

## 소프트웨어 기반 의사위성 시각동기 기법 성능평가를 위한 오차 요소 분석

# An Analysis of Error Factors for Software Based Pseudolite Time Synchronization Performance Evaluation

이주현<sup>1</sup> · 이선용<sup>1</sup> · 황소영<sup>2</sup> · 유동희<sup>2</sup> · 박찬식<sup>3</sup> · 이상정<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 전자공학과

<sup>2</sup>부산가톨릭대학교 소프트웨어학과

<sup>3</sup>충북대학교 전자공학과

Ju Hyun Lee<sup>1</sup> · Sun Yong Lee<sup>1</sup> · Soyoung Hwang<sup>2</sup> · Dong-Hui Yu<sup>2</sup> · Chansik Park<sup>3</sup> · Sang Jeong Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

<sup>2</sup>Department of Software, Catholic University of Pusan, Busan, 609-757, Korea

<sup>3</sup>Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 의사위성과 GPS 위성 사이의 시각동기를 위한 세가지 동기 방안을 제안하고 시각동기 기법의 성능 분석에 필요한 의사위성 시각동기 오차요소에 대해 분석한다. 제시한 세가지 시각동기 방안으로는 의사위성 시각동기 스테이션 구축 방안, UTC(KRIS)의 시각정보원을 활용한 의사위성 시각동기 방안, GPS 시각용 수신기를 활용한 시각동기 방안이 있다. 또한 제안한 의사위성 시각동기 방안의 성능평가를 위한 시뮬레이션 구성을 위해 의사위성 시각동기 방안의 오차요소를 의사위성 및 기준 클럭의 오차, 전송선로에 의해 발생하는 오차, TIC에 의해 발생하는 오차, 클럭 동기 알고리즘에 의해 발생하는 오차로 구분하고 각 오차 요소를 분석하였다.

### [Abstract]

This paper proposes three methods of the time synchronization for Pseudolite and GPS and analyzes pseudolite time synchronization error factors for software based performance evaluation on proposed time synchronization methods. Proposed three time synchronization methods are pseudolite time synchronization station construction method, method by using UTC(KRIS) clock source and GPS timing receiver based time synchronization method. Also, we analyze pseudolite time synchronization error factors such as errors of pseudolite clock and reference clock, time delay as clock transmission line, measurement error of time interval counter and error as clock synchronization algorithm to design simulation platform for performance evaluation of pseudolite time synchronization.

Key word : Time synchronization, Pseudolite, GPS, Error factors analysis.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2014.18.5.429>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 3 September 2014; Revised 28 October 2014

Accepted (Publication) 6 October 2014 (30 October 2014)

\*Corresponding Author; Sang Jeong Lee

Tel: +82-42-825-3991

E-mail: eesjl@cnu.ac.kr

## 1. 서론

일반적으로 의사위성은 GPS 위성의 백업 시스템으로 활용하거나 실내항법을 위한 목적으로 운용되며, 지상에 설치되어 GPS 위성과 유사한 신호를 송신한다. 따라서 이러한 의사위성을 활용한 다양한 GPS 오차 보정 시스템이 연구 및 운용되고 있다. 한편 GPS의 위치결정 정확도 및 정밀도 향상을 목적으로 오차보정시스템이 운용되고 있으며, 보정정보 전달 방식에 따라 GBAS(ground-based augmentation systems), SBAS(space-based augmentation systems), ABAS(airplane-based augmentation systems), GRAS(ground-based regional augmentation systems)로 나뉜다. SBAS는 정지궤도 위성을 활용하여 GPS 사용자에게 고장여부 전달 및 의사거리 오차 정보 전달 등의 기능을 수행하여 무결성, 정확성, 가용성 향상을 기대할 수 있으며 대표적인 시스템으로 미국의 WAAS(wide area augmentation system), 유럽의 EGNOS(european geostationary navigation overlay service), 일본의 MSAS(multi-functional satellite augmentation system) 등이 존재한다. ABAS의 경우 항공기 기반으로 항법 보정정보를 전송하는 시스템이며 GBAS는 지상에 기준국을 설치하여 GPS 수신기에 오차 보정정보 전송하는 시스템으로 주로 항공기 이착륙을 위한 측위 정확도 향상을 목적으로 운용되고 있다. 현재 GBAS 시스템은 미국, 유럽, 일본, 호주 등의 국가사업으로 연구 및 운용되고 있으며, 보잉사 및 에어버스가 개발 중인 모든 신규 개발 항공기에 탑재되어 활용되고 있다.

