JPNT 11(2), 83-89 (2022)
https://doi.org/10.11003/JPNT.2022.11.2.83

JPNT Journal of Positioning, Navigation, and Timing

# GNSS Antenna PCO/PCV and Position Changes due to the Switch IGS08/igs08.atx to IGS14/igs14.atx

Byung-Kyu Choi[1†], Dong-Hyo Sohn[1], Ha-Su Yoon[2], Sang Jeong Lee[3]

[1]Space Science Division, Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 34055, Korea
[2]Space Geodetic Observation Center, National Geographic Information Institute, Sejong 30060, Korea
[3]Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

## ABSTRACT

For precise GNSS applications, the antenna phase center correction (PCC) is absolutely required. The PCC magnitude can reach the centimeter level with the antenna structure. In the present study, we first investigate the phase center offset (PCO) and phase center variation (PCO) of three different antenna models in two different reference frames, IGS08/igs08.atx and IGS14/igs14.atx. Clear L1 and L2 PCO differences were found between IGS08 and IGS14. In addition, the PCV showed characteristics that is dependent upon the signal direction (azimuth and elevation angle). The remarkable thing is that the changes of a Dorne Margolin choke-ring antenna model (AOAD/MT DOME) was very small in two reference frames. In order to analyze changes in positions according to different reference systems, GNSS data obtained from DAEJ, SUWN, and TSKB stations were processed by the precise point positioning (PPP) method. We suggest that an antenna PCO/PCV can affect the precise GNSS positioning on the order of several millimeters in two different reference frames.

**Keywords:** GNSS, PCO, PCV, PPP

## 1. INTRODUCTION

International GNSS Service (IGS)는 2017년 1월 29일 (GPS week 1934)에 IGS14라 불리는 새로운 기준계를 채택했다 (Dow et al. 2009, Figurski & Nykiel 2017). 이와 동시에 GNSS 위성과 지상 안테나의 캘리브레이션에 대한 갱신자료가 함께 제공되었다. IGS는 위에 언급된 시점에 기존 기준계 IGS08/igs08.atx에서 새로운 기준계인 IGS14/igs14.atx로 교체를 단행했다. 새로운 기준계의 도입은 GNSS 안테나의 위상중심 옵셋 (phase center offsets, PCO)과 위상중심 변동(phase center variations, PCV)에 변화를 가져온다. IGS08에서 IGS14로 변경되면서 지구의 무게중심점의 변화 (Translation, T), 즉 중심적으로부터 3개의 방향성분인 T1, T2, T3가 각각 1.6, 1.9, 2.4 mm 만큼의 차이가 발생했다. 또한 지구의 형상크기(Scale)에는 $-0.02\times10^{-9}$ (parts per billion)의 차이가 있었다. PCO는 안테나 기준점 (antenna reference point, ARP)으로부터의 옵셋을 그리고 PCV는 위성의 입사신호에 따른 안테나 중심의 변동을 의미한다.

정밀단독측위 또는 정밀상대측위에서 안테나의 PCO와 PCV를 고려하지 않으면 수직변위에 큰 오차가 발생할 수 있다 (Mader 1999). IGS 제공하는 Antenna Exchange (ANTEX) 파일은 GNSS 위성과 수신기의 주파수별 PCO와 PCV 정보를 포함하고 있다. 또한 GNSS 위성과는 달리 지상의 안테나는 GPS (G01, G02)와 GLONASS (R01, R02) 위성신호에 대한 정보만 제공된다.

GNSS 안테나의 PCO와 PCV는 상대 (relative)와 절대 (absolute) 캘리브레이션 방식으로 구분되어 계산된다. 일반적으로 상대 안테나 캘리브레이션 방식은 Dorne Margolin 초크링 안테나 타입 (AOAD/M_T)을 기준 안테나 (reference antenna)로 설정하여 위성의 입사신호와 방향에 따른 상대 PCV 값을 결정한다. 반면 절대 안테나 캘리브레이션 방식은 별도의 기준 안테나를 필요로 하지 않는다. 이 방식은 안테나 테스트를 위해 로봇 (Wübbena et al. 2000) 또는 반사와 잡음이 최소가 되도록 설계한 무반향실 (anechoic chamber) (Zeimetz & Kuhlmann 2006)을

**Received** Mar 29, 2022 **Revised** Apr 01, 2022 **Accepted** Apr 06, 2022
†**Corresponding Author**
E-mail: bkchoi@kasi.re.kr
Tel: +82-42-865-3237 Fax: +82-42-861-5610
**Byung-Kyu Choi** https://orcid.org/0000-0003-2560-6714
**Dong-Hyo Sohn** https://orcid.org/0000-0001-9719-702X
**Ha-Su Yoon** https://orcid.org/0000-0001-9917-5246
**Sang Jeong Lee** https://orcid.org/0000-0002-9400-5157

