

GPS 코드 기반 정밀시각비교기법의 대류층 천정지연모델 분석

유 동 회*, 양 성 훈**, 도 재 철***, 이 창 복**

Analysis of Tropospheric Zenith Path Delay of GPS Code Based Precise Time Comparison Technique

Dong-Hui Yu *, Sung-Hoon Yang**, Jae-Chul Do***, Chang-Bok Lee **

요 약

본 논문은 국제원자시(TAI)를 생성하고 세계협정시(UTC)를 결정하기 위해 GPS에서 전달되는 코드를 기반으로 한 시각비교 기법에 대한 연구 결과이다. 시각비교를 위한 국제표준 양식으로 CGGTTS가 사용되고 있는데, CGGTTS 표준은 시각용 GPS 수신기에서만 제공되고 측지용 GPS 수신기에서는 RINEX 형식으로 위성의 정보를 제공한다. 측지용 수신기를 시각비교용으로 사용하기 위해 ROB에서는 RINEX 형식의 데이터를 이용해서 CGGTTS 형식으로 변환하는 r2cggts 프로그램을 제공하고 TAI link에 참여하는 전 세계 시각비교 연구실들은 해당 프로그램을 통해 GPS 코드 신호에 의한 시각비교 자료를 BIPM에 주기적으로 전송한다. 본 논문에서는 위성으로부터 수신기까지 코드 신호가 전달될 때 발생하는 오류 요소들과 그 보상 방법을 간단히 소개한다. 오류요소 중 대류층 지연에 대해 자세히 소개하고 기존 프로그램에 적용된 NATO 모델과 현재 가장 널리 사용되고 있는 Saastamoinen 모델을 비교 분석한다.

▶ Keywords : GPS, 정밀시각비교, 대류층 지연, 천정지연

Abstract

This paper shows results of the precise time comparison technique based on GPS code transfer in order to determine the UTC(Universal Time Coordinated) and generate TAI(International Atomic Time). CGGTTS(CCTF Group on GNSS Time Transfer Standards) which is generated by GPS timing receivers is used as the international standard format. For geodetic receivers which provide RINEX formats as GPS time transfer results, ROB(Royal Observatory of Belgium)

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원 하는 국방위성항법특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

• 제1저자 : 유동회 • 교신저자 : 이창복

• 투고일 : 2012. 10. 23, 심사일 : 2012. 11. 2, 게재확정일 : 2012. 11. 14.

* 부산가톨릭대학교 멀티미디어공학과(Dept. of Multimedia Engineering, Catholic University of Pusan)

** 한국표준과학연구원(Korea Research Institute of Standards and Science)

*** 국방과학연구소(Agency for Defense and Development)

developed a conversion program, r2cggts, and have distributed the program to timing laboratories participating in TAI link all over the world. Timing laboratories generate the time comparison results of GPS code transfer by the program and send them to BIPM(Bureau International des Poids et Mesures) periodically. In this paper, we introduce the delay features generated while GPS code is transferred and the calibration methods of them. Then, we introduce the tropospheric delay and analyze the results of Saastamoinen model and NATO(North Atlantic Treaty organization) model. Saastamoinen model is the representative tropospheric zenith path delay model and NATO model is applied to the legacy r2cggts program.

▶ Keywords : GPS, Precise Time Comparison, Tropospheric Delay, Zenith Path Delay

I. 서론

국제도량형국 BIPM(Bureau International des Poids et Mesures)에서는 국제원자시인 TAI(International Atomic Time)를 생성하고 세계협정시인 UTC(Universal Time Coordinated)를 결정하기 위한 방법 중 하나로 세계 각국의 표준시의 고정밀도 비교를 GPS(Global Positioning System)와 같은 위성항법시스템을 이용한 시간주파수 비교 기술을 이용하고 있다[1][2][3]. 그림 1은 TAI에 참여하는 연구기관들을 연결해 놓은 TAI link로 국내에서는 한국표준과학연구원이 TAI 정밀시각비교에 참여하고 있다. 네모박스가 한국표준과학연구원(KRISS)을 표시하고 있다.

GPS 신호는 DS-CDMA (Direct-Spread Code Division Multiple Access) 변조방식을 사용하고 PN(Pseudo random Noise) 코드로는 C/A 코드와 P 코드가 있다. L1 대역은 C/A 및 P 코드 신호가 직교함수로서 같이 송신되고 L2 대역은 P 코드 신호만 사용된다. L1 대역의 P 코드를 P1, L2 대역의 P코드를 P2 코드라고 한다.

