

측지학적 방법에 의한 지각변동 매개변수 결정에 관한 연구 A Study on the Parameter Determination of Crustal Movement by Geodetic Technique

조규전* · 정의환**

Cho, Kyu Jon · Jeong, Eui Whan

요 旨

판 구조는 현대 지구물리학에 있어서 중요한 역할을 담당하고 있다. 우리나라의 지리적 메커니즘을 고려할 때 판구조에 의한 지진 발생 가능성을 갖고 있으며, 지진에 의한 피해가 날로 증가하고 있는 실정으므로 이에 대한 인식의 중요성이 강조되고 있다. 이에 본 연구에서는 GPS 데이터를 이용하여 우리나라 주변국 및 국내의 지각변동 매개변수를 결정하고자 주변국에 설치되어 있는 여섯 개의 GPS 상시관측소와 국내에 설치된 11개의 GPS 상시관측소로부터 수신한 데이터를 정밀 처리소프트웨어인 GIPSY-OASIS II를 이용하여 처리하였다. 그 결과 주변국의 최대전단변형률의 평균값 γ_{max} 는 $0.04 \mu\text{yr}$ 로 나타났으며, 최대 압축변화율(E_2)의 평균 방위각은 97.75° 로 나타났다. 국내의 지각변동 매개변수중 최대전단변형률의 평균값 γ_{max} 는 $0.17 \mu\text{yr}$ 로 나타났으며, 최대 압축변화율(E_2)의 평균 방위각은 70.25° 를 보이고 있었으며, 지진의 발생 빈도와 비교해 볼 때 매우 비슷한 경향을 나타내고 있었다.

ABSTRACT

Plate tectonics is a dominant paradigm in modern geophysics. Because of its geological mechanism, Korea has a possibility of earthquake according to plate motion. Besides the disaster of earthquake grows rapidly, the importance of recognition for earthquake has been emphasized. This study attempts to decide crustal movement parameters with GPS data, analysed baseline after processing data with GIPSY-OASIS II S/W, observed from 6 stations in and around the Korean peninsula, and obtained from selected 11 stations in Korea. As a results, maximum shear strain was $0.04 \mu\text{yr}$ and the mean azimuth of the maximum compression axes(A_{22}) is estimated as 97.75° in and around the Korean peninsula. The average rate of the maximum shear strain(γ_{max}) is $0.17 \mu\text{yr}$. The mean azimuth of the maximum compression axes(A_{22}) is estimated as 70.25° in Korea. Such a pattern of strain distribution is harmonious with that of seismic activity in Korea both historically as well as today.

1. 서 론

근년에 이르러 위성측지 기술이 범세계적으로 보편화됨에 따라 세계 각 나라에서는 그 나라의 고유 측지좌표계를 세계 단일 지구중심 측지좌표계로 전환하고 있는 실정이며, 우리나라에서도 현재의 지역좌표계를 지구 중심좌표계로 전환하여 위성 측지기술의 실용화와 세계 측지망과의 연계를 통한 측지기술의 발전을 위해서 그 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 특히 국토위치정보의 손쉬운 획득 및 실시간 위치정보를 필요로 하는 사용자들의 증가는 지구 중심좌표계의 필요성을 더욱 높여주고

있으며, 국제사회와의 위치정보 공유등 범 지구적 지각변동조사를 위해서도 반드시 해결되어야 할 사항이다.

특히 최근 들어 세계 곳곳에서 발생하고 있는 대규모 지진 중 1900년 이후 규모(magnitude) 5.0 이상되는 지진의 발생횟수가 매년 약 900회 이상되며, 이로 인한 인명피해도 수만 명에 이르고 있다. 이와 같이 지진에 의한 피해를 사전에 예방하기 위해 지진발생에 대한 면밀한 분석 및 검토가 이루어져야 할 것이다. 지진은 지각변동에 의한 한 형태로 지구전체를 형성하고 있는 대륙간 판 구조(plate tectonic)와 이들의 상대적인 운동과는 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 보고되고 있다.^{3),9)}

20C 초부터 측지학적 방법에 의한 지각변동에 관한 연구는 주로 판 경계 지역에 위치한 나라에서 시작되었을

*경기대학교 공과대학 건설공학부 교수

**경기대학교 공과대학 대학원 박사과정 수료

것이며, 그 당시는 기준체계의 차이로 인해 수평망 및 수직망으로 분리된 측정값을 이용할 수밖에 없었다.^{4),18)-20)}

그러나 최근 들어 위성측지기술을 이용한 지각변동연구에 많은 관심이 집중되어 이에 대한 연구결과가 발표되고 있는 실정이다.^{8),20),21)} 이에 본 연구에서는 우리나라 주변국 및 국내에 설치되어 있는 GPS 상시관측소에서 수신한 데이터를 고정밀 자료처리 시스템을 이용하여 정밀 기선해석 결과를 산출함으로써 지각변동 감지에 해당하는 정밀도를 확보할 수 있도록 하여 아시아 지역 및 국내에 설치되어 있는 상시관측소에서 수신한 데이터를 전송 받아 관측 에폭(epoch) 별 기선해석 결과의 변화량을 이용하여 우리나라 및 그 주변지역의 지각변동에 영향을 주는 매개변수를 결정하고 지진의 발생지역과 연관시켜 지각운동의 패턴을 분석하고자 한다.