GBAS 시스템은 이와 같이 항공기 이착륙을 위한 항법보조 시스템 뿐만 아니라 일반 사용자의 항법 측위 성능 향상에도 기여하고 있으며, 항법 오차보정 시스템에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 이러한 GBAS 운용에 있어 의사위성을 활용할 경우 GPS 수신기가 기존에 사용하던 L1 대역을 활용하여 보정 데이터를 전송하므로 추가적인 대역확보 없이 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라 의사위성으로부터 수신한 신호를 통해 추가적인 의사거리 측정치 활용, 항법 성능 향상을 기대할 수 있다. 현재 유럽의 SBAS 시스템인 EGNOS에 의사위성을 추가하여 운용하려는 연구가 개발 중에 있으며, 다음 그림 1과 같다.

의사위성은 지구 궤도상에 위치한 GPS 위성과 동일한 PRN 코드 및 반송파, 항법데이터를 지상에서 송신하며, GPS 위성 신호와 동일한 신호 구조를 가진다. 그리고 의사위성의 의사거리 측정치를 활용하여 기존 GPS수신기의 항법성능을 향상시킬 수 있으며, 지상에 설치하므로 항법 위성에 비해 매우 적은 비용으로 운용이 가능하고, 위성신호가 도달하지 못하는 지역에서도 운용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이러한 의사위성의 의사거리 측정치를 활용하기 위해서는 TOA 측정치 기반으로 GPS가 운용되므로, GPS 위성간의 시각동기 수준과 유사한 의사위성 시각동기 정확도가 요구된다. 의사위성과 항법시스템간의 시각동기 오차에 따른 영향은 일반적으로 1us

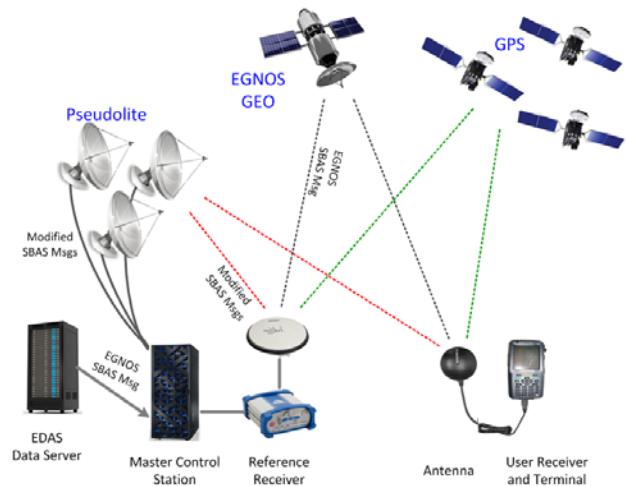


그림 1. EGNOS 의사위성 시스템 구조  
Fig. 1. The EGNOS pseudolite system structure.

의 시각동기 오차가 발생할 경우 300 m의 의사거리 오차가 발생하며, 미터 단위의 측위를 위해서는 의사위성과 GPS 위성간의 나노세크급 시각동기가 필요하다. 따라서 의사위성의 운용을 위해서는 항법시스템과 의사위성간의 시각동기 알고리즘이 필수적이다.

본 논문에서는 의사위성의 의사거리 측정치 활용을 위한 GPS위성과 의사위성 간의 3가지 시각동기 방안을 제시하였으며, 각 시각동기 방안의 동기 성능 평가를 위한 소프트웨어 기반 테스트 플랫폼 설계 시 필요한 시각동기 요차요소별 분석을 수행하였다. 본 논문에서는 의사위성 시각동기를 위해 의사위성 시각동기 스테이션을 활용한 기법, 한국표준과학연구원 시각정보원을 활용한 기법, GPS 시각용 수신기를 활용한 기법을 제시하였으며, 시각동기 오차요소로 의사위성 및 기준 클럭의 오차, 전송선로에 의해 발생하는 오차, TIC에 의해 발생하는 오차, 클럭 동기 알고리즘에 의해 발생하는 오차로 구분하여 각 오차별 특성을 분석하였다.

## II. 의사위성 시각동기 기법

본 장에서는 의사위성 시각동기를 위한 기법으로 의사위성 시각동기 스테이션을 활용한 기법, 한국표준과학연구원 시각정보원을 활용한 기법, GPS 시각용 수신기를 활용한 기법의 3가지 방안을 제시한다.

### 2-1 의사위성 시각동기 스테이션 구축 기법

본 절에서는 의사위성 시각동기를 위해 의사위성 시각동기 스테이션을 구축하여 의사위성과 GPS 위성간의 시각동기를 수행하는 기법을 소개한다. 의사위성 시각동기 스테이션 구축 기법의 구조는 그림 2와 같다.

본 절에서 제안하는 시각동기 기법은 국제도량형국(BIPM)에서 세계협정시(UTC; coordinated universal time)를 관리하는 구조에 착안하여 제안하였다. 제안한 방안은 GPS 위성과의 의사위성간의 시각 오차를 산출하기위해 의사위성 신호를 수신하는 의사위성 수신기와 GPS 수신기로부터 RINEX 데이터를 얻고 이로부터 각 GPS위성과 의사위성 간의 시각 비교를 위해 CGGTTS(CCTF group on GNSS time transfer standards) 데이터 양식으로 변환하여 시각 오차 모니터링 및 시각 동기를 수행한다[1].