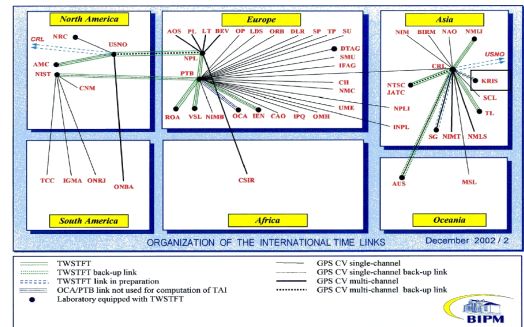


그림 1. TAI 연결 구성도
Fig.1. Organization of International TAI Links

GPS 위성이 송출하는 신호는 위성자체 내에 탑재된 2대의 세슘원자시계와 2대의 루비듐 원자시계를 통해 UTC 시각을 기준으로 만들어진다. GPS 위성에 장착된 세슘 원자시계는 하루에 약 10-13 범위의 안정도를 유지하며, 기본 주파수인 $f_0 (=10.23\text{MHz})$ 을 발생하고, 표 1에서와 같이 두 반송파 신호인 L1과 L2가 이 기본주파수 f_0 에 정수 배를 하여 얻어진다. 반송파에는 50 bps (bits per second)로 산출되는 위성의 항법메시지 신호와 C/A, P 코드가 실려서 나온다. P 코드는 C/A 코드 주파수에 비해 10 배 해상도가 높고 반송파는 C/A 코드보다 1000 배 해상도가 높다. 그러므로 GPS를 이용한 시각비교 시 C/A 코드보다는 P 코드, P 코드보다는 반송파를 이용할 때 더욱 좋은 정밀도의 결과를 얻을 수 있다.

정밀시각비교 분야에서는 미국의 NIST(National Institute of Standards and Technology), 벨기에 ROB(Royal Observatory of Belgium) 등에서 활발하게 연구를 수행하고 있으며, 국외의 경우 코드를 이용한 정밀시각비교와 반송파 위상을 이용한 정밀시각비교 기술들이 지속적으로 개발되어 오고 있다[4][5][6]. 코드를 이용한 시각비

표 1. GPS 위성 신호
Table 1. GPS satellite signal

Component	Frequency (MHz)
Fundamental frequency	$f_0 = 10.23$
Carrier L1	$154f_0 = 1575.42$
Carrier L2	$120f_0 = 1227.60$
P-code	$f_0 = 10.23$
C/A-code	$f_0/10 = 1.023$
Navigation message	$f_0/204600 = 50 \times 10^{-6}$

교기법에서는 러시아의 GLONASS(Global Navigation Satellite System)를 GPS와 연동한 정밀시각비교 기법에 대한 연구 성과들이 제안되고 있다[7][8][9].

국내의 경우 한국표준과학연구원에서 ROB에서 제공하는 코드 기반의 정밀시각기법을 활용 위주로 이용해 왔다. 향후 국내의 독자적인 기술력을 확보하고 다양한 정밀시각기법 들을 분석 적용하고, 나아가 고정밀 시각비교기법인 PPP(Precise Point Positioning) 등을 국내 자체적으로 연구 개발하기 위해서는 본 논문에서 제시하는 코드기반의 정밀 시각기법에 대한 자세한 분석이 필요하다. 그리고 가독성 및 활용의 다각화를 위해 고급언어로의 개발이 요구되어 C 언어로 4.3 버전에 대해서 구현을 완료하였다. 본 연구를 기반으로 향후 다양한 기법 등을 적용할 계획이며 첫 번째로 코드기반 정밀시각비교기법의 대류층 지연에 대해 Saastamoinen 모델을 적용하고 기존 NATO(North Atlantic Treaty Organization) 모델과 시각비교 결과를 분석해 보았다 [10][11]. Saastamoinen 모델은 현재 반송파를 이용한 정밀시각비교기법인 PPP를 구현한 ATOMIUM에서 대류층 천정지연모델로 사용되고 있으며[12], NATO 모델에 비해 안정도나 정확도가 좀 더 높은 것으로 평가받고 있다.

본 논문의 구성은 2장에서는 GPS 코드를 이용한 시각전달 기법을 신호 전달시 발생하는 오류 요소들과 이들을 보상하는 과정에 대해 소개한다. 3장에서 기존의 변환프로그램에서 사용된 NATO 대류층 모델과 현재 대류층 지연 모델로 가장 많이 사용되고 있는 Saastamoinen 모델을 소개하고 두 대류층 모델을 적용했을 때의 결과를 비교 분석하여 제시하고 4장에서 향후 연구 방향 및 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

1. GPS 위성을 이용한 시각비교

GPS 위성을 이용한 시각비교방법은 단일측정법, 동시측정법, 다채널측정법, 위상이용법 등 4가지 정도로 구분된다.