2. 한반도 주변의 지진발생 특징

지진발생의 위치를 판구조론과 연관시켜 볼 때 판 경계부에 인접한 판들의 상호작용에 의해 발생하는 inter-plate 지진과 판의 경계부로부터 상당한 거리가 떨어진 판 내부에서 발생하는 intra-plate 지진으로 나눌 수 있다. 전 세계적으로 발생하는 지진 중 판내지진(intra-plate earthquake)은 전체 지진발생 숫자의 약 15% 미만이지만 인간에게 미치는 인명 및 재산상의 피해는 약 85%에 달한다고 보고되었다.¹¹⁾

우리나라는 유라시아 판(Eurasian Plate)의 동쪽 및 동남쪽에 위치하고 있으며 북아메리카 판(North American Plate)과 필리핀 판(Philippine Sea Plate)에 인접하고 있는 지리적 메커니즘을 보이고 있어 판 운동에 따른 지진 발생 가능성은 항상 존재하며, 한반도 및 그 주변에서 발생하는 지진들은 판내지진에 속한다고 볼 수 있다. 일반적으로 판내지진들의 특징은 지진발생이 시간 및 공간적으로 흩어진 분포를 보이는데, 우리나라 및 그 주변에서 발생하는 지진들은 같은 판내 지진인 중국 북동부와 일본 서남부에 비해서 그 숫자가 상대적으로 적고 크기도 작을 뿐만 아니라 발생위치도 매우 불규칙적인 편이다. 그러나 이들 지진에 대한 체계적인 연구는 판내의 응력상태와 응력분포에 관한 정보를 제공하는 매우 중요한 자료가 되기도 한다.^{8),12)} 한반도에서 지진계에 의해 지진기록이 시작된 것은 20세기 초이지만 서기 2년부터 1999년까지 지진연구소에서 정리한 “고금지진목록”²⁾과

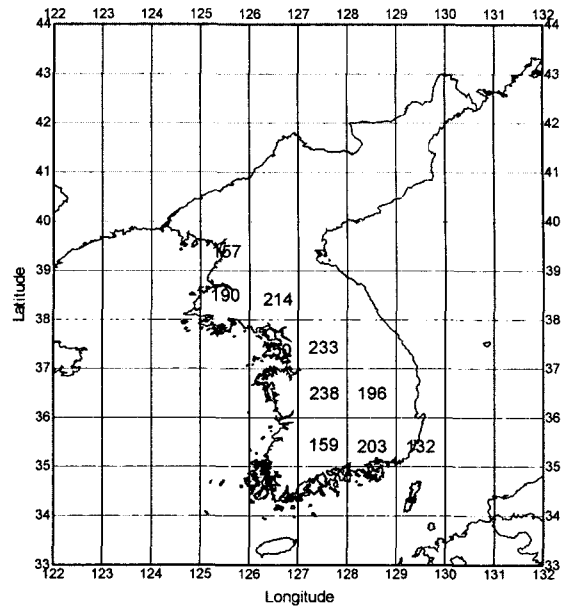


그림 1. 경·위도 1° 사이에 발생된 지진 횟수(2~2000)

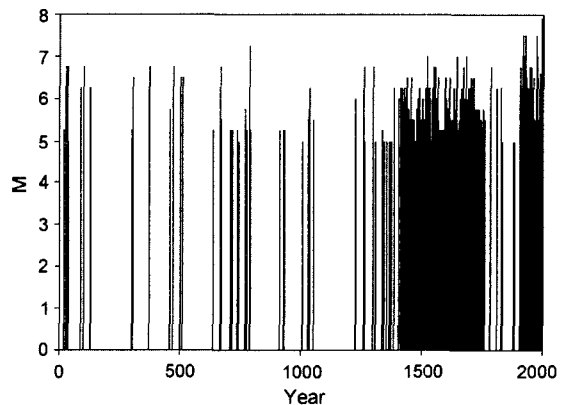


그림 2. 한반도 주변의 지진 발생 시간 이력(M ≥ V)

주로 남한의 지진자료를 정리한 “1978-2000” 지진관측보고¹⁾를 이용하여 분석하였다. 그림 1은 서기 2년부터 2000년 사이에 발생한 지진의 횟수중 100회 이상 발생한 지역을 경·위도 1° 간격으로 격자화 시켜 표시한 것으로서 발생빈도를 보면 WNW-ESE 방향으로 집중되어 있는 것을 알 수 있었으며, 그림 2는 역사지진 및 계기 지진 결과로부터 규모 5이상의 분포 형태를 시간이력으로 표현한 것이다. 이 그림에서 2000년에도 규모 5이상의 지진이 발생한 것으로 나타나 있는 것은 대부분 우리나라와 인접한 국가에서 발생되었지만 우리나라에 설치

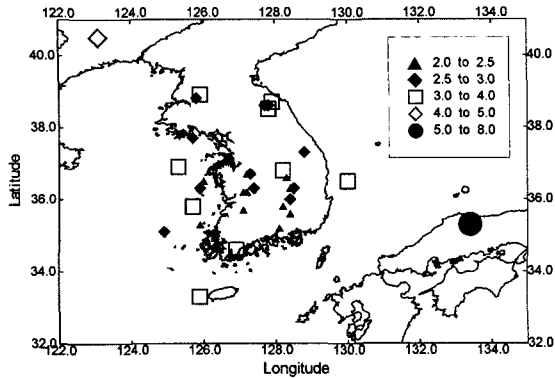


그림 3. 한반도 주변의 지진 발생 진원 및 규모(1999~2000)

되어 있는 지진계에서도 감지된 결과로 인한 것들이다. 또한 본 연구에서 지각변동 매개변수를 결정하기 위해 GPS 상시관측점에서 관측한 기간에 해당하는 지진발생 분포를 보면 그림 3과 같다.