이러한 시각 비교 수행에 있어 GPS 위성 으로부터 수신되는 신호의 클럭 오차, 궤도 오차, 이온층, 대류층 오차 및 의사위성 수신기 오차를 고려하며, 일정기간 수집한 GPS 위성과 의사위성간의 오차 데이터를 바탕으로 의사위성 시각을 GPS 위성에 동기 시킨다. 각 GPS 위성 시각과 의사위성 시각을 비교하는 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \theta_{GPS,i} &= C_{GPS,i} - C_R \\ \theta_{PL} &= C_{PL} - C_R \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\theta_{GPS,i}$ 는  $i$ 번째 위성과 수신기 간의 클럭 오차,  $\theta_{PL}$ 은 의사위성과 수신기간의 클럭 오차,  $C_{GPS,i}$ 는  $i$ 번째 위성의 클럭 오차,  $C_R$ 은 수신기의 클럭 오차,  $C_{PL}$ 은 의사위성의 클럭 오차



그림 2. 의사위성 시각동기 스테이션 구축 방안  
Fig. 2. The method using pseudolite time synchronization station.

이며, 위 수식(1)을 통해  $i$ 번째 위성의 클럭과 의사위성 클럭간의 시각차를 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned} (C_{GPS,i} - C_R) - (C_{PL} - C_R) &= \theta_{GPS,i} - \theta_{PL} \\ C_{GPS,i} - C_{PL} &= \theta_{GPS,i} - \theta_{PL} \end{aligned} \quad (2)$$

수식 (2)와 같이 CGGTTS 데이터 정보로부터 의사위성과 각 위성에 따른 시각오차를 누적하여 의사위성 시각오차를 일정 시간마다 보정하여 시각동기를 수행한다.

### 2-2 국가표준 시각정보원 활용 기법

본 절에서 제안한 또 다른 의사위성 시각동기 방안은 한국표준과학연구원(KRIS; Korea research institute of standards and science)의 세계협정시(이하 UTC(KRIS))를 활용한 의사위성 시각동기 기법이며, 전체적인 시각동기 개념은 그림 3과 같다.

국내에서 관리되고 있는 UTC(KRIS)의 경우 4개의 세슘원자시계와 2개의 수소메이저를 이용하여 국가표준을 유지하고 있으며, 생성된 시각정보를 매일 국제도량형국(BIPM)에 보고하고 있다. 또한 BIPM기관에서는 UTC(KRIS)를 포함한 전 세계의 약 260여대 원자시계 데이터를 가중 평균하여 UTC를 생성하고, 생성된 시각원을 바탕으로 매일 각 기관별 UTC-UTC(k) 정보를 BIPM circular T에 발표하며 해당 기관의 시각원에 보정하도록 하고 있다. 따라서 GPS와 UTC 간의 윤초에 해당하는 오차를 보정할 경우, BIPM기관에 의해 국내의

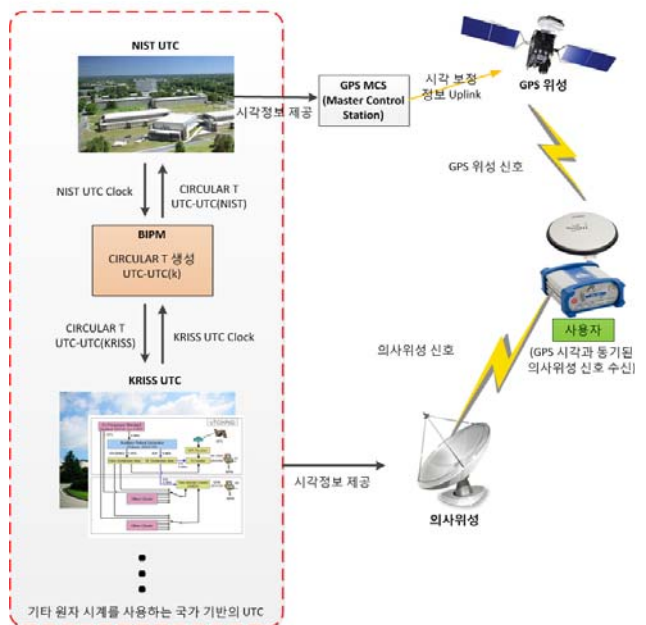
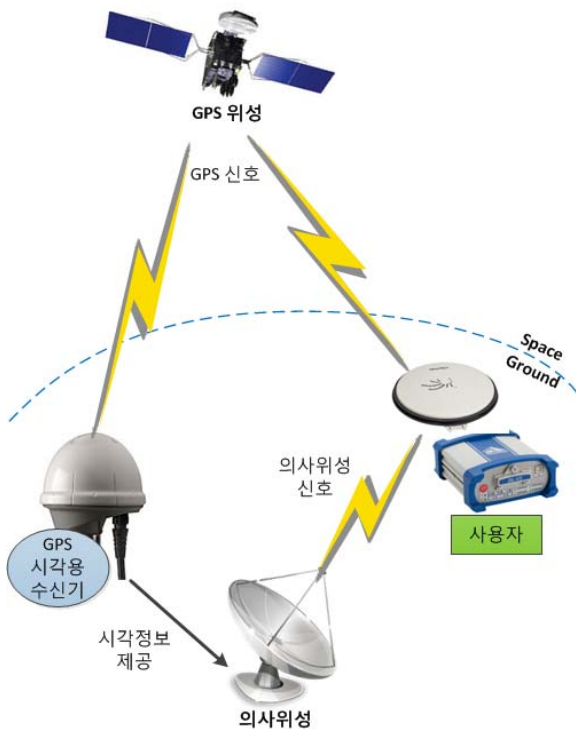