Copyright © The Institute of Positioning, Navigation, and Timing

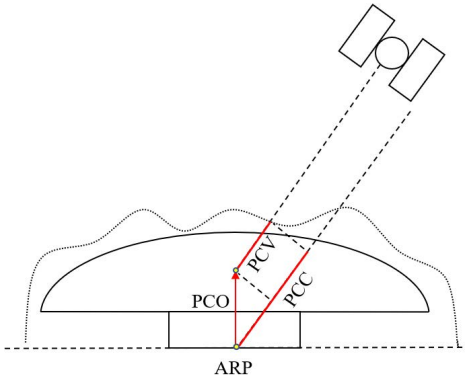



**Fig. 1.** PCC conceptual diagram with incoming signal.

사용한다. IGS 제공하는 최신 안테나 모델파일(igs14.atx)은 대부분 로봇 캘리브레이션에 의해 수행된다.

본 연구에서는 IGS08/igs08.atx에서 IGS14/igs14.atx로 기준계 변화에 따른 GPS 위성과 지상 수신 안테나에 대한 PCO에 대한 차이를 분석한다. 그리고 기준계와 안테나 모델에 따른 PCV의 특성과 크기를 서로 비교하여 제시한다. 또한 서로 다른 기준계에서의 PCO와 PCV를 정밀절대측위에 적용하고, 그에 따른 측위 변화를 함께 분석한다.

## 2. METHOD

GNSS 위성과 IGS에 공식 등록된 수신기의 PCO와 PCV 값은 ANTEX 형식으로 제공되고 있다. PCV 값은 방위각 (0˚~ 360˚)과 천정각 (0˚~ 90˚)으로 이루어진 격자형태로 제공이 된다. 위성의 안테나 PCO는 위성의 무게중심 (center of mass)에 대한 안테나 위상중심의 위치로 정의된다. 반면 수신 안테나 PCO는 안테나 ARP에 대한 위상중심의 평균위치를 3차원 옵셋으로 정의한다 (Montenbruck et al. 2017).

위성의 안테나로부터 항법신호가 서로 다른 천저(nadir)와 방위각으로 전송될 때 위상중심의 작은 변화가 발생한다. Fig. 1은 위성 입사신호에 대한 위상중심 보정 (phase center corrections, PCC)을 개념적으로 표현한 것이다. 따라서 PCC는 식 1과 같이 PCO와 PCV의 함수로 표현된다 (Wübbena et al. 1996).

$$PCC(\alpha^k, z^k) = PCO \cdot \vec{e}(\alpha^k, z^k) + PCV(\alpha^k, z^k) \quad (1)$$

$$\vec{e}(\alpha^k, z^k) = \{\sin(z^k) \cdot \cos(\alpha^k), \sin(z^k) \cdot \cos(\alpha^k), \cos(z^k)\} \quad (2)$$

여기에서 $\alpha$와 $z$는 GNSS 위성의 방위각과 천정각이고, $\vec{e}$는 위성과 수신안테나의 시선방향 단위벡터 성분으로 식 (2)와 같다. 그리고 $k$는 특정 GNSS 위성을 의미한다.

PCV는 수평과 수직성분에서 10 mm까지 도달할 수 있다. Dilssner et al. (2008)은 PCV에 의한 정밀측위오차가 수평과 수직방향에서 각각 2 mm와 4 mm를 초과하지 않는다고 보고했다. 또한 그들은 중위도 지역 보다는 극 지역에서 더 큰 오차로 작용한다는 것을 보였다. 이것은 위성의 앙각과 관련이 있다. 그러나, 관측잡음, 자료처리 기법, 그리고 다중경로 오차 등과 같은 여러 요인들이 PCC에 영향을 줄 수 있다.

