

# LX-PPS GNSS 상시관측소의 정밀측위 활용 가능성 분석

## Available analysis of precise positioning using the LX-PPS GNSS permanent stations

하지현\* · 박관동\*\* · 김혜인\*\*\*  
Ha, Jihyun · Park, Kwan-Dong · Kim, Hye-In

### Abstract

In this paper, we analyzed the possibility of utilizing LX-PPS GNSS permanent stations whose antennas are installed on the building rooftop for the purpose of high-precision GNSS positioning services. We picked 15 pairs of adjacent GNSS permanent stations operated by LX-PPS and NGII, and then produced 3-year-long time series using the high-precision data processing software called GIPSY. Patterns and trends of position estimates were compared and analyzed. Horizontal and vertical deviations including the linear velocities coincide with the well-known crustal deformation rates of the Korean peninsula. We also observed almost the same annual or seasonal patterns from those nearby sites. After detrending the linear velocity, the amplitude and phase of annual signals almost perfectly match each other within the baseline length of 2 km. By subtracting seasonal signals, the RMS and standard deviations in LX-PPS PPGR with respect to NGII KANR are about 1, 2, and 5 mm in the north-south, east-west, and vertical directions, respectively. From this analysis it can be concluded that the rooftop-installed LX-PPS sites show similar level of stability and positioning performance comparable to those ground-mounted NGII stations.

Keywords: GNSS, Precise Positioning, LX-PPS GNSS Permanent Stations, NGII Permanent Stations

### 1. 서론

LX 한국국토정보공사와 (주)피피솔(PPS, Precise Positioning Solution Inc.)은 2013년부터 전국에 GNSS(Global Navigation Satellite System) 상시관측소를 공동 구축하고 세계측지계(ITRF, Interna-

tional Terrestrial Reference Frame) 전환 및 측지, 측량 최신기술 연구에 활용하고 있다. 세계측지계 전환은 「공간정보 구축 및 관리에 관한 법률」에 따라 지적측량 및 공간정보 조사 등 관련 업무에 세계측지계를 적용하도록 하고 있다. GNSS는 전통적인 측량방식과 달리 측량 즉시 세계측지계 좌표 획득이 가능하므

\* 인하대학교 공간정보공학연구소 책임연구원 Research Institute of Spatial Information Engineering, Inha University (first author: gnsskorea@naver.com)

\*\* 인하대학교 공간정보공학과 교수 Department of Spatial Information Engineering, Inha University (corresponding author: kdpark@inha.ac.kr)

\*\*\* (주)피피솔 이사 PP-Solution Inc. (hikim@ppsoln.com)

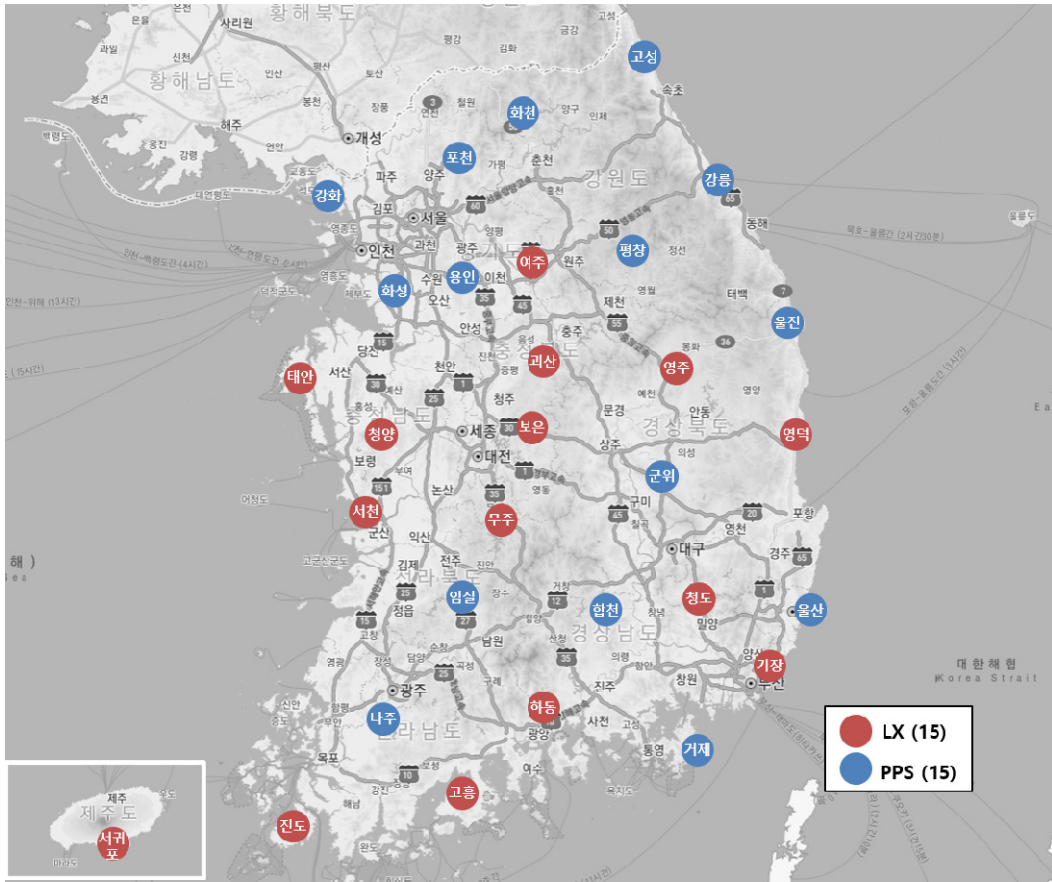


Figure 1. LX-PPS GNSS permanent stations in South Korea

로 현재 측량분야의 주요 장비로 활용되고 있다. 이 논문에서는 LX국토정보공사와 ㈜피피솔에서 공동 구축한 GNSS 상시관측소를 LX-PPS GNSS 상시관측소로 칭한다.

현재까지 구축된 LX-PPS GNSS 상시관측소는 30개소로, 양 기관에서 각각 15개소씩 설치·운영하고 있다. 상시관측소는 전국에 걸쳐 평균 40km 간격의 격자 모양으로 배치되어 있다(Figure 1). 상시관측소는 우수한 가시환경을 확보하고 주변 지형지물에 대한 영향을 최소화하기 위해 전국의 LX국토정보공사 사옥 옥상에 설치되었으며, 보안시스템을 갖춘 네트워크 시스템과 비상전력 시스템을 확보하여 운영되고 있다.

LX-PPS 상시관측소와는 달리, 국내 정밀 측지·측량용 GNSS 상시관측소는 대부분 지면으로부터 지하 1m 이상, 혹은 기반암까지 지지대를 매립하고, 지상 2~4m에 달하는 필라 형태로 설치되어 있다(Figure 2). 이는 1996년 국내에 처음 도입된 정밀 측지·측량용 GNSS 상시관측소인 한국천문연구원 대전관측소의 설치 방식과 유사하다. 한국천문연구원 대전관측소는 국제 GNSS 협의체인 IGS(International GNSS Service)와 미국 국립해양대기국의 NGS(National Geodetic Survey) GNSS 상시관측소 설치 가이드라인, 그리고 일본 지리원(Geospatial Information Authority of Japan)의 GNSS 상시관측소 형태를 참고하여 설계된



Figure 2. The front views of the NGII Cheonan(left) and LX-PPS Seogwipo(right) GNSS stations

것으로 알려져 있다(박필호 2001).