그림 3. 국가표준 시각정보원 활용 기법  
Fig. 3. The time synchronization method by using UTC(KRIS).

UTC(KRIS) 시각원이 GPS 시각과 동기 되어 있다고 가정할 수 있으며, 일반적으로 10 ns의 불확도로 동기를 유지하고 있다. 결과적으로 본 절에서 제안한 UTC(KRIS) 시각원을 활용한 방안을 통해 의사위성과 GPS 위성간의 시각동기를 달성할 수 있다.

**2-3 GPS 시각용 수신기 활용 기법**

본 절에서는 GPS 시각용 수신기를 활용한 의사위성 시각 동기 기법을 소개한다. GPS 시각용 수신기를 활용한 의사위성 시각 동기 방안은 그림 4와 같다. GPS 시각용 수신기의 경우 제품 별로 다양한 시각 정확도를 가지고 있으며, 대표적인 상용 GPS 시각용 수신기의 1PPS RMS 정확도는 표 1과 같다. GPS 시각용 수신기를 활용할 경우 의사위성 시각 동기 스테이션을 활용한 경우에 비해 오차 데이터 누적 및 가공하는 과정이 요구되지 않아 낮은 시각 정확도를 가지는 의사위성 클럭원 대상으로도 운용 가능하다는 장점과 한국표준과학연구원 시각정보원 활용 기법에 비해 설치 위치에 대한 제약이 적다는 장점이 존재한다. 그러나 높은 시각정확도를 가지는 GPS 시각용 수신기의 경우 고가이며, 의사위성 클럭을 전적으로 GPS 시각용 수신기의 1PPS에 의존하여 운용되므로 GPS 시각용 수신기에 고장이



**그림 4.** GPS 시각용 수신기 활용한 의사위성 시각 동기 기법  
**Fig. 4.** The pseudolite time synchronization method using GPS timing receiver.

**표 1.** GPS 시각용 수신기의 클럭 오차

**Table 1.** The clock error of GPS timing receiver.

	Output	1PPS Accuracy(RMS)
Trimble Resolution T	1 PPS	15 ns
Digi-Key Wi125	1 PPS, 10 MHz	25 ns
Motorola M12+	1 PPS	8 ns
Symmetricom XL-GPS	1 PPS, 10 MHz	30 ns
NovAtel	1 PPS	20 ns
U-blox	1 PPS	30 ns, (60 ns 99%)

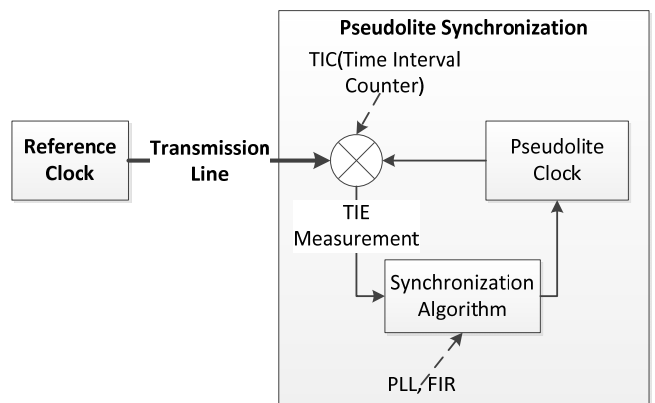
발생할 경우 의사위성 수신기와 GPS 위성간의 시각동기를 유지할 수 없다는 단점이 있다.

