

# GNSS를 활용한 한반도 동남권 지역의 지각 변동 파라미터 분석 Analysis of Plate Motion Parameters in Southeastern South Korea using GNSS

이승준<sup>1)</sup> · 윤홍식<sup>2)</sup>

Lee, Seung Jun · Yun, Hong Sic

## Abstract

This paper deals with an analysis of crustal movement for the southern part of Korean peninsula using GNSS (Global Navigation Satellite System) data. An earthquake of more than 5.0 occurred in the southeastern region of the Korean Peninsula, and it is necessary to evaluate the risk of earthquakes in various ways. In order to reveal long-term tectonic movement pattern in Pohang and Gyeongju provinces, we derived crustal movement parameters related with elastic theory. We used GAMIT/GLOBK for analyzing seven-year interval GNSS data of CORS (Continuously Operating Reference Stations). The azimuth of velocity vectors trended generally about  $110^\circ$  with an mean magnitude of  $31\text{mm/yr}$ . The main characteristics of the strain change for seven-year in Korea obtained from our study. Direction of the principal axis of the maximum compression is ENE-WSW as a whole, through there are some exceptions. The mean rate of the maximum shear strain change is  $(0.11 \pm 0.07)\mu/\text{yr}$ , that is approximately one third that of Chubu district, Central Japan. Taking into account our results, the mean rate of maximum shear in southern part of Korean peninsula is considered as reasonable. The mean azimuth of principal strain is about  $(85.4^\circ \pm 26.8^\circ)$ . There are some exceptions of azimuth because the average azimuth differ from the left and right side in Yangsan fault which are about  $(73.2^\circ \pm 21.5^\circ)$  and  $(105.2^\circ \pm 17.0^\circ)$  respectively. It is noteworthy that the high seismicity areas in the southern part of Korea peninsula almost coincides with the area of large strain rate. As a conclusion, it could be stated that the our study represents the characteristics of crustal deformation in the southern part of peninsula, and contributes to the researches on earthquake disaster management.

Keywords : Crustal Movement, Maximum Shear Strain, Optimal Triangular Network, Elastic Theory

## 초 록

본 논문은 GNSS 자료를 이용하여 한반도 동남권 지역의 지각 변동 파라미터에 관한 내용이다. 한반도 동남권 지역에 5.0이상의 지진이 발생하였으며, 여러 가지 방법으로 지진의 위험성에 대하여 평가할 필요성이 있다. 포항과 경주의 장기적인 지각 운동 패턴을 밝히기 위해 탄성 이론을 이용하여 지각변동 파라미터를 도출하였다. CORS의 7년간의 GNSS 데이터를 Gamit/Globk S/W를 사용하여 정밀한 좌표를 취득하였다. 한반도 전체의 속도 벡터는 평균  $31\text{mm/yr}$ 로 나왔으며 방위각은 일반적으로  $110^\circ$ 의 경향을 나타내었다. 연구의 주요 내용은 7년간 한반도 동남권 지역의 주응력의 방향은 몇가지 예외를 제외하면 전체적으로 ENE-WSW으로 나왔다. 최대 전단 변형률의 크기는 평균적으로  $(0.11 \pm 0.07)\mu/\text{yr}$ 으로 일본 중부 지역의 약 1/3이다. 이번 연구 결과를 고려하면 한반도 남부의 평균 최대전단응력은 타당한 것으로 간주된다. 주응력의 평균 방위각은 약  $(85.4^\circ \pm 26.8^\circ)$ 이다. 양산단층을 기준으로 평균 방위각이 좌우  $(73.2^\circ \pm 21.5^\circ)$ 와  $(105.2^\circ \pm 17.0^\circ)$ 로 차이가 난다. 한반도 동남부 지역의 지진 발생 지역이 전단응력이 크게 나온 것은 주목할만 하다. 결론적으로 본 연구는 한반도 동남부 지각 변동 파라미터 특성을 반영하여 지진 재해 관리 연구에 기여할 수 있음을 알 수 있다.