**Table 1.** GPS satellite antenna PCO values (unit: meter).

| GPS PRN | igs08.atx (G01/G02) | | | igs14.atx (G01/G02) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | North | East | Up | North | East | Up |
| 01 | 0.3940 | 0 | 1.5013 | 0.3940 | 0 | 1.5018 |
| 02 | 0 | 0 | 0.7286 | 0.0013 | -0.0011 | 0.7288 |
| 03 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.5506 |
| 04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05 | 0 | 0 | 0.8226 | -0.0030 | -0.0003 | 0.7780 |
| 06 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.4670 |
| 07 | 0 | 0 | 0.8529 | -0.0004 | 0.0050 | 0.8224 |
| 08 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.5014 |
| 09 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.5226 |
| 10 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.5151 |
| 11 | 0 | 0 | 1.1413 | -0.0007 | -0.0012 | 1.1178 |
| 12 | 0 | 0 | 0.8408 | 0.0102 | -0.0056 | 0.7678 |
| 13 | 0 | 0 | 1.3895 | -0.0024 | -0.0016 | 1.3483 |
| 14 | 0 | 0 | 1.3454 | -0.0025 | -0.0017 | 1.3045 |
| 15 | 0 | 0 | 0.6811 | 0.0045 | 0.0019 | 0.6228 |
| 16 | 0 | 0 | 1.5064 | 0.0126 | -0.0069 | 1.4687 |
| 17 | 0 | 0 | 0.8271 | 0.0030 | 0.0010 | 0.7709 |
| 18 | 0 | 0 | 1.2909 | 0.0139 | 0.0003 | 1.2486 |
| 19 | 0 | 0 | 0.8496 | 0.0086 | -0.0006 | 0.8082 |
| 20 | 0 | 0 | 1.3436 | 0.0010 | -0.0032 | 1.3135 |
| 21 | 0 | 0 | 1.4054 | -0.0034 | 0.0029 | 1.3591 |
| 22 | 0 | 0 | 0.9058 | -0.0022 | 0.0022 | 0.8506 |
| 23 | 0 | 0 | 0.8082 | 0.0154 | 0.0068 | 0.7661 |
| 24 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.4071 |
| 25 | 0.3940 | 0 | 1.5973 | 0.3940 | 0 | 1.5174 |
| 26 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.5035 |
| 27 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.5223 |
| 28 | 0 | 0 | 1.0428 | 0.0014 | 0.0047 | 0.9995 |
| 29 | 0 | 0 | 0.8571 | 0.0109 | -0.0045 | 0.7918 |
| 30 | 0.3940 | 0 | 1.6000 | 0.3940 | 0 | 1.5221 |
| 31 | 0 | 0 | 0.9714 | -0.0008 | 0.0058 | 0.9125 |
| 32 | 0.2790 | 0 | 2.7772 | 0.2790 | 0 | 2.7208 |

## 3. PCO AND PCV ANALYSIS

### 3.1 GPS satellite antenna PCO

Table 1은 GPS 위성 안테나의 PCO 값을 m 단위로 나타낸 것이다. 두개의 서로 다른 기준계에서 제공하는 위성 안테나에 대한 PCO 값을 함께 나열했다. 수평방향 (North, East)에 비해 고도방향 (up)의 PCO 값이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 특정 위성의 경우에는 고도방향의 옵셋이 2.7 m 수준에 도달하기도 한다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 기준계의 변화로 인해 고도방향 성분에 큰 변화가 있다. 특히, GPS PRN 24번의 경우에는 고도방향 성분에서 큰 19.29 cm의 차이를 보이고 있다. 반면 동서와 남북방향 성분은 상대적으로 작은 2 cm 이하의 차이를 보인다.

### 3.2 Receiver antenna PCO and PCV

기준계 변화에 따른 수신 안테나의 PCO와 PCV 값의 차이를 분석하기 위해 IGS 기준국으로 운영되고 있는 대전 (DAEJ),

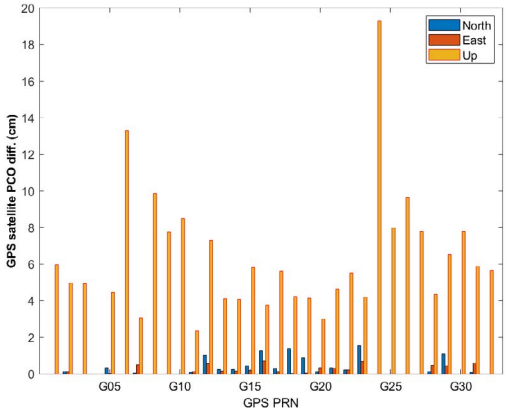



**Fig. 2.** PCO differences for GPS satellite antennas between igs08.atx and igs14.atx.

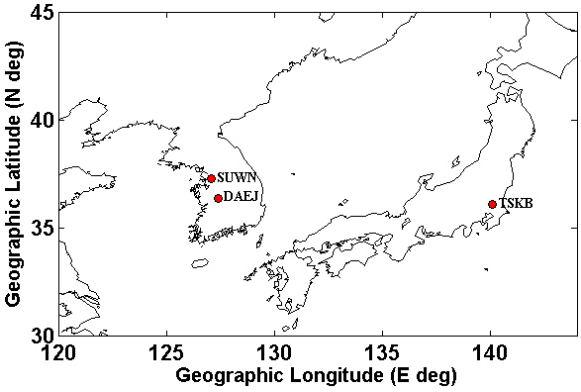
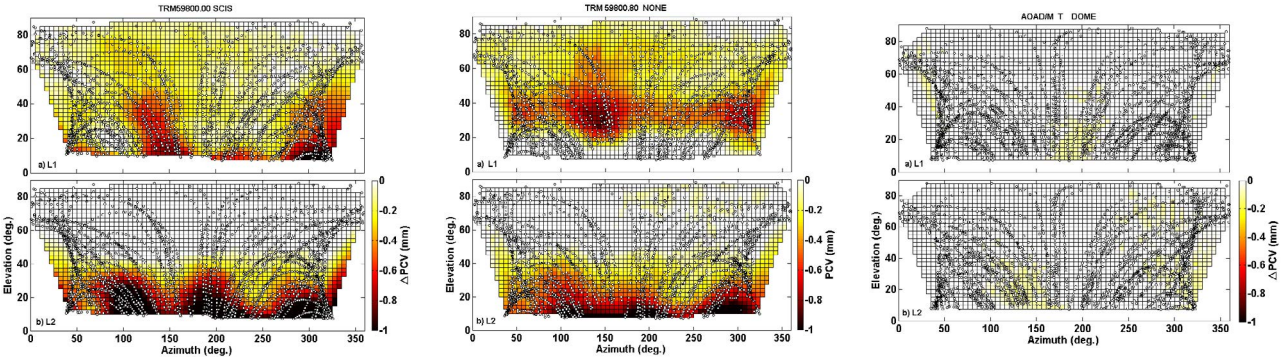



