

## GPS와 Galileo 시각의 상호운용성 분석

신미영\*, 송세필\*, 고재영\*, 양성훈\*\*, 이상정\*

## Interoperability Analysis of GPS and Galileo on Time

Mi Young Shin\*, Se Phil Song\*, Jae Young Ko\*, Sung-Hoon Yang\*\* and Sang Jeong Lee\*

## ABSTRACT

The users who use a combined GPS/Galileo receiver will benefit from an improved availability of the combined system and a reduced dependence on one particular positioning system. However, these users must solve the problem of an offset between the time scales of GPS and Galileo (GGTO). GGTO must be analyzed for not only a navigation system but also a timing system requesting precise time service. This paper analyzes the interoperability problem in a combined GPS/Galileo timing receiver and estimates the timing performance under various assumptions. The GPS real measurements were collected by using the commercial timing receiver from Ashtech Ltd. and the Galileo measurements were generated by a simulation software. A suitable test scenario set-up and the performance in a point of timing stability was evaluated.

## 초 록

GPS/Galileo 통합 수신기를 사용하는 사용자는 특정 측위 시스템에 대한 의존도를 줄이고, 개선된 성능의 PNT 서비스를 제공받을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 사용자들은 GPS와 Galileo, 두 시스템 간의 서로 다른 시각 척도를 사용함으로써 발생하는 문제(즉, GGTO)를 해결해야만 한다. GGTO는 측위 서비스를 요구하는 항법용 수신기뿐만 아니라 정밀한 시각 서비스를 요구하는 타이밍용 수신기에서도 분석되어야 한다. 본 논문에서는 GPS/Galileo 통합 타이밍용 수신기를 사용할 때에 고려해야 하는 상호운용성 문제를 분석하고, 모의실험을 통해 다양한 가정 하에 시각 측면에서의 성능을 예측하였다. Ashtech 社의 상용 타이밍용 수신기를 사용하여 GPS 실측 데이터를 확보하고, Galileo 데이터를 모사한 후에, 타이밍용 환경에 적합한 실험 시나리오를 구성하여, 시나리오 별 시각 측면에서의 성능을 평가하였다.

**Key Words** : Combined GPS/Galileo Receiver(GPS/Galileo 통합 수신기), GGTO(GPS-Galileo 간 시각 오프셋), Interoperability(상호운용성)

## 1. 서 론

GPS의 현대화, GLONASS의 시스템 업그레이드

† 2010년 7월 21일 접수 ~ 2010년 8월 28일 심사완료

\* 정회원, 충남대학교 전자공학과  
교신저자, E-mail : eesjl@cnu.ac.kr

대전광역시 유성구 궁동 220

\*\* 정회원, 한국표준과학연구원 기반표준부

드, Compass의 지속적인 위성 추가 발사, Galileo의 추진 계획으로 서비스 가능한 위성의 수가 증가함에 따라 PNT (Positioning, Navigation, Timing) 서비스의 개선된 성능을 확보하고, 특정 시스템에 대한 의존도를 감소하기 위하여 다중위성용 통합 수신기의 사용이 확대될 전망이다. 이에 따라 위성항법시스템 간에 상호운용성 문제가 큰 이슈로 제기되고 있다. 상호운용성을 위하여