IGS 및 NGS 가이드라인(IGS 2020; NGS 2020)에 의하면, 장기적인 정밀 측지연구를 위해 상시관측소 부지 선정 시 단층, 지각변형 혹은 침강 등이 발생하지 않는 지역을 선정할 것을 권장하고 있다. 또한 안테나를 기준으로 임계고도각  $5^{\circ}$  이상에 방해물이 없는 가시환경을 확보함으로써 다중경로오차 등 전파 간섭 오차로부터 장애가 발생하지 않는 지점을 선정하고, 건물 옥상에 설치할 경우 해당 건물은 철근 콘크리트 구조물로서 신축된 지 5년 이상 경과하여 지반 안정화가 이루어진 건물을 추천하고 있다. 즉, 상시관측소 설치 지점은 지상 혹은 건물에 상관없이 안정적인 지반에 양호한 가시환경을 확보한 곳이어야 한다는 것을 의미한다.

옥상에 GNSS 상시관측소를 설치한 대표적인 사례로 서울시에 운영하고 있는 용산관측소를 들 수 있다(Figure 3). 용산관측소는 2011년 서울특별시 용산구

한남동 용산국제학교 내 건물 옥상에 설치되어 있으며, 해당 상시관측소에서 생성된 GNSS 데이터의 품질과 안정성을 인정받아 2012년부터 IGS 상시관측소로 등록되었다. 이와 같이 건물 옥상 상시관측소를 설치할 경우 도심지에서도 가시환경 확보가 용이하며, 따라서 고품질의 관측데이터 생성이 가능해진다(Figure 4). 2021년 1월 현재, 용산관측소의 데이터 수신율은 92~93%, 다중경로 오차 0.2~0.3m, 사이클슬립 발생 갯수는 1,000번 관측당 1개 이하이다(서울특별시 네트워크 RTK 시스템 2020).

우리나라는 국토의 70%가 산악지역으로 지표면에서 고도각  $5^{\circ}$  이하에서 트인 시야각이 확보되는 평야 지대가 드물고 전력과 통신이 안정적으로 공급되는 지역은 대부분 도시화가 완료된 지역이다. 특히 서울과 같이 GNSS에 대한 수요가 많은 지역은 인구밀도가 높으며, 고층 건물의 밀집도 또한 높다. 따라서 현재 활용되고 있는 4m 이하 높이의 지상에 설치된 필



Figure 3. The front view of the Yongsan GNSS station in Seoul

Source: Seoul network RTK system(2020)

라 형태 상시관측소로는 도심지에서 가시환경 확보가 어려울 수밖에 없다. 실제, 상시관측소 주변에 심어진 조경수 등 수목의 성장에 의한 장애, 건물 신축, 표지판, 조형물 설치 등에 의한 장애가 빈번히 발생하고 있다(박관동 외 2017). 이러한 장애요소는 단순한 측위 정확도 저하를 넘어 측위 자체가 불가능한 경우까지 발생하게 한다.

또한 전통적인 측지·측량 이외에 자율주행 자동차, 드론 등 GNSS기반 고정밀 측위 수요 증가에 맞춰 다양한 기능을 하는 GNSS 상시관측소를 확충하기 위해서는 현재의 지상에 설치된 필라 형태의 상시관측소로는 추가 설치에 공간확보, 설치 비용 등 제약조건이 많다. 특히 현재 운영 중인 상시관측소를 업그레이드 하거나 이전설치 하는 등 변화하는 환경에 유연하게 대처하기 위한 방안도 필요하다. 본 연구에서는 건물

옥상에 설치된 상시관측소를 이용하여 정밀 측지 성능을 분석하고 이를 통해 LX-PPS 상시관측소의 해당 분야 활용 가능성과 지상에 설치된 필라 형태의 상시관측소에 대한 대안을 제시하고자 한다.

LX-PPS 상시관측소가 설치된 LX 사옥은 모두 5년 이상 된 철근콘크리트 구조물이다. 상시관측소 부지를 선정함에 있어, 사전에 가시환경과 주변 건물 신축 계획 등을 조사하고 시야각 확보에 유리한 지점을 최종 부지로 선정하였다(하지현 외 2014). 하지현 외 (2014)에 의하면 LX-PPS 상시관측소에서 생성된 관측데이터는 데이터 수신율 98~99%, 다중경로 오차 0.4~0.5m, 사이클슬립은 1,000번 관측당 1개 이하이며, 측위 정확도는 후처리, 실시간 모두 수평, 수직으로 1~2cm의 매우 높은 품질의 관측데이터를 생성이 가능한 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 건물 옥상에 설치된 LX-PPS 상시관측소를 이용하여 측위 성능을 분석하였으며, 이를 위해 LX-PPS 상시관측소와 동일 지역 혹은 가장 가까운 지역에 위치한 국토지리정보원(NGII, National Geographic Information Institute) 상시관측소를 선정하였다. 분석 대상 상시관측소 및 분석 방법은 2장에서 기술한다.

## 2. 데이터수집 및 분석 방법

이 논문에서는 GNSS 정밀 자료처리를 위해 JPL (Jet Propulsion Laboratory)에서 개발한GIPSY-OASIS (GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software, 이하 GIPSY라고 명칭함)를 이용하였다. 좌표시스템 비교·분석을 위해 LX-PPS 상시관측소와 가장 인접한 지역에 위치하고 있는 국토지리정보원의 상시관측소를 선정하였으며, 각 상시관측소에서 2017년 1월부터 2019년 12월까지로 3년간 수집된 30초 epoch의 24시간 RINEX 파일을 이용하였다. 정밀 위치 결정을 위하여 각 상시관측

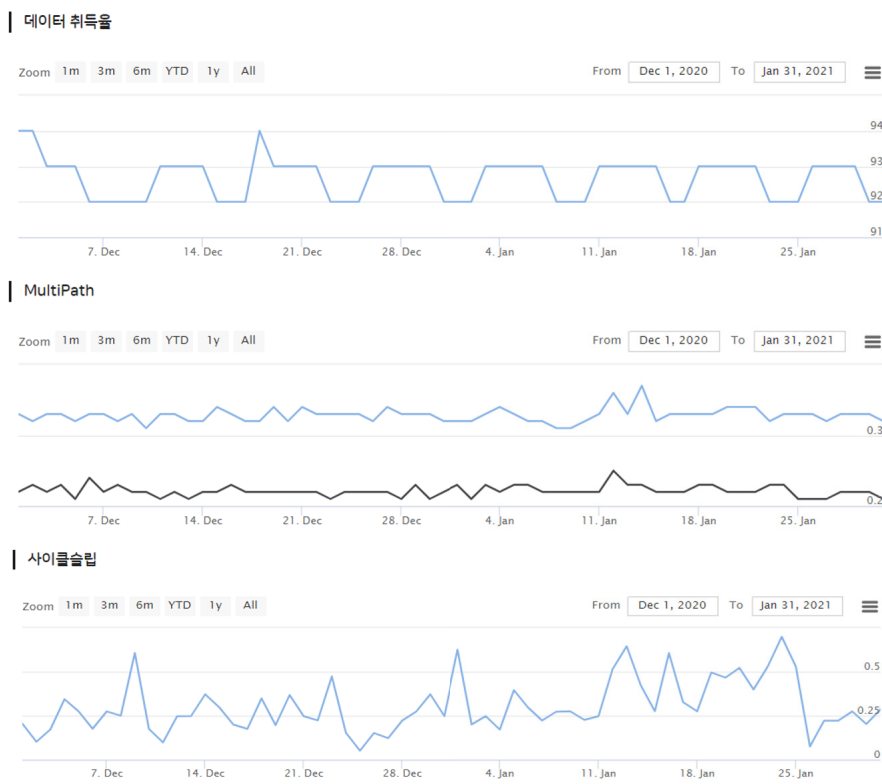


Figure 4. GNSS data quality of the Yongsan station in Seoul Source: Seoul network RTK system(2020)

소에서 수집된 RINEX 관측데이터와 함께 JPL 정밀궤도력을 이용하였으며, GIPSY로 고정밀 데이터 처리하여 일 단위 정밀좌표를 생성하였다. 데이터 처리 시 GNSS 측위 주요오차인 안테나 위상중심 변동량, 해수하중에 의한 지각변동량, 그리고 대류층 신호지연량을 보정하였다. 데이터 수집 및 분석 방법을 Figure 5에 나타내었다. 연구에 활용된 상시관측소는 Table 1과 같다.