**Fig. 3.** The positions for three GNSS reference stations.

**Table 2.** GPS receiver antenna PCO with the antenna type and frequency (unit: mm).

| Site | Antenna type | Frequency | igs08.atx (N, E, U) | | | igs14.atx (N, E, U) | | | Diff. (igs08-igs14) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DAEJ | TRM59800.00 SCIS | G01 | 0.32 | 0.71 | 86.70 | 0.66 | 0.19 | 86.54 | -0.34 | 0.52 | 0.16 |
| | | G02 | 0.15 | -0.21 | 119.42 | 0.14 | -0.15 | 115.88 | 0.01 | -0.06 | 3.54 |
| SUWN | TRM59800.80 NONE | G01 | 0.45 | 1.02 | 89.81 | 1.04 | 0.70 | 89.51 | -0.59 | 0.32 | 0.30 |
| | | G02 | -0.04 | -0.35 | 120.03 | 0.12 | 0.00 | 117.13 | -0.16 | -0.35 | 2.90 |
| TSKB | AOAD/M_T DOME | G01 | 0.58 | -0.37 | 91.85 | 0.66 | -0.53 | 91.84 | 0.08 | 0.16 | 0.01 |
| | | G02 | -0.08 | -0.59 | 120.35 | -0.29 | -0.66 | 120.35 | 0.21 | 0.07 | 0.00 |




(a) DAEJ (b) SUWN (c) TSKB

**Fig. 4.** GPS L1/L2 PCV differences both IGS14/igs14.atx and IGS08/igs08.atx: (a) DAEJ, (b) SUWN, and (c) TSKB. The small circles in each panel represent the satellite positions with an elevation angle and azimuth.

수원 (SUWN), 쓰쿠바 (TSKB) GNSS 기준국 관측자료를 처리하였다. 기준국들은 서로 다른 안테나 모델을 사용하고 있으며, DAEJ, SUWN, 그리고 TSKB 기준국은 수신 안테나 모델이 각각 TRM59800.00 SCIS, TRM59800.80 NONE, AOAD/M_T DOME 이었다.

Fig. 3은 선정된 GNSS 기준국의 분포를 보여주고 있다. Table 2는 각 기준국에서 사용하고 있는 수신 안테나의 모델과 주파수별 PCO 값을 나타낸 것이다. 또한 IGS08과 IGS14 기준계에 따른 PCO 값을 함께 기술했다. 각 기준국의 PCO 값은 수신 안테나 모델, 주파수, 그리고 기준계에 따라 확연한 차이를 보이고 있다. AOAD/M_T DOME 타입의 안테나 모델을 사용하는 TSKB는 igs08.atx와 igs14.atx에서 제공하는 PCO 값의 차이가 상대적으로 작은 것을 알 수 있다. 반면에 DAEJ와 SUWN은 TSKB에 비해 큰 PCO 값의 변화를 보인다. 특히, L2 주파수의 고도방향 (Up, U) PCO 값 차이가 L1 주파수에 비해 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 기준계 변화에 따른 PCO 값의 차이뿐만 아니라 PCV 값의 변화도 함께 분석하였다. 기준계 변화에 따른 수신 안테나의 PCV 값 변화를 분석하기 위해 2016년 1월 1일에 3곳의 기준국에서 수신된 관측자료를 처리하였다.

Fig. 4는 각각의 수신 안테나의 모델별 PCV 값 차이 (IGS14/igs14.atx – IGS08/igs08.atx)를 보여주고 있다. 기준계 변화에 따른 PCV 값의 차이는 GPS L1과 L2 주파수 2개의 유형으로 분리하였다. 그리고 이러한 차이를 위성의 앙각과 방위각의 변화와 함께 나타내었다.