서로 독립적인 다수의 위성이 서비스되는 상황에서 위성신호 간에 서로 간섭으로 작용하지 않고, 수신측에서는 통합을 통해 더 나은 정확도, 무결성, 유효성, 실현성을 확보할 수 있도록 시스템을 설계하고, 구성하고, 운영하여야 한다[1]. 이를 위하여 위성 항법 시스템을 설계 시에는 신호 구조와 주파수, 측지계와 시각에 대한 기준, 궤도 구성, 시스템의 정책과 서비스의 보장 범위 등을 고려하여야 한다. 본 논문은 GPS와 Galileo 시스템의 상호운용성 중에서 기준 시각에 대한 문제를 분석하였다. 성능개선을 위해서는 특히, 서로 다른 시각 척도를 사용하는 시스템 간의 상호운용성 문제를 해결해야만 한다. 서로 다른 시각 척도를 사용하는 시스템으로부터 수신한 신호에서 같은 정의의 의사거리 측정치를 사용하여 하나의 해를 도출한다면, 시각 척도 간의 차는 의사거리 오차로 작용할 것이다. 최근에 시뮬레이션을 통해 도심이나 산악지역과 같은 특정 환경에서 시각 척도 간의 차를 보상하는 방법에 따른 항법 성능에의 영향을 예측한 연구 결과가 수차례 발표되었다[2][3]. 상호운용성 문제는 비단 측위 서비스를 요구하는 항법용 수신기에서만 문제가 아니라, 정밀한 시각 서비스를 요구하는 타이밍용 수신기에서 더 문제가 될 것으로 예상된다. 본 논문에서는 GPS/Galileo 통합 타이밍용 수신기를 사용 시에 시각 측면에서의 상호운용성을 분석하기 위하여 실험환경을 구성하였다. 타이밍용 수신기를 적용하기에 적합한 실제 환경을 고려하여 시나리오를 구성하고, 상용 GPS 타이밍용 수신기를 사용하여 실제 측정치를 수집하였으며, 시각 측면에서의 상호운용성을 분석하기 위하여 시각 척도간의 차를 보상하는 방법에 따른 수신기 클럭 바이어스 추정치의 안정도와 TDOP를 분석하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 GPS와 Galileo 시스템의 시각 척도 간의 차이인 GGTO (GPS to Galileo Time Offset)에 대하여 정의하고 결정 방법론을 정리하였으며, 3장에서 상호운용성을 분석하기 위한 실험환경을 구성하고 모의실험을 통해 수신기 성능을 분석하였고, 4장에서 결론을 맺었다.

## II. GGTO

### 2.1 GGTO 정의

GPS는 위성 궤도와 클럭 파라미터를 결정하기 위한 기준 시각 척도로 GPST (GPS Time)를 사

용하고 있는 반면, 유럽에서 운용 예정인 Galileo는 독립적인 기준 시각 척도인 GST (Galileo System Time)를 사용할 예정이다[1]. GPST는 USNO (U.S. Naval Observatory)에서 생성하는 UTC (Coordinated Universal Time), 즉 UTC(USNO)에 스티어링 되고 있고, GST는 TAI (International Atomic Time)에 스티어링 될 예정이다. 정의에 따르면 UTC와 TAI 사이에는 정수 단위의 초만큼 오프셋이 존재한다[1]. GPS와 Galileo 시스템의 독립적인 시각 척도 간의 차이를 GGTO라 한다. 서로 다른 시각 척도를 갖는 측정치를 사용하여 해를 도출하기 위해서는 두 시각 척도간의 차를 보상하여 동일한 기준 선상에서 평가하여야 한다. 만약 시각 척도를 통일하지 않는다면 GGTO로 인해 두 의사거리 사이에 긴 시간동안 변화하는 바이어스 (slowly varying bias)가 발생하여 오차를 유발할 것이다[2].

GPS와 Galileo 시스템 간의 상호운용성과 호환성 향상을 위해 2005년에 결성된 WGA (Working Group A)는 GGTO 해결을 위하여 항법 메시지를 통해 관련 파라미터를 전달하기로 결정하였다[4]. 이를 위하여 GPS는 2011년에 계획된 GPS OCS (Operational Control Segment)를 업그레이드한 이후에 L2C와 L5 신호부터 GGTO 파라미터를 서비스 할 예정이며, Block III 위성부터 추가된 L1C 신호에도 GGTO 파라미터를 서비스 할 예정이다[4]. Galileo는 GIOVE-A/B에서 E-GGTO (Experimental-GGTO) 파라미터를 테스트하고, IOV 단계에서 GGTO 파라미터를 서비스 할 예정이다[4]. 그러나 본 연구팀에서 최근에 GIOVE-B 위성으로부터 신호를 수신하여 데이터를 복조한 결과, 현재 GGTO를 서비스하지 않고 있는 것을 확인하였다. 제공되는 GGTO 파라미터는 1일 동안 5ns (2-sigma) 이내의 정확도와 8e-14 이내의 주파수 안정도를 요구한다[4].

