

# 다양한 통신위성에 따른 KRISS와 NICT 시각비교

\*한지애<sup>1</sup>, 양성훈<sup>1</sup>, 이영규<sup>2</sup>, 이승우<sup>3</sup>, 이창복<sup>4</sup>

- \*한국표준과학연구원, 기반표준부 (Tel: 042-868-5232 E-mail: miniholl@hanmail.net)
- 1한국표준과학연구원, 기반표준부 (Tel: 042-868-5147 E-mail: shyang@kriss.re.kr )
- 2한국표준과학연구원, 기반표준부 (Tel: 042-868-5569 E-mail: ykleeks@kriss.re.kr )
- 3한국표준과학연구원, 기반표준부 (Tel: 042-868-5282 E-mail: swlee@kriss.re.kr )
- 4한국표준과학연구원, 기반표준부 (Tel: 042-868-5010 E-mail: cblee@kriss.re.kr )

**Abstract:** 본 논문에서는 현재 KRISS(한국표준과학연구원)에 구축된 JCSAT-1B 위성과 PAS-8 위성 그리고 PAS-4 위성을 이용하여 KRISS와 NICT(일본의 정보통신연구기관)간의 양방향 시각비교를 통하여 그들의 안정도를 비교분석하고 향후 JCSAT-1B 위성의 백업시스템으로써 PAS-4 위성과 PAS-8 위성의 활용성을 검토하였다.

**Keywords:** JCSTAT-1B, PAS-4, PAS-8, 백업시스템

## 1. 서론

통신위성을 이용한 양방향 시각비교 시스템(TWSTFT-Two Way Satellite Time and Frequency Transfer)은 GPS time을 이용한 시각비교방법과 더불어 정확한 시각비교를 위하여 널리 사용되고 있는 방법이다[1, 2].

특히 양방향 시각비교방법은 전파지연 시간 중 위성과 기지국간의 지연시간이 Uplink와 Downlink가 같은 경로를 경유하기 때문에 경로에 따른 의존성이 사라진다. 그러므로 GPS와 같은 항법위성을 이용한 단일방향 시각비교방법의 경우에 주요한 오차요인으로 작용하는 위성의 위치나 전리층 및 대류권 등에 의한 오차가 TWSTFT에서는 없어져 고정밀의 정확한 시각비교가 가능하다. 이 기술을 이용하면 현재 약 수십 ns이상의 오차를 갖는 위성이용 국제시각동기 정밀도를 1ns 정도의 고정밀 시각동기로의 성능향상이 가능하다.

현재 한국표준과학연구원(KRISS)에 구축되어 있는 양방향 시각비교 시스템은 JCSAT-1B를 포함하여 PAS-4와 PAS-8 모두 3가지이다. 이중 JCSAT-1B는 2002년 12월에 도입되어 현재는 안정화 단계에 접어들어 활발한 시각비교를 수행하고 있다. 이에 반해 PAS-8와 PAS-4은 각각 2003년 말과 2005년에 구축되어 아직 시각비교는 초기단계이며 아직까지 이 세가지 TWSTFT들 사이에 상호간의 상대적인 안정도의 비교분석 및 시각비교가 이루어 지지 않았다.

본 논문에서는 이 세 통신위성을 이용하여 KRISS와 NICT간의 시각비교를 수행하였으며 이를 통하여 그들의 안정도를 비교분석하고 만약 JCSAT-1B 위성이 이상이 생길 경우 이를 대체할 만한 백업시스템에 대한 활용 가능성을 검토하였다. KRISS와 NICT간의 시각비교를 할 때 JCSAT-1B 위성은 동아시아 지역을 연결할 수 있는 통신위성으로 KRISS와 NICT간의 직접적인 양방향 시각비교가 가능하나 오세아니아와 북아메리카 지역을 연결할 수 있는 PAS-8과 유럽 지역을 연결하는 PAS-4는 KRISS와 NICT간의 직접적인 양방향 시각비교가 불가능하다. 따라서 PAS-8은 NMIA(호주의 측정표준기관)를, PAS-4는 PTB(독일연방물리기술 연구소)를 이용하여 KRISS와 NICT의 양방향 시각비교를 하였다.