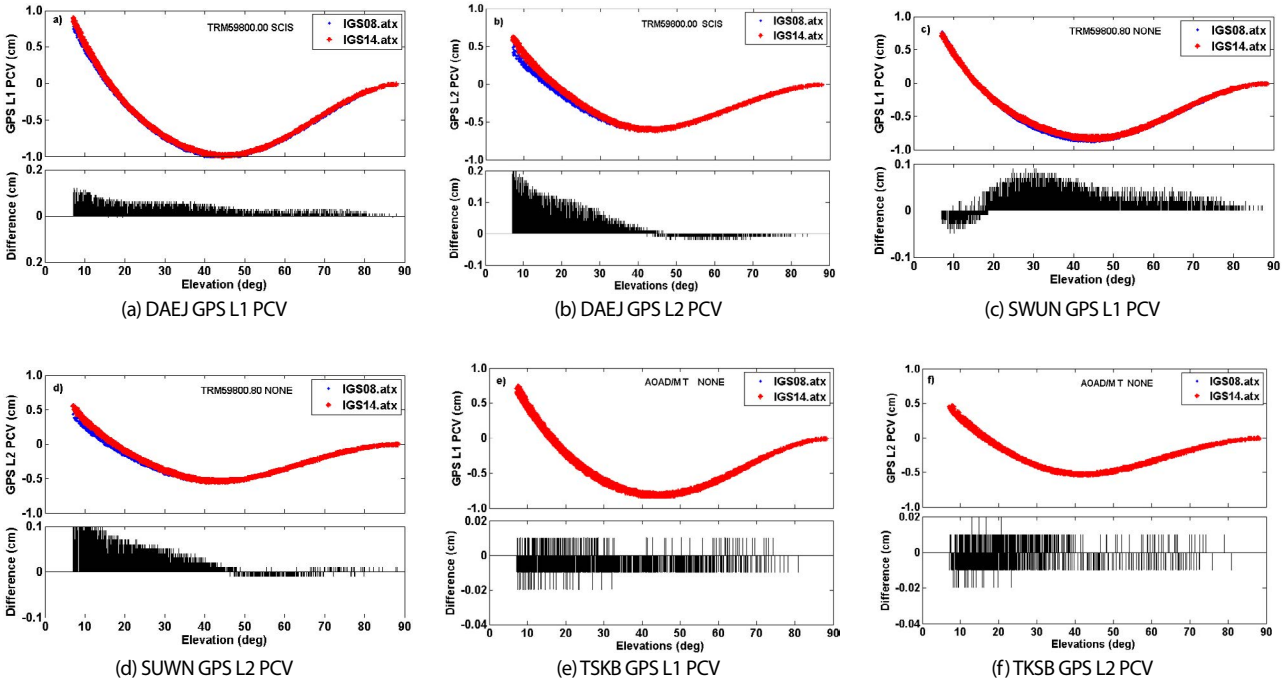



**Fig. 5.** GPS L1/L2 PCV changes and their differences both IGS14/igs14.atx and IGS08/igs08.atx: (a-b) DAEJ, (c-d) SUWN, and (e-f) TSKB.

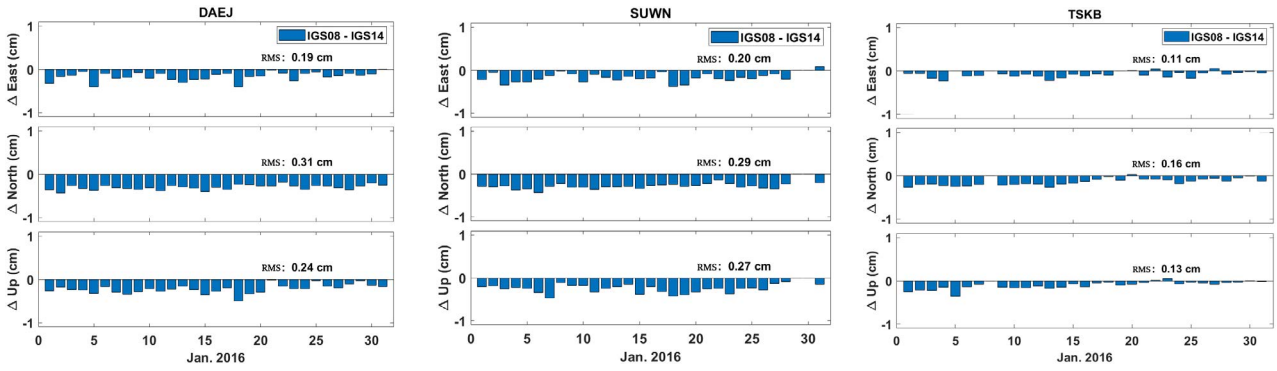
Fig. 4a는 TRM59800.00 SCIS 안테나 모델을 사용하는 DAEJ 기준국의 PCV 값 차이를 보여주고 있다. GPS L1/L2의 경우에 40도 이하의 낮은 앙각에서 PCV 값 차이가 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 특히, GPS L2의 경우에는 L1에 비해 기준계의 변화에 따라 더 큰 차이가 있었고, 그 차이는 1 mm 이상에 도달하기도 한다. Fig. 4b는 TRM59800.80 NONE 안테나 모델을 사용하는 SUWN 기준국의 PCV 값의 차이를 보여주고 있다. GPS L1의 경우에 위성의 앙각이 20도에서 50도 사이에서 가장 큰 PCV 값 차이를 보이고 있다. 그리고, 앙각이 20도 이하에서는 큰 변화가 없다는 것이 특징이다. 이것은 TRM59800.00 SCIS 모델의 L1과 확연한 차이가 있다는 것을 알 수 있다. L2 주파수의 경우에는 앙각이 40도 이하에서 큰 PCV 값 차이를 보이고 있으며, 그 변화는 TRM59800.00 SCIS 모델과 매우 유사하다. Fig. 4c는 AOAD/M_T DOME 안테나 모델을 사용하는 TSKB 기준국의 PCV 값의 차이이다. 이 안테나 모델은 기준계 변화에도 GPS L1/L2 PCV 값은 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 즉, AOAD/M_T DOME 안테나 모델은 기준계의 변화에도 GPS L1/L2 PCV 값의 변화가 매우 작은 것을 알 수 있고, 앞서 제시한 두개의 안테나 모델과는 확연한 차이를 보인다.

