

KRISS와 MMIA 양방향시각비교 교정

*양성훈, 이영규¹, 이승우², 한지애³, 이창복⁴

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

Abstract: 1967년 시간의 기본 단위인 초가 세슘원시계에 의해 정의된 이후, 각 국의 표준기관에서는 보다 정확한 원자시계개발 연구와 평가를 수행하고 있다. 이러한 연구는 정확한 시간척도(Time Scale)와 국제원자시를 생성하여 산업과 과학분야에 기여하기 위한 것이며, 이에 필연적으로 국제간 시각비교 개선을 위한 연구도 함께 발전되어 왔다. 전파를 이용한 시각비교는 지상파를 이용하던 70년대 초부터 시작되었고 1981년부터 GPS에 의한 시각비교 방법이 소개된 이후, 80년대 후반에 들어서면서 GPS 활성화에 따라 급격히 시각비교 정확도가 향상되었다. 그러나 GPS와 더불어 통신위성을 이용한 양방향 시각비교(TWSTFT)의 필요성에 따라 세계 선진 표준기관들은 이 방법을 수행하고 있다.

한국표준과학연구원(KRISS)에서도 통신위성을 이용한 양방향시각비교를 구축하여 운영하고 있으며 아시아, 오세아니아, 유럽지역과 비교를 할 수 있는 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 본 논문에서는 PAS-8 위성을 이용한 KRISS와 NMIA(호주)와 양방향시각비교를 수행함에 있어 필수적으로 계산 또는 측정하여야 하는 오프셋값을 결정방법으로 GPS와 Circular-T를 이용하여 산출한 결과를 제시한다.

Keywords: TWSTFT, calibration, time offset, communication satellite

1. 서 론

현대에 들어서 정보통신 강국이라는 말을 들을 정도로 정보통신의 눈부신 발전을 이루어 왔다. 국민의 대다수가 휴대전화를 이용하고 있으며, 초고속통신망을 이용한 인터넷 사용이 직장은 물론 각 가정에서도 보편화되어 있다. 따라서 4차 산업이라고 불리는 정보통신 산업은 앞으로 점점 더 그 부가가치를 더욱 높일 것으로 기대하고 있다. 지구촌 어디에서나 정보를 교환하기 위하여 케이블, 지상파, 인공위성 등을 이용하게 되는데, 이것은 시간과 동기라는 기술을 바탕으로 두고 있다. 향후 통신 정보는 현재보다 더 많은 정보량의 전송을 필요로 할 것이며, 그에 따라 초고속 대용량의 전송과 품질향상을 모두 만족시켜야 한다. 따라서 현재보다 정확한 시각비교 및 동기 기술은 차세대를 위한 공공기술이라 할 수 있다. 나날이 발전하는 항공우주, 정보통신, 측지 측량 분야 등에서 필요로 하는 정밀 시간주파수의 측정과 보급 기술을 확보하여야 한다. 국가 간의 시간주파수 동기기술은 선진기술의 척도일 정도로 과학기술과 경제적 배경을 필요로 한다. 이를 위한 필수 요소로써 보다 정확한 시각비교기술을 확립함으로써 통신 및 경제산업의 원동력이 될 수 있도록 하는 것이 필요하다.

한국표준과학연구원에서는 시간주파수 국가표준을 확립하고 이를 경제, 과학, 산업분야에 제공함으로써 국가 발전에 기여한다. 본 논문에서는 정밀시각비교의 방법 중의 하나인 통신위성을 이용한 양방향시각비교를 구축한 후, 시각 offset 을 제거하는 방법을 소개하고 그에 따른 결과를 제시하였다.

2. 통신위성이용 양방향시각비교

통신위성을 이용한 양방향 시각비교시스템은 높은 정밀정확도의 특성을 가지기 때문에 선진 표준기관에서는 모두 갖추고 있다. KRISS에서 2002년부터 구축하기 시작한 양방향시각비교 시스템은 그림1에서 보는 바와 같이 동아시아 지역을 위한 JCSAT-1B 위성과 아시아-태평양 지역을 위한 PAS-8 위성을 이용한 시각비교 시스템이 구축되었고 그들의 평가가 수행됨으로써 본격적인 양방향시각비교 시스템에 의한 비교결과가 활용될 예정이다. 또한 PAS-4 위성을 이용한 유럽과의 링크가 구축됨으로써 전 세계를 커버할 수 있는 비교망을 구축하게 되었다 [1]. 양방향시각비교의 최대 장점은 그림2에서 알 수 있듯이 일방적으로 데이터를 수신하는 것과는 달리 정해진 기관간에 데이터를 상호 주고 받음으로써 전파경로 상에서 발생하는 이온층과 대류권에 의한 영향이 상쇄되는 효과를 최대 장점으로 내세울 수 있다. 하지만 비싼 위성통신 사용료와 구축 비용이 비싸다는 단점을 갖고 있다.