GIPSY를 이용하여 산출된 일단위 정밀좌표를 이용하여 상시관측소별 시계열을 작성하였다. 시계열 분석을 위해 전체 분석기간 중 중간날짜인 2018년 7월 3일을 기준으로 남북, 동서, 수직 방향의 좌표변동량을 산출하였으며(Table 2), 이를 통해 상시관측소 별 이동속도와 좌표변동량을 분석하였다. Table 2의 좌표

는 한반도의 지각변동 속도가 반영된 절대좌표로서 2002년 1월 1일을 기준으로 하는 국토지리정보원 고시좌표와는 차이가 있다. 한반도 지각변동량이 좌표변동에 미치는 영향과 각 상시관측소 별 속도는 3장의 좌표시계열 분석 결과에서 기술한다.

다음으로 측위성능을 보다 자세히 분석하기 위해 각 상시관측소의 좌표변동량에서 속도성분을 제거하여 좌표시계열을 재 작성하였으며, 이를 통해 두 기관의 상시관측소에서 발생하는 좌표변동량의 크기와 경향을 분석하였다. 또한 속도 제거 후 발견된 연 주기의 계절신호 분석을 위해 식 (1)과 같은 사인곡선 (sinusoid) 함수를 이용하여 모델링하였다.

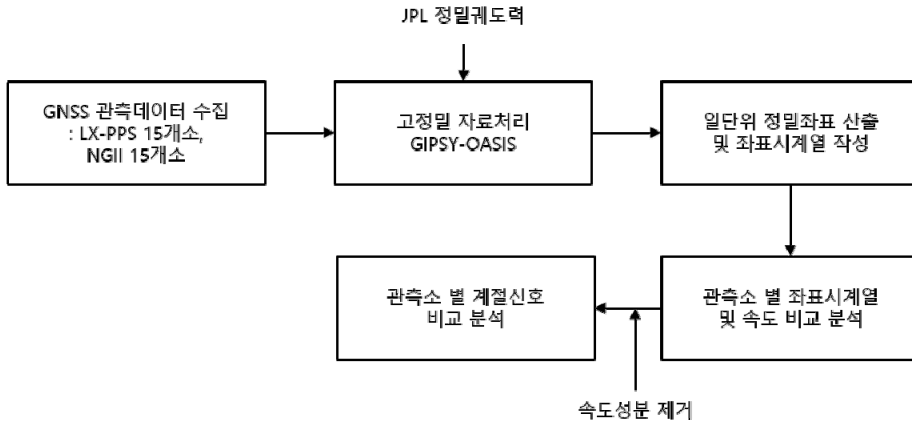


Figure 5. Flow diagram of GNSS data analysis in this study

Table 1. List of LX-PPS and NGII GNSS stations adjacent to each other

No	LX-PPS		No	NGII		기선거리(km)
	명칭	지역		명칭	지역	
1	PPCH	포천	16	DOND	동두천	12.346
2	PPGH	강화	17	GANH	강화	9.211
3	PPGJ	거제	18	GOJE	거제	18.326
4	PPGR	강릉	19	KANR	강릉	1.747
5	PPGS	고성	20	INJE	인제	42.949
6	PPGW	군위	21	KUNW	군위	0.718
7	PPHC	화천	22	HCHN	화천	22.116
8	PPHP	합천	23	GOCH	거창	23.259
9	PPHS	화성	24	SUWN	수원	21.629
10	PPIS	임실	25	JUNG	정읍	28.877
11	PPNJ	나주	26	KWNJ	광주	24.869
12	PPWJ	울진	27	WULJ	울진	0.763
13	PPWS	울산	28	WOLS	울산	12.501
14	PPYC	평창	29	HONC	홍천	41.652
15	PPYJ	여주	30	WNJU	원주	27.614

$$f(t) = A_0 + A_1 \cos(w_0 t) + A_2 \sin(w_0 t) \quad (1)$$

식 (1)에서  $A_0$ 는 세로축의 평균 높이,  $A_1 = C_1 \cos\theta$  과  $A_2 = -C_1 \sin\theta$ 로  $C_1$ 은 진폭,  $\theta$ 는 위상,  $w_0$ 는 각 진동수이다. 식 (1)에서 계절신호는 연 주기이므로  $w_0$ 는  $2\pi$ 이며, 각 상시관측소 별 속도를 제거하므로

$A_0$ 는 0이다.

추정된 계절신호를 이용하여 동일지역에 설치된 두 기관의 측위 성과 유사성을 분석하였으며, 마지막으로 계절신호를 제거한 후 좌표변동 경향과 정확도 및 정밀도를 상호 비교하였다.

Table 2. Coordinates of LX-PPS and NGII GNSS stations at the epoch of July 3, 2018

No	명칭	ITRF			GRS80		
		X(m)	Y(m)	Z(m)	위도(°)	경도(°)	타원체고(m)
1	PPCH	-3047202.102	4014485.357	3895961.568	37.8907	127.2004	134.182
2	PPGH	-3003051.470	4059906.046	3883100.116	37.7446	126.4898	47.871
3	PPGJ	-3269219.013	4092247.181	3627455.663	34.8851	128.6207	59.839
4	PPGR	-3167502.554	3929325.866	3886751.058	37.7862	128.8729	53.932
5	PPGS	-3113998.664	3920042.832	3938650.193	38.3803	128.4629	47.508
6	PPGW	-3211078.624	4027093.548	3749530.909	36.2372	128.5678	126.007
7	PPHC	-3073506.490	3975452.231	3915164.470	38.1102	127.7084	144.862
8	PPHP	-3209842.187	4083729.691	3689161.342	35.5659	128.1676	73.513
9	PPHS	-3049045.771	4071455.760	3835250.888	37.2012	126.8289	84.73
10	PPIS	-3145124.761	4129651.351	3694078.267	35.6192	127.2927	264.764
11	PPNJ	-3126008.046	4191756.363	3639986.473	35.0229	126.7138	71.463
12	PPWJ	-3237760.659	3941082.275	3816786.861	36.9928	129.4045	49.64
13	PPWS	-3290252.498	4018635.974	3690049.386	35.5748	129.3089	219.059
14	PPYC	-3152145.590	3978049.973	3850200.772	37.3688	128.3928	330.746
15	PPYJ	-3102738.994	4023043.490	3843228.753	37.2914	127.6409	93.09
16	DOND	-3036947.148	4021287.518	3896957.405	37.9021	127.0607	140.502
17	GANH	-2997010.617	4066495.519	3880879.256	37.7194	126.3902	43.51
18	GOJE	-3273541.273	4102034.130	3612576.430	34.7218	128.5909	61.749
19	KANR	-3167834.161	3930396.906	3885411.793	37.7709	128.8682	57.047
20	INJE	-3107270.067	3952779.471	3911675.508	38.0695	128.1708	257.495
21	KUNW	-3211712.533	4026954.079	3749223.216	36.2335	128.5742	174.969
22	HCHN	-3063401.078	3966503.010	3932683.372	38.3081	127.6795	561.505
23	GOCH	-3189851.942	4091157.679	3698444.665	35.6679	127.9433	217.216
24	SUWN	-3062023.984	4055448.843	3841819.096	37.2755	127.0542	83.829
25	JUNG	-3121904.820	4146816.451	3694330.834	35.6228	126.9740	141.438
26	KWNJ	-3134404.943	4173081.634	3654100.855	35.1784	126.9102	71.646
27	WULJ	-3238396.595	3940665.172	3816730.466	36.9920	129.4130	80.765
28	WOLS	-3300601.419	4015928.078	3683580.051	35.5039	129.4160	95.929
29	HONC	-3124136.231	3970877.536	3880183.137	37.7092	128.1943	372.189
30	WNJU	-3122341.597	4004030.446	3847323.636	37.3372	127.9471	180.218