**III. 의사위성 시각 동기 시스템의 오차 요소**

본 논문에서는 제안한 3가지 의사위성 시각 동기 기법을 대상으로 소프트웨어 기반 플랫폼을 통한 동기 성능 검증을 위해 의사위성 시각 동기 시스템의 오차 요소를 분석하였다. 의사위성 시각 동기 성능 분석을 위한 시스템 구조는 그림 5와 같다. 의사위성 시각 동기 시스템의 오차를 의사위성 자체의 클럭 오차 및 기준 클럭원의 클럭 오차, 전송 선로에 의한 클럭 오차, TIC(time interval counter)에 의해 발생하는 오차, 클럭 동기 알고리즘에 의해 발생하는 오차로 구분하였으며, 각 오차 요소에 대해 분석하였다.

**3-1 의사위성 클럭 및 시각원의 클럭 오차**

의사위성 클럭의 경우 사용 클럭원으로 세슘 클럭, 수소-메이저, 루비듐 클럭의 원자시계와 TCXO, OCXO의 수정발진기



**그림 5.** 의사위성 시각 동기 성능 분석을 위한 시스템 구조  
**Fig. 5.** The system structure for analyzing pseudolite time synchronization.



표 2. 클럭원의 시간에 따른 잡음 모델

Table 2. The noise model as time of clock source.

Noise Types	Cs	H-M	Quartz	Rb
WPM		$\tau \leq 100$ s	$\tau \leq 1$ ms	
FPM			$\tau \leq 1$ s	
WFM	$\tau \geq 10$ s	$100$ s $\leq \tau$		$\tau \geq 1$ s
FFM	$\tau \geq$ days	$\tau \geq 10^4$ s	$\tau \geq 1$ s	$\tau \geq 10^4$ s
RRFM	$\tau \geq$ weeks	$\tau \geq$ weeks	$\tau \geq$ h	$\tau \geq$ days

를 대상으로 하였으며, 각 클럭원의 시간에 따른 오차 모델은 표 2와 같다. 클럭 모델은 종류에 따라 WPM(white phase modulation), FPM(flicker phase modulation)과 잡음의 미분 및 적분을 통해서 도출하는 WFM(white frequency modulation), FFM(flicker frequency modulation), RRFM(random walk frequency modulation)으로 구성되어 있다. 그리고 클럭 잡음 모델에 클럭원에 따른  $h$  파라미터를 오차 기율기에 적용하여 그림 6 에서와 같이 각 클럭원에 따른 Allan 편차를 도출하였다 [2].

표 3. 클럭원의 시간 구간별  $h$  파라미터

Table 3.  $h$  parameters as time of clock source.

$h$ Parameter	Cs	H-M	Quartz	Rb
$h_2$		$5 \times 10^{-13}$	$3 \times 10^{-12}$	
$h_1$			$1 \times 10^{-10}$	
$h_0$	$8.5 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-14}$		$5 \times 10^{-12}$
$h_{-1}$	$4 \times 10^{-12}$	$4 \times 10^{-13}$	$5 \times 10^{-10}$	$9 \times 10^{-12}$
$h_{-2}$	$7 \times 10^{-19}$	$1 \times 10^{-17}$	$7 \times 10^{-14}$	$5 \times 10^{-12}$

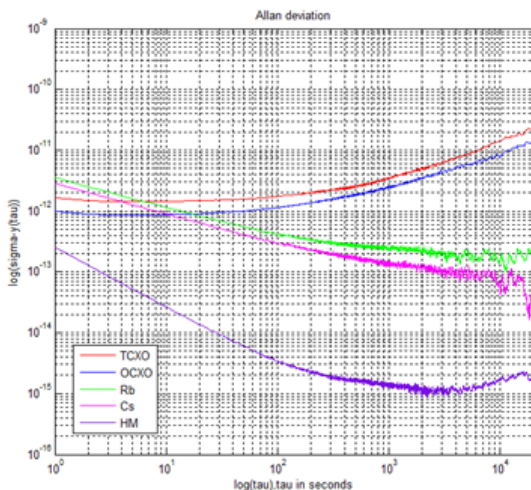


그림 6. 클럭 종류에 따른 Allan 편차

Fig. 6. The Allan deviation as clock source.

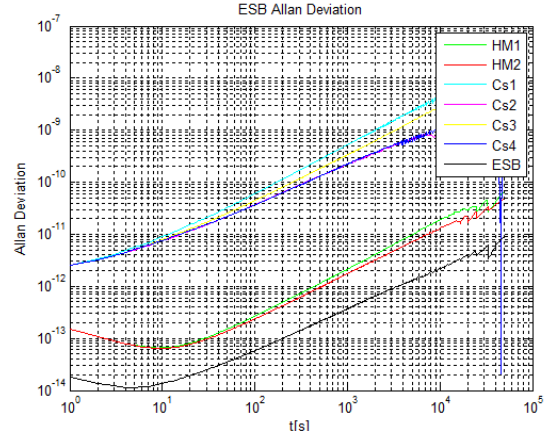


그림 7. 각 원자시계와 앙상블 클럭의 Allan 편차

Fig. 7. The Allan deviation as ensemble clock and atomic clocks.