단일 측정법은 위성이 관측자의 상공을 통과할 때 그 신호를 수신하여 지상국 시각과 GPS 시각을 비교하는 방법이다. 단일측정법은 시각비교를 수행하는 시각이 다르므로 탑재 시계의 안정도 및 궤도 정보의 정밀도가 오차 요인으로 발생할 수 있고 50ns 이내의 정밀도로 시각비교를 할 수 있다.

동시 측정법은 시각비교를 하고자 하는 양쪽 지상국에서 GPS 위성의 신호를 동일한 시각에 수신하여 비교한다. 이 방법은 단일측정법에 의해 생기는 탑재시계의 오차와 궤도정보 오차가 상쇄되어 약 10ns 정밀도로 시각비교를 할 수 있다.

다채널 측정법은 관측 가능한 모든 GPS 위성에서 표준으로 정해진 13분 동안의 데이터를 16분마다 한 번씩 수신한다. 다채널 수신 출력은 단일 파일로 저장되는데, 다채널 수신법을 이용하면 단일채널의 경우처럼 수신기의 수신 스케줄 조정 등을 필요로 하지 않는다. 이 방법은 최대 12개의 GPS 위성의 신호 수신에 가능하다. 지형지물이 복잡한 도시의 경우, 안정적 시각비교에 15도 이상의 양각을 갖는 5~6개 정도의 위성이 이용된다. 이 경우 각 채널마다 하루 89개의 데이터 수신에 가능하다. 이를 이용하면 단일채널 동시측정법에 비해 시각주파수 비교에 정밀도가 3배 정도 개선된다. 본 연구는 다채널 측정법을 이용한다.

마지막으로 반송파 위상이용법이다. 일반적으로 GPS 시각비교용 수신기들은 GPS 신호의 코드 값을 이용하고, 반송파 위상 값은 이용하지 않는다. 그러나 이런 반송파 위상의 데이터를 축적하여 후처리 과정을 거치면 시각 주파수 비교 정밀도를 높일 수 있다. 이러한 장점 때문에 GPS 위상 데이터는 이미 고정밀도를 요하는 측량분야에서 이용되고 있다. 반송파 위상이 서로 동기화 되면, 다중경로의 영향이 없어지고 측정된 전리층 지연 값을 이용하기 때문에 하루에 10-15 정도의 주파수 안정도를 얻을 수 있다. 이러한 성능을 얻기 위해서는 하루 한번 비교하는 것이 아니라 장기간의 연속적인 비교측정을 필요로 한다. GPS 위상의 비교 역시 시스템의 지연시간 안정도에 영향을 받기 때문에, 정확한 측정을 위해서는 수신기의 여러 부분에 대한 지연시간의 안정도를 유지하고 그 변화를 주기적으로 측정하여야 한다.

2. GPS 코드 이용 다채널 측정에 의한 시각비교

GPS에서 송출되는 코드 신호를 이용한 시각비교는 기본적으로 위성으로부터 송출된 신호가 수신기까지 전달되는데 걸린 시간을 정확히 구하는 것이 가장 중요한데, 실제 여러 가지 요인에 의해 오차가 발생한다. 이에 해당하는 오차들은 그림 2와 같이 위성의 시계 오차, 위성의 궤도 오차, 수신기의 시계오차, 다중경로 오차, 대기를 통과할 때 발생하는 이온층 지연 및 대류층 지연 등이 포함된다.

그리고 시각전달에 사용되는 코드는 이온층 프리 조합을 적용할 수 있도록 P1, P2 코드를 사용한다. 수신된 P1, P2 관측 값은 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

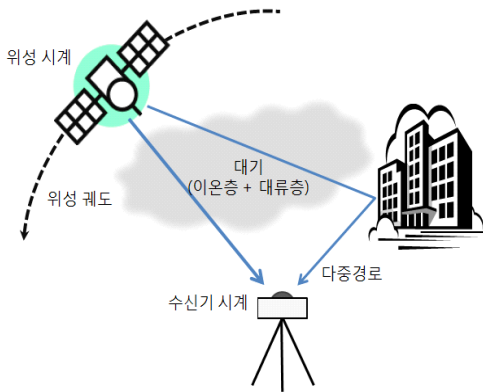


그림 2. GPS 신호 관측 모델
Fig. 2. GPS observation model

$$P_{1,2} = \rho - c\Delta t_{rec} + c\Delta t_{sat} + I_{1,2} + Tr + \delta_{1,2} + \epsilon_{1,2}^P \tag{식 1}$$

$P_{1,2}$ 는 P1, P2 코드 각각을 표현하는 것이며, ρ 는 위성으로부터 수신기까지의 기하학적 거리로 항법메시지의 위성 궤도 정보와 수신기의 위치를 이용해서 구할 수 있다. c 는 빛의 속도, Δt_{rec} 는 수신기와 위성간의 시각비교결과며 시각비교 결과 얻어져야하는 결과 값이다. Δt_{sat} 는 위성시계의 오프셋이고 이를 보정할 수 있도록 항법 메시지에 다항식의 계수들이 제공된다. $I_{1,2}$ 는 P1, P2 코드 각각의 이온층 지연, Tr 은 대류층 지연, $\delta_{1,2}^P$ 는 위성 하드웨어 지연이고 $\epsilon_{1,2}^P$ 는 노이즈 값이다. 이외에도 좀 더 정확한 시각비교를 위해서는 다른 요소들이 추가될 수 있으나 코드를 이용한 시각비교에서는 상기 요소들을 처리하도록 되어 있다.