핵심어 : 지각운동, 최대전단변형률, 최적삼각망, 탄성이론

Received 2020. 11. 25, Revised 2020. 12. 02, Accepted 2020. 12. 24

1) Member, Student, Dept. of Civil, Architectural Engineering, Sungkyunkwan University (E-mail: psy03@skku.edu)

2) Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Civil, Architectural Engineering, Sungkyunkwan University (E-mail: yoonhs@skku.edu)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

지각변동과 같은 지구의 동적현상에 대한 연구는 현대 측지학에서 중요한 역할을 하고 있으며, 측지측량 데이터와 우주측지 정보는 지각변동을 연구하는 데에 귀중한 정보를 제공한다. 과학적인 연구자료에 의한 연구는 과거의 지진 발생 데이터를 분석하여 지진 발생빈도를 예측하거나 지진 메커니즘의 해석연구, 지질지각구조와 활단층조사를 통한 지각활동 메커니즘 연구, 측지학적 방법에 의한 지각변동 연구 및 지각의 아이소스타시(Isostasy) 평형연구 등이 있다. 그 외에도 지진 관련 데이터베이스 구축, SAR (Synthetic Aperture Radar)영상을 이용한 지표면의 수직변위 조사, 지진관측망의 고도화 및 내진설계 등과 같은 연구가 진행되고 있다. 일본이나 미국과 같이 지진이 많이 발생하는 선진국들은 위에서 언급한 대부분의 기술들을 활용하여 지진연구를 진행하고 있지만 우리나라는 지진 안전지대라는 인식으로 인해 극소수의 지진 연구가 진행되어 왔다. 양산단층과 같은 활성단층이 존재하고 있다는 주장이 대세이지만 어느 곳에 정확하게 단층이 존재하고 있는지, 어느 정도로 활동하고 있는지는 누구도 제시하지 못하고 있는 상황이다.

2016년 9월 12일 경주 인근에서 규모 5.8(USGS는 규모 5.4로 기록)의 지진과 2017년 11월 15일 포항시에 규모 5.4의 지진이 발생하여 지진 안전지대로 생각되던 우리나라가 지진에 대해 더 이상 안전지대가 아니라는 주장이 제기되고 있다. 예상치 못한 규모의 지진이 발생하였기 때문인지 반응이나 대응방안들이 다양하다. 이러한 다양한 반응과 대응방안들을 보면서 좀 더 장기적이고, 과학적인 측면에서 접근할 필요가 있다. 최근들어 GNSS기술의 발전은 지표면의 이동량을 정밀하게 측정할 수 있게 되어 지각변동을 연구할 수 있게 되었으며, 원격탐사기술로서 PS-InSAR기술은 지표면의 수직운동을 정밀하게 탐사함으로써 지진예지를 위한 자료로 활용되고 있다.

한반도는 18세기말 이후로 피해를 일으킨 지진은 거의 발생하지 않았고, 지질학적으로 안전하고 지진발생 위험이 크지 않다고 알려져 왔다. 이러한 이유로 우리나라에서는 지각변동에 대한 연구가 수행되지 않았다. 그러나 삼국사기와 조선왕조실록 같은 역사적인 문헌에 의하면 6-7C와 13C 및 18C에 피해를 발생시킨 지진이 많이 발생한 것으로 기록되어 있다. 이러한 기록들을 통하여 김과 서(1977)는 한반도에 지각변형률이 지속적으로 누적되어 반복적으로 지진 에너지가 갑작스럽게 방출하다는 주장을 제기하기도 하였다. 본 논문에서는 한반도의 지진활동을 감시하기 위하여 한반도의 지질구조, 역사적 지진자료 분석 및 GNSS관측자료 해석을 통하여 활성

단층으로 알려져 있는 양산단층과 울산단층이 위치한 동남권 지역의 지각변동 특성을 분석하였다.