이 논문에서 다루게 될 PAS-8 위성은 아시아와 오세아니아 그리고 북미서부의 일부 지역과 통신할 수 있는 빔커버리지 영역을 가지고 있다. KRISS는 이 통신위성을 이용하여 호주의 NMIA와 양방향 시각비교를 하고 있으며 이것을 이용한 양 기관 간의 시각비교를 항시 운영하고 있다.

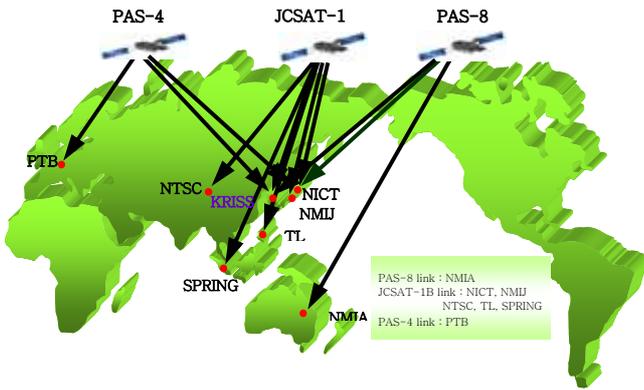


그림 1. 한국표준과학연구원의 양방향시각비교 연결도
Fig. 1. International link of TWSTFT at KRISS

3. PAS-8 위성이용 양방향시각비교 교정

PAS-8위성은 아시아지역과 오세아니아지역을 동시에 커버하는 영역이 없기 때문에 업링크와 다운링크시 서로 다른 트랜스폰더를 사용하여야 한다. 그림 1에서 보는 바와 같이 KRIS, NICT, NMIA가 PAS-8 위성용 멀티채널 모뎀을 사용하여 시각비교를 하고 있지만 KRIS와 NMIA, NICT와 NMIA 간의 데이터를 KRIS와 NICT에서 각각 얻을 수 밖에 없다. 즉, PAS-8 위성을 이용하여 KRIS와 NICT 간에 직접적으로 시각비교를 하는 것은 불가능하다. 본 논문의 시각비교에서는 KRIS와 NMIA와의 결과만을 다룬다. 그림 2에서 보는 바와 같이 한 쪽 기관 k에서 time interval counter에서 얻어진 시각비교 결과 $TI(k)$ 에는 모뎀 지연을 포함한 전송지연($TT(k)$), 수신지연($TR(k)$) 그리고 uplink 전파지연($TU(k)$), downlink 전파지연($TD(k)$), 위성지연($TS(k)$), 업링크의 Sagnac 보정($TCU(k)$), 다운링크의 Sagnac 보정($TCD(k)$) 등이 포함되어 있고[3], 그 외에 각 기관의 기준 초 펄스와 모뎀 사이까지 연결된 케이블지연 등이 시각측정값 내에 포함되어 있다. 이들 중에서 실제 측정으로 알 수 있는 것은 케이블 지연 값이고 나머지는 교정에 의해 측정값을 정할 수 있다. 일반적으로 TWSTFT의 교정은 대부분 3가지 방법으로 측정이 가능한데,

- 1) PS (Portable Station)을 이용하여 각 기관에서 측정하는 방법
 - 2) Simulator를 이용하여 측정하는 방법
 - 3) 기존에 교정받은 장비로 비교 측정하는 방법
- 이다.

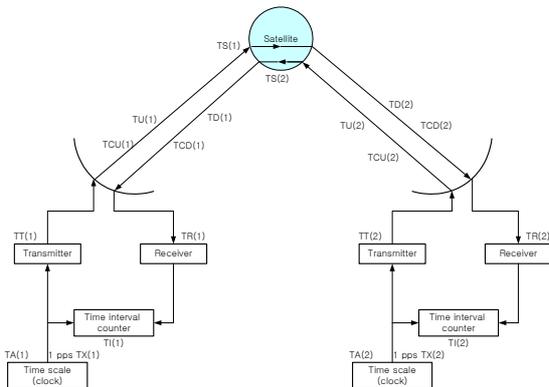


그림 2. 양방향시각비교 개념도.
Fig. 3. Concept of TWSTFT.

본 논문에서는 상기 3가지 방법 중에서 마지막으로 언급한 방법을 채택하였다. 현재 KRIS에서는 국제비교를 위해 GPS

단일채널 수신기(TTR6), GPS 멀티채널 수신기(Euro-80), GPS/GLONASS 멀티채널 수신기(R100), GPS P-code 및 반송파 수신기(Ashtech Z12T) 등과 같이 여러 종류의 시각비교용 수신기를 보유하고 측정에 활용하고 있으며, 그 중에 P3 데이터와 멀티채널 데이터를 프랑스의 국제도량형국(BIPM)에 보고하고 있다. 이 실험에서는 멀티채널 수신기에 의한 데이터를 이용하여 교정값(CALR : Calibration Result)을 산출하고 BIPM에서 매달 발간하는 Circular-T와 비교하였다[4].