### 3. 분석 결과

#### 3.1. 좌표시계열 및 속도

본 논문에서는 GIPSY를 이용하여 LX-PPS 상시관측소와 인접한 지역에 위치한 국토지리정보원 상시관측소의 정밀좌표를 산출하였으며, 이를 이용하여 남북, 동서, 수직 방향의 좌표시계열을 작성한 후 선형회

귀를 통해 각 상시관측소별 속도를 산출하였다. 좌표시계열 산출결과를 Figure 6에 예시하였으며, 상시관측소별 속도 산출 결과는 Table 3과 Figure 7에 나타내었다. Figure 6의 가로축은 시간(년도)이며 세로축은 남북( $\Delta N$ ), 동서( $\Delta E$ ), 그리고 수직( $\Delta V$ )의 좌표 변동량이다. 빨간색은 국토지리정보원(NGII) 거창(GOCH) 상시관측소이며, 파란색은 거창관측소와 23km 떨어진 LX-PPS의 PPHP(합천) 상시관측소로서, 점은 일

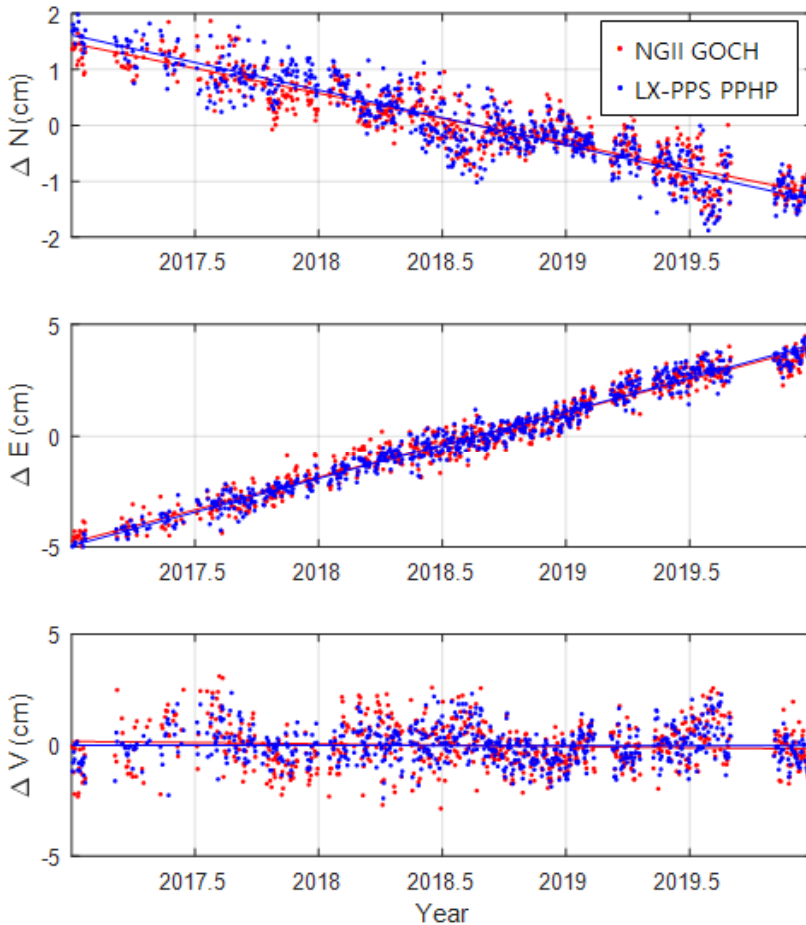


Figure 6. Coordinate time-series and absolute velocities of the north-south(top), east-west(middle), and vertical(bottom) directions at NGII GOCH and LX-PPS PPHP stations

간 좌표변동량, 직선은 선형회귀를 통해 산출된 속도이다.

Figure 6을 보면, GOCH와 PPHP 상시관측소는 수평, 수직 방향 모두 매우 유사한 지각변동 경향을 보인다. 방향별로 살펴보면, 남쪽과 동쪽으로 이동속도가 증가하는, 즉 남동쪽으로 수평 이동 중인 것을 알 수 있으며, 수직방향의 지반 상승이나 침하하는 거의 없는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 한반도 지각변동 경향과 일치하는 것으로서, 한반도 지각변동 현상이 지상에 설치된 국토지리정보원 상시관측소뿐만 아니라,

LX-PPS 상시관측소에서도 명확하게 관측되는 것을 의미한다.

수평방향 성분을 보다 자세히 비교해 보면, 동일 기간(3년)동안 남북 방향은 대략  $\pm 1.5\text{cm}$  범위에서 이동, 즉 3년 간 3cm 가량 남쪽으로 이동한 반면, 동서방향의 경우  $\pm 5\text{cm}$ 로 동쪽으로 10cm 가량 이동한 것을 알 수 있다. 즉, 단순 계산으로도 수평방향 이동 속도는 남북방향  $\text{년평균} 1\text{cm/yr}$  이하, 동서방향  $3\text{cm/yr}$  수준인 것을 알 수 있다. Table 3의 상시관측소별 절대 속도를 보면, 한반도 지각변동 속도와 방향은 더욱 명



Table 3. Absolute velocities of LX-PPS and NGII GNSS stations

No	명칭	Velocity (cm/yr)			STD (cm/yr)		
		N	E	V	N	E	V
1	PPCH	-1.1	3.0	-0.1	0.3	0.3	0.6
2	PPGH	-1.1	2.9	-0.3	0.3	0.3	0.6
3	PPGJ	-0.9	2.9	0.0	0.4	0.4	0.9
4	PPGR	-1.1	3.1	-0.1	0.3	0.4	0.8
5	PPGS	-1.1	3.0	-0.2	0.3	0.4	0.8
6	PPGW	-0.9	2.9	-0.1	0.3	0.4	0.7
7	PPHC	-1.1	2.9	-0.1	0.3	0.4	0.7
8	PPHP	-1.0	3.0	0.0	0.3	0.4	0.8
9	PPHS	-1.2	3.1	-0.2	0.4	0.3	0.7
10	PPIS	-1.3	3.1	-0.2	0.3	0.4	0.8
11	PPNJ	-1.1	3.0	0.1	0.4	0.5	0.9
12	PPWJ	-0.7	3.7	-0.8	0.3	0.5	0.8
13	PPWS	-1.0	3.0	0.1	0.3	0.5	0.8
14	PPYC	-1.0	3.0	-0.2	0.3	0.4	0.7
15	PPYJ	-1.1	3.0	-0.1	0.3	0.4	0.6
16	DOND	-1.0	2.8	-0.1	0.3	0.4	0.8
17	GANH	-1.1	2.9	-0.1	0.3	0.4	0.7
18	GOJE	-1.0	2.9	-0.3	0.3	0.4	0.8
19	KANR	-1.1	3.0	-0.1	0.3	0.4	0.8
20	INJE	-1.0	2.9	-0.1	0.3	0.4	0.9
21	KUNW	-0.9	2.8	0.2	0.3	0.5	1.0
22	HCHN	-1.1	3.0	-0.1	0.3	0.3	0.7
23	GOCH	-0.9	2.9	-0.1	0.3	0.5	1.0
24	SUWN	-0.8	3.0	-0.9	0.3	0.4	0.8
25	JUNG	-1.2	2.9	1.0	0.3	0.6	1.6
26	KWNJ	-1.1	3.2	0.7	0.3	0.5	1.2
27	WULJ	-1.0	3.0	0.2	0.3	0.4	0.7
28	WOLS	-0.7	3.5	-1.0	0.3	0.4	1.2
29	HONC	-1.2	3.0	-0.1	0.3	0.3	0.8
30	WNJU	-1.2	3.0	-0.2	0.3	0.4	0.6
평균		-1.0	3.0	-0.1	0.3	0.4	0.8

확하게 나타난다.