3. GPS 데이터 처리

3.1 GPS 데이터의 처리 방법

본 연구에서는 광역적 지각 변동 및 지역적 지각변동의 매개변수를 결정하기 위한 정밀도를 확보할 수 있는 정밀 기선해석 처리에 사용된 소프트웨어는 GIPSY-OASIS II로서 GPS 측위 방법에서 이용되는 두 가지 방법을 사용할 수 있다. 이것은 GPS 상시관측소에서 수신한 데이터를 이용하여 정밀도가 높은 거리를 계산하고 위성의 궤도계산을 실시하기 위한 목적으로 개발된 후처리(Post-processing)용 프로그램으로 JPL(Jet Propulsion Laboratory)에서 개발한 것이다.^(17),25),27)

GPS 상시관측점에서 수신된 데이터들은 위와 같은 단계를 통해 처리되는데 사용데이터와 모델링 방법에 따라 여러 가지 처리방법이 있으며, 처리방법으로는 크게 두 가지가 있다. 첫 번째 방법으로는 고정점의 좌표를 이미 결정된 ITRF상에 고정하여 처리하는 고정점 방법(fiducial method)과 고정점을 두지 않고 처리하는 비 고정점 방법(non-fiducial method)이 있다. 비 고정점 처리 방법은 이미 계산된 ITRF의 좌표를 사용하지 않으며, 매일 매일의 좌표계의 변화량을 계산하여 그 날의 좌표계를 형성하게 되고 이때 계산된 좌표들은 Helmert 변환법을 이용하여 ITRF상으로 변환된 좌표를 계산해 낸다. 따라서, 이 방법을 사용하게 되면, 한 점의 데이터를 처리

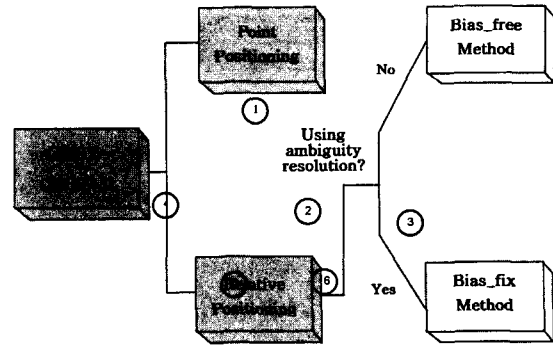


그림 4. GIPSY-OASIS II S/W를 이용한 처리 방법

하는 단독 측위만으로도 두 점 이상의 좌표를 상대적으로 처리한 결과와 같은 정밀도를 확보할 수 있다. 이에 본 연구에서 처리한 방법으로는 정밀 단독측위 방법을 적용하여 기선해석을 처리하였으며 해석처리에 대한 GIPSY-OASIS II S/W 처리 방법은 그림 4와 같다.

3.2 GPS 관측망 구성

3.2.1 광역망

우리나라 주변에 위치한 GPS 상시관측점들간의 거리는 약 2,000 km 정도이며 이러한 장기선의 최적성과를 산출하고 정밀도를 평가하기 위해서 일본의 스구바, 중국의 베이징과 우한시, 러시아의 이꾸츠크, 그리고 사할린에 위치한 상시관측소들의 연속데이터를 사용하였으며, 그림 5는 각 관측소의 위치와 장기선의 분포를 나타내고 있다. 기선의 길이는 1,006 km~3,287 km 사이에 분포하고 있으며 삼변망의 형태로 구성하였다.

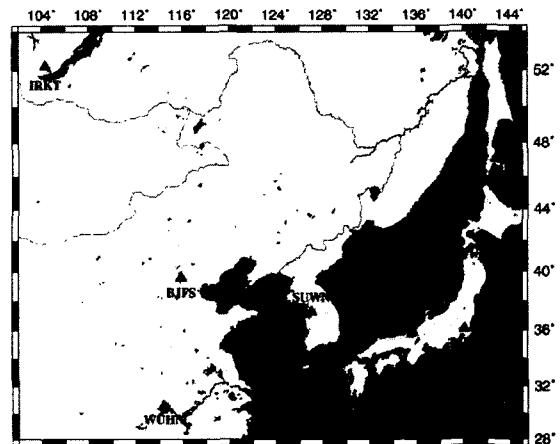


그림 5. 한반도 주변의 GPS 관측망

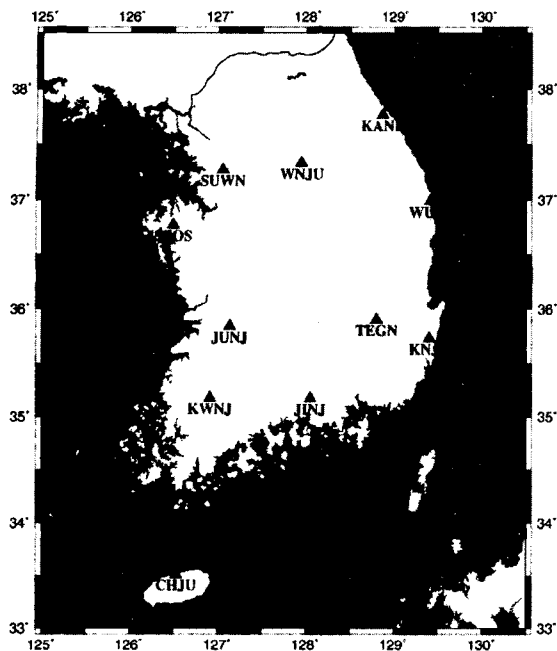


그림 6. 국내의 GPS 관측망

3.2.2 지역망

IGS에 등록되어 있는 수원 상시관측점을 이용한 국내

상시관측점의 성과를 산출하고 일정기간동안 관측결과와의 차이를 이용하여 국내의 지각변동 매개변수를 결정하기 위해 지역적인 관측망을 구성한다. 그 구성망의 형태는 그림 6과 같다.

4. 결과 및 분석

4.1 기선변화량 계산

4.1.1 광역적 관측 결과

상시관측점에서 수신한 데이터를 이용하여 기선장의 변화율을 이용하여 지각변동 매개변수를 결정할 수 있는데 이러한 변동 매개변수를 결정하기 위한 측지학적 방법으로서 지각이 2차원 평면상에서 탄성변형을 한다는 가정하에 계산하였다. 탄성이론²³⁾에 의거한 2차원 평면상에서 기선변화량을 계산하는데 사용된 자료는 그림 5와 같이 구성된 광역적 GPS 관측점사이의 기선 결정은 1999년 10월 21일부터 23일 사이에 획득한 자료를 이용하였으며, 2000년 12월 21일부터 23일 사이에 획득한 자료를 평균한 값이며, 각 block 별 기선변화량은 표 1과 같다.