### 2.2 GGTO 결정 방법

사용자 수신기 입장에서 GGTO를 결정하는 방법은 크게 세가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 시스템 레벨에서의 결정 방법으로 앞서 설명한 항법 메시지를 통해 서비스되는 GGTO 파라미터를 사용하는 것이다. 이 방법은 항법 메시지에서 GGTO 파라미터를 디코딩하고[5], 계산한 의사거리에서 GGTO를 보정한 다음, 항법 알고리즘을 사용하여 해를 도출하는 것이다. 두 번째는 사용자 레벨에서의 결정 방법으로 항법 메시지를 통

해 서비스되는 GGTO 파라미터를 사용하지 않고, 사용자가 항법 알고리즘을 통해 도출하는 4개의 미지수(수신기 x축, y축, z축 위치 좌표, 클럭 바이어스)에 1개의 미지수(GGTO)를 추가하여 추정하는 것이다. 이 방법은 총 5개의 미지수를 결정하기 위하여 최소한 5개의 가시위성이 확보되어야 한다는 조건이 필요하다. 세 번째는 앞서 설명한 두가지 방법을 환경 조건에 따라 번갈아가며 사용하는 것이다. 이 때 조건 파라미터로 가시위성 수, DOP, 오차 공분산 파라미터를 이용할 수 있다.

다중 수신기로부터 받은 측정치를 사용하고, 미지수를 추가하는 문제로 기존에 단일 위성의 측정치를 사용하여 3D 위치를 결정하는 항법 알고리즘 식이 변경되었다. GGTO를 결정하는 방법에 따른 항법 알고리즘 식은 다음과 같다.

**2.2.1 시스템 레벨에서의 GGTO 결정 방법**

가시위성과 수신기 사이의 의사거리 측정치를 이용한 선형화된 측정식은 식 (1)과 같다. 여기서  $\Delta\rho$ 는 의사거리 추정치와 측정치 간의 차를 나타내는 벡터이고,  $v$ 는 측정 잡음 행렬이고,  $H$ 는 위성과 수신기 사이의 단위벡터의 방향 코사인 행렬이고,  $\Delta X$ 는 선형화 지점에 상대적인 수신기의 위치와 클럭 바이어스의 오프셋을 나타내는 벡터이다.

$$\Delta\rho + v = H \cdot \Delta X \tag{1}$$

시스템 레벨에서의 GGTO 결정 방법은 기존과 동일하게 4개의 미지수(수신기의 3D 위치 좌표, 클럭 바이어스)를 결정하므로  $\Delta X$  벡터의 미지수의 수에는 변화가 없지만, GPS와 Galileo 위성으로부터 받은 측정치를 사용하므로  $H$  행렬과  $\Delta X$  벡터는 식 (2), 식 (3)과 같다[3]. 여기서  $a_{n_{GAL}}$ 는  $n$ 개의 Galileo 위성에 대한 방향 코사인 벡터이고,  $a_{m_{GPS}}$ 는  $m$ 개의 GPS 위성에 대한 방향 코사인 벡터이고,  $c$ 는 빛의 속도이다. 성능평가를 위한 목적으로 DOP을 재정의하면 식 (4)와 같다. 여기서  $i$ 와  $j$ 는 1부터 5까지의 행과 열을 나타내고,  $D_{ij}$ 는  $(H^T \cdot H)^{-1}$ 이다.

$$H = \begin{bmatrix} a_{x1_{GAL}} & a_{y1_{GAL}} & a_{z1_{GAL}} & 1 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{xn_{GAL}} & a_{yn_{GAL}} & a_{zn_{GAL}} & 1 & 0 \\ a_{x1_{GPS}} & a_{y1_{GPS}} & a_{z1_{GPS}} & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{xm_{GPS}} & a_{ym_{GPS}} & a_{zm_{GPS}} & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$\Delta X = \begin{bmatrix} \Delta Rx \\ \Delta Ry \\ \Delta Rz \\ -c \cdot \Delta Rt_{GAL} \\ -c \cdot \Delta Rt_{GPS} \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} GDOP &= \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33} + D_{44} + D_{55}} \\ PDOP &= \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33}} \\ HDOP &= \sqrt{D_{11} + D_{22}} \\ VDOP &= \sqrt{D_{33}} \\ TDOP &= \sqrt{D_{44} + D_{55}} \end{aligned} \tag{4}$$

