

# IGS 자료에 의한 한반도 주변의 지각변동 특성 해석 Characteristic Analysis of Crustal Movement around Korean Peninsula By IGS Data

박준규<sup>1)</sup> · 강준목<sup>2)</sup>

Park, Joon Kyu · Kang, Joon Mook

## Abstract

In this study, IGS(International GNSS Service) stations were processed by the method of PPP(Precise Point Positioning), and velocities of crustal movements about the region of the Korean Peninsula were calculated precisely. The characteristics of crustal movements around Korean Peninsula were understood by velocity calculation of crustal movements. We confirmed from the result which calculated by crustal movement velocity shows the movement Eurasia and North America plate move to south-east, and Philippine plate moves to north-west. This result is respected to be utilized as a basic data about analysis of earthquake and earth physics.

Keywords : GPS, Crustal Movement, IGS, Permanent GPS Station

## 초 록

최근 한반도 주변의 지진발생이 증가하고 있는 추세이며, 이에 따라 최신의 자료에 의한 지각변동 해석이 필요한 시점이다. 본 연구에서는 IGS(International GNSS Service) 상시관측소의 GPS 자료를 이용하여 한반도 주변에서 일어나고 있는 지각변동의 절대속도를 정밀하게 산출하였으며, 지각변동 모델과의 비교 및 기간별 지각변동 분석을 통해 지각변동 특성을 파악하고자 하였다. 산출된 지각변동속도로부터 유라시아 및 북아메리카 판은 남동쪽 방향, 필리핀 판은 북서쪽 방향으로 이동하고 있음을 알 수 있었다. 또한 한반도를 기준으로 한 상대속도 산출을 통해 북아메리카 판과 필리핀 판이 우리나라 방향으로 이동하고 있음을 파악하였다. 이러한 연구결과는 향후 동아시아 지역의 지진 및 지구물리 연구에 널리 활용될 것으로 기대된다.

핵심어 : GPS, 지각변동, IGS, 상시관측소

## 1. 서론

과거 지각변동에 관한 연구는 지질학 및 지체구조학적인 측면에서 접근하여 왔지만 오늘날에는 기술의 발달로 VLBI(Very Long Baseline Interferometry), SLR(Satellite Laser Ranging System), GPS(Global Positioning System)와 같은 우주측지기술을 지각변동 연구에 이용하게 됨으로써 지각변동에 대한 측지학적인 접근이 이루어지고 있다. 특히, GPS는 VLBI나 SLR보다 상대적으로 낮은 구축비용과 조밀한 망을 구성할 수 있다는 장점 및 높은 정밀도로 인해 전 세계적으로 지각변동 분야의 연구에 많이 이용되

고 있다.

지구표층인 리소스피어는 수십 km 혹은 그 이상의 두께를 지니고 있으며 판을 구별하는 기준이 된다. 전 세계적으로 유라시아 판, 태평양 판, 북아메리카 판, 필리핀 판, 남아메리카 판, 아프리카 판, 호주 판, 남극 판 등 10여 개의 판으로 나누어진다. 각각의 판들은 매년 수 cm 정도의 속도로 절대·상대움직임을 보이며 이런 지각변동은 판들이 접하는 부근에서 대규모 지진 발생의 원인이 된다(Komaki, 1993). 이러한 지진의 피해를 줄이기 위해 대륙간의 연속 관측과 판 경계에서의 주기적인 관측을 통한 기선변화량을 분석함으로써 지진을 예측하고자 한 연구가 있었으며,

1) 정회원 · 충남대학교 건설방재연구소 연구원(E-mail:survey@empal.com)

2) 교신저자 · 정회원 · 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:jmkang@cnu.ac.kr)

관측점들의 기선거리 변화율로부터 지각변동 요소들을 결정하여 지각변동을 감지한 연구도 이루어졌다 (Dermanis and Grafarend, 1993). 한편, GPS를 이용한 고정밀 측위기술은 세계기준좌표계의 설정, 지구자전축의 회전계수 결정 등과 같은 우주측지 분야에서 차지하는 역할과 비중이 점점 증가하는 추세이며, 특히 지각운동의 검출 및 지각변동 감시 등과 같은 지구과학 분야에서도 최상의 결과를 얻기 위해 필수 정보로 인식되고 있는 상황이다.

최근 각종 지구물리자료와 GPS를 통한 지각의 변형에 대한 정보들이 축적되면서, 지각의 움직임을 결정하는 응력의 분포와 지반운동의 특성을 설명하려는 연구들이 다수 발표되고 있다(신영홍 외, 2006; Hamdy et al., 2005; Jin et al. 2006).

현재 전 세계 360여 개의 GPS 상시관측소가 참여하고 있는 IGS(International GNSS Service)는 1994년에 국제기구로 설립되어 그 동안 지각변동을 측정하는데 많은 기여를 해 왔다. 그림 1은 전 세계 IGS 상시관측소의 위치를 나타낸다.