Table 3의 상시관측소별 속도를 보면, 30개 상시관측소 대부분 남북방향으로 -(음)의 방향, 즉 남쪽으로 대략 1cm/yr 속도로 이동하고 있으며, 동서방향으로 +(양)의 방향, 즉 동쪽으로 대략 3cm/yr 속도로 이동하고 있음을 알 수 있다. 상시관측소별 이동속도와 방향은 특정 상시관측소에서만 나타나는 것이 아니라 한반도 전체에서 나타난다. 30개 상시관측소 전체 평

균 이동속도는 남북방향  $-1.0 \pm 0.3 \text{cm/yr}$ , 동서방향  $3.0 \pm 0.4 \text{cm/yr}$ , 수직방향  $-0.1 \pm 0.8 \text{cm/yr}$ 이다.

Table 3의 30개 상시관측소에 대한 수평방향 이동속도를 Figure 7에 나타내었다. Figure 7을 보면 30개 상시관측소가 대부분 유사한 속도와 방향을 보이는 것을 알 수 있다. 한반도는 유라시아판에 속해 있으며, 2011년 동일본 대지진 이전에는 남동쪽으로 2~3 cm/yr 수준의 수평이동이 있는 것으로 알려져 있었다

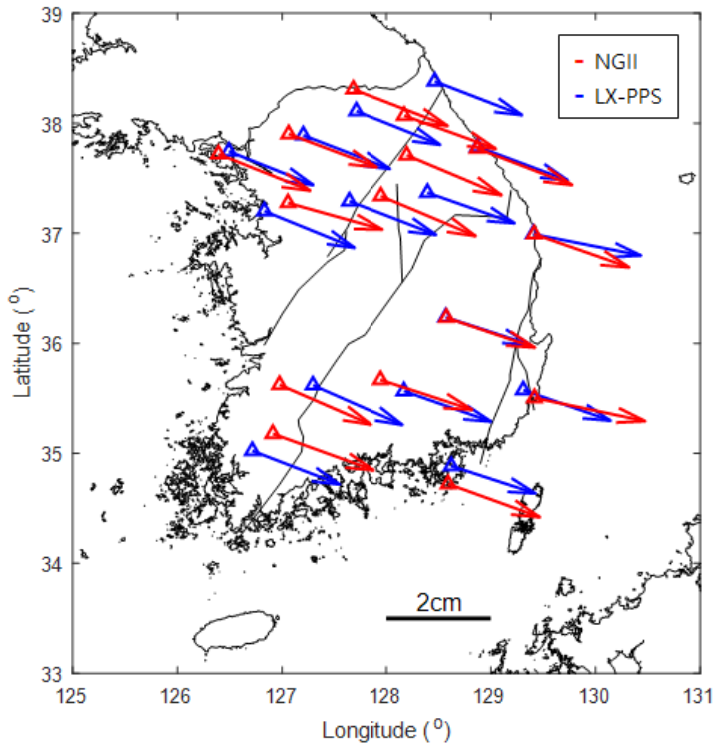


Figure 7. Horizontal velocities of LX-PPS and NGII GNSS stations

(Hamdy et al. 2005; Jin and Park 2006). 그러나 2011년 동일본 대지진 이후에 한반도 지각변동 속도에 변화가 발생하였으며, 동쪽으로 이동속도 증가한 채 동남쪽으로 연간 3cm/yr 로 이동하는 것으로 보고 되었다(Baek et al. 2012; 하지현 2013). 이와 같은 현상은 Table 3에서 살펴본 한반도 지각변동 경향 및 속도와 일치한다. 또한 Table 2의 GOCH 상시관측소의 좌표를 살펴보면 X - 3189851.942m, Y 4091157.679m, Z 3698444.665m로 국토지리정보원 고시좌표 2020-3195호(2020년 7월 27일 등록) X - 3189851.522m, Y 4091157.875m, Z 3698444.786m와 3차원 방향으로 48cm 가량 차이가 발생한다. 이는 Table 2의 상시관측소 좌표가 2018년 7월 3일 기준인데 반해, 고시좌표는 2002년 1월 1일 기준으로 16.5년간 한반도의 지각변동에 의한 연간 이동에 의한 것이

다. 단, 2011년 동일본 대지진 이후 수년간 지진 후 이완과정을 거치면서 속도 변화 발생하고 있고(박관동의 2017; Ha et al. 2014) 일부 상시관측소에서 연간 1cm/yr에 가까운 수직방향의 상승 혹은 침하가 관측되어 향후 보다 면밀한 분석이 필요하다.

### 3.2. 측위 성능 분석

국토지리정보원과 LX-PPS 상시관측소의 보다 자세한 좌표 비교, 분석을 위해 좌표시계열에서 속도를 제거한 후 각 상시관측소 별 좌표변동 경향을 분석하였다. 속도 성분을 제외한 좌표 시계열을 Figure 8에 나타내었다. Figure 8(a)는 국토지리정보원 홍천(HONC) 상시관측소와 LX-PPS 평창(PPYC) 상시관측소이며, (b)는 국토지리정보원 광주(KWNJ) 상시관측소와