**2.2.2 사용자 레벨에서의 GGTO 결정 방법**

사용자 레벨에서의 GGTO 결정 방법은 최소 5개의 가시위성 측정치를 사용하여 5개의 미지수(수신기의 3D 위치 좌표, 클럭 바이어스, GGTO)를 결정하는 것으로  $H$  행렬과  $\Delta X$  벡터는 식 (5), 식 (6)과 같다[3]. GGTO를 추정하므로 GPS 측정치와 Galileo 측정치를 따로 구분하지 않았다.  $\phi$ 는 GPST를 기준 시각 척도로 사용하는 경우에는 GPS 측정치에 대하여 '0'이고, Galileo 측정치에 대하여 '1'이며, GST를 기준 시각 척도로 사용하는 경우에는 GPS 측정치에 대하여 '1'이고, Galileo 측정치에 대하여 '0'이다. 성능평가를 위한 목적으로 DOP을 재정의하면, 식 (7)과 같다.

$$H = \begin{bmatrix} a_{x1} & a_{y1} & a_{z1} & 1 & \phi_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{xn} & a_{yn} & a_{zn} & 1 & \phi_n \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\Delta X = \begin{bmatrix} \Delta Rx \\ \Delta Ry \\ \Delta Rz \\ -c \cdot \Delta Rt \\ -c \cdot \Delta GGTO \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} GDOP &= \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33} + D_{44} + D_{55}} \\ PDOP &= \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33}} \\ HDOP &= \sqrt{D_{11} + D_{22}} \\ VDOP &= \sqrt{D_{33}} \\ TDOP &= \sqrt{D_{44}} \\ GGTODOP &= \sqrt{D_{55}} \end{aligned} \tag{7}$$

**III. 상호운용성 분석**

**3.1 실험 환경**

**3.1.1 GGTO 생성**

GPS 시스템은 현재 운용 중이지만, Galileo 시스템은 아직 GIOVE-A/B 위성만을 시험 중에

있으며, GPS 위성뿐만 아니라 GIOVE-A/B 위성에서도 GGTO 파라미터를 서비스하고 있지 않은 상태이다. 본 논문에서는 H-maser 원자시계의 주파수 안정도 특성을 반영하여 모델링 한 측정치를 사용하여 GPST와 GST를 생성하고, 두 기준 시각으로부터 GGTO 파라미터를 생성하였다 [6]. 기준 시각 척도를 생성하기 위한 실험구조는 Fig. 1과 같다. 높은 안정도를 갖는 측정치를 얻기 위하여 모델링을 통해 10개의 H-maser 원자시계의 양상불 클럭을 사용하여 GPST를 생성하고, 사용자로부터 입력받은 초기 클럭 오프셋, 드리프트, 드리프트 변화율을 GPST에 적용하여 GST를 생성하였다. 생성한 두 기준 시각 간에 차를 이용하여 GGTO 측정치를 산출하여 파일로 출력하고, GGTO 측정치를 2차 다항식으로 최소 제곱 라인 피팅(Least square line fitting) 처리한 후에, 유효자릿수를 반영하여 GGTO 관련 항법 메시지 포맷 ( $A_{0GGTO}$ ,  $A_{1GGTO}$ ,  $A_{2GGTO}$ )로 출력하였다[5].