GPS 시각용 수신기 소프트웨어의 표준화 절차에서는 다음과 같은 절차로 오차 요소들을 보정해서 GPS 시각과의 오프셋을 획득한다.

이온층 지연인 $I_{1,2}$ 는 이온층에서의 전파전달지연이 반송파 주파수의 제곱에 역비례 하는 현상을 이용해서 제거한다. 두 수신 신호 P1, P2로부터 위성으로부터 수신기까지 도착하는데 걸린 시간을 계산하면 전리층에서의 전달지연을 간접적으로 계산할 수 있고 이를 이용하여 위치 및 시각 보정을 하는 것으로 아래 식과 같이 이온층 프리조합을 수행해서 얻는 코드 값을 P3 코드라고 한다.

$$P_3 = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} P_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} P_2 \approx 2.55P_1 - 1.55P_2 \tag{식 2}$$

따라서 P3 코드는 다음과 같이 정리된다.

$$P_3 = \rho_3 - c\Delta t_{rec} + c\Delta t_{sat} + Tr + \delta_3^P + \epsilon_3^P \tag{식 3}$$

2시간마다 업데이트되어 방송되는 항법 메시지의 위성궤도를 이용해서 실측된 수신기 안테나의 좌표, 사냥 효과 등을 이용해서 거리에 의한 지연인 ρ 를 구한다. 그리고 Δt_{sat} 값도 항법 메시지내의 위성 시계 관련 정보를 이용해서 보상한다.

위성 하드웨어 지연은 L1, L2 주파수에서 각각 P 코드를 전송할 때 발생하는 바이어스 값으로 역시 항법 메시지에 제공되는 그룹 지연 값을 이용해서 보정한다. r2cggts 프로그램에서는 안테나와 처리기간의 케이블 지연 등도 고려해서 보다 정확한 시각비교결과를 구하고 있다.

III. 본 론

대류층 지연에 대한 보상에 대해 r2cggts 프로그램에서는 20세기 후반 항공 관련 분야에서 사용되던 NATO 모델이 적용되어 있다. NATO 모델은 중위도 지역에서는 잘 맞지만 고위도나 저위도에서는 성능이 떨어진다고 연구결과가 발표된 바 있다[13].

현재 미국, 캐나다, 벨기에 등지의 시간주파수 연구실에서

반송파를 이용한 정밀시각비교기법 등이 연구되고 있고 대표적인 소프트웨어로 ROB에서 개발한 ATOMIUM을 들 수 있다. ATOMIUM을 비롯한 반송파 이용 정밀시각비교기법의 대류층 모델은 Saastamoinen 천정지연모델과 Niell의 mapping function을 사용하고 있다.

이에, 본 논문에서는 현재 대류층 지연모델 중 가장 많이 사용되고 있는 모델인 Saastamoinen 모델을 코드를 이용한 시각비교에 적용하여 기존의 NATO 모델과 시각비교결과를 비교 분석한다.

대류권 지연은 대류권의 굴절에 의해 발생하는데 지구의 대기층의 중간(비전하)부분의 효과이다. 대류권은 약 15 GHz의 주파수대에 이르는 라디오파들에 관한 비 산란매체이다. 대류권 굴절은 주파수의 영향을 받지 않으므로 반송파 L1과 L2에 대하여 동일하게 적용된다.

그림 3과 같이, 대류권의 지연오차는 크게 두 가지로 나누는데 건조공기에 의한 건조지연(dry delay)과 습윤공기에 의한 습윤 지연(wet delay)으로 구별된다. 지표로부터 11~12km 사이에 수증기가 존재하는 습윤층, 그 상층의 40~50km 까지를 건조층으로 구분하여 대류층 지연을 계산한다.

대류권 지연은 중간 대기층을 통과하는 라디오파에 의하여 여행한 거리에 관계되므로 위성 고도각의 함수이다. 대류권 신호 지연은 천정방향시 가장 작고, 고도각이 낮아질수록 점점 커지는데 임의 고도각에 대한 지연오차는 천정지연(ZPD, Zenith Path Delay)과 mapping function의 곱으로 나타난다.