표 1의 결과로부터 각 block의 평균 변화량은 -15 mm/yr로 나타났으며, 기선의 평균길이를 2,004 km로 할

표 1. 광역관측망의 기선 계산 결과

Block	Baseline Direction	2000(m)	1999(m)	Diff.(m)
①	IRKT-YSSK	2776974.3545	2776974.3703	-0.0158
	BJFS-IRKT	1655534.3326	1655534.3302	0.0024
	BJFS-YSSK	2300209.7141	2300209.7265	-0.0124
②	BJFS-YSSK	2300209.7141	2300209.7265	-0.0124
	SUWN-YSSK	1677700.2327	1677700.2409	-0.0082
③	BJFS-SUWN	1006481.9731	1006481.9767	-0.0036
	SUWN-TSKB	1169433.4489	1169433.4805	-0.0316
④	SUWN-YSSK	1677700.2327	1677700.2409	-0.0082
	TSKB-YSSK	1230832.2758	1230832.2867	-0.0109
⑤	BJFS-IRKT	1655534.3326	1655534.3302	0.0024
	IRKT-WUHN	2528402.7095	2528402.7117	-0.0022
	BJFS-WUHN	1015585.7087	1015585.7140	-0.0372
⑥	BJFS-WUHN	1015585.7087	1015585.7140	-0.0372
	BJFS-SUWN	1006481.9731	1006481.9767	-0.0036
	SUWN-WUHN	1387617.2360	1387617.2454	-0.0094
⑦	TSKB-WUHN	2450995.8581	2450995.8972	-0.0391
	SUWN-TSKB	1169433.4489	1169433.4805	-0.0316
	SUWN-WUHN	1387617.2360	1387617.2454	-0.0094

표 2. 국내관측망의 기선 해석 결과

BLOCK	SITE	Epoch 1(2000. 02. 23)		Epoch 2(2000. 12. 04)		Diff.(m)	mm/yr
		Length(m)	Std.(m)	Length(m)	Std.(m)		
①	JUNJ-SUWN	159077.8914	0.0008	159077.8921	0.0008	0.0007	9.06
	SEOS-SUWN	74507.4442	0.0011	74507.4335	0.0009	-0.0107	-13.85
	JUNJ-SEOS	118450.1585	0.0010	118450.1618	0.0010	0.0033	4.27
②	JUNJ-SUWN	159077.8914	0.0008	159077.8921	0.0008	0.0007	0.91
	JUNJ-WNJU	180982.9663	0.0009	180982.9639	0.0008	-0.0024	-3.11
	SUWN-WNJU	79450.3979	0.0014	79450.3930	0.0012	-0.0049	-6.34
③	JUNJ-TEGN	150684.0166	0.0014	150684.0198	0.0013	0.0032	4.14
	JUNJ-WNJU	180982.9663	0.0009	180982.9639	0.0008	-0.0024	-3.11
	TEGN-WNJU	176237.7282	0.0009	176237.7350	0.0010	0.0068	8.80
④	WNJU-WULJ	135719.7768	0.0014	135719.7814	0.0013	0.0046	5.95
	TEGN-WNJU	176237.7282	0.0009	176237.7350	0.0010	0.0068	8.80
	TEGN-WULJ	132341.5352	0.0009	132341.5342	0.0009	-0.0010	-1.29
⑤	KANR-WNJU	94563.0770	0.0012	94563.0836	0.0011	0.0066	8.54
	KANR-WULJ	99003.1311	0.0010	99003.1313	0.0009	0.0002	0.26
	WNJU-WULJ	135719.7768	0.0014	135719.7814	0.0013	0.0046	5.95
⑥	JUNJ-SEOS	118450.1585	0.0010	118450.1618	0.0010	0.0033	4.27
	KWNJ-SEOS	181237.0948	0.0008	181237.1093	0.0009	0.0145	18.77
	JUNJ-KWNJ	76558.8878	0.0008	76558.8765	0.0008	-0.0113	-14.63
⑦	CHJU-KWNJ	187917.8519	0.0008	187917.8612	0.0008	0.0093	12.04
	CHJU-SEOS	361919.2398	0.0007	361919.2495	0.0008	0.0097	12.14
	KWNJ-SEOS	181237.0948	0.0008	181237.1093	0.0009	0.0145	18.77
⑧	JINJ-JUNJ	111424.6176	0.0012	111424.6150	0.0011	-0.0026	-3.37
	JUNJ-KWNJ	76558.8878	0.0008	76558.8765	0.0008	-0.0113	-14.63
	JINJ-KWNJ	103795.8756	0.0014	103795.8294	0.0013	-0.0462	-59.80
⑨	JINJ-JUNJ	111424.6176	0.0012	111424.6150	0.0011	-0.0026	-3.37
	JINJ-TEGN	106170.2674	0.0010	106170.2687	0.0010	0.0013	1.68
	JUNJ-TEGN	150684.0166	0.0014	150684.0198	0.0013	0.0032	4.14
⑩	JINJ-KWNJ	103795.8756	0.0014	103795.8294	0.0013	-0.0462	-59.80
	CHJU-JINJ	231132.0095	0.0010	231132.0100	0.0009	0.0005	0.65
	CHJU-KWNJ	187917.8519	0.0008	187917.8612	0.0008	0.0093	12.04
⑪	JINJ-KNJU	137374.7167	0.0013	137374.7187	0.0016	0.0020	2.59
	KNJU-TEGN	57240.6785	0.0013	57240.6742	0.0017	-0.0043	-5.57
	JINJ-TEGN	106170.2674	0.0010	106170.2687	0.0010	0.0013	1.68
⑫	TEGN-WULJ	132341.5352	0.0009	132341.5342	0.0009	-0.0010	-1.29
	KNJU-TEGN	57240.6785	0.0013	57240.6742	0.0017	-0.0043	-5.57
	KNJU-WULJ	139623.9789	0.0008	139623.9770	0.0010	-0.0019	-2.46

경우 기선의 변형률은 7.4 μyr 의 결과를 얻게 되었다. 또한, 우리나라 주변지역에서 측정된 기선의 변화량중 가장 크게 발생한 지역으로는 block ⑥에서 이용된 일본의 스꾸바로부터 중국의 우한에 이르는 기선의 변화량이 가

장 크게 발생하였다.