CALR을 산출하기 위하여 우선 offset값을 결정해야 하는데 아래 식으로부터 그 값을 얻을 수 있다.

$$OFFSET(k1, k2) = \frac{\{[UTC(k1) - UTC(k2)]cv\}mean - \{[UTC(k1) - UTC(k2)]two\}}{1} \quad (1)$$

여기서,

k1 : KRIS (Korea Research Standards and Science)
k2 : AUS, NMIA (National Metrology Institute of Australia)

cv : common-view measurement
two : two-way measurement

를 의미한다.

식 (1)의 결과를 이용하여 다음 식으로부터 CALR의 결과를 얻을 수 있다.

$$CALR(k1, k2) = OFFSET(k1, k2) - [RefDelay(k1) - RefDelay(k2)] \quad (2)$$

여기서,

RefDelay(k1) : KRIS의 기준신호 케이블 지연값
RefDelay(k2) : NMIA의 기준신호 케이블 지연값

이다.

PAS-8 위성을 이용한 양방향시각비교가 대부분 24시간 운용되고 있으나 때때로 운용을 중단하고 시스템평가 또는 점검을 위한 업무를 수행할 때가 있다. 그런 이유로 인하여 GPS 수신기에 의한 시각비교처럼 연속적이지 못할 경우가 발생하고 있다. 그러나 가급적 끊김 없이 그리고 많은 날짜의 데이터를 이용하기 위해 올해 수행한 비교결과 중에 최적의 기간을 선택하여 데이터를 처리하였다. 그림 3에서와 같이 그 기간은 MJD53795(2006년 3월 1일)부터 MJD53838(2006년 4월 13일)까지로 선정하였으며, 매초 마다 생성되는 시각비교결과를 1분 평균하여 사용하였다. 실제로 공식적인 양방향시각비교의 결과는 5분 평균데이터를 사용하지만 GPS 멀티채널의 데이터와 중복되는 시점을 많이 생성하기 위하여 1분 단위로 하였다.

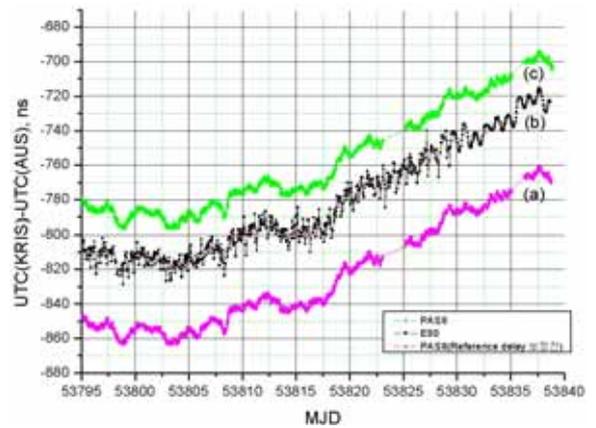


그림 3. 양방향시각비교 및 GPS 시각비교 결과
Fig. 3. Results of TWSTFT and GPS time comparison

그림 3의 (a)는 식 (1)에서 두 번째 항에 해당하며 두 기관에서 생성되는 $TI(1)$ 와 $TI(2)$ 로부터 직접 얻은 결과이고 그림 3의 (b)는 첫 번째 항, 즉 GPS 멀티채널데이터로부터 구한 두 기관의 시각차이를 나타낸 것이다. 이 두 데이터로부터 식(1)에

표현한 $OFFSET(KRIS, AUS)$ 의 결과를 얻었는데 그 값은 43.2 ns였다. 그림 3의 (c)는 표1에 제시한 케이블 지연값, 즉, UTC(KRIS)와 UTC(AUS)로부터 출력된 초 펄스가 모뎀까지 연결되는 동안의 케이블 지연시간을 각각 보정해서 얻은 결과이다.

표 1. 케이블 지연값
Table 1. Delay of reference cable

Institute	RefDelay
KRIS	150.8 ns
NMIA	83.7 ns

위의 결과를 적용하여 식 (2)에서 교정값(CALR)을 구할 수 있는데 그 값은 -24.7 ns로 계산되었으며 이 값을 적용하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 일치되는 정도를 나타내기 위하여 GPS에 의한 [UTC(KRIS)-UTC(AUS)] 결과와 함께 CALR을 적용하여 양방향시각비교의 결과를 도시하였고 시각모양의 점은 BIPM에서 매월 발간하는 Circular-T를 표시한 것으로 MJD53799를 제외하고는 거의 일치하고 있음을 보여주고 있다.