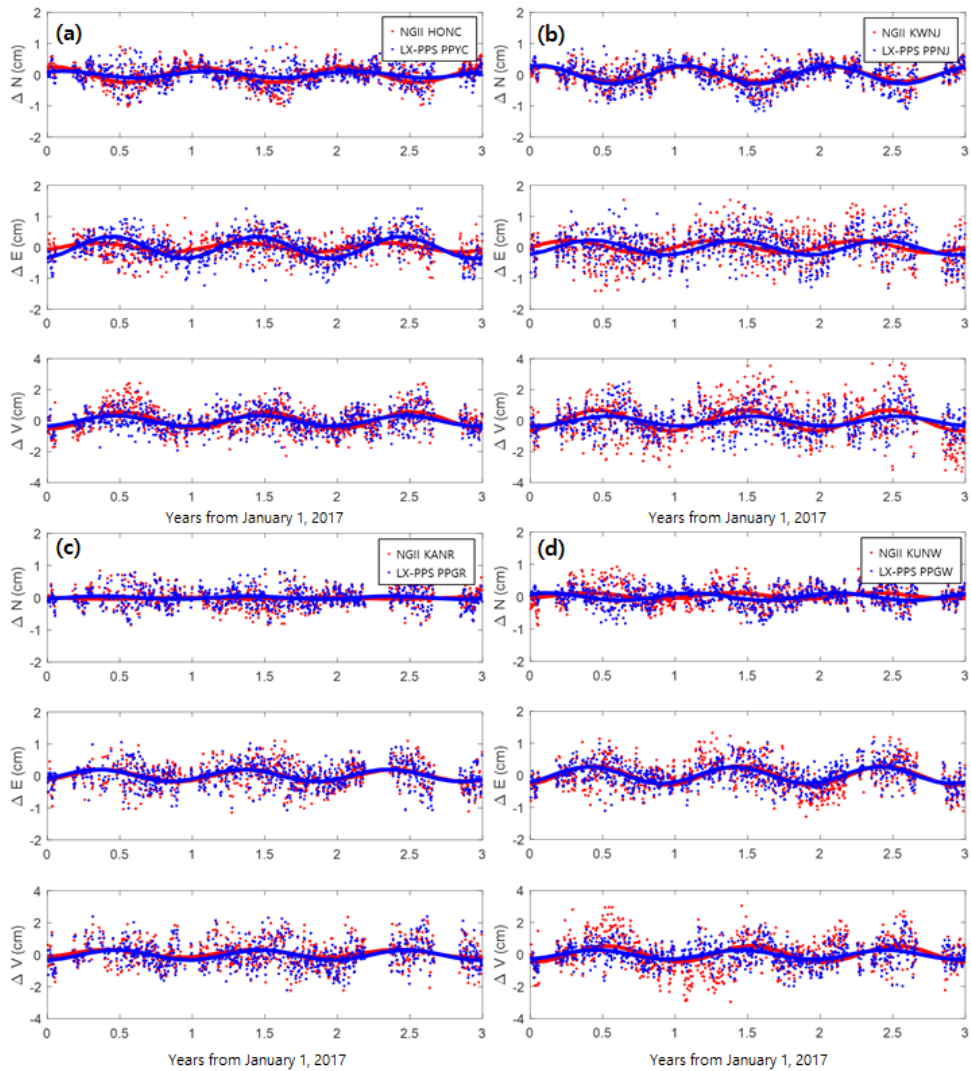


Figure 8. De-trended time-series of coordinate adjustments and annual signals at (a) NGII HONC and LX-PPS PPYC, (b) NGII KWNJ and LX-PPS PPNJ, (c) NGII KANR and LX-PPS PPGR, and (d) NGII KUNW and LX-PPS PPGW GNSS stations

LX-PPS 나주(PPNJ) 상시관측소, (c)는 국토지리정보원 강릉(KANR) 상시관측소와 LX-PPS 강릉(PPGR) 상시관측소, 그리고 (d)는 국토지리정보원 군위(KUNW) 상시관측소와 LX-PPS 군위(PPGW) 상시관측소 결과이다. Figure 8의 가로축은 2017년 1월 1일을 시점(0)으로 경과한 시간을 년도 단위로 나타낸

것이며 세로축은 위에서부터 남북( $\Delta N$ ), 동서( $\Delta E$ ), 그리고 수직( $\Delta V$ ) 방향이다. 빨간색은 국토지리정보원(NGII), 파란색은 LX-PPS 상시관측소로, 점은 좌표 변동량, 실선은 년 주기 신호를 접합한 것이다.

Figure 8을 보면, Figure 6과 마찬가지로 양 기관의 상시관측소가 서로 수평, 수직방향으로 매우 유사한

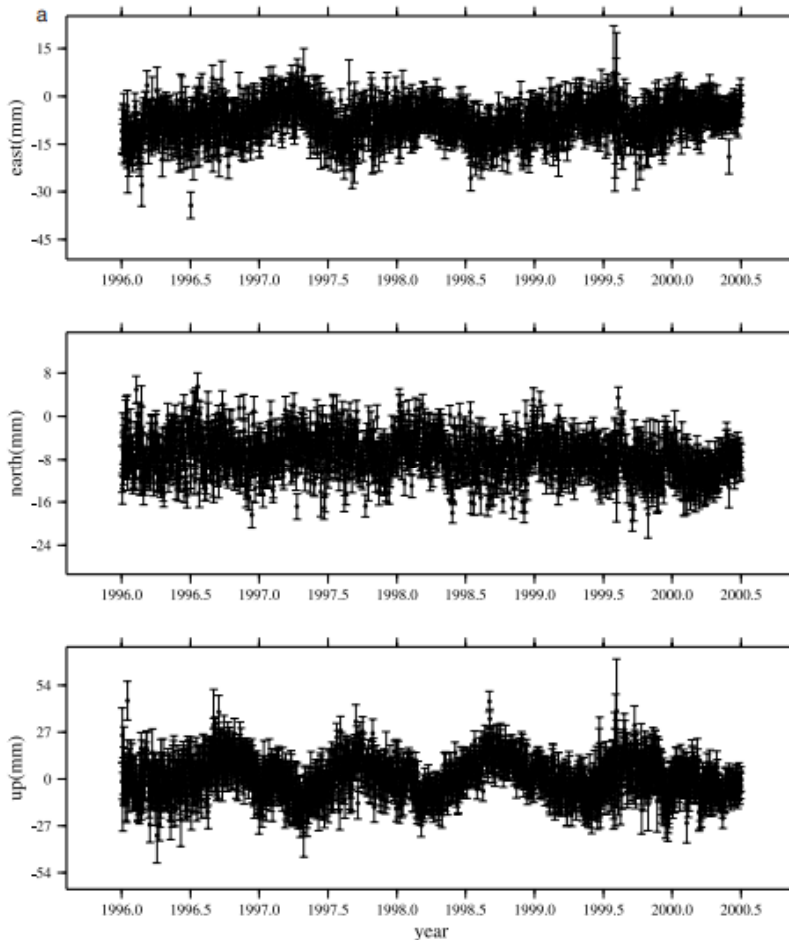


Figure 9. De-trended time-series of coordinate deviations at ALBH station Source: Dong et al.(2002)

경향을 보이는 것을 알 수 있다. 특히 속도성분이 제거된 후 Figure 6에서는 특징되지 않았던 계절신호도 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이 신호는 상시관측소 별로 진폭에는 차이가 있으나, 대부분 비슷한 크기로, 수평방향  $\pm 1\text{cm}$ , 수직방향  $\pm 2\text{cm}$  범위에서 관측되었다.

일반적으로 수목에 의해 나타나는 계절신호는 주로 수직방향에서 관측되며 잎이 무성한 여름에 비해 낙엽이 지는 가을~겨울이 되면 수직방향 좌표에서 급격한 변화가 관측되는 것으로 알려져 있다(박관동 외 2017; 손동효 외 2015). 그러나 본 연구에서 분석한

상시관측소는 동일한 장소에 설치된 것이 아니므로 양 기관의 상시관측소에서 유사하게 관측된 계절신호가 주변 환경의 영향인 것으로 보기는 어렵다. 더욱이 LX-PPS 상시관측소는 4층 이상의 건물 옥상부에 설치되어 있어 주변에 신호를 차폐할 만한 장애물이 존재하지 않는다. 따라서 Figure 8의 계절신호는 주변 관측환경에 의한 것이 아니라 GNSS 신호 처리 시 나타나는 수평, 수직방향의 년 주기 신호(annual signal)로 판단된다.

년 주기 신호는 극조석, 해양조석, 대기하중 등 지구

물리학적 원인, GNSS 위성 궤도 오차, ITRF 좌표계 오차 등 다양한 원인에 의해 발생하며, 지구중심 이동에 의해 나타나는 계절적 변동과 더불어 전 세계 상시관측소의 각기 다른 다양한 계절적 신호가 포함되어서 나타난다(Dong et al. 2002). 이로 인하여 지역마다, 상시관측소마다 서로 다른 진폭의 계절신호가 관측되며 그 크기는 수 mm~수 cm에 달한다(Park 2000; Blewitt et al. 2001; Chanard et al. 2020; Li et al. 2016). Figure 9(Dong et al. 2002)는 ALBH(캐나다 알버트) 상시관측소에서 관측된 5년간 좌표시계열로, 수평방향 ±1~2cm, 수직방향 ±5cm 수준의 계절신호가 관측되는 것을 볼 수 있다. 손동호 외(2015)는 국토지리정보원 상시관측소를 이용한 지각변동 연구를 위해 GNSS 데이터 전처리 연구를 수행하였으며, 이 과정에서 수목에 의한 계절신호를 제거한 후에도 Figure 8과 같은 연 주기 신호를 발견한 바 있다. 각 상시관측소의 진폭과 추정된 계절신호에 대한 표준편차를 Table 4에 나타내었다.