4.1.2 지역적 관측 결과

국내 상시관측점의 관측 에폭(epoch)별 기선해석 결과를 분석하기 위해 사용한 자료는 2000년 2월 21일부터

25일까지 수신한 데이터를 사용하였으며, 그 후 2000년 11월 30일부터 12월 6일까지 7일간의 데이터를 사용하여 처리하였으며, 삼변망의 block 별 해석 결과는 표 2와 같다. 이 결과로부터 약 일년간의 관측 에폭(epoch) 차이로 인한 기선 변화량중 가장 큰 변화를 보이고 있는 곳은 block ⑧, ⑩에 위치한 광주와 진주사이의 기선 변화량이 -6.0 cm/yr 로 줄어들고 있으며, 그 반면 관측기간 사이에 기선의 변화량이 늘어난 곳도 발생하였는데 해당 지역은 block ⑥, ⑦에 위치한 광주와 서산 사이로 19 mm/yr 의 팽창을 보이고 있다. 또한 남한지역에서의 평균 변화량은 -1.55 mm/yr 을 나타내고 있으며, 상시관측점 사이의 평균거리인 138 km 를 적용하여 기선의 변화율을 계산해 본 결과 $0.011 \mu\text{yr}$ 로 나타났다.

4.2 지각변동 매개변수 계산

4.2.1 우리나라 주변지역의 지각변동 매개변수

우리나라 주변에 설치되어 있는 GPS 상시관측소의 기선변화량을 이용하여 지각변동 매개변수를 계산한 결과

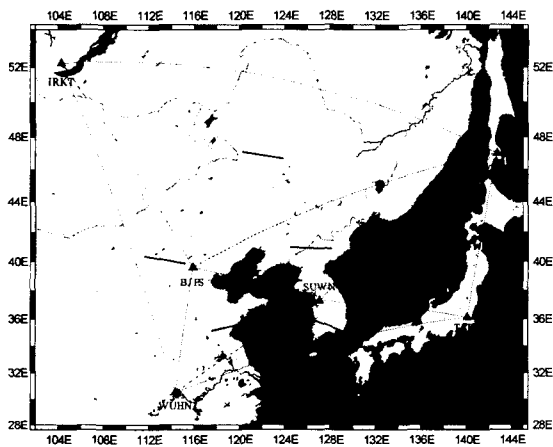


그림 7. 한반도 주변의 주변형을 방향 및 최대전단 응력도

는 그림 7, 표 3과 같다. 또한 각 block 별 지각변동 매개변수를 크리깅(Kriging) 보간법을 적용시켜 작성한 등고선 형태를 그림 8~10에 나타냈다.

그림 7은 본 연구로부터 얻어진 우리나라 주변지역의 지각 수평변형률을 표시한 것으로서 직선의 방향은 최대압축변형률(E_2)의 방위각을 표현하고 있으며, 최대압축 변형률(E_2)에서 주축의 방향은 block ⑤를 제외하고 대체로 WNW-ESE라는 것이 주목할 만한 결과이다. E_2 의 평균 방위각은 표 4에서와 같이 97.75° 로 나타났다. 이

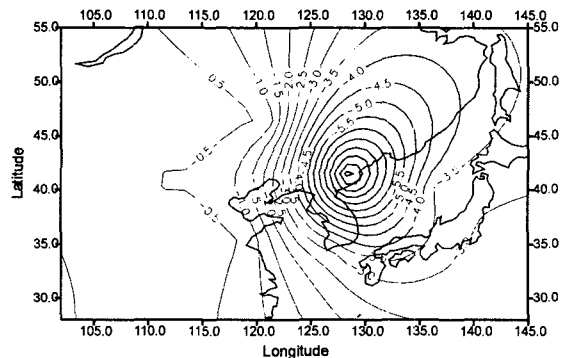


그림 8. 우리나라 주변의 최대 압축 변형률의 등고선도($10^{-8}/\text{yr}$)

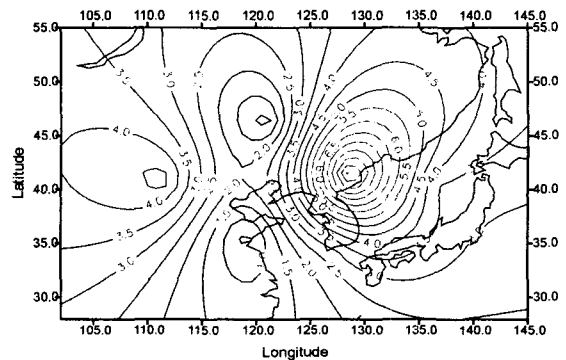


그림 9. 우리나라 주변의 최대 전단 변형률의 등고선도($10^{-8}/\text{yr}$)

표 3. 한반도 주변의 지각변동 매개변수

Block	E_1	E_2	A_{22}	γ_{\max}	Δ
①	.000000018	-.000000067	99.2332539274	.000000085	-.000000050
②	.000000051	-.000001055	92.5549688608	.000001105	-.000001004
③	.000000017	-.000000388	105.9760748538	.000000406	-.000000371
④	.000000496	-.000000065	100.5883277303	.000000561	.000000431
⑤	-.000000036	-.000000068	76.9331248957	.000000032	-.000000104
⑥	-.000000013	-.000000366	111.2063716736	.000000353	-.000000379