또한 UTC(KRIS)를 대상으로한 기준 클럭원을 모사하기 위해 앙상블 알고리즘을 적용한 클럭 결과를 산출하였다. UTC(KRIS)는 4개의 세슘 클럭과 2개의 수소 메이저를 이용하여 운영되므로, 총 6개의 원자시계  $i$ 에 대한 앙상블 알고리즘 가중치  $w_i$ 는 다음 수식 (3)과 같고 이를 활용한 앙상블 클럭 ESB는 수식 (4)와 같다.

$$w_i = \left( \sum_i^n (1/\sigma_i^2) \right) / \sigma_i^2 \quad (3)$$

$$ESB = \langle w_i \times TIE_i \rangle \quad (4)$$

여기서  $i$ 는 각 원자시계,  $\sigma_i^2$ 는 원자시계  $i$ 에 대한 Allan 분산,  $n$ 은 원자시계의 총 수,  $TIE_i$ 는 원자시계  $i$ 에 대한 1 PPS 시각 오차,  $\langle \rangle$ 는 평균을 의미한다. 이와 같은 과정을 통해 UTC (KRIS)를 각 원자시계 오차로부터 모사한 결과는 그림 7과 같다.

### 3-2 전송선로에 의해 발생하는 오차

GPS 시각용 수신기의 1 PPS 및 UTC(KRIS)등 시각원의 전송선로로 동축 케이블 혹은 광케이블의 사용이 가능하며 동축 케이블의 경우 케이블에 의한 위상 지연은 수식 (5)와 같다[3].

$$\phi = \frac{360fl \sqrt{\epsilon_r}}{c} \quad (5)$$

여기서  $\phi$ 는 동축케이블에 의해 발생하는 위상 지연이며,  $f$ 는 전송 시각원의 주파수,  $l$ 은 케이블의 길이,  $c$ 는 빛의 속도,  $\epsilon_r$ 은 동축케이블의 유전율을 의미한다. 식 (5)와 같이 동축케이블에 의한 위상 지연 예측이 가능하나 위상 지연 오차의 경우, 외부 전파에 의한 영향 및 온도에 의해 발생하는 케이블의 물리적 길

이 변화, 유전율의 변화에 취약한 특성을 가진다. 따라서 광케이블을 사용하는 것이 시각원의 전달에 유리하며 광케이블의 경우 온도 및 케이블 길이에 따른 지연 오차 TCD(Thermal Coefficient of Delay)가 케이블의 온도와 장력에 의해 영향을 받는다. 본 논문에서는 기존에 연구되었던 총 7가지 광케이블을 대상으로 지연 값을 도출하였다[4].

**3-3 TIC에 의해 발생하는 오차**

TIC는 의사위성의 클럭과 GPS 시각용 수신기 및 UTC(KRIS)의 기준 클럭원 1 PPS간의 시각오차를 측정하며, TIC는 1 카운터 오차 및 트리거 오차가 존재한다. Agilent사에서 제공하는 모델의 경우 약 20 ps의 시각 오차가 발생한다[5].

**3-4 클럭 동기 알고리즘에 의해 발생하는 오차**

클럭 동기를 위한 방안으로 FLL 기반의 동기 알고리즘과 PLL 기반의 동기 알고리즘을 대상으로 분석하였으며, 각 알고리즘의 연산 흐름은 다음 그림 9와 같다. PLL 기반의 클럭 동기 알고리즘의 경우 FIR 필터  $h_{fi}$ , Hold 필터  $\hat{u}_n$ , LP 필터  $\hat{u}_n$ 으로 구성되며 생성한 기준 클럭의 TIE 측정치와 의사위성의 TIE 측정치간의 클럭 동기를 수행, 의사위성의 클럭 오차를 보정한다. PLL 기반의 클럭 동기 알고리즘의 경우 기준 충격 계수 (Duty Cycle)임을 가정하였을 경우 기준 클럭의 상승에지로부터 의사위성 클럭의 이전 및 다음 시점의 하강에지를 도출하며, 추가로 LP 필터를 통과하여 의사위성 클럭 오차에 대한 보정을 수행한다. 본 논문에서는 클럭 동기 알고리즘에 의해 발생하는 오차를 분석하기 위해 기준 클럭원으로 UTC(KRIS)를 가정한 6개의 원자시계 양상불 클럭의 1PPS TIE와 의사위성 클럭으로 세습 원자시계 클럭의 1PPS TIE를 대상으로 하였다. 각 알고리즘에 대한 보상주기를 300 샘플 간격으로 설정하였으며, 10만 초 시간을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 의사위성 세습 원자시계를 가정한 각 클럭 동기 알고리즘별 시각 오차 및 Allan 편차는 그림 10, 11과 같다[6]-[8].