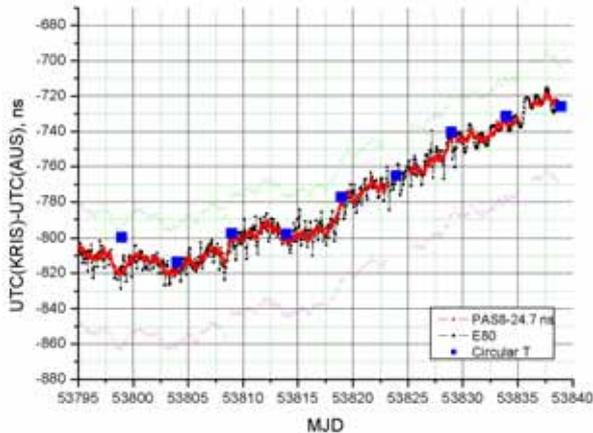


그림 4. 교정값을 적용한 UTC(KRIS)와 UTC(AUS) 결과

Fig. 4. Comparison result of between UTC(KRIS)와 UTC(AUS) after compensation of calibration result (CALR)

앞에서 CALR을 구하기 위하여 TWSTFT 결과와 GPS 결과를 모두 평균해서 구한 것이 아니라 GPS 멀티채널 수신기에서 시각비교가 생성되는 시점과 양방향시각비교에서 생성되는 시점이 일치되는 것을 추출하여 그 차이들의 평균을 구하여 사용하였다. 그러나 이번에는 다른 방법으로 그 차이가 얼마나 생기는 지 확인하기 위하여 같은 기간의 두 방법에 의한 데이터를 모두 평균하고 GPS 시각비교 결과와 CALR을 적용한 양방향시각비교 사이의 차이를 구하여 보았다. 그림 5는 그 결과를 나타낸 것이며 평균을 구해본 결과 0.8 ns임을 알 수 있었다. 이것은 두 가지 방법에서 1 ns 이하의 차이를 보이고 있으므로 신뢰할 수 있는 결과임을 알 수 있다.

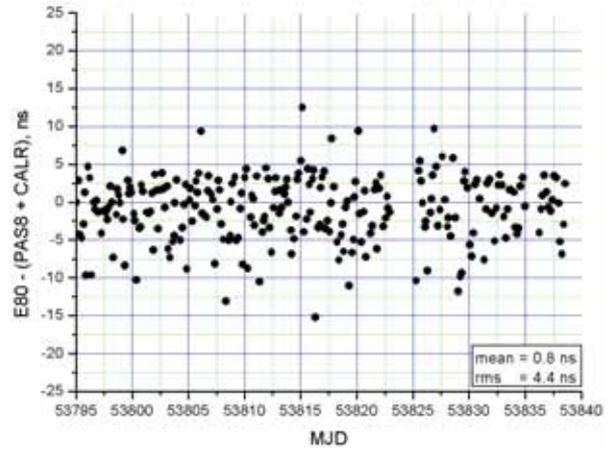


그림 5. 교정값을 적용한 양방향시각비교와 GPS 멀티채널 수신기에 의한 시각비교 차이

Fig. 5. Time difference between calibrated TWSTFT and GPS method

4. 결론

지금까지 KRIS에서 오세아니아지역 링크가 가능한 PAS-8 위성을 이용하여 호주 표준기관인 NMIA와의 양방향시각비교 교정에 관하여 서술하였다. 아무리 정밀한 시각비교 방법이라 할 지라도 정확도가 나쁘다면 상대적인 비교만 가능할 뿐 시각동기와의 거리가 멀 수 밖에 없다. 따라서 모든 시각비교 시스템들이 시각동기라는 목적을 두고 있는 한 교정은 필수적이다. 본 논문에서는 양방향시각비교에서 교정으로 사용하고 있는 방법 중에 하나인, 기존에 국제적으로 교정 받아 유지하고 있던 GPS 수신기를 이용하여 비교측정을 함으로써 교정값을 산출하였다. 그러나 더 정확한 교정값을 산출하기 위해서는 C/A 코드 외에 P-code all-in-view 방법을 이용하고 지금보다 장기적인 데이터를 수집하여 Circular-T의 데이터를 함께 이용하는 것이 필요하다.

참고 문헌

1. 이창복, 양성훈, 이영규, "Construction of Infrastructure of Time and Frequency Standards Using Satellites", KRIS/IR—2005-041, 2005, pp. 64-90.
2. Dieter Kirchner, "Two-way Time Transfer via Communication Satellites" *Proceedings on IEEE invited paper*, 1991, pp. 984-990.
3. Recommendation ITU-R TF.1153-2, "The operational use of two-way satellite time and frequency transfer employing PN codes"
4. BIPM, "Circular-T 219", "Circular-T 220" 2006.
5. NICT, "Calibration Results of Asia-Pacific Two-way Link with NICT modems", June 2005.