그림 3에서 보는 바와 같이, 위성을 관측하는 지점에 따라 신호를 수신하는 양각이 다른데, 양각의 크기에 따라 대류층을 통과할 때의 거리가 달라진다. 이를 보상하기 위해 양각에 따른 mapping function(mf)이 연구되고 있다.

최종적으로 대류층의 지연은 다음과 같이 모델링된다.

$$\text{Tropo_Delay} = \text{mfhydro}(el) \cdot \text{ZPDhydro} + \text{mfwet}(el) \cdot \text{ZPDwet}$$

건조층의 천정지연은 고도에 지표압력에 따른 모델로 주어지고 습윤층의 지연은 대기 중의 수증기 양에 의해 결정되므로 실제로 측정을 하거나 추정을 하게 되는데, 주로 추정에 의해 값을 얻는다. 대류권 지연의 약 90%는 건조성분으로부터 발생하므로 대류층에 의한 지연을 약 250cm 까지로 예측되는바, 약 230cm 정도의 지연오차가 건조층의 지연으로 제거될 수 있다.

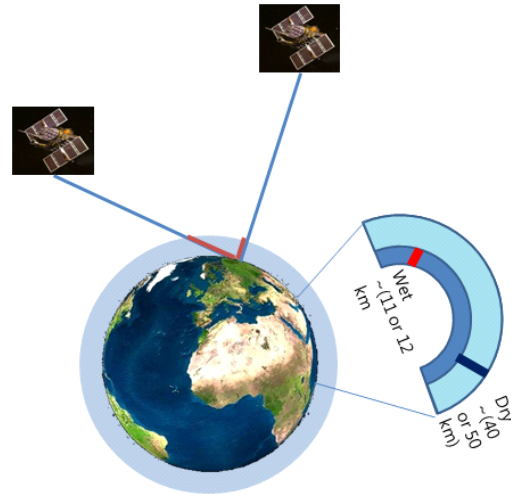


그림 3. 대류층 지연
Fig. 3. Troposphere Delay

현재 GPS 코드를 이용한 시각비교 소프트웨어로 널리 쓰이고 있는 r2cggts에서는 Chao의 mapping function과 NATO 모델이 적용되었다[14].

Chao의 mapping function은 가장 간단한 mapping function으로 다음과 같다.

$$\frac{1}{\sin E + \frac{A_i}{\tan E + B_i}} \quad (\text{식 4})$$

- Adry = 0.00143
- Bdry = 0.0445
- Awet = 0.00035
- Bwet = 0.017

1. NATO 모델

NATO 모델은 r2cggts 소스 프로그램에 적용된 대류층 지연 모델로써, 오직 고도만을 고려한 지연 모델을 제안하고 고도를 3단계로 구분해서 지연을 계산한다. 사용자의 해수면으로부터의 고도가 h(m)일 때, 다음과 같은 지연모델을 제시하였다.

$$z_{rop}(h) = [d_{trop}^z(1) + d_{trop}^z(2) + d_{trop}^z(3)] \cdot 10^{-3} \quad (\text{식 5})$$

여기서, 사용자의 고도 h에 따라 1km 이하인 경우

$$z_{trop}(1) = s(1-h) + \frac{1}{2}(\Delta N(1-h^2)),$$

$$d_{trop}^E(2) = 1430,$$

$$d_{trop}^E(3) = 732.$$

h가 1km에서 9km 사이인 경우는

$$d_{trop}^E(1) = 0,$$

$$d_{trop}^E(2) = \frac{N_1}{c}(e^{-c(h-1)} - e^{-8c}),$$

$$d_{trop}^E(3) = 732.$$

고도가 9km이상인 경우

$$d_{trop}^E(1) = 0,$$

$$d_{trop}^E(2) = 0,$$

$$d_{trop}^E(3) = \frac{105}{0.1424} \cdot e^{-0.1424(h-9)}.$$

로 정의하였다. 여기서 Ns는 평균 글로벌 굴절도(mean global surface refractivity)로 324.8로 정의하였다.

2. Saastamoinen 모델

Saastamoinen 모델은 지표면으로부터 11~12km까지는 습윤층, 그 이상에서 50km까지를 건조층으로 양분하여 표준 모델 식을 아래와 같이 제안하였다.

$$T_{aas} = \frac{2.277 \times 10^{-3}}{\cos z} \left[P + \left(\frac{1255}{T} + 0.05 \right) e - B \times \tan^2 z \right] + \delta R$$

(식 6)

T는 온도(K), P는 atmospheric pressure(mb), e는 partial pressure of water vapour(mb), 는 relative humidity(%)이다. B와 δR는 관측 스테이션의 고도에 의한 항으로 테이블 형태로 주어진다.