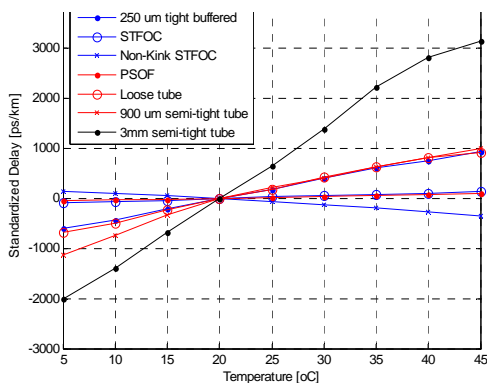


그림 8. 광케이블 종류 및 온도에 따른 지연  
Fig. 8. The delay as optical cable and temperature.

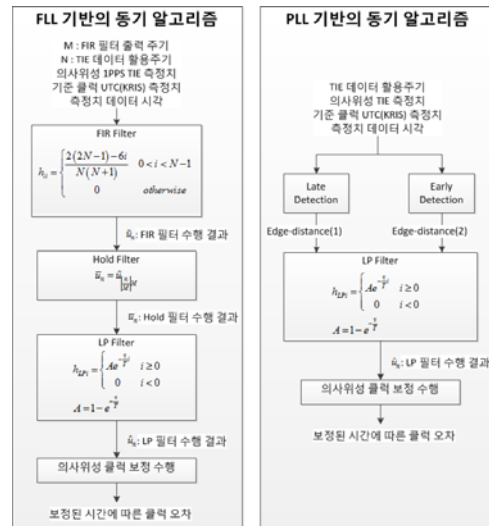


그림 9. 클럭 동기 알고리즘의 연산 흐름  
Fig. 9. The algorithm flow of PLL and FLL based clock synchronization.

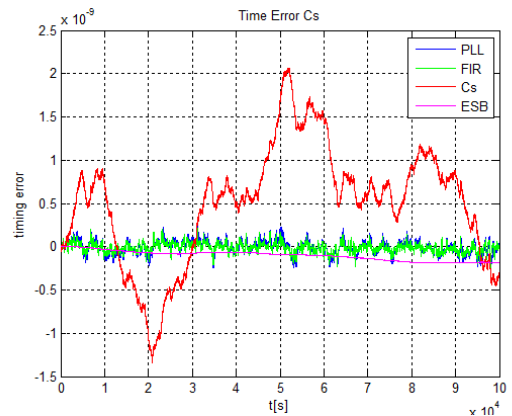


그림 10. 세습 클럭원의 PLL, FIR 클럭 동기결과(시각오차)  
Fig. 10. Time synchronization result as PLL, FIR based algorithm about Cs clock(Timing error).

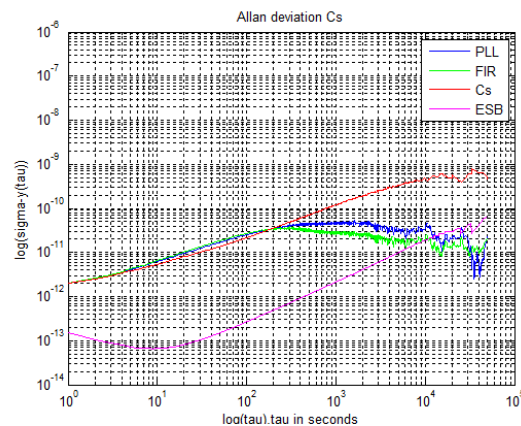


그림 11. 세습 클럭원의 PLL, FIR 클럭 동기결과(Allan편차)  
Fig. 11. Time synchronization result as PLL, FIR based algorithm about Cs clock(Allan deviation).