## 2. 지각변동 파라미터 결정

GNSS CORS를 사용한 지각변동 파라미터 결정은 지구의 동적 특성을 고려하여야 하며, 기준좌표계 상의 모든 점의 위치를 나타내기 위해서는 특정시점(reference epoch)의 좌표와 속도가 정의되어야 한다. GNSS로써 결정되는 속도는 강성지각판(rigid plate)의 회전벡터와 연속으로 발생하는 지각변동량을 고려하여 계산하게 되는데 관측점들이 지각판이나 지각변동의 영향이 미치는 범위에 위치하기 때문에 관측방정식(1)로 쓸 수 있다.

$$V_i = \Omega_P \times X_i + S^{-1} \times f + \Omega_D \times X_i \quad (1)$$

관측점 속도,  $X_i$ : 관측점 좌표,  $\Omega_P$ : 지각회전량,  $S$ : 지각강성(crustal stiffness),  $\Omega_D$ : 관측요소이다. 모든 관측점에 대하여 식(1)를 만족하는 조정계산을 실시하게 되는데 이 방법을 No-Net-Rotation(NNR)이라고 한다. NNR은 기준좌표계에 대하여 전 지구의 회전각속도가 영(0)인 이상적인 상태를 의미한다.

$$\sum V = 0 \text{ 여기서, } V_i: \quad (2)$$

$$\sum V_T P V = \min$$

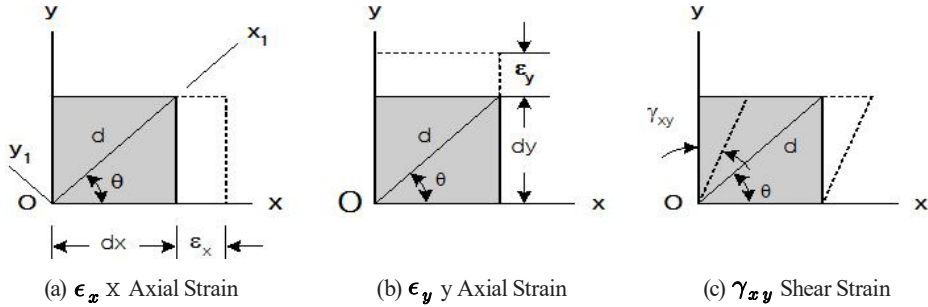
관측치에 대한 속도장을 바탕으로 구성된 삼각망에 대하여 지각변동 파라미터들을 계산할 수 있다. 기선 변화량으로부터 변형률 파라미터 성분들을 계산하는 방법인데, 측정치에 포함된 우연오차들로 인하여 불규칙한 양상의 결과를 얻게 되는 단점이 있지만 반복 관측값의 정확도가 높은 경우에 높은 정확도의 변형률을 결정할 수 있다.

다수의 특정 시점에서 관측된 수평각과 거리 조정량을 이용하는 방법은 직접 측정값이나 관측 정확도를 사용하는 대신 조정량과 분산-공분산값들을 사용한다. 이 방법은 동일 점에 대하여 관측을 하지 않은 경우에 사용할 수 있으며, 추정값의 정확도는 조정량에 대응하는 분산-공분산값으로부터 계산할 수 있다. Welsch(1983)는 변형관측망을 구성한 지역에 대하여 자세한 지각변동 양상을 얻기 위하여 유한요소법을 적용하였다.

조정모델의 모든 파라미터들을 이용하는 방법은 조정모델에 있는 모든 변형파라미터들이 포함된다. 변형파라미터들과

**Table 1. Determinism of two-dimensional transformation parameters according to the type of observation**

반복관측값	면적변화량	전단변형률	주변형률	주변형률의 방향	회전성분
거리관측	○	○	○	○	○
변형률계	○	○	○	○	
방위각관측		○		○	
수평각관측		○		○	



**Fig. 1. x -y Strain factor**

좌표들을 동시에 얻을 수 있는 방법으로 각 관측값의 관측시간이 대응하는 관측방정식에 포함될 수 있기 때문에 연속변형모델을 사용할 수 있다. Reilly(1982)는 Taylor의 급수전개로 변동벡터를 표현하였고, 대응하는 계수들을 망 조정계산에서 결정하였다.