표 2. 고도(H)와 천정각(z)에 따른 R 테이블
Table 2. δR according to Height and Elevation angle

Height (km)	z (degree)													
	60.00	66.00	70.00	73.00	75.00	76.00	77.00	78.00	78.50	79.00	79.50	79.75	80.00	
0.0	0.003	0.006	0.012	0.020	0.031	0.039	0.050	0.065	0.075	0.087	0.102	0.111	0.121	
0.5	0.003	0.006	0.011	0.018	0.028	0.035	0.045	0.059	0.068	0.079	0.093	0.101	0.110	
1.0	0.002	0.005	0.010	0.017	0.025	0.032	0.041	0.054	0.062	0.072	0.085	0.092	0.100	
1.5	0.002	0.005	0.009	0.015	0.023	0.029	0.037	0.049	0.056	0.065	0.077	0.083	0.091	
2.0	0.002	0.004	0.008	0.013	0.021	0.026	0.033	0.044	0.051	0.059	0.070	0.076	0.083	
3.0	0.002	0.003	0.006	0.011	0.017	0.021	0.027	0.036	0.042	0.049	0.058	0.063	0.068	
4.0	0.001	0.003	0.005	0.009	0.014	0.017	0.022	0.030	0.034	0.040	0.047	0.052	0.056	
5.0	0.001	0.002	0.004	0.007	0.011	0.014	0.018	0.024	0.028	0.033	0.039	0.043	0.047	

온도 변수 변환은 다음과 같이 이루어진다.

$$T(K) = T(\text{Celsius}) + 273.16 \quad (\text{식 7})$$

압력, 온도, 습도 등은 측정되거나 표준 대기 모델에서 유도될 수 있는데, 고도의 함수로 압력, 온도, 습도는 다음과 같은 모델에 의해 계산된다.

표 3. B(H) 테이블
Table 3. B(H) table

Height (km)	B (mbar)
0.0	1.156
0.5	1.079
1.0	1.006
1.5	0.938
2.0	0.874
2.5	0.813
3.0	0.757
4.0	0.654
5.0	0.563

$$P [1 - 0.000226(H - H_0)]^{5.225},$$

$$T = T_0 - 0.0065(H - H_0),$$

$$R_h = R_{h_0} \exp[-0.0006396(H - H_0)]$$

여기서, P₀, T₀, R_{h0}는 참조 고도 H₀에 대한 표준 압력,

온도, 습도이며 기본적으로 P_0 는 total surface pressure로 1013.25mb, T_0 는 18°C, $R_{h,0}$ 는 50%, H_0 는 0m 가 표준 입력이다. z 는 천정각으로 90°에서 고도각을 뺀 값이다.

3. 대류층 모델 적용 시각비교 결과 분석

수신기가 위치한 한국표준과학연구원의 위도는 36° 23' 09" 로 비교적 저위도에 해당하고 고도는 89m이다. 한국표준과학연구원은 측지용 수신기로 Ashtech Z12T를 사용한다. 그림 4에서 그림 7까지 시각비교결과의 단위는 0.1ns 이고 x 축은 시간을 나타내며 하루를 hhhmmss 의 형태로 나타내었다.

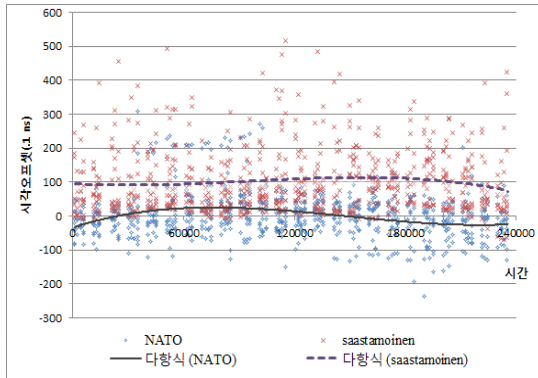


그림 4. NATO 모델과 Saastamoinen 모델 비교 결과
Fig. 4. Comparison between NATO and Saastamoinen

그림 4의 추세선으로 보면 Saastamoinen 모델의 시각비교결과 추세선이 NATO 모델의 시각비교결과 추세선에 비해 훨씬 안정적인 것을 확인할 수 있다. 안정적인 시각 비교결과가 중요한 이유는 상기 언급된 바와 같이 기준 참조시각원인 GPS 위성의 시계가 매우 정밀하고 안정적으로 유지되고 수신기의 시계 성능 또한 매우 안정적으로 유지되기 때문이다.

표 4. 위성별 시각비교결과 분석 통계
Table 4. Statistics analysis of satellites

위성	전체구간평균		안정적구간평균		
	NATO	SasT	NATO	SasT	
11	평균	-37.3182	101.1364	-37.5714	46.71429
	편차	8.194215	58.7314	7.828519	7.76132
16	평균	-68.68	80.92	-69.3333	20.16667
	편차	14.97976	108.0447	7.580677	7.167054
9	평균	-22.7	71.45	-26	3.5
	편차	29.28822	82.35384	22.37186	9.757049

표 4와 그림 5에서 7까지는 임의로 3개의 위성, 11번, 16번, 9번 위성을 선택해서 해당 위성의 가시 기간에 대한 결과를 분석한 결과이다.

