정확한 항법해를 구할 수 있음을 확인하였으며 하루 24시간을 기준으로 분석한 시나리오별 결과 요약은 아래의 표 2와 같다.

표 2. GGTO 항법해 영향평가 결과 요약 (GGTO:41ns)  
 Table 2. GGTO positioning effect results

	MA	Uncertainty	HE(m/rms)	VE(m/rms)
Non-correction	5°	-	2.5777	3.8633
	40°	-	5.0938	11.2199
Estimation correction	5°	-	0.01688	0.0253
	40°	-	0.1010	0.2123
Navigation correction	5°	0ns	0.0163	0.0244
		2ns	0.1252	0.1876
		5ns	0.3133	0.4696
	40°	0ns	0.0316	0.0697
		2ns	0.3790	0.8348
		5ns	0.9454	2.0824

이상의 여러 분석 결과에서 알 수 있듯이 GPS와 Galileo의 다중 위성항법시스템 환경에서는 항법해의 정확도를 향상시키기 위하여 두 가지 GGTO 보정방법을 적절히 혼합하여 사용할 필요가 있으며 그 판단 기준으로 본 논문에서는 아래의 3가지 요소를 제시할 수 있다.

- 1) 항법메세지 보정정보 Uncertainty
- 2) 최소 사용자 가시위성 수
- 3) 최대 Geometric DOP, Position DOP, Time DOP

#### IV. 결 론

본 논문에서는 미국의 GPS에서 기준 시각으로 사용 중인 GPS Time과 유럽의 Galileo 시스템에 기준 시각으로 사용 예정인 Galileo System Time 대하여 기준 시각체계에 대한 차이점을 분석하고 시각체계 불일치에 따른 항법해 영향을 소프트웨어 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 시뮬레이션 분석 결과 시각체계 불일치에 대한 보상이 이루어지지 못한 상태로 다중위성항법신호를 사용하였을 경우 단독위성항법신호만을 사용하였을 때 보다 오히려 측위성능이 떨어짐을 확인하였으며 현재 알려진 대표적인 보정기법들을 적용하였을 경우의 측위 정확도의 향상도와 기법별 문제점에 대해서도 분석하였다. 다중위성항법신호를 사용할 경우 안정적으로 GGTO 보정 성능을 향상시키기 위해서는 가시위성수와 Dilution Of Precision (DOP) 등을 고려하여 측정치 기반의 추정보정기법 또는 항법메세지 보정 정보를 활용한 보정기법을 적절히 활용할 필요가 있음을 확인하였다.

#### References

[1] Pratap Misra and Per Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*, 2<sup>nd</sup> Ed., Ganga-Jamuna Press, 2006

[2] A. Moudrak, A. Konovaltsev, J. Furthner, J. Hammesfahr, A. Bauch, P. Defraigne, and S. Bedrich, "Timing Aspects of GPS-Galileo Interoperability: Challenges and Solutions," in *Proc. PTTI Meeting*, Dec. 2004.

[3] J. Hahn and E. Powers, "GPS and Galileo Timing Interoperability," in *Proc. ION*, Long Beach, California, USA, Sep. 2004.

[4] A. Moudrak, A. Konovaltsev, J. Furthner, A. Hornbostel, and J. Hammesfahr, "GPS Galileo Time Offset: How it Affects Positioning Accuracy and How to Cope with It," in *Proc. ION*, Long Beach, California, USA, Sep. 2004.

[5] J. Hahn and E. Powers, "Implementation of the GPS to Galileo Time Offset (GGTO)," in *Proc. IEEE Frequency Control Symposium and Exposition*, Aug. 2005.

[6] A. Moudrak, A. Konovaltsev, J. Furthner, J. Hammesfahr, A. Bauch, P. Defraigne, S. Bedrich, and A. Schroth, "Interoperability on Time; GPS-Galileo Offset Will Bias Position," *GPS World*, vol. 16, no. 3, pp. 24-32, Mar. 2005.

[7] Jerome Delporte and Norbert Suard, "Performance assessment of the time difference between EGNOS-network-time and UTC," in *Proc. ION*, Fort Worth, Texas, USA, Sep. 2006.

[8] I. Vanschoenbeek, B. Bonhoure, M. Boschetti, and J. Legenne, "GNSS time offset," *Inside GNSS*, Sep./Oct. 1. 2007.

[9] J. H. Song, G. I. Jee, S. K. Jeong, S. U. Lee, and J. H. Kim, "Implementation of GPS/Galileo integrated navigation algorithm and analysis of different time-coordinate effect," *J. KSAS*, vol. 36, no. 2, pp. 171-178, Feb. 2008.

[10] Jinling Wang, Nathan L. Knight, and Xiaochun Lu, "Impact of the GNSS time offsets on positioning reliability," *J. Global Positioning Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 165-172, Feb. 2011.

#### 주 정 민 (Jung-min Joo)



2002년 2월 부산대학교 전기 및 전자공학과 졸업  
 2004년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 2004년 7월~현재 한국항공우주연구원 선임연구원  
 2010년 9월~현재 한국과학기술원 항공우주공학과 박사과정

<관심분야> Next GNSS, Integrity Monitoring

조 정 호 (Jeong-ho Cho)



1995년 2월 순천향대학교 제어  
계측 공학과 졸업

2001년 5월 University of  
Florida 전기 및 컴퓨터공학  
과 석사

2004년 12월 University of  
Florida 전기 및 컴퓨터공학

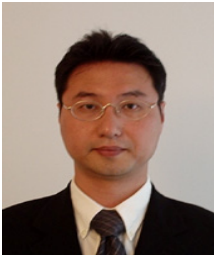
과 박사

2006년 2월 University of Florida 의용공학과 박사  
후 과정

2007년 12월 삼성전자 프린팅(사) 책임연구원

2007년 12월~현재 한국항공우주연구원 선임연구원  
<관심분야> 위성항법시스템 및 위성항법보강시스템  
무결성 감시

허 문 범 (Moon-beom Heo)



1992년 2월 경희대학교 기계공  
학과 졸업

1997년 2월 일리노이 공대 항  
공기계 석사

1997년 2월 일리노이 공대 항  
공기계 박사

2004년 7월~현재 한국항공우

주연구원 선임연구원

<관심분야> 위성항법, 제어공학