Table 1은 2차원의 관측값들로부터 결정할 수 있는 변형률 파라미터들의 종류를 표시한 것으로서 모든 변형률 파라미터들은 변형률계나 반복 거리 관측값들로부터 결정할 수 있으며, 반복 관측한 방위각이나 수평각들은 전단변형률과 주변형률의 방향 결정에 사용할 수 있다. Fig. 1과 같이 탄성체로 가정한 지각에 변형이 발생하는 경우에 변형률을 바탕으로 최대전단변형률( $\gamma_{max}$ )과 면적변형률( $\Delta$ )를 구할 수 있다 (Okada,1981).

각각의 평면 변형률 요소는 대각선  $d$ 의 길이를 증가하게 하므로  $x_1$  방향의 변형률  $\epsilon_{x_1}$ 은 식(3)과 같이 표시할 수 있고, 전단변형률  $\gamma_{x_1y_1}$ 은 식(4)와 같이 표시할 수 있다.

$$\epsilon_{x_1} = \epsilon_x \cos^2\theta + \gamma_{xy} \sin\theta \cos\theta + \epsilon_y \sin^2\theta \quad (3)$$

$$\gamma_{x_1y_1} = (\epsilon_x - \epsilon_y) \sin 2\theta + \gamma_{xy} \cos 2\theta \quad (4)$$

식(3)과 식(4)는 삼각함수 항등식을 대입하여 식(5) 및 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_{x_1} = \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta + \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\theta \quad (5)$$

$$\gamma_{x_1y_1} = (\epsilon_y - \epsilon_x) \sin 2\theta + \gamma_{xy} \cos 2\theta \quad (6)$$

여기서  $\epsilon$ 은  $\theta$ 의 함수로서 식(7) 및 식(8),식(9)과 같이  $\epsilon$ 이 최댓값 또는 최소값을 가지는  $\theta_p$ 를 구할 수 있다.

$$\frac{d\epsilon}{d\theta} = 0 = (\epsilon_y - \epsilon_x) \sin 2\theta + \gamma_{xy} \cos 2\theta \quad (7)$$

$$\tan 2\theta_p = \frac{\gamma_{xy}}{\epsilon_x - \epsilon_y} \quad (8)$$

$$\theta_p = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{\gamma_{xy}}{\epsilon_x - \epsilon_y} \quad (9)$$

### 3. 한반도 GNSS CORS의 속도

#### 3.1 한반도 GNSS CORS

한반도와 주변 CORS들의 장기간의 관측자료를 정밀처리하여 CORS들의 연평균 이동량과 CORS들간의 기선 변화량을 계산하고, 이를 바탕으로 한반도의 지각변동량과 변형률을 계산하였다. 지각변동량을 분석하기 위해서는 0.001ppm 정도의 매우 정밀한 기선해석을 실시하여야 하며, CORS간의 기선장이 멀수록 그 재현성의 정밀도가 감소하는 GNSS의 특성을 고려하여 정밀 데이터처리 GAMIT/GLOBK 소프트웨어를 사용하였다. Fig. 2와 같이 IGS 등록 CORS 7점과 우리나라 CORS 42점의 관측데이터는 30초 간격으로 고도각 15도 이상으로 일별 24시간 동안 수신한 데이터를 RINEX포맷



**Table 3. IGS-registered CORS coordinate performance, average annual fluctuation speed and azimuth angle(2012.1.1-2018.12.30)**