PCO와 PCV는 안테나 모델별로 상이한 특징을 보이며, 이것은 제조사의 수신 안테나 설계의 차이로 인식된다.

추가적으로 위성의 앙각에 따른 PCV 값의 변화와 서로 다른 기준계 적용에 따른 차이를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5a에 보이는 것처럼 TRM59800.00 SCIS 모델은 GPS L1 PCV 값이 ±1 cm 이내에서 변하고 있다. 두 기준계의 적용에 따른 차이는 최대 약 0.1 cm 수준이고, 그 값은 앙각이 클수록 점점 작아지는 경향을 보인다. Fig. 5b에서 GPS L2 PCV 값은 ±0.6 cm 이내에서 변하고 있고, 앙각이 90도 일 때 최소가 되는 것을 알 수 있다. GPS L2 PCV 값은 서로 다른 기준계를 적용했을 때, 앙각이 10도 이하에서 최대 0.2 cm의 차이를 보이고 있다. 이것은 L1 PCV 값 차이에 비해 거의 2배에 이른다. Figs. 5c,d는 SUWN 기준국에서 기준계에 따른 PCV 값 변화와 차이를 보여주고 있다. TRM59800.80 NONE 모델은 GPS L1 PCV 값이 ±0.9 cm 이내에서 변하고 있다. 그리고 서로 다른 기준계 적용에 따른 차이는 최대 0.1 cm에 이른다. 또한 그 값의 차이는 앙각이 각각 약 30도와 90도 일 때 최대와 최소가 된다. 그리고 TRM59800.00 SCIS 모델과 유사하게 두 기준계에 따른 PCV 값의 차이는 앙각이 작을수록 크며, 반대로 앙각이 클수록 작아지는 경향을 보인다. 두 기준계에서 GPS L1과 L2 PC V값 차이는 확연히 다른 특징을 갖고 있다. Figs. 5e,f는 TSKB 기준국에서 기준계에 따른 PCV 값 변화와 차이이다. AOAD/M_T DOME 안테나 모델은 GPS L1과 L2 PCV 값이 각각 ±0.9 cm와 ±0.5 cm 이내에서 변하는 것을 알 수 있다. 그리고 서로 다른 기준계 적용에 따른 L1과 L2 PCV 값의 차이는 모두 ±0.02 cm 이내로 앞선 두 모델에 비해 상대적으로 매우 작다. 또한 앙각에 따른 차이도 매우 작은 것으로 나타났다.

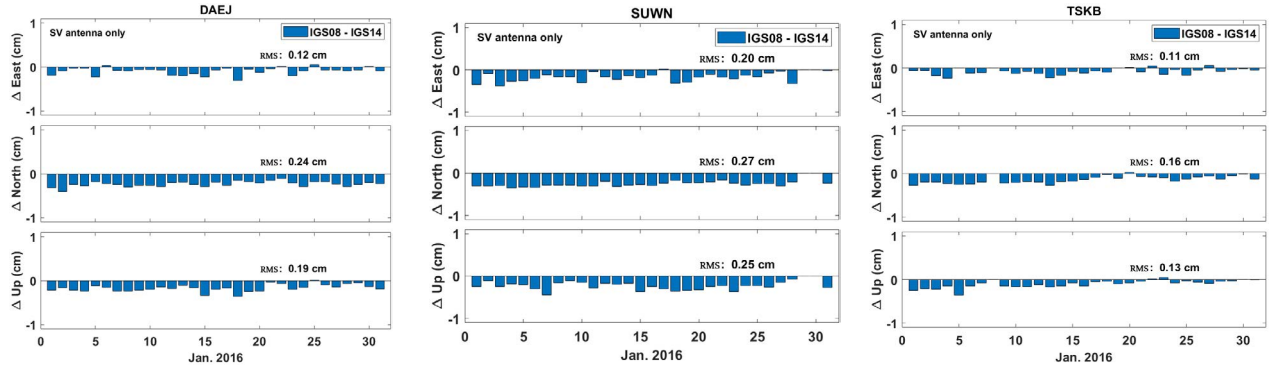
서로 다른 기준계 적용에 따른 측위 변화를 분석하기 위해 2016년 1월 1일부터 1월 31일까지 DAEJ, SUWN, 그리고 TSKB 기준국에서 수신된 GNSS 관측자료를 처리하였다. 자료처리는 정밀절대측위 (Precise Point Positioning) 방법을 이용해서 각 기준국의 정밀해를 산출하였으며, 기준계에 따른 위성과 수신안테나의 PCO와 PCV만을 고려하였다.