Table 4의 진폭과 위상을 보면, 계절신호 특징을 보다 명확히 할 수 있다. 서로 다른 지역에 위치한 (a) 흥천(HONC), 평창(PPYC)와 (b) 광주(KWNJ), 나주(PPNJ)비해 동일 지역에 인접하게 설치된 (c) 강릉(KANR), 강릉(PPGR)와 (d) 군위(KUNW), 군위(PPGW) 상시관측소에서 진폭과 위상이 매우 비슷하게 나타난 것이다. 강릉에 설치된 KANR 상시관측소의 진폭은 남북, 동서, 수직방향으로 각각 0.2mm, 1.9mm, 2.5mm, PPGR 상시관측소는 0.5mm, 1.9mm, 3.2mm로 매우 유사하며, 군위에 설치된 KUNW 상시관측소는 남북, 동서, 수직방향으로 각각 1.0mm, 3.0mm, 5.1mm, PPGW 상시관측소는 1.2mm, 2.7mm, 3.0mm로 서로 매우 유사하다. 이러한 경향은 강릉과 군위뿐만 아니라 울진(PPWJ, WULJ) 등 거리가 2km 이내로 매우 인접한 지역에 설치된 상시관측소일수록 더욱 뚜렷하게 나타났다. 우리나라 평균 계절신호는 남북방향 진폭 1.2mm, 동서방향 2.0mm, 수직방향 3.8mm

Table 4. Amplitude of the annual signal at 30 GNSS stations

No	명칭	진폭( $C_1$ , mm)		
		N	E	V
1	PPCH	0.7	1.7	3.4
2	PPGH	0.6	0.9	4.5
3	PPGJ	2.0	2.4	3.6
4	PPGR	0.5	1.9	3.2
5	PPGS	0.2	1.8	1.7
6	PPGW	1.2	2.7	3.0
7	PPHC	0.8	2.9	3.3
8	PPHP	1.6	1.9	4.1
9	PPHS	3.4	1.4	5.5
10	PPIS	0.5	0.7	3.7
11	PPNJ	3.0	2.5	3.2
12	PPWJ	0.8	2.7	2.0
13	PPWS	0.8	4.4	2.5
14	PPYC	1.1	3.6	3.5
15	PPYJ	0.7	2.5	3.7
16	DOND	1.9	1.8	4.5
17	GANH	1.2	1.0	3.6
18	GOJE	1.5	2.0	2.4
19	KANR	0.2	1.9	2.5
20	INJE	1.1	2.0	1.6
21	KUNW	1.0	3.0	5.1
22	HCHN	1.0	1.4	1.3
23	GOCH	0.8	2.1	4.9
24	SUWN	1.5	1.1	1.6
25	JUNG	1.2	1.4	11.9
26	KWNJ	2.4	2.0	6.9
27	WULJ	0.8	1.9	2.5
28	WNJU	1.2	2.3	6.1
29	HONC	2.5	1.5	5.6
30	WOLS	0.7	1.5	2.2
평균		1.2	2.0	3.8

로 나타났다. 특히 Figure 8에서도 확인할 수 있지만, Table 4에서 계절신호 진폭을 보면, 남북방향에 비해 동서방향의 진폭이 2배가량 크며, 동서방향에 비해 수직방향의 진폭이 2배 정도 더 큰 것을 알 수 있다. 이러한 방향별 계절신호의 특징은 향후 보다 면밀한 분석이 필요할 것으로 판단된다.

Figure 8(c)에서 계절신호를 제거한 결과를 Figure

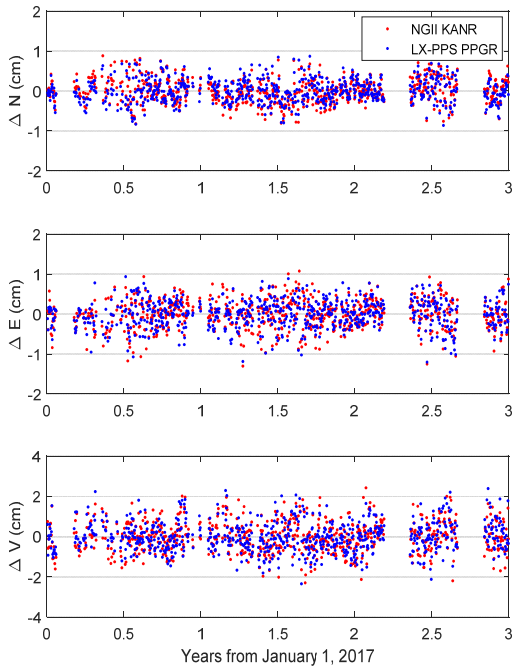


Figure 10. Time series of coordinate variations after seasonal signals removed at NGII KANR and LX-PPS PPGR stations

10에 나타내었다. Figure 10을 보면 Figure 8(c)에서 나타났던 계절신호가 거의 완벽히 제거된 것을 볼 수 있다. 계절신호 제거 후 두 기관의 강릉 상시관측소 좌표변동 경향은 수평방향  $\pm 1\text{cm}$ , 수직방향  $\pm 2\text{cm}$  범위에서 나타나며, 국토지리정보원 KANR 상시관측소를 기준으로 LX-PPS PPGR 상시관측소의 오차를 산출했을 때 RMS와 표준편차는 모두 남북 1mm, 동서 2mm, 수직 5mm로 두 상시관측소가 동일한 측위 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있다.

이와 같이 LX-PPS 상시관측소는 건물 옥상에 설치되어 있음에도 불구하고 지표면에 설치된 국토지리정보원의 상시관측소와 동일한 수준의 높은 측위 성과 달성이 가능하다는 것을 알 수 있다. 특히 좌표변동에서는 수평방향  $\pm 1\text{cm}$  범위에서 진동하는 계절신호는 물론  $\pm 2\text{cm}$ 의 범위의 수직방향 계절신호도 거의 정확

하게 일치하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 건물 옥상에 설치된 LX-PPS 상시관측소를 이용할 경우에도 매우 정밀한 수준의 장기적 정밀 측지연구가 가능함은 물론, 현재 국토지리정보원 상시관측소의 이전 및 추가 설치 시에도 건물 옥상 설치에 대한 고려가 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 LX-PPS 상시관측소를 이용하여 건물 옥상에 설치된 GNSS 상시관측소에 대한 정밀 측위 활용 가능성을 분석하였다. 이를 위해 LX-PPS 상시관측소와 가장 인접한 지역에 위치한 국토지리정보원 상시관측소를 선정하였으며, GIPSY를 이용하여 고정밀 처리하여 좌표변동 경향을 상호 비교, 분석하였다. 그 결과 양 기관의 정밀좌표 시계열은 남북, 동서, 수직방향으로 모두 유사하게 나타났으며, 그 크기와 방향 또한 한반도 지각변동 속도와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 이는 지상에 설치된 국토지리정보원 상시관측소뿐만 아니라, 건물 옥상에 설치된 LX-PPS 상시관측소에서도 지각변동 관측이 가능한 것을 의미한다. 다음으로 좌표시계열에서 속도를 제거한 후 각 상시관측소 별 좌표변동 경향을 분석하였다. 그 결과 속도제거 전에는 특징되지 않았던 수평, 수직방향의 연주기 계절 신호가 관측되었으며, 이 신호는 상시관측소 별로 진폭에는 차이가 있으나, 인접한 지역에 위치한 두 기관의 상시관측소에서는 서로 유사하게 나타났다. 계절신호를 제거한 후 국토지리정보원 좌표를 기준으로 LX-PPS 상시관측소의 좌표 오차를 산출했을 때 RMS와 표준편차는 모두 mm 수준으로 양 기관의 상시관측소가 거의 동일한 측위 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 LX-PPS 상시관측소는 건물에 설치되어 있음에도 불구하고 지표면에 설치된 국토지리정보원의 상시관측소와 동일한 수준의 높은 측위 성과 달성이 가능하며,

특히 미세한 크기의 계절신호 감지도 동일한 수준으로 측정 가능한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 건물에 부착된 LX-PPS 상시관측소를 이용하여도 매우 정밀한 수준의 장기적 정밀 측지연구가 가능하며, 현재 추진되고 있는 세계측지계 전환과 지진분석 연구에도 활용이 가능하다. 또한 향후 국토지리정보원 상시관측소의 이전 및 추가 설치 시에도 건물 부착형태에 대한 고려가 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

### References

박관동, 최원익, 김혜인, 김미소, 윤웅준, 김상현. 2017. 국가측지기준체계(ITRF) 적용방안 수립연구. 국토지리정보원. 11-1613436-000137-01.