## 2. 각 통신 위성들의 특성

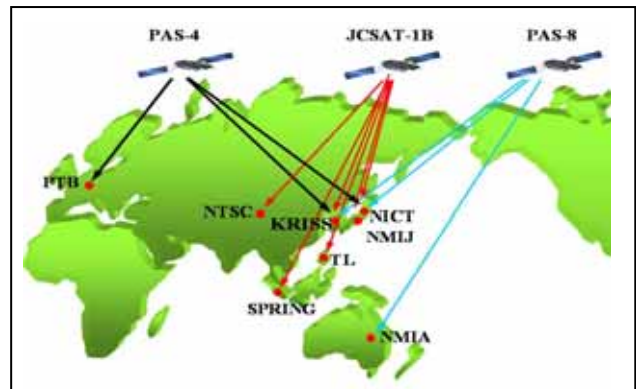


그림 1. KRISS의 통신위성이용 양방향 시각비교 링크  
Fig. 1. International link of TWSTFT at KRISS.

### 2.1 JCSAT-1B 위성

JCSAT-1B 위성은 1985년에 도입되어 일본의 위성 디지털 방송서비스와 위성 인터넷 그리고 위성 데이터 전송서비스를 제공하는 6개의 JCSAT 위성 중에 동경 150°에 있는 위성으로 Ku-band의 주파수 대역을 사용하며 동아시아 지역을 연결할 수 있는 통신 위성이다. 현재 JCSAT-1B 위성을 이용하여 그림 1에 보이는 것처럼 KRISS를 포함하여 일본의 NICT, NMIJ, 대만의 TL, 중국의 NTSC, 싱가포르의 SPRING 등의 6개 기관 간에 시각비교를 수행하고 있다.

### 2.2 PAS-8 위성

PAS-8위성은 아시아 대부분과 오세아니아 그리고 북아메리카 서부의 일부까지 연결 가능한 동경 166°에 있는 위성이다. 현재 PAS-8위성은 KRISS와 NMIA, NICT와 NMIA간의 양방향 시각비교가 이루어 지고 있다.

### 2.3 PAS-4 위성

PAS-4는 72° 상공에 있는 위성으로서 우리나라에서는 낮은 양각(약 19°)으로 인해 JCSAT-1B(155°)이나 PAS-8(166°)보다 안테나 효율을 높여야 통신이 가능한 위성이다. PAS-4의 커버리지 영역은 아시아를 포함한 오세아니아 지역으로 KRISS와 PTB, NICT와 PTB간의 양방향 시각비교를 하고 있다. 표 1은 각 통신위성들의 특성을 간단하게 나타낸 것이다.

표 1. 통신위성들의 특성.

Table 1. Specification of Communication Satellites.

위성 이름	JCSAT-1B	PAS-8	PAS-4	
발사일	1997년 12월	1998년 11월	1995년 8월	
도입 년도	2002년 12월	2003년 말	2004/2005	
궤도 위치	동경 150°	동경 166°	동경 72°	
수명	13년	15년	15년	
연결지역	아시아	아시아, 유럽	아시아, 오세아니아	
참여기관	KRISS, NICT, NMIJ, NISC, TL, SPRING	KRISS, NICT, AUS	KRISS, NICT, PTB	
Ku-band Frequency	Uplink	14GHz	14.0~14.5GHz	14.0~14.5GHz
	Downlink	12GHz	12.2~12.7GHz	12.2~12.7GHz
C-band Frequency	Uplink		5.9~6.4GHz	5.9~6.4GHz
	Downlink		3.7~4.2GHz	3.7~4.2GHz