표 4. 국내 관측망의 지각 변동 매개변수

Block	E_1	E_2	A_{22}	γ_{max}	Δ
①	.000000658	-.000002770	67.57	.000003428	-.000002113
②	.000000044	-.000000823	65.76	.000000867	-.000000779
③	.000000413	-.000000151	58.02	.000000563	.000000262
④	.000000695	-.000000076	71.35	.000000771	.000000619
⑤	.000000730	-.000000342	83.54	.000001072	.000000389
⑥	.0000012968	-.000001534	53.26	.0000014502	.0000011434
⑦	.0000001821	.0000000135	62.99	.0000001686	.0000001956
⑧	.0000001208	-.0000010876	72.79	.0000012085	-.0000009668
⑨	.0000000261	-.0000000353	76.35	.0000000614	-.0000000092
⑩	.0000002360	-.0000037766	65.34	.0000040126	-.0000035406
⑪	.0000000185	-.0000001075	84.92	.0000001260	-.0000000890
⑫	.0000000410	-.0000001123	81.13	.0000001534	-.0000000713

결과로부터 우리나라 주변의 지각변동 매개변수에서 최대 전단변형률의 평균값은 $\gamma_{max} = 0.04 \mu/yr$ 로 나타났으며, 최대로 발생한 구역은 block ②에서 $0.09 \mu/yr$ 로 나타났으며, 최소로 발생한 지역은 block ⑤에서 $0.003 \mu/yr$ 로 나타났다.

그림 8에서와 같이 우리나라 주변 지역의 최대 압축응력변형률의 변화를 나타내는 것으로서 압축변형률이 최대로 발생하는 곳은 함경북도 지역으로 그 값은 $9.5 \times 10^{-8}/yr$ 로 발생했으며, 이 값은 발생지점을 중심으로 타원형 모양으로 줄어들다가 우리나라 서해안에 이르러서는 남북으로 일정한 값을 유지하다가 다시 변하는 것으로 나타났다.

그림 9에서와 같이 우리나라 주변 지역의 최대 전단변형률의 패턴을 나타내는 것으로 최대인 곳은 함경북도 지역으로 보간 결과에 의하면 $9 \times 10^{-8}/yr$ 로 발생했으며, 이 값은 발생지점을 중심으로 타원형 모양으로 줄어들면서 우리나라 서해안에 이르러서는 남북으로 일정한 값을 유지하다가 다시 북위 약 42° 를 기준으로 하여 대칭으로 변하고 있는 것으로 나타났다.

그림 10에서와 같이 우리나라 주변 지역에서 면적변화율의 경향을 나타낸 것이다. 이 그림에서 우리나라 함경북도 지역에서 최대 $-8 \mu/yr$ 로 나타났으며, 이 값은 그 부근에서만 타원형으로 줄어들다가 서해안 쪽으로 이동하면서 퍼져나가는 형태를 나타내고 있다.

4.2.2 국내의 지각변동 매개변수

우리나라의 지진활동과 밀접한 관련이 있는 지역의 변동 매개변수를 결정하기 위한 GPS 상시관측소에서 수신한 데이터를 이용하여 결정한 결과 각 block에서의 지각

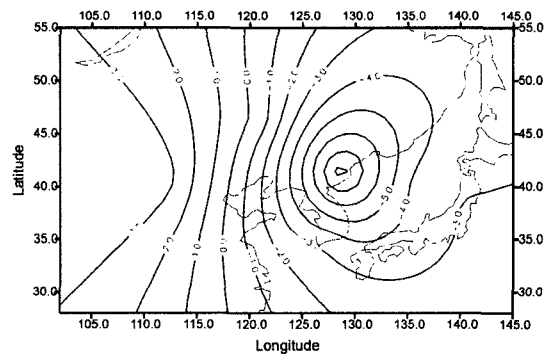


그림 10. 우리나라 주변의 면적 변화율의 동고선도($10^{-8}/yr$)

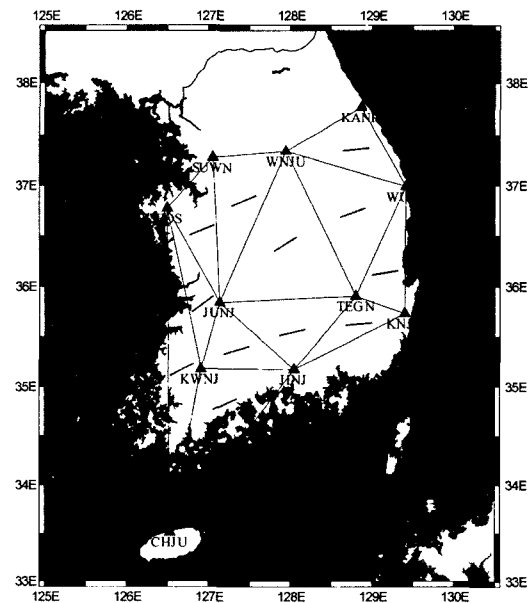


그림 11. 국내의 GPS 관측망의 주변형률 방향

변동 매개변수는 표 4와 같으며, 최대압축변형률(E_2)의 방위각을 나타낸 것이 그림 11이다. 표 4의 결과를 볼 때 block ⑥, ⑧, ⑩에서는 매개변수 값이 매우 과대하게 발생하였는데, 이는 광주의 GPS 상시관측점에서 일시적인 변동에 의한 결과로 판단되어 이 block들을 제외한 지각변동 매개변수들을 크리깅 보간법을 적용시켜 작성한 등고선 그림을 그림 12~14에 나타냈다.