Park KD, Choi WI, Kim HI, Kim MS, Yoon WJ, Kim SH, *A Study on the Application of the National Geometric Reference System using the International Terrestrial Reference Frame*. National Geographic Information Institute. 11-1613436-000137-01.

박필호. 2001. GPS를 이용한 한반도 및 동아시아의 지각속도 측정과 해석. 박사학위논문. 연세대학교. p. 34-43.

Park PH. 2001. *GPS analysis of crustal velocities within Korean peninsula and the East Asia* [Dissertation]. Yonsei University. p. 34-43.

서울특별시 네트워크 RTK 시스템. 2020. GNSS 위성 기준점 용산관측소 현황[인터넷]. [https://gnss.eseoul.go.kr/cors5]. 2021년 1월 10일 검색.

Seoul Network RTK System. 2020. Status of Yonsan GNSS permanent station[Internet]. [https://gnss.eseoul.go.kr/cors5]. Last accessed 10 Jan 2021.

손동호, 김두식, 박관동. 2015. 지진에 의한 측지학적

지각변동 분석을 위한 GNSS 자료 전처리 연구. 한국지형공간정보학회지. 23(1):47-54.

Shon DH, Kim DS, Park KD. 2015. A Study on GNSS Data Pre-processing for Analyzing Geodetic Effects on Crustal Deformation due to the Earthquake. *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*. 23(1):47-54

하지현. 2013. 토호쿠 대지진 이후 국내 GPS 기준점 정밀좌표 이동량 분석. 지적과 국토정보. 43(2): 161-172.

Ha J. 2013. Analysis of Coordinate shifts of GPS reference stations in South Korea due to the Tohoku-oki earthquake. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 43(2):161-172.

하지현, 김현호, 강상구, 정완석. 2014. LX 위성측위 인프라 고도화 및 시스템 안정화 연구. 한국국토정보공사 공간정보연구원. 공간정보연 2014-12.

Ha J, Kim HH, Kang SG, Jung WS. 2014. *The Study on Upgradability of LX GNSS network and Stabilizing*. Korea Land and Geospatial InformatiX Corporation. LXSiri 2014-12.

Baek J, Shin YH, Na SH, Shestakov NV, Park PH, Cho S. 2012. Cosismic and Postseismic Crustal Deformations of the Korean Peninsula caused by the 2011 Mw 9.0 Tohoku Earthquake, Japan, from Global Positioning System Data. *Terra Nova*. 24(4):295-300.

Blewitt G, Lavallée D, Clarke P, Nurutdinov K. 2001. A New Global Mode of Earth Deformation: Seasonal Cycle Detected. *Science*. 294(5550):2342-2345.

Chanard K, Métois M, Rebeschung P, Avouac JP. 2020. A Warning Against Over-interpretation of Seasonal Signals Measured by the Global

- Navigation Satellite System. *Nature Communications*. 11(1375):1-4.
- Dong D, Fang P, Bock Y, Cheng MK, Miyazaki S. 2002. Anatomy of Apparent Seasonal Variations from GPS-derived Site Position Time Series. *Journal of Geophysical Research*. 107(B4):ETG1-16.
- Ha J, Park KD, Won J, Heo MB. 2014. Investigations into Co-seismic Deformation and Strain in South Korea following the 2011 Tohoku-oki Earthquake using GPS CORS data. *Journal of Civil Engineering*. 18(2):634-638.
- Hamdy AM, Park PH, Lim HC. 2005. Horizontal Deformation in South Korea from Permanent GPS Network Data 2000-2003. *Earth Planets Space*. 57(2):77-82.
- IGS. 2020. IGS site guideline[Internet]. [<https://www.igs.org/stations/#site-guidelines>]. Last accessed 10 Jan 2021.
- Jin S, Park PH. 2006. Strain Accumulation in South Korea Inferred from GPS Measurements. *Earth Planets Space*. 58(5):529-534.
- Kim D, Park KD, Ha J, Shon DH, Won J. 2016. Geodetic Analysis of Post-seismic Crustal Deformations Occurring in South Korea due to the Tohoku-oki Earthquake. *Journal of Civil Engineering*. 20(7):2885-2892.
- Li W, vanDam T, Li Z, Shen Y. 2016. Annual Variation Detected by GPS, GRACE and Loading Models. *Studia Geophysica et Geodaetica*. 60(4):608-621.
- NGS. 2020. NCN Guidelines[Internet]. [[https://geodesy.noaa.gov/CORS/Establish\\_Operate\\_CORS.shtml](https://geodesy.noaa.gov/CORS/Establish_Operate_CORS.shtml)]. Last accessed 10 Jan 2021.
- Park KD. 2000. *Determination of Glacial Isostatic Adjustment Parameters based on Precise Point Positioning using GPS*[Dissertation]. University of Texas at Austin. p. 21-41.

---

2021년 2월 5일 원고접수(Received)  
 2021년 6월 7일 1차심사(1st Reviewed)  
 2021년 6월 21일 2차심사(2nd Reviewed)  
 2021년 6월 28일 게재확정(Accepted)

### 초 록

본 논문에서는 LX-PPS 상시관측소를 이용하여 건물 옥상에 설치된 GNSS 상시관측소에 대한 정밀 측위 활용 가능성을 분석하였다. 이를 위해 LX-PPS 상시관측소와 가장 인접한 지역에 위치한 국토지리정보원 상시관측소를 선정하였으며, GIPSY를 이용하여 고정밀 처리하여 좌표변동 경향을 상호 비교, 분석하였다. 그 결과 양 기관의 정밀좌표 시계열 모두 한반도 지각변동 속도와 일치하는 수평, 수직 변동경향이 나타났으며, 서로 그 크기와 방향도 매우 유사하게 나타났다. 또한 좌표시계열에서 속도를 제거한 후 두 기관의 상시관측소에서 유사한 크기의 계절신호가 관측되었으며, 이 신호는 서로 다른 지역에 위치한 상시관측소에 비해 2km 이내의 동일 지역에 매우 인접하게 설치된 상시관측소에서 진폭과 위상 모두 매우 비슷하게 나타났다. 계절신호 제거 후 국토지리정보원 좌표를 기준으로 LX-PPS 상시관측소의 좌표 오차를 산출했을 때 RMS와 표준편차는 모두 남북 1mm, 동서 2mm, 수직 5mm로 나타났다. 이와 같이 LX-PPS 상시관측소는 건물 옥상에 설치되어 있음에도 불구하고 지표면에 설치된 국토지리정보원의 상시관측소와 동일한 수준의 높은 측위 성과 달성이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

---

주요어 : 위성측위시스템, 정밀측위, LX-PPS 상시관측소, NGII 상시관측소