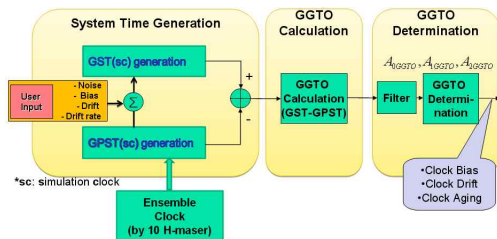


Fig. 1. GGTO Generation Block

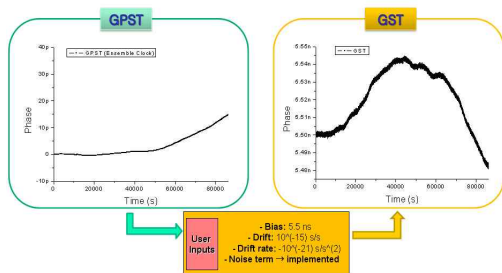


Fig. 2. Generated GPST and GST

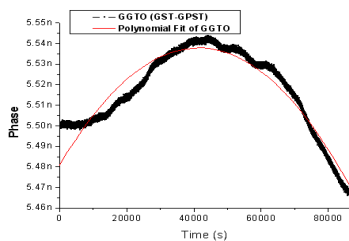


Fig. 3. Estimated GGTO

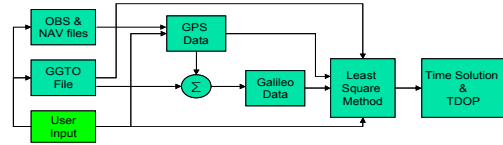


Fig. 4. Test Setup

생성한 GPST와 GST는 Fig. 2와 같고, GGTO는 Fig. 3과 같다. 산출한 GGTO 측정치와 GGTO 관련 파라미터간의 관계를 분석하여 24시간 동안 GGTO의 정확도 요구사항, 즉 5ns (2-sigma) 이내로 정확도를 만족하는 것을 확인하였다.

### 3.1.2 실험환경 구성

GPS와 Galileo 통합 수신기를 사용 시에 시각 측면에서의 상호운용성을 분석하기 위하여 Fig. 4와 같이 측정치 생성 블록과 평가 블록으로 구성된 소프트웨어 기반의 시뮬레이터를 구현하였다. 측정치를 생성하기 위하여 UTC(KRIS)를 외부입력으로 받는 GPS 타이밍용 수신기인 Ashtech社의 Z12T 모델을 사용하였다. 수신기로부터 1일 (MJD 54665) 동안 실제 GPS 신호를 수신하여 출력한 RINEX 포맷의 파일을 사용하여 측정치 생성 블록의 입력으로 사용하였다. 측정치 생성 블록은 RINEX 파일과 GGTO 파일을 입력으로 받는다. 입력받은 RINEX 파일에 명시된 가시위성 중에서 50%는 GPS 측정치로 사용하고, 나머지 50%는 의사거리에 GGTO를 적용하여 Galileo 측정치로 사용하였다. 평가 블록에서는 식 (4)와 (7)에서 명시한 바와 같이 시각 관련 파라미터에 해당하는 TDOP와 수신기 클럭 바이어스 추정치를 출력한다.

### 3.2 실험 시나리오

본 논문은 타이밍용 수신기가 다중 위성을 사용할 때에 고려해야하는 영향을 분석하기 위한 목적으로 진행하였다. 따라서 측정치를 생성하기 위하여 UTC(KRIS)를 외부입력으로, 이와 위성 클럭과 비교하는 상용 GPS 타이밍용 수신기를 사용하여 실측 데이터를 수신하였다. 일반적으로 타이밍용 수신기를 사용하여 시각 측면의 성능을 도출할 때에는, 수신환경이 좋은 지역에서 진행하고, 정확한 위치정보를 알고 있는 경우도 존재한다. 따라서 본 논문에서는 위와 같은 환경 파라미터를 고려하여 크게 8가지 환경에서의 성능을 분석하였다. 분류 기준은 우선 단일 주파수와 이중 주파수를 사용하는 경우로 나누고, 그 다음에는 사용자 위치 및 GGTO 파라미터와 같은 미지수의 수에 따라 나눈다. 8가지로 구분한 실험

Table 1. Test scenarios

	시나리오 별 미지수 종류			
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
단일 주파수	$R_t$	$GGTO$ $R_t$	$R_x, R_y$ $R_z, R_t$	$GGTO$ $R_x, R_y$ $R_z, R_t$
이중 주파수	$R_t$	$GGTO$ $R_t$	$R_x, R_y$ $R_z, R_t$	$GGTO$ $R_x, R_y$ $R_z, R_t$

시나리오는 Table 1과 같다. 이 때, 단일 주파수를 사용하는 경우는 항법 메시지에 포함된 이온층 보정 파라미터를 이용하여 오차를 보상한 반면에, 이중 주파수를 사용하는 경우는 주파수 간의 관계를 이용하여 이온층 오차를 제거하였다.