표 4에서와 같이 전체 구간 평균과 편차는 두 모델 모두 편차가 큰 것을 볼 수 있다. 이는 20도 이하의 낮은 양각에 대한 결과가 다 적용되었기 때문이다. 그러나 60도 이상의 양각에 대해서는 두 모델이 전체 값에 비해서는 안정적인 결과를 타내었고 특히 Saastamoinen 모델의 결과 값이 더 안정적인 것을 확인할 수 있다.

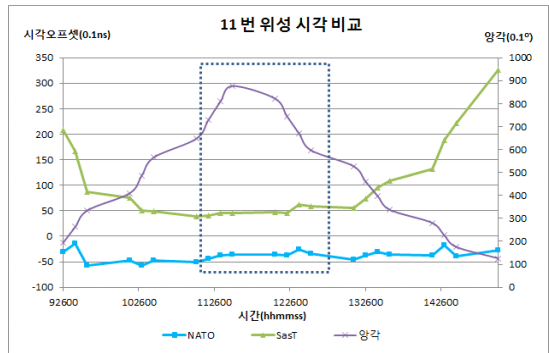


그림 5. 11번 위성의 비교 결과
Fig. 5. Satellite no.11 results

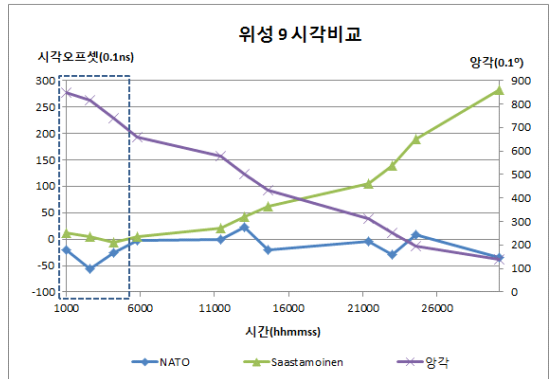


그림 6. 9번 위성의 비교 결과
Fig. 6. Satellite no.9 results

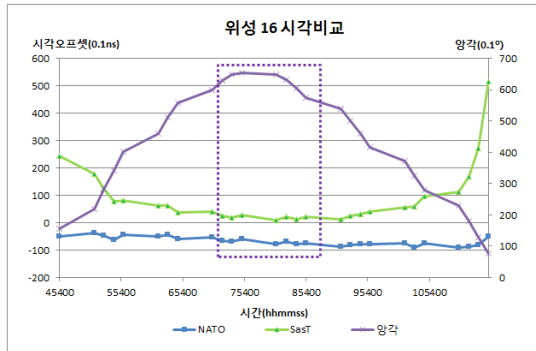


그림 7. 16번 위성의 비교 결과
Fig. 7. Satellite no.16 results

그림 5에서 그림 7까지는 11번 위성, 16번 위성, 9번 위성에 대해 양각에 따른 두 모델의 시각비교 결과를 나타낸 결과들이다. 네모 박스로 표시한 부분은 양각이 60도 이상의 구간이다. 두 모델 모두 비교적 안정적인 값을 나타내고 있음을 알 수 있고 Saastamoinen 모델의 경우 낮은 양각에서 시각비교 결과가 많이 커지는 것을 확인할 수 있다. 이로 인해 전체 시각비교값이 편차가 심한 결과를 보인 것이다. Saastamoinen 모델의 특성이 원래 15도 이상 양각에 대한 적용임을 감안해야 함을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 세계협정시를 계산하기 위해 우리나라 한국 표준과학연구원에서 수행하고 있는 GPS 코드를 이용한 시각비교 기법과 r2cggts 프로그램에 대해 소개하였다. 국내 코드 기반의 시각비교기법에 사용되고 있는 ROB의 프로그램을 C 프로그램으로 변환하여 검증하였고, 향후 국내 실정에 맞게 여러 기법들을 적용하고 시각비교결과를 도출할 계획이다. 첫 번째 적용 분야로 기존 NATO 모델에 비해 안정성이나 정확성이 높아 정밀시각비교기법에서 주로 사용되고 있는 Saastamoinen 모델을 대류층 지연의 천정지연모델에 적용하고 그 결과를 비교분석해 보았다.