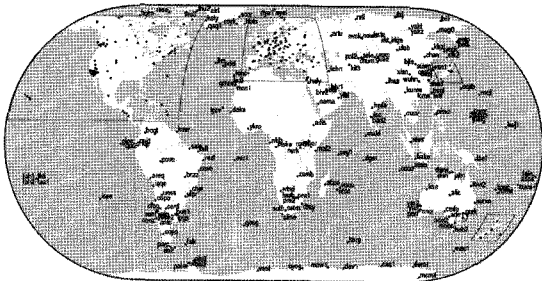


그림 1. IGS 상시관측소

하지만 대부분의 IGS 상시관측소가 주로 유럽과 북아메리카 지역에 치우쳐 있으며, 한반도 주변지역에는 10여 개의 상시관측소가 활동 중에 있다. 기존 연구에서 한반도 주변의 지각변동에 대해 한반도를 기준으로 한 상대적인 지각변동의 분석이 수행되었으나(박필호, 2001), 정밀절대측위를 이용한 한반도 주변의 절대적인 지각변동에 대한 연구는 이루어지지 않았다. GPS를 이용한 지각변동 연구에서 한반도 주변이 다른 지역에 비해 연구가 미흡하였으며, 최근 한반도 주변의 지진 발생이 증가하고 있어 최신의 자료에 의한 지각변동 해석이 필요한 시점이다.

이에 본 연구에서는 IGS 상시관측소의 GPS 자료를 이용하여 한반도 주변 지역에서 일어나고 있는 지각변동의 절대 및 상대속도를 정밀하게 산출하고, 기간별 지각변동

속도 산출을 통해 지각변동 특성을 파악하고자 하였다. 그림 2는 본 연구의 연구 흐름도이다.

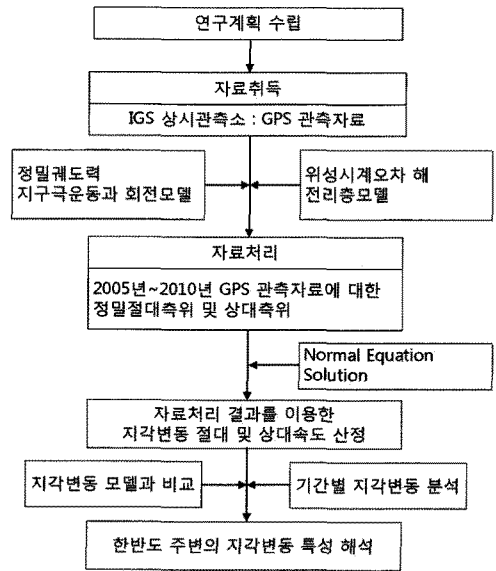


그림 2. 연구 흐름도

## 2. 자료취득 및 처리

### 2.1 연구대상지

본 연구에서는 GPS 자료의 정밀위치해석을 통해 한반도 주변 지각판에 대한 정밀한 지각변동량을 산출하고, 지각변동 특성을 파악하고자 하였다. 그림 3은 전 세계 지각판으로 한반도 주변 동아시아 지역은 유라시아 판, 북아메리카 판 및 필리핀 판 및 태평양 판이 만나고 있다.

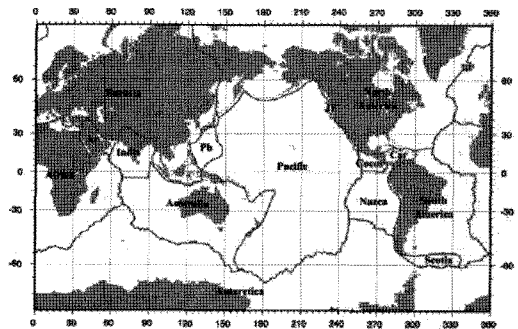


그림 3. 지각판

본 연구에서는 한반도 주변의 지각판을 고려하여 IGS의

상시관측소 중 10개 상시관측소를 선정하고 GPS 자료를 취득하였다. 그림 4에 연구대상지와 IGS 상시관측소의 위치를 표시하였다.

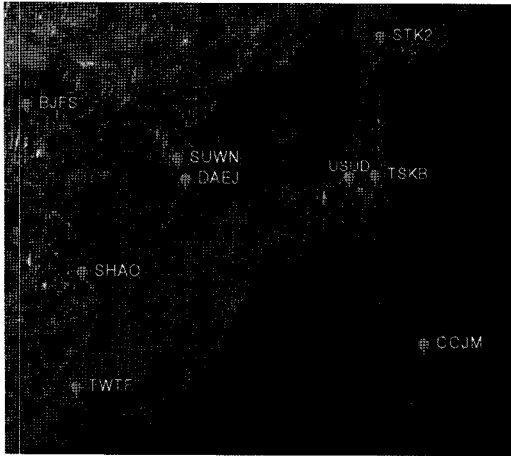


그림 4. 연구대상지 및 IGS 상시관측소 위치

## 2.2 자료취득

한반도 주변의 지각변동 연구를 위해 IGS 상시관측소 중 10개 상시관측소에 대한 2005년 1월~2010년 8월에 해당하는 GPS 자료를 취득하였으며, 표 1에 연구에 사용된 GPS 자료를 정리하였다.