3.3 실험결과 및 고찰

실제 타이밍용 수신기를 적용하기에 적당한 환경을 고려하여 8가지 경우의 시나리오에 따라 실험환경을 구성하고, 수신기 클럭 바이어스 추정치의 안정도와 TDOP를 분석하였다. 단일 주파수를 사용하는 경우에 미지수 종류에 따른 클럭 바이어스 추정치의 안정도는 Fig. 5와 같다. 수신기의 위치정보와 GGTO 파라미터를 알고 있는 경우에 가장 좋은 성능을 확인할 수 있으며, 미지수의 수가 많을수록 성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 수신기의 위치정보를 알고 있다면, GGTO 파라미터를 알고 있는 경우와 그렇지 않은 경우에 큰 성능차이는 없으나, GGTO 파라미터를 미지수로 놓고 푸는 경우에 약간의 튕 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

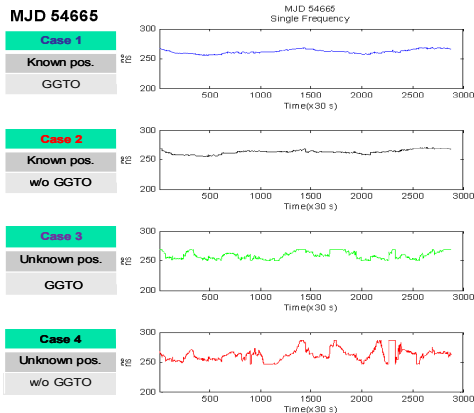


Fig. 5. Time solution obtained by processing single-frequency data

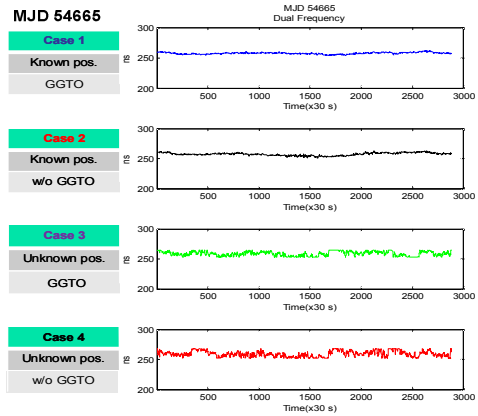


Fig. 6. Time solution obtained by processing dual-frequency data

Table 2. RMS of time solutions

[ns]	단일 주파수	이중 주파수
Case 1	3.43	1.45
Case 2	3.75	2.30
Case 3	6.40	3.68
Case 4	10.05	4.72

반면에 수신기의 위치정보는 시각성능에 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 이중 주파수를 사용하는 경우에 미지수 종류에 따른 클럭 바이어스 추정치의 안정도는 Fig. 6과 같다. 미지수의 수에 따른 성능 추이는 단일 주파수를 사용하는 경우와 비슷하게 나타나며, 전체적으로 단일 주파수를 사용하는 것보다 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다. 이것은 이중 주파수를 사용하면 이온층 오차에 대한 영향을 제거하였기 때문이다. Table 2에서 시나리오에 따른 시각성능을 비교하였다.

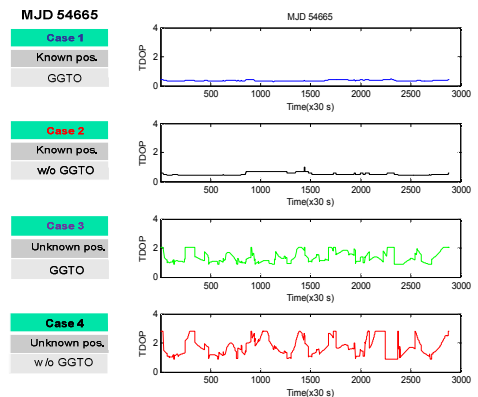


Fig. 7. TDOP

Table 3. Time averaged values of TDOP

	TDOP
Case 1	0.032
Case 2	0.100
Case 3	0.376
Case 4	0.593

시나리오에 따른 TDOP의 분석결과를 Fig. 7과 같다. 그림을 통해 TDOP도 미지수의 수가 많을수록 감소하는 것을 확인할 수 있다. 시나리오에 따른 TDOP의 성능비교는 Table 3과 같다.