관측점	3차원직각좌표			표준편차			변동속도(mm/yr)		방향
	X(m)	Y(m)	Z(m)	$\sigma_X$	$\sigma_Y$	$\sigma_Z$	수평	수직	
SUWN	-3089987.87	4050914.86	3818141.10	0.12	0.08	0.15	30.20	-0.24	116.02°
DAEJ	-3129390.28	4070729.13	3765306.18	0.10	0.10	0.16	31.67	2.92	113.86°
BJNM	-2332521.22	4314077.49	4045063.51	0.13	0.22	0.19	34.72	4.23	111.19°
AIRA	-3062023.91	4055448.88	3841819.11	0.12	0.08	0.12	31.29	1.24	138.07°
WUHN	-2772500.98	4432140.01	3570088.60	0.21	0.10	0.21	35.99	2.7	107.69°
BJFS	-2328340.76	4353646.27	4004768.01	0.11	0.21	0.20	31.90	2.63	109.14°
YSSK	-3395605.44	2883249.10	4505402.12	0.67	0.17	0.52	15.02	3.27	148.26°
CCJ2	-4234561.37	3586334.24	3056431.32	0.17	0.57	0.64	40.24	-1.01	-76.78°
SHAO	-2951943.10	4434509.17	3464543.88	0.17	0.12	0.11	33.28	0.15	112.67°
IRKT	-2778866.08	3168883.15	4597747.97	0.62	0.31	0.49	27.43	1.82	112.87°

**Table 4. Korean Peninsula CORS coordinate performance, average annual fluctuation speed and azimuth angle(2011-2012)**

관측점	3차원직각좌표			표준편차			변동속도(mm/yr)		방위각
	X(m)	Y(m)	Z(m)	$\sigma_X$	$\sigma_Y$	$\sigma_Z$	수평	수직	
WOLS	-3300601.21	4015928.26	3683580.12	0.03	0.12	0.14	56.913	-0.009	96.19°
WULJ	-3238396.37	3940665.32	3816730.53	0.08	0.07	0.13	67.316	-0.007	97.92°
PUSN	-3287592.40	4049012.03	3659187.93	0.02	0.12	0.12	52.065	-0.006	99.17°
CHSG	-3237146.01	3989513.62	3767338.52	0.05	0.08	0.12	60.476	-0.006	99.64°
KANR	-3167833.94	3930397.05	3885411.87	0.10	0.04	0.11	70.432	-0.008	102.00°
TEGN	-3241051.78	4030771.66	3719838.44	0.03	0.09	0.11	56.727	-0.008	98.51°
CHWN	-3260411.51	4070678.35	3659345.23	0.02	0.11	0.11	50.944	-0.009	97.96°
KUNW	-3211712.34	4026954.23	3749223.28	0.04	0.08	0.10	54.942	-0.005	98.91°
CHNG	-3233224.53	4067916.31	3686212.07	0.02	0.09	0.10	51.568	-0.015	98.18°
YOWL	-3164687.14	3984004.05	3833703.89	0.07	0.05	0.10	62.381	-0.010	102.65°
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

**Table 5. Korean Peninsula CORS coordinate performance, average annual fluctuation speed and azimuth angle((2012-2018)**

관측점	3차원직각좌표			표준편차			변동속도(mm/yr)		방위각
	X(m)	Y(m)	Z(m)	$\sigma_X$	$\sigma_Y$	$\sigma_Z$	수평	수직	
WOLS	-3300601.30	4015927.95	3683579.91	0.03	0.09	0.12	35.311	-0.044	107.49°
WULJ	-3238396.45	3940665.02	3816730.30	0.09	0.05	0.12	32.692	-0.045	107.91°
PUSN	-3287592.46	4049011.74	3659187.71	0.02	0.09	0.11	31.497	-0.045	112.18°
CHSG	-3237146.06	3989513.35	3767338.29	0.06	0.06	0.11	28.908	-0.046	114.52°
KANR	-3167834.02	3930396.76	3885411.63	0.11	0.03	0.10	32.445	-0.045	109.34°
TEGN	-3241051.85	4030771.38	3719838.22	0.04	0.07	0.10	30.581	-0.043	111.43°
CHWN	-3260411.57	4070678.07	3659345.02	0.02	0.09	0.10	31.605	-0.045	110.24°
KUNW	-3211712.41	4026953.94	3749223.05	0.05	0.05	0.09	31.860	-0.045	110.10°
CHNG	-3233224.60	4067916.03	3686211.85	0.02	0.07	0.09	31.547	-0.042	112.31°
YOWL	-3164687.23	3984003.76	3833703.66	0.08	0.03	0.08	31.693	-0.044	110.35°
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