### 3. 양방향 시각비교(TWSTFT) 방법

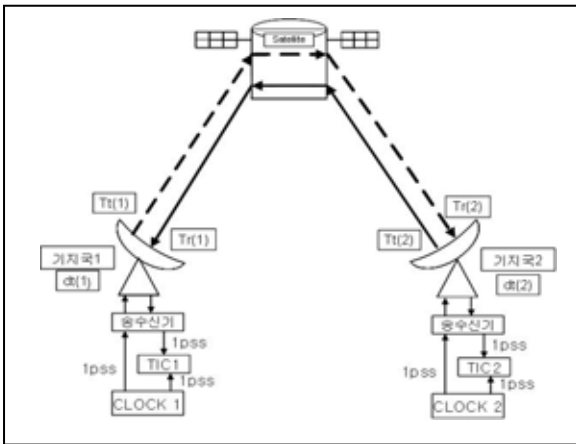


그림 2. 양방향 시각비교의 원리.  
Fig. 2. The Principle of TWSTFT.

양방향 시각비교 시스템은 그림 2와 같이 지구국1과 지구국2 사이의 상호간에 시각신호를 송수신한다. 지구국1의 시간간격계수기는 자국의 1pps 신호와 복조된 지구국2의 1pps의 시간간격을 측정하며 지구국2에서도 지구국1과 같은 측정을 한다. 여기서 양국의 시각신호가 완전히 동기되어 있다면 양국의 시간간격계수기의 값은 서로 일치하고 그 값들은 양국간의 신호의 전파지연시간이 된다. 그러나 실제로는 양국의 시각신호는 동기되어 있지 않기 때문에 각 시간간격측정치는 양국사이의 전파지연시간 및 양국 시계사이의 시각차를 포함하는데 이를 이용하여 시각비교를 하는 것이다.

### 3.1 직접적인 양방향 시각비교

지구국1에서 측정되는 양국의 시간차를  $dt(1)$ 로 놓는다면,

$$dt(1) = Tr(1) - Tt(2) + \Delta e(1) \quad (1)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $Tr(1)$ 은 신호를 수신하는 순간 그 신호를 수신하는 지구국1 시계의 시각,  $Tt(2)$ 는 신호를 송출하는 순간 그 신호를 송출하는 지구국2 시계의 시각이며  $\Delta e$ 는 전리층과 대류권 등에 의한 여러 가지 오차를 의미한다. 다시 역으로 지구국2에서 측정되는 양국간의 시간차  $dt(2)$ 는

$$dt(2) = Tr(2) - Tt(1) + \Delta e(2) \quad (2)$$

으로 나타낼 수 있는데, 양국의 시계는 각각의 시계오차를 포함하고 있기 때문에 양국에서 측정되는 시간차는 다시,

$$dt(1) = [RTr(1) + \delta t(1)] - [RTt(2) + \delta t(2)] + \Delta e(1) \quad (3)$$

$$dt(2) = [RTr(2) + \delta t(2)] - [RTt(1) + \delta t(1)] + \Delta e(2) \quad (4)$$

이와 같이 표현할 수 있다. 여기서  $\delta t(1)$ ,  $\delta t(2)$ 는 양국 각각의 시계오차이며  $RTt(1)$ ,  $RTt(2)$ 와  $RTr(1)$ ,  $RTr(2)$ 은 각각의 지구국에서 신호를 송수신할 때 시계오차를 포함하지 않는 실제 시각이다.

식(3)에서 식(4)를 빼주면

$$dt(1) - dt(2) = 2[\delta t(1)] - \delta t(2) + \Delta e(1) - \Delta e(2) + [RTr(1) - RTt(2)] - [RTr(2) - RTt(1)] \quad (5)$$

가 된다. 이것을 다시,

$$\delta t(1) - \delta t(2) = 1/2[dt(1) - dt(2)] - 1/2[\Delta e(1) - \Delta e(2)] - 1/2\{[RTr(1) - RTt(2)] - [RTr(2) - RTt(1)]\} \quad (6)$$

으로 나타낼 수 있는데, 여기서 각 지구국간 신호의 전파경로가 같기 때문에 마지막 항과 오차항은 제거된다. 따라서 우리가 구하려고 하는 양국간의 시계오차 차이  $\Delta t$ 는

$$\Delta t = \delta t(1) - \delta t(2) = 1/2[dt(1) - dt(2)] \quad (7)$$

가 되며 식(7)을 이용하여 양방향 시각비교에 따른 양국 시계의 위상차를 구할 수 있다.