GPS 코드에 의한 시각전달시 여러 오류요소에 의해 지연이 발생하기 때문에, 세계협정시는 가장 안정적인 조건에서의 시각비교 값을 취해 시각비교를 수행하고 있다. 현재 NATO 모델을 적용한 r2cggts 결과는 낮은 양각의 경우 상대적으로 지연의 범위가 작아 20도 이상의 값들로 시각비교결과를 제공하고 있다. 반송파의 대류층 지연에 사용되는 Saastamoinen 모델의 적용 결과 고도가 높은 경우에는 매

우 안정적인 결과 값을 보이고, 고도각이 낮은 경우는 안정도가 많이 떨어짐을 알 수 있다. 향후 Saastamoinen 모델의 mapping function으로 사용되는 Niell의 mapping function을 적용하고 시각비교 결과를 분석하고 검증할 계획이다.

참고문헌

- [1] D. W. Allan and C. Thomas, "Technical Directives for Standardization of GPS Time Receiver Software," *Metrologia*, 31, pp.69-79, 1994.
- [2] J. Azoubib and W. Lewandowski, "CGGTTS GPS/GLONASS Data format version 02," 7th CGGTTS meeting, Nov. 1998.
- [3] G. Petit and E. F. Arias, "Use of IGS products in TAI applications," *Journal of Geodesy*, Vol. 83, Issue 3-4, pp327-334, March 2009.
- [4] P. Defraigne, G. Petit and C. Bruyninx, "Use of Geodetic receivers for TAI," 33rd Precise Time and Time Interval (PTTI) meeting, pp.341-348, Nov. 2001.
- [5] P. Defraigne and C. Bruyninx, "Time Transfer for TAI using a geodetic receiver, An example with the Ashtech ZX11-T," *GPS solutions*, March 2001.
- [6] J. Levine, "Time transfer using multi-channel GPS receivers," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, UFFC-46, pp.392-398, 1999.
- [7] J. Kouba and T. Springer, "New IGS Station and Satellite Clock Combination," *GPS Solutions*, Vol. 4, No. 4, pp.1-36, 2001.
- [8] F. Roosbeek, P. Defraigne and C. Bruyninx, "Time Transfer Experiments Using GLONASS P-code Measurements from RINEX Files," *GPS Solutions*, Vol. 5, No. 2, pp. 51-62, 2001.
- [9] P. Defraigne, Q. Baire and N. Guyennon, "GLONASS and GPS PPP for Time and Frequency Transfer," *Frequency Control Symposium, 2007 Joint with the 21st European Frequency and Time Forum*. pp909-913, May 2007.

[10] NATO (North Atlantic Treaty Organization), North Atlantic Treaty Organization, Doc. 4294, pp. A-6-34 - A-6-37, 1993.

[11] J. Saastamoinen, "Contributions to the theory of atmospheric refraction," In three parts. Bulletin Géodésique, No. 105, pp. 279-298; No. 106, pp. 383-397; No. 107, pp. 13-34, 1973.

[12] P. Defraigne, A. H. Harmegnies and G. Petit, "Time and Frequency transfer combining GLONASS and GPS data," Frequency Control and the European Frequency and Time Forum (FCS), 2011 Joint Conference of the IEEE International, pp.1-5, May 2011.

[13] V. B. Mendes and R. B. Langley, "Tropospheric zenith delay prediction accuracy for airborne GPS high-precision Positioning," Proceedings of The Institute of Navigation 54th Annual Meeting, Denver, CO, U. S. A. pp. 337-347, June 1998.

[14] J. P. Collins, "Assessment and Development of a Tropospheric Delay Model for Aircraft Users of the Global Positioning System," M.Sc.E. thesis, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 203, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, Sept. 1999.

저 자 소개



유 동 희
 1992: 부산대학교
 전자계산학과 이학사.
 1994: 부산대학교
 전자계산학과 이학석사.
 2001: 부산대학교
 전자계산학과 이학박사.
 현 재: 부산가톨릭대학교
 멀티미디어공학과 교수
 관심분야: 시각동기, 정보통신
 Email : dhyu@cup.ac.kr



양 성 훈
 1984: 광운대학교
 전자공학과 공학사
 1997: 충남대학교
 전자공학과 공학석사
 2012: 충남대학교
 전자공학과 공학박사
 현 재: 한국표준과학연구원
 시간센터 책임연구원
 관심분야: 시각동기
 Email : shyang@kriss.re.kr



도 재 철
 1998: 경북대학교
 전자공학과 공학사
 2002: 경북대학교
 전자공학과 공학석사
 현 재: 국방과학연구소 연구원
 관심분야: 항법시스템
 Email : lenardo@add.re.kr



이 창 복
 1980: 서강대학교
 전자공학과 공학사
 1982: 서강대학교
 전자공학과 공학석사
 1994: 서강대학교
 전자공학과 공학박사
 현 재: 한국표준과학연구원
 시간센터 책임연구원
 관심분야: 시각동기
 Email : cblee@kriss.re.kr