표 1. GPS 자료

관측기간		2005. 01. 21 ~ 2010. 08. 15 (15일 간격)
지각판	유라시아	BJFS, DAEJ, PIMO, SHAO, SUWN, TWTF, USUD
		북아메리카
	필리핀	CCJM
	관측자료 포맷	30초 간격의 RINEX 포맷

한편, GPS 자료의 처리를 위해 NASA JPL(Jet Propulsion Laboratory), AIUB(Astronomical Institut Universität Bern) 및 IGS에서 제공하는 위성시계에 관한 계수, 정밀궤도력과 지구회전과 극운동 모델, 대류권 모델 및 전리층 모델을 취득하였다.

## 2.3 자료처리

본 연구에서는 GPS를 이용한 지각변동 산출을 위해 정밀과학기술용 자료처리 소프트웨어를 사용하였다. 정밀

과학기술용 GPS 자료처리 소프트웨어에는 스위스 베른 대학에서 개발한 Bernese, 미국 MIT(Massachusetts Institute of Technology)에서 개발한 GAMIT, 그리고 미국 JPL(Jet Propulsion Laboratory)에서 개발한 GIPSY-OASIS II 등이 있으며, 본 연구에서는 Bernese BPE(Bernese Processing Engine)를 사용하였다.

GPS 자료처리 시 지구의 물리적 운동으로 인하여 발생하는 편차들은 적절한 모델을 이용해서 제거해야 한다. NASA JPL, AIUB 및 IGS를 통해 제공되는 정밀궤도력과 각종 모델들을 사용함으로써 이러한 보정 요소들을 소거하였다. 표 2에 GPS 자료처리 내용을 정리하였다.

표 2. GPS 자료처리

구분	내용
자료처리 방법	정밀절대측위, 상대측위
관측자료	L1, L2 CODE and Phase
위성궤도력	정밀궤도력
미지정수	Quasi Ionosphere Free
대류권보정	Dry and Wet Niell Model
지구중력	JGM3
지구자전	IERS2000
자전축이동	IAU2000
안테나모델	Absolute Model
행성위치	JPL DE200

본 연구에서는 각각의 관측일 별로 처리된 결과를 ADDNEQ2 모듈로 조합하여 지각변동속도를 계산하였다. ADDNEQ2는 각 관측일별 처리결과로 생성된 정규방정식(Normal Equation)들의 통계학적인 조합으로부터 일정 기간에 대한 이동 속도를 추정할 수 있다. 일정기간 이상의 정규방정식이 있다면 이들의 조합으로부터 지각변동속도를 계산할 수 있다(Dach et al., 2007).

## 3. 지각변동 분석

### 3.1 자료처리 결과

본 연구에서는 2005년 1월~2010년 8월의 GPS 자료를 정밀절대측위 및 상대측위로 처리하였다. 그림 5~그림 10은 정밀절대측위 결과의 일부로 각각 유라시아 판의 SUWN, 북아메리카 판의 STK2 및 필리핀 판의 CCJM에 대한 경도 및 위도 방향 정밀절대측위 결과의 변화를 나타낸다. 그래프는 지각변동의 모니터링을 위해 2005년 1월 1일을 기준으로 조정된 결과이다.

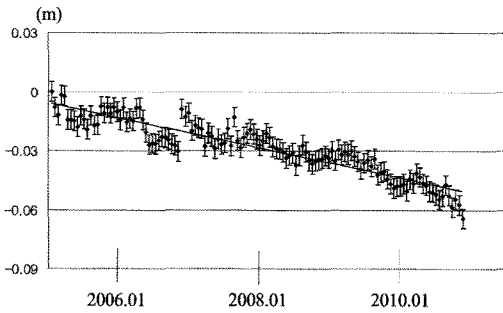


그림 5. SUWN 위도방향 변화

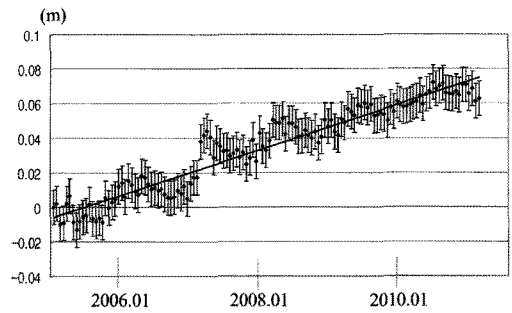


그림 9. CCJM 위도방향 변화

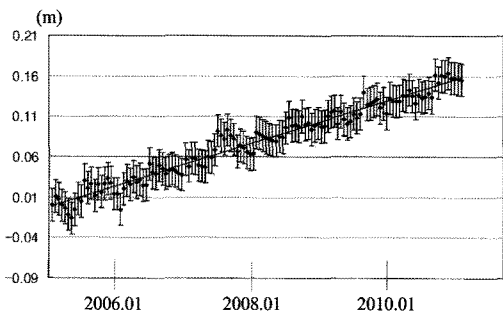


그림 6. SUWN 경도방향 변화