Tables 4 and 5는 국내 CORS들의 2011년과 2012~2018년 관측데이터를 처리하여 계산 3차원지각좌표와 표준편차 및 지각변동량과 방향을 나타낸 것이다. 2011년 국내 CORS들의 변동속도는 평균 53.64cm/yr이고, 평균방향은 108°로 나타났으며, 2012~2018년 관측데이터를 사용하여 계산한 결과는 평균변동속도 31cm/yr와 평균방향 112.22°로 계산되어 2.26mm/yr와 4.22°의 차이가 발생한 것을 알 수 있다.

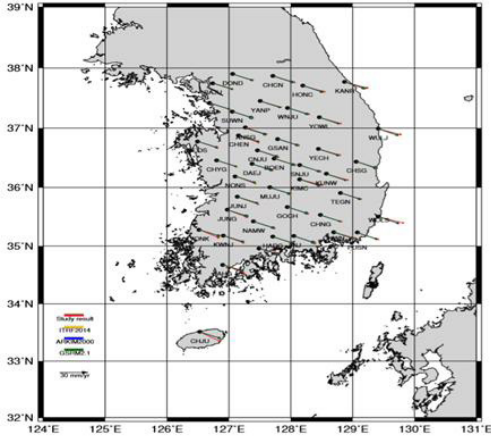


Fig. 4. Comparison of research results with ITRF2014, APKIM2000, GSRM2.1

Fig. 4는 본 연구에서 선정한 국내 CORS점들에 대한 7년(2012년~2018년)의 GNSS 관측데이터를 처리하여 결정된 변동벡터와 ITRF2014, APKIM2000, GSRM2.1 지각변동모델로부터 계산한 변동벡터를 년평균속도로 나타낸 것이다. 한

반도의 지각변동 계산결과는 년 평균변동속도 3.1cm/yr, 변동 벡터의 방위각은 평균 112.22°로 나타났다.

### 3.2 동남권 지역의 응력 계산

2011년부터 2018년까지 우리나라 동남권 지역에 설치된 11개 CORS와 대마도를 CORS 2개를 포함하여 일본의 CORS 22개소를 선정하였고, 일본 국토지리원으로부터 RINEX 포맷으로 관측데이터를 확보하였으며, 관측데이터는 GMAMIT/GLOBK를 사용하여 정밀처리하였다. Table 6는 각 CORS들의 변동벡터속도와 방위각을 표시한 것이며, 그 결과는 Fig. 5에 표시한 바와 같다.

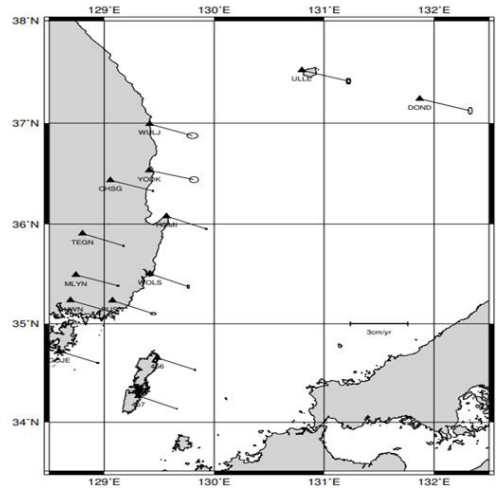


Fig. 5. Velocity of the Southeastern region of the Korean Peninsula GNSS CORS

Table 6. Velocity vector of CORS located in the southeastern region of the Korean peninsula and Daemado(mm/yr)