표 4에서 알 수 있는 바와 같이 한반도내의 최대전단 변형률의 평균값은 $0.9 \mu\text{yr}$ 로 나타났는데, 전통 측지학적

방법²⁰⁾에 의한 측지기준점 데이터를 활용한 결과 보다 약 7배 가량 많이 나왔으며, 특이한 것은 Block ⑥, ⑧, ⑩에서 과대하게 나온 것이 주목할 만한 사실이다. 이 값들을 제외하고 나머지 지역의 값들을 이용하여 평균하면 $0.17 \mu\text{yr}$ 이 나왔으며, 최대 압축변형률(E_2)의 평균 방위각은 70.25° 를 얻었다. 여기서 최대 압축변형률(E_2)의 주축방향이 주로 ENE-WSW라는 것이다.

그림 12에서와 같이 남한지역의 최대 압축변형률의 패턴을 나타내고 있는 그림으로서 최대압축변형률이 최대인 곳은 서해안 지역에서 $-0.34 \mu\text{yr}$ 를 기록하고 있으며, 이 값은 최대인 지점을 시작으로 타원형태로 줄어들다가 ENE-WSW 방향과 거의 대칭의 형태를 이루면서 경상남도 지역에 이르러 다시 증가하는 경향을 나타내고 있다.

그림 13에서와 같이 남한지역의 최대전단변형률의 패턴을 나타내고 있는 그림으로서 최대전단변형률이 가장 크게 발생한 곳은 서해안 지역으로 $0.42 \mu\text{yr}$ 를 기록하고 있으며, 이 값은 남동쪽으로 이동하면서 점차 작아지다가 경상도 북부지역으로부터 다시 증가하는 경향을 나타내고 있다.

그림 14에서와 같이 남한지역의 면적변화율의 변화 패턴을 나타내는 것으로 면적변화율이 가장 크게 발생하는 곳은 서해안 지역에서 $-0.18/\text{yr}$ 를 보이고 있으며, 이 변화율의 특징으로는 경상도와 전라도의 경계지역에서 최소를 나타내고 있다. 변화패턴 역시 ENE-WSW의 방향

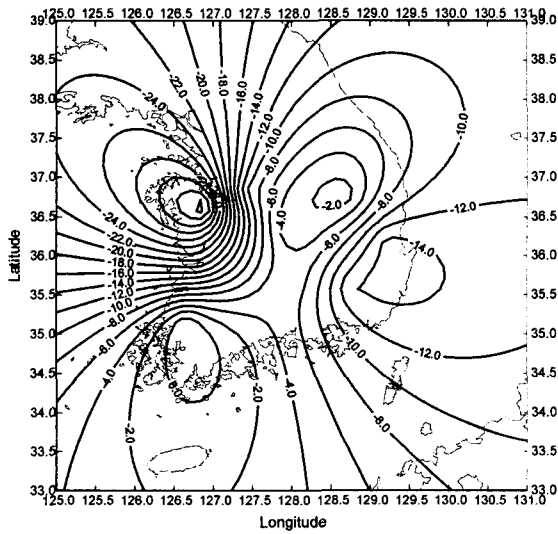


그림 12. 국내의 최대 압축변형률의 등고선도($10^{-8}/\text{yr}$)

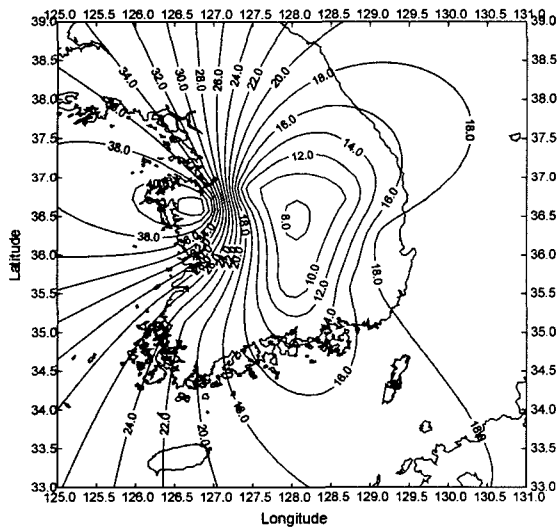


그림 13. 국내의 최대 전단변형률의 등고선도($10^{-8}/\text{yr}$)

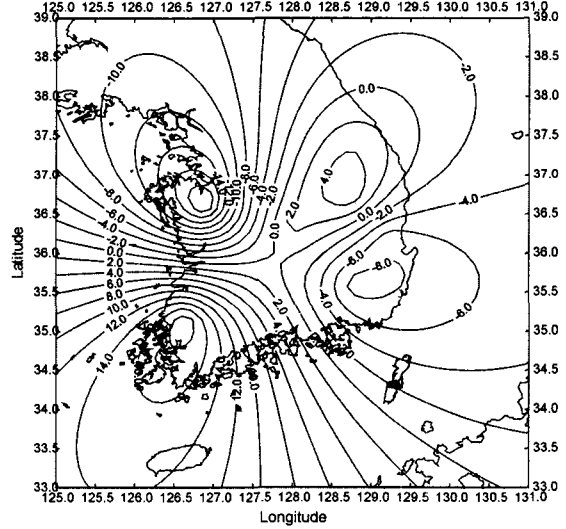


그림 14. 국내의 면적 변화율의 등고선도($10^{-8}/\text{yr}$)

과 교차하는 형태가 뚜렷하다.

5. 결 론

우리나라에 이웃하고 있는 나라 및 국내에 설치되어 있는 주요 GPS 상시관측점에서 수신한 데이터를 이용하여 지각변동 매개변수를 결정하기 위한 정밀도 확보 및 우리나라에서 발생한 지진 발생 현황과 관련하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 우리나라 및 주변국의 상시관측소 데이터를 이용한 기선 및 지심 좌표 변화량을 해석한 결과, 기선의 평균 변화량은 -15 mm/yr 로 줄어들고 있었으며, 년 간 변화율은 $7.4 \mu\text{yr}$ 의 값을 얻을 수 있었다. 지심 좌표의 평균 변화량은 동서방향으로 -10 mm , 남북방향으로는 -66 mm , 수직방향으로는 -21 mm 를 나타내고 있다.