#### IV. 결 론

본 논문에서는 의사위성 시각동기를 위한 3가지 구조로 의사위성 시각동기 스테이션 구축 방안, UTC(KRIS)의 시각정보원을 활용한 의사위성 시각동기 방안, GPS 시각용 수신기를 활용한 시각동기 방안을 제시하였다. 의사위성 시각동기 스테이션 구축 방안은 GPS와 의사위성의 시각동기 모니터링 및 보정을 위한 방안으로 활용되며 의사위성 수신기 및 GPS 수신기로부터 CGGTTS 생성하여 의사위성과 각 GPS 위성간의 시각오차를 모니터링하고, 누적한 시각오차정보를 활용하여 일정 주기마다 의사위성의 시각을 보정하는 개념이다. UTC(KRIS)의 시각정보원을 활용한 의사위성 시각동기 방안과 GPS 시각용 수신기를 활용한 시각동기 방안은 각각 UTC(KRIS)의 시각원 혹은 GPS 시각용 수신기의 1 PPS 클럭을 활용하여 시각동기를 수행하는 방안으로 해당 기준 클럭원에 의사위성의 클럭을 동기하므로 GPS 위성과 간접적으로 시각동기를 달성하는 방안이다. 제안한 3가지 시각동기 구조를 소프트웨어 기반의 시뮬레이션을 통해 분석하기 위해 시각동기 오차요소를 의사위성 및 기준 클럭 자체의 오차, 전송선로에 의해 발생하는 오차, TIC에 의해 발생하는 오차, 클럭 동기 알고리즘에 의해 발생하는 오차로 구분하였으며 각 오차요소에 대해 시뮬레이션 기반으로 분석하였다. 의사위성의 클럭은 세슘 클럭, 루비듐 클럭, TCXO, OCXO를 대상으로 하였으며, 기준 클럭을 위한 UTC(KRIS)모사 목적의 양상블 1 PPS TIE 측정치를 생성하였다. 전송선로에 의한 시각 오차는 동축케이블과 광케이블을 대상으로 하였으며 온도, 케이블 장력 및 전송길이에 의해 영향을 받는다. 또한 TIC에 의해 발생하는 오차는 입력 신호 특성 및 TIC 하드웨어 성능에 따라 결정되며, 클럭 동기 알고리즘의 경우 FLL 및 PLL 기반의 동기알고리즘으로 구분하여 의사위성 클럭원을 세슘 원자시계로 가정할 후 비교하였다.

본 논문에서 제안한 3가지 의사위성 시각동기 방안 및 4가지 오차요소 분석 결과를 활용하여 추후 연구를 통해 소프트웨어 기반의 동기 성능분석 기법 설계가 가능할 것으로 기대되며, 의사위성 시각동기분야 뿐만 아니라 기타 시스템의 시각유지를 위한 목적으로 활용할 것으로 예상된다.

#### 감사의 글

본 논문은 국토해양부 소관 “광역보정시스템 (WA-DGNSS) 구축기술개발” 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] CCTF. (2001, June). CGGTTS guidelines for manufacturers of GNSS receivers used for timing [Online]. Available: <http://tycho.usno.navy.mil>
- [2] L. Galleani et al., “A mathematical model for the atomic clock error,” *2003 Metrologia*, Vol. 40, No. 3, pp. 257-264, June, 2003.
- [3] L. Qian and Z. Shan, Coaxial cable modeling and verification, B. S. dissertation, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, 2012.
- [4] M. Bousonville et al., “New phase stable optical fiber,” in *Proceeding of Beam Instrumentation Workshop 2012*, Newport News: VA, pp. 101-103, 2012.
- [5] Fundamentals of Time Interval Measurements Application Note 200-3, Hewlett-Packard Company Copyright, 5965-7663E, 1997.
- [6] A. Babu, B. Daya, B. Nagasundaram, and N. Veluchamy, All Digital Phase Locked Loop Design and Implementation, University of Florida, Gainesville, FL, Project report 32608, pp 1-4, 2009.
- [7] L. Arceo-Miquel et al., “Optimal synchronization of local clocks by GPS 1PPS signals using predictive FIR filters,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 58, No. 6, pp. 1833-1839, June, 2009.
- [8] G. Zhou et al., “PLL based time synchronization in wireless sensor networks,” in *2009 15th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications*, Beijing: China, pp.51-56, 2009.



**이 주 현 (Ju Hyun Lee)**

2011년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)

2011년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전자공학과 석박통합과정

※관심분야 : GNSS, 실내항법, Anti-Jamming



**이 선 용 (Sun Yong Lee)**

2013년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)  
2013년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전자공학과 석사과정  
※관심분야 : GNSS 수신기, 신호처리, 필터



**황 소 영 (Soyoung Hwang)**

1999년 2월 : 부산대학교 전자계산학과 (이학사)  
2001년 2월 : 부산대학교 전자계산학과 (이학석사)  
2006년 2월 : 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)  
2006년 ~ 2010년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
2010년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 소프트웨어학과 조교수  
※관심분야 : 임베디드 시스템, 시각동기, e-Navigation



**유 동 희 (Dong-Hui Yu)**

1992년 2월 : 부산대학교 전자계산학과 (이학사)  
1994년 2월 : 부산대학교 전자계산학과 (이학석사)  
2001년 2월 : 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)  
1994년 ~ 1997년 7월 : 한국전자통신연구원 연구원  
2001년 3월 ~ 2002년 2월 : (주) 이김부설연구소 소장  
2002년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 소프트웨어학과 교수  
※관심분야 : GPS, 시각동기, 통신시스템, e-Navigation



**박 찬 식 (Chansik Park)**

1984년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)  
1986년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사)  
1997년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학박사)  
1997년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학 교수  
※관심분야 : GNSS, SDR, AJ, ITS, WSN



**이 상 정 (Sang Jeong Lee)**

1979년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)  
1981년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사)  
1987년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학박사)  
1987년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수  
※관심분야 : 강인제어, GNSS, 항법 및 산업제어