Fig. 6은 서로 다른 기준계에 적용에 따른 항법좌표계상에서 정밀위치해의 차이를 보여주고 있다. Fig. 6a는 DAEJ 기준국의 정밀위치해 차이를 동서, 남북, 고도방향 성분으로 나타낸 것이다. 이 기간동안 DAEJ는 동서, 남북, 고도방향 성분의 root mean square (RMS) 값이 각각 0.19, 0.31, 0.24 cm로 산출되었다. 남북




(a) DAEJ (b) SUWN (c) TSKB

**Fig. 6.** Position differences for three GNSS reference stations using two different reference system IGS08 and IGS14: (a) DAEJ, (b) SUWN, and (c) TSKB.




(a) DAEJ (b) SUWN (c) TSKB

**Fig. 7.** Position differences for three GNSS reference stations using the GPS antenna PCO/PCV only on two different reference system IGS08 and IGS14: (a) DAEJ, (b) SUWN, and (c) TSKB.

**Table 3.** .Position differences for three GNSS reference stations on two different reference system IGS08 and IGS14 (unit: cm).

| Site | Position differences (igs08-igs14) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | SV antenna only | | | SV + Ground antenna | | |
| DAEJ | 0.12 | 0.24 | 0.19 | 0.19 | 0.31 | 0.24 |
| SUWN | 0.20 | 0.27 | 0.25 | 0.20 | 0.29 | 0.27 |
| TSKB | 0.11 | 0.16 | 0.13 | 0.11 | 0.16 | 0.13 |

방향 성분의 RMS 값이 동서와 고도방향에 비해 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 또한 동서방향 성분이 가장 작은 변화를 보이는 것으로 나타났다. Figs. 6b,c는 각각 SUWN와 TSKB 기준국에서의 정밀위치해 차이를 보이고 있다. SUWN의 경우에는 동서, 남북, 고도방향 성분의 RMS 값이 모두 0.3 cm 이하로 산출되었고, 서로 다른 기준계에 따른 측위변화가 DAEJ와 매우 유사하다. TSKB는 모든 성분의 RMS 값이 모두 0.2 cm 이하로, 기준계 변화에 따른 영향이 가장 작은 것을 알 수 있었다. DAEJ와 SUWN과 마찬가지로 정밀위치해의 변화가 동서방향 성분에서 상대적으로 작고, 남북방향 큰 것으로 나타났다. 결과적으로 기준계의 변화에 따라 위성과 수신안테나의 PCO와 PCV 값이 영향을 받게 된다. 따라서 그것은 정밀측위에도 수 밀리미터 수준의 변화를 준다는 것을 알 수 있었다.

위성과 지상 수신안테나의 영향을 좀 더 구체적으로 살펴보기 위해 위성의 PCO와 PCV만을 적용하여 정밀측위의 변화를 분석하였다. Fig. 7은 서로 다른 기준계에서 GPS 위성의 안테나 PCO와 PCV만을 적용했을 때의 일일 정밀측위 변화를 보여주고 있다. Figs.7a-c는 각각 DAEJ, SUWN, 그리고 TSKB 기준국의 정밀측위해 변화이다. 그리고 2016년 1월 한달 동안의 RMS 값을 함께 표기했다. Table 3은 Figs. 6과 7에서 제시한 위치변화 값들을 함께 기술한 것이다. 위성 안테나 단독적용과 위성 + 지상 수신안테나를 동시에 고려했을 때 두 기준계 간의 정밀위치 변화가 크지 않았다. 그러므로 우리는 기준계 변화로 인해 지상의 수신안테나보다는 위성안테나가 정밀측위에 더 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 특히, TSKB 기준국은 위성안테나가 정밀측위 변화에서 차지하는 비중이 거의 100%에 이르렀다. 즉, TSKB의 지상 수신안테나는 기준계 변화에도 정밀측위에 영향을 주지 않았다. 이것은 앞에서 제시한 TSKB의 지상 수신안테나 PCO 및 PCV 분석 결과와 일치한다.