CORS	좌표		변동속도(mm/yr)			RMSe		방위각 (°)
	경도	위도	$V_e$	$V_n$	$V_{en}$	$\sigma_e$	$\sigma_n$	
WOLS	129.4160177	35.5039459	26.13	-11.90	28.71	0.16	0.35	114.49
WULJ	129.4129985	36.9919756	29.20	-10.79	31.13	0.85	0.60	110.28
PUSN	129.0748478	35.2339367	27.87	-12.11	30.39	0.43	0.25	113.49
CHSG	129.0563490	36.4356275	29.05	-9.83	30.67	0.06	0.16	108.70
TEGN	128.8019704	35.9063057	28.12	-11.42	30.35	0.04	0.16	112.10
CHWN	128.6929976	35.2361201	29.65	-11.39	31.76	0.31	0.10	111.01
456	129.4820623	34.6555514	25.89	-11.13	28.18	0.05	0.15	113.27
457	129.3115030	34.2682056	26.14	-11.91	28.73	0.06	0.04	114.50
HOMI	129.5666649	36.0780442	27.04	-11.68	29.46	0.13	0.13	113.36
GOJE	128.5908722	34.7217861	27.56	-10.77	29.59	0.19	0.11	111.35
MLYN	128.7439721	35.4913714	28.78	-10.39	30.47	0.15	0.15	109.85
YODK	129.4090538	36.5334606	28.83	-9.55	30.38	0.70	0.64	108.33
DOND	131.8697578	37.2393667	34.47	-11.03	36.19	0.33	0.69	107.75
ULLE	130.7977080	37.5184119	31.82	-9.99	33.35	0.29	0.54	107.44

동남권 지역의 지각변동속도는 28.71~31.76 mm/yr로 평균 30mm/yr로 나타나고 있으며, 울산(WOLS)의 경우에 28.71 mm/yr로 다소 작은 변동속도를 보이고 있다. 대마도의 456과 457은 각각 28.18 mm/yr과 28.73 mm/yr로 안정적인 변동을 보이고 있으나 동남권보다는 다소 작게 나타났다. 울릉도와 독도는 33.35 mm/yr와 36.19 mm/yr로 우리나라 내륙보다 다소 크게 변동하는 것으로 나타났다. 변동속도벡터의 방향을 나타내는 방위각은 최소 108.33° ~114.5°로 최대 6° 정도의 차이가 발생하였다. 방위각의 분포는 양산단층을 기준으로 하여 양산단층 우측에 위치한 HOMI, WOLS, PUSN, 456, 457

의 방위각은 112°~114.5°이고, 좌측에 위치한 WULJ, YODK, CHSG, MLYN, CHWN은 108°~110°로 양산단층의 좌측지역이 우측지역보다 방위각이 다소 작게 나타나는 것으로 분석되었다. 이러한 방위각의 차이로 단층의 존재 여부를 파악하기에는 CORS수의 수가 적고 다양한 분석이 수행되어야 하며, 조밀한 측지기준점망을 주기적인 관측하여야 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 본 연구에서 한반도와 동남권 지역의 지각변동 속도를 상세히 분석하여 한반도는 매우 안정적인 지각변동이 발생하고 있음을 확인할 수 있었다.

주응력 성분(E1, E2)과 방향(Az), 최대전단변형율( $\gamma_{max}$ )