2. 우리나라 주변의 주요 상시관측소 데이터를 이용한 지각변동 매개변수를 결정한 결과 평균 최대전단변형률 $\gamma_{\max} = 0.04 \mu\text{yr}$ 를 얻었으며, 최대압축 변화율(E_2)의 방위각은 97.75° 로서 그 방향이 WNW-ESE로 나타났다.

3. 국내에 설치된 GPS 상시관측소의 데이터를 활용한 결과 기선의 변화량은 -1.55 mm/yr 로 줄어들고 있었으며 변화율은 $0.011 \mu\text{yr}$ 에 해당한다. 최대압축변형률(E_2)의 평균 방위각은 70.25° 로서 ENE-WSW 방향을 보이고 있었으며, 최대전단변형률에서 과대하게 발생한 지역을 제외하고 평균한 결과 $0.17 \mu\text{yr}$ 를 얻게 되었다.

4. 본 연구결과에서 수행된 우리나라 주변국 및 국내의 지각변동 매개변수와 지진의 발생 빈도와 비교한 결과 응력축의 현저한 차이로 인해 같은 유라시아 판에 놓여 있는 우리나라 남부지역과 서 일본 지역 간에 또 다른 지각구조선이 존재함을 알 수 있었다.

이상과 같은 결론을 종합해 볼 때 GPS 상시관측점 데이터를 지진학 및 지구물리학적 분야와 연관시켜 활용하면 지각변동연구에 매우 유용할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 이용한 자료는 그 관측기간이 짧은 이유로 특정 지역에서 과대한 결과를 얻게 되었는데, 이는 추후 GPS에 의한 지속적인 관측 및 분석이 수행되어야 된다고 사료된다.

참고문헌

1. 기상청, "1978-2000 지진관측보고", 기상청, 2001.

2. 김소구, "지진연구", 청문각, 2001.
3. 대한지질학회, "한국의 지질", 시그마프레스, 1999.
4. 윤홍식, "지각변동 파라미터의 정밀계산을 위한 2차원 필터링 기법의 적용", 한국측량학회지, 제18권, 제1호, 2000, pp. 75-84.
5. 윤홍식, "최소자승 스펙트럼분석을 통한 GPS상시관측소의 안정성 평가", 한국측량학회지, 제18권, 제4호, 2000, pp. 379-385.
6. 윤홍식, 이영진, "한국측지좌표계와 지구 중심좌표계의 재정립에 관한 연구(I)", 건설교통부 국립지리원, 1996.
7. 이영진 외 5인, "한국측지좌표계와 지구 중심좌표계의 재정립에 관한 연구(II)", 건설교통부 국립지리원, 1998.
8. 이진덕 외 3인, "GPS 기선거리 변화에 따른 지각변형 요소 결정", 대한 토목학회 논문집, 제20권, 제1-D호, 2000, pp.107-114.
9. 立岩 巖 著 · 梁承榮 譯, "한반도지질학의 초기연구사", 경북대학교 출판부, 1996.
10. 최재화, 최윤수, "1,2등 국가삼각점의 실용성과 정밀산정", 한국측지학회지, 제13권, 제1호, 1995, pp. 1-12.
11. 한국자원연구소, "한반도와 그 주변의 Neo-Tectonic에 관한 연구", 과학기술처, Kr-93-(B)-14, 1993.
12. 한국자원연구소, "한반도 지각변형 연구", 과학기술부, 1999.
13. 한국자원연구소, "한반도 지각변형 연구", 한국자원연구소, KR-99(B)-01-01, 1999.
14. Alfred Kleusberg, Peter J. G. Teunissen(Eds), "GPS for Geodesy", Springer, 1996.
15. Alfred Leick, "GPS SATELLITE SURVEYING(2th)", John Wiley & Sons Inc., 1996.
16. Bomford, B. G., "Geodesy", Oxford; Clarendon Press; London, England, 1971.
17. Chadwell C. D., "Investigation of Stochastic Models to Improve the Global Positioning System Satellite Orbits", Dept. of Geodetic Science and Surveying. The Ohio State Univ., Report No. 429, 1995.
18. Choi, J. H., "Evaluation of the accuracy of the new Primary Precise Geodetic Network in Korean", Earth Planets Space, Vol. 50, 1998, pp. 629-634.
19. Choi, J. H., Sato. H., "Horizontal Crustal Strain and Seismic Activity in Korea", Journal of Geography, 108(1), 1999, pp. 31-44.
20. Choi, J. H., Sato. H., "Horizontal Strain of the Crust in Korea inherited from Geodetic Data", Journal of the Geodetic Society of Japan, Vol. 43, No. 3, 1997, pp. 159-180.
21. Fujill, Y., "Estimation of Crustal Deformation Parameters in GPS Network with the Aid of Four-Dimensional Integrated Adjustment", Journal of the Geodetic Society of Japan, Vol. 39, No. 4, 1993, pp. 341-352.

22. Grewal, M., Weill, R., Andrews, P., "Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration", A John Willey & Sons Inc., 2001.
23. Jeager, J. C., "Elasticity, Fracture and Flow", Methuen, London, 1964.
24. Jun, M. S., "Tectonic implication of shallow earthquakes in and around the Korean peninsula", Ph. D. Thesis, Uppsala University, Sweden, 1990.
25. Kenneth, H., "GIPSY-OASIS II : A High Precision GPS data Processing System and General Satellite Orbit Analysis Tool", JPL, 1991.
26. Lee, Jun Hee, "Statistical analysis of the seismicity of the Korean peninsula", Phd. D. Thesis, Seoul National Univ. 1998.(in English)
27. Stephen, M. L., Y. B. Sever, W. I. Bertiger, M. Heflin, K. Hurst, R. J. Muellerschen, S. C. Wu, T. Yunk, J. Zumberge, "GIPSY-OASIS II : A High Precision GPS Data Processing System and General Satellite Orbit Analysis Tool", 1996.

(2001년 8월 27일 원고접수)