#### IV. 결 론

본 논문은 서로 다른 시각 척도를 갖는 GPS와 Galileo 시스템을 사용한 통합 타이밍용 수신기에서 시각 측면에서의 상호운용성을 분석하기 위한 시스템을 구성하고, 타이밍용 수신기를 적용하기에 적합한 실제 환경을 고려하여 8가지 경우의 시나리오에 따라 측정치를 생성하였다. 이 때, 현실성을 높이기 위하여 Ashtech 社의 Z12T 모델의 상용 GPS 타이밍용 수신기를 사용하여 측정치를 수집하였다. H-maser 원자시계의 주파수 안정도 특성을 반영하여 GGTO 요구조건을 만족하는 GGTO를 생성하고, 수집한 측정치를 사용하여 Galileo 신호를 생성한 다음, 항법 알고리즘을 사용하여 수신기 클럭 바이어스 추정치의 안정도와 TDOP를 평가하였다. 본 실험은 현재 서비스 중인 GPS 위성만을 사용하여 GPS와 Galileo 신호를 만들었기 때문에 가시위성의 유효 수가 증가한 것은 아니므로, GPS/Galileo 통합을 통한 성능개선 정도를 분석하기는 어렵다. 하지만 서로 다른 시각 척도를 사용하는 수신기에서 발생하는 문제, 즉 GGTO가 시각 측면의 성능에 미치는 영향과 GGTO 처리 방법에 따른 조건 및 상호운용성을 분석하였다. 수신기의 위치를 알고있는 경우에 시스템 레벨에서의 GGTO 결정 (Case 1)과 사용자 레벨에서의 GGTO 결정 (Case 2)은 수신기 클럭 바이어스 추정치의 안정도 측면에서 1ns 이내로 거의 비슷한 결과를 보이며, 그래도 미지수의 수가 적은 시스템 레벨에서의 GGTO 결정이 더 나은 성능을 갖는 것을

확인하였다. 뿐만 아니라 미지수의 수가 적을수록 성능이 향상되며, 타이밍용 수신기에서 정확한 사용자 위치 정보가 타이밍의 안정도 성능에 크게 영향을 미치는 것을 확인하였다.

#### 후 기

이 논문은 2008년도 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- 1) Moudrak, A., Bauch, A., Konovaltsev, A., Schroth, A., Hammesfahr, J., Furthner, J., Defraigne, P., Bedrich, S., "Interoperability on time : GPS-Galileo offset will bias position", *GPS World*, March 2005, 2005, pp. 24~32.
- 2) Moudrak, A., Bruyninx, C., Bauch, A., Defraigne, P., Konovaltsev, A., Hammesfahr, J., "Determination of GPS-Galileo Time Offset to Support System Interoperability", in *Proceedings of the 8th European Navigation Conference GNSS 2004*, May 2004, Rotterdam, The Netherlands.
- 3) Vanschoenbeek, I., Bonhoure, B., Boschetti, M., Legenne, J., "GNSS time offset, effects on GPS-Galileo interoperability performance", *InsideGNSS*, September/October 2007, 2007, pp. 60~70.
- 4) Hahn, J. H., Powers, E. D., "A Report on GPS and Galileo Time Offset Coordination Efforts", in *Proceedings of the TimeNav 07 Meeting*, May 2007, Geneva, Switzerland.
- 5) Galileo OS SIS ICD, Draft 1, European Space Agency, February 2008.
- 6) Shin, M. Y., Kang, D. Y., Yun, H. H., Park, C., Yang, S. H., Lee, C. B., Lee, S. J., "Clock Error Modeling for GNSS Software Platform", *Joint International Symposium & Exhibition on Geoinformation and GPS/GNSS 2007*, November 2007, Johor Bahru, Johor, Malaysia.