## 4. CONCLUSIONS

본 연구에서는 기준계에 따른 위성과 수신안테나의 GPS L1/L2 PCO와 PCV 변화를 분석하였다. GPS PRN 24번 위성의 경우에는 IGS08에서 IGS14로 기준계 변화에 따라 고도방향 PCO 값이19.29 cm로 큰 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

수신 안테나의 PCO와 PCV 값의 차이를 분석하기 위해 DAEJ, SUWN, 그리고 TSKB 기준국에서 수신된 관측자료를 처리하였다. DAEJ, SUWN, TSKB는 수신 안테나로 각각 TRM59800.00 SCIS, TRM59800.80 NONE, AOAD/M_T DOME 모델을 사용하고 있다. AOAD/M_T DOME 타입의 안테나 모델을 사용하는 TSKB는 기준계 변화에도 PCO 값 차이가 작은 반면에 TRM59800.00 SCIS와 TRM59800.80 NONE 모델을 사용하는 DAEJ와 SUWN은 상대적으로 큰 PCO 값의 변화가 있었다. GPS L1과 L2 PCV는 ±1 cm 이내의 값을 갖고 있다. AOAD/M_T DOME 안테나 모델은 기준계의 변화에도 GPS L1/L2 PCV 값의 차이가 0.02 cm를 초과하지 않는다. 그러나 TRM59800.00 SCIS와 TRM59800.80 NONE 모델의 경우에는 L1과 L2 PCV 값의 차이가 1.0과 2.0 mm에 도달하기도 했다.

기준계 변화에 따른 측위변화를 분석하였다. 기준계 변화에서 위성과 수신 안테나의 PCO와 PCV만을 고려했을 때 측위에는 수 밀리미터 수준의 차이가 발생했다. 기준계 변화에도 PCO와 PCV 값 차이가 매우 작았던 TSKB는 측위 차이 또한 상대적으로 작다는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로 기준계의 변화는 PCO와 PCV 값의 변화를 가져오며, 정밀측위에도 수 밀리미터 수준의 작은 영향을 준다. 또한, 지상 수신안테나 보다는 위성안테나가 정밀측위 변화에 더 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by the 2022 Primary Project of the Korea Astronomy and Space Science Institute.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Methodology, B.K. Choi, and D.H. Sohn; software, B.K. Choi; formal analysis, B.K. Choi, and D.H. Sohn; investigation, D.H. Sohn, H.S. Yoon and S.J. Lee.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

Dilssner, F., Seeber, G., Wübbena, G., & Schmitz, M. 2008, Impact of near-field effects on the GNSS position solution, In Proceedings of the ION GNSS 2008, Savannah, Georgia, USA, September 16-19, pp.612-624.

Dow, J. M., Neilan, R. E., & Rizos, C. 2009, The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems, J. Geod. 83, 191-198. https://doi.org/10.1007/s00190-008-0300-3

Figurski, M., & Nykiel, G. 2017, Investigation of the impact of ITRF2014/IGS14 on the Positions of the Reference Stations in Europe, Acta Geodyna. Geomater., 14, 401-410. https://doi.org/10.13168/AGG.2017.0021

Mader, G. L. 1999, GPS Antenna calibration at the National Geodetic Survey. GPS Solut., 3, 50-58. https://doi.org/10.1007/PL00012780

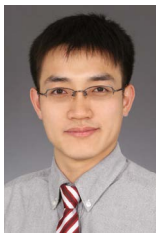
Montenbruck, O., Steigenberger, P., Prange, L., Deng, Z., Zhao, Q., et al. 2017, The multi-GNSS experiment (MGEX) of the international GNSS service (IGS)–achievements, prospects and challenges, ASR, 59, 1671-1697. https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.01.011

Wübbena, G., Menge, F., Schmitz, M., Seeber, G., & Völksen, C. 1996, A new approach for field calibration of absolute antenna phase center variations, In Proceedings of the ION GPS-96, Kansas City Convention Center, Kansas City, Missouri, USA, September 16-19 1996, pp.1205-1214.

Wübbena, G., Schmitz, M., Menge, F., Böder, V., & Seeber, G. 2000, Automated absolute field calibration of GPS antennas in real-time, In Proceedings of the ION GPS 2000, Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, UT, USA, September 19-22 2000, pp.2512-2522.

Zeimetz, P. & Kuhlmann, H. 2006, Systematic effects in absolute chamber calibration of GPS antennas, Geomatica, 60, 267-274. https://doi.org/10.5623/geomat-2006-0032

**Byung-Kyu Choi** received his Ph.D. degree in Electronics in Chungnam National University in 2009. He has been working at the Korea Astronomy and Space Science Institute since 2004. His research interests include multi-GNSS PPP, PPP-RTK, and GNSS TEC & DCB analysis.



**Dong-Hyo Sohn** received the Ph.D. degree in Geoinformatic Engineering in Inha University in 2015. He is currently working for Space Science Division, Korea Astronomy and Space Science Institute. His research interests include crustal deformation, GNSS precipitable water vapor, and ionospheric variations.

**Ha-Su Yoon** received a Ph.D. degree in Department of Geoinformatics in University of Seoul in 2015. He is currently working for National Geographic Information Institute. His current research interests include GNSS crustal deformation and Terrestrial Reference Frame.

**Sang Jeong Lee** received the Doctor's degree in Control and Measurement in Seoul National University in 1987. His research interests include GNSS and Robust Control.