Table 7. Crust parameters of the southeastern region of the Korean Peninsula

	측지선(2013)		측지선(2018)		$\Delta L$ (mm)	$E_1$ ( $\mu$ )	$E_2$ ( $\mu$ )	$Az$ ( $^\circ$ )	$\gamma_{max}$ ( $\mu$ )	$\Delta$ ( $\mu$ )
A	wulj-wodk	50884.091	wulj-wodk	50884.098	0.007	0.161	0.003	65	0.158	0.164
	yodk-chsg	33418.028	yodk-chsg	33418.069	0.041					
	wulj-chsg	69477.050	wulj-chsg	69477.066	0.016					
B	yodk-chsg	33418.028	yodk-chsg	33418.069	0.041	0.234	-0.027	81	0.261	0.206
	chsg-homi	60644.333	chsg-homi	60644.332	-0.002					
	yodk-homi	52480.319	yodk-homi	52480.306	-0.013					
C	chsg-tegn	63035.922	chsg-tegn	63035.914	-0.007	0.006	-0.034	101	0.040	-0.028
	tegn-homi	71538.909	tegn-homi	71538.897	-0.013					
	chsg-homi	60644.333	chsg-homi	60644.332	-0.002					
D	tegn-homi	71538.909	tegn-homi	71538.897	-0.013	0.066	0.022	127	0.044	0.088
	homi-wols	65138.673	homi-wols	65138.654	-0.019					
E	tegn-wols	71281.264	tegn-wols	71281.285	0.021	0.072	0.004	61	0.069	0.076
	tegn-mlyn	46336.660	tegn-mlyn	46336.665	0.005					
	mlyn-wols	60991.928	mlyn-wols	60991.922	-0.007					
F	tegn-wols	71281.264	tegn-wols	71281.285	0.021	0.109	-0.050	111	0.159	0.059
	wols-mlyn	60991.928	wols-mlyn	60991.922	-0.007					
	mlyn-pusn	41473.379	mlwn-pusn	41473.351	-0.028					
G	wols-mlyn	43112.336	wols-mlyn	43112.356	0.020	-0.015	-0.152	49	0.136	-0.167
	mlyn-chwn	28695.855	mlyn-chwn	28695.845	-0.010					
	chwn-pusn	34759.268	chwn-pusn	34759.264	-0.004					
H	mlyn-pusn	41473.379	mlyn-pusn	41473.351	-0.028	0.097	-0.002	109	0.043	-0.078
	pusn-wols	43112.336	pusn-wols	43112.356	0.020					
	wols-0456	94315.138	wols-0456	94315.135	-0.003					
I	pusn-0456	74168.557	pusn-0456	74168.548	-0.009	0.046	-0.022	90	0.068	0.025
	chwn-pusn	34759.268	chwn-pusn	34759.264	-0.004					
	pusn-goje	71981.204	pusn-goje	71981.201	-0.003					
J	chwn-goje	57817.275	chwn-goje	57817.289	0.013	0.017	-0.047	98	0.065	-0.030
	pusn-goje	71981.204	pusn-goje	71981.201	-0.003					
	goje-0456	81991.697	goje-0456	81991.670	-0.027					
K	pusn-0456	74168.557	pusn-0456	74168.548	-0.009	-0.031	-0.094	47	0.064	-0.125
	goje-0456	81991.697	goje-0456	81991.670	-0.027					
	0456-0457	45737.117	0456-0457	45737.118	0.001					
	0457-goje	83140.469	0457-goje	83140.444	-0.025					
평균						0.0704	0.0468	85	0.11	0.0951





- Network, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 28(6), 587-594.
- Choi, J.H. & Sato, H. (1997). Horizontal Strain of the Crust in Korea Inferred from Geodetic Data, *Journal of the Geodetic Society of Japan*, 43(3), 159-180.
- Jin, S. and Park, P.H. (2007), Tectonic Activities and Deformation in South Korea Constrained by GPS Observations, *International Journal of Geology*, 2(1), 11-15.
- Kim, S., Ree, J.H., Yoon, H.S., Choi, B.K., and Park, P.H. (2018), Crustal Deformation of South Korea After the Tohoku-Oki Earthquake, *Deformation Heterogeneity and Seismic Activity. Tectonics*, 37(8), 2389-2403.
- Park, J.K. and Yun, H.C. (2011). Analysis about Seismic Displacements Based on GPS for Management of Natural Disaster, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 29(3), 311-318.
- Song D.H. and Yun H.S. (2006). Crustal Deformation Velocities Estimated from GPS and Comparison of Plate Motion Models, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 26(5D), 877-884.
- Yang, H., Park, S.C., and Lee, W.J. (2016), Crustal Deformation on the Korea Peninsula Based on GNSS Data During 2004–2015, *In 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (pp. 5785-5788). IEEE.*