### 3.2 제 3 지구국을 이용한 양방향 시각비교

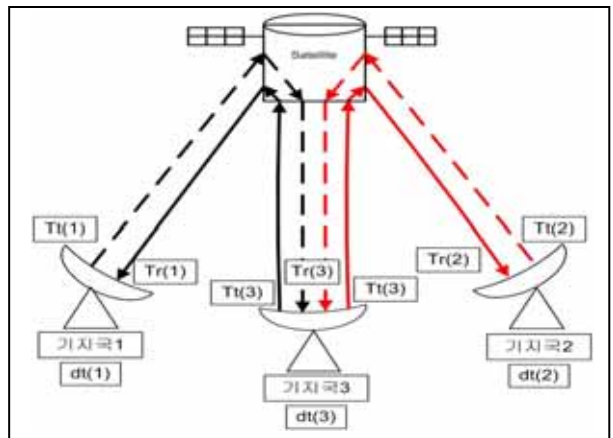


그림 3. 제 3지구국을 이용한 양방향 시각비교의 원리.  
Fig 3. The Principle of TWSTFT by using another site.

JCSAT-1B위성은 그림 2과 같이 현재 KRISS와 NICT간 신호를 직접적으로 송수신 할 수 있기 때문에 식(7)을 이용하여 시각비교가 가능하다. 그러나 PAS-4 위성과 PAS-8 위성은 현재 KRISS와 NICT간의 직접적인 신호 교신이 이루어 지지 않고 있다. 그러므로 이 두 기관의 시각비교를 위해서는 그림 3과 같이 다른 기관을 이용하여 시각비교를 할 수 밖에 없다. 지구국1과 지구국3, 그리고 지구국2와 지구국3간의 시각비교 결과를 각각  $\Delta t_1^3$ ,  $\Delta t_2^3$ 라고 하면 식(7)에 의해

$$\Delta t_1^3 = 1/2[dt(1)-dt(3)] \quad (8)$$

$$\Delta t_2^3 = 1/2[dt(2)-dt(3)] \quad (9)$$

으로 나타낼 수 있다. 식(8)에서 (9)를 빼면

$$\begin{aligned} \Delta t_1^3 - \Delta t_2^3 &= 1/2[dt(1)-dt(3)] - 1/2[dt(2)-dt(3)] \\ &= 1/2[dt(1)-dt(2)] \\ &= \Delta t_1^2 \end{aligned} \quad (10)$$

가 되며 이때, 지구국3의 시간차 측정값인 dt(3)는 제거된다. 그러므로 직접적인 신호 송수신이 되지 않는 두 지구국간의 시각비교는 식(10)를 이용하여 수행할 수 있다.

본 논문에서는 KRISS와 NICT간의 시각비교를 수행하기 위하여 PAS-4 위성은 PTB를 그리고 PAS-8 위성은 NMIA를 이용하였다.

#### 4. KRISS와 NICT간의 양방향 시각비교 결과

그림 4는 JCSAT-1B위성과 PAS-4, PAS-8 위성을 이용하여 KRISS와 NICT간의 양방향 시각비교를 한 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

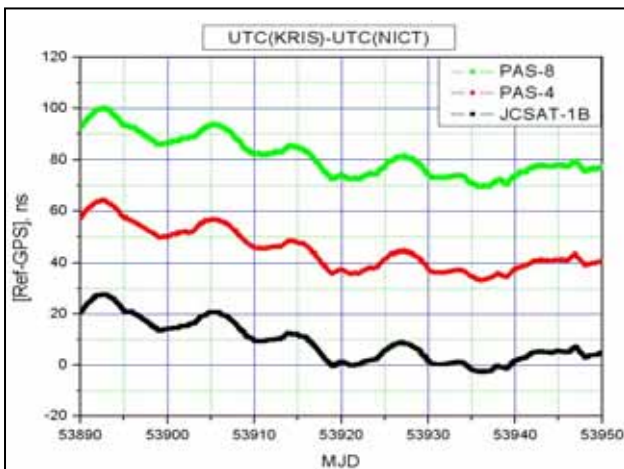


그림 4. 시각비교 결과.  
Fig 4. Time Comparison Results.

그림 5는 각 통신 위성에 따른 시각비교 결과에 대한 안정도를 그래프로 나타낸 것이다. JCSAT-1B는 직접적인 양방향 시각비교이기 때문에 PAS-4나 PAS-8에 비해 단기 안정도가 좋으며 PAS-8은 시각비교를 할 때 제 3지구국을 PAS-4가 이용한 PTB보다 가까운 NMIA 기관을 이용하였기 때문에 PAS-8보다 좋은 안정도를 보이고 있다.

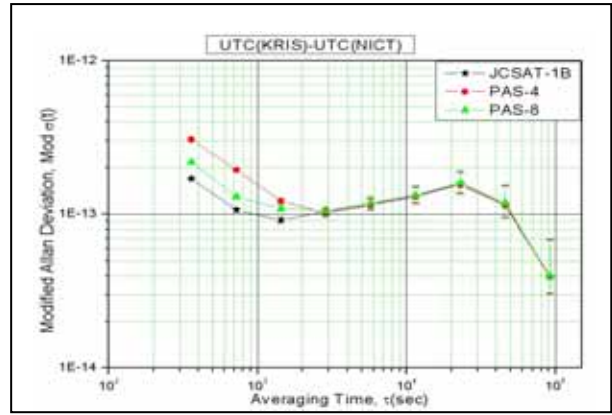


그림 5. 각위성에 따른 시각비교 안정도.  
Fig 5. Stabilities between UTC(KRIS) and UTC(NICT).

그림 6은 각 통신 위성의 시각비교 결과를 20 Point로 Smoothing 한 값과의 Residual을 그래프로 나타낸 것이다.

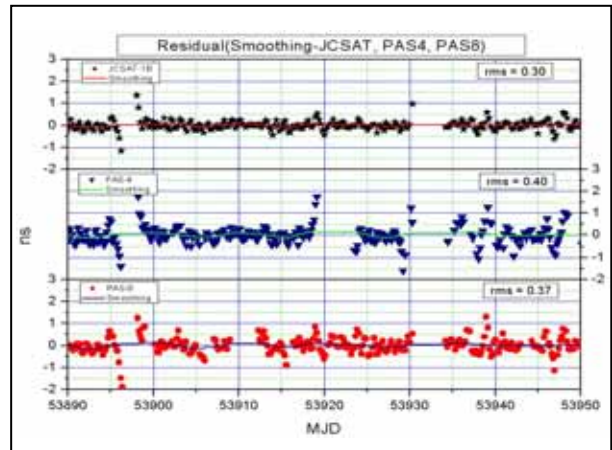


그림 6. 오차.  
Fig 6. Residual.

#### 5. 결론

본 연구에서는 KRISS와 NICT간의 양방향 시각비교를 수행하여 PAS-4와 PAS-8에 대해 JCSAT-1B위성이 이상일 경우 백업시스템으로서의 활용 가능성을 검토하였다.

PAS-4와 PAS-8이 JCSAT-1B보다 단기 안정도가 좋지 않지만 이들 세 통신위성의 장기 안정도는 거의 일치하며 rms의 차이가 크지 않기 때문에 JCSAT-1B 위성이 이상이 생겼을 경우 PAS-4와 PAS-8 모두 백업시스템으로 활용할 것으로 보인다.

#### 참고 문헌

[1] W. Lewandowski and C. Thomas, "GPS time transfer," Proceeding of the IEEE, Vol. 79, No. 7, 1991, pp.1001~1008.  
[2] D. Kirchner, "Two-way time transfer via communication satellites," Proceeding of the IEEE, Vol. 79, No. 7, 1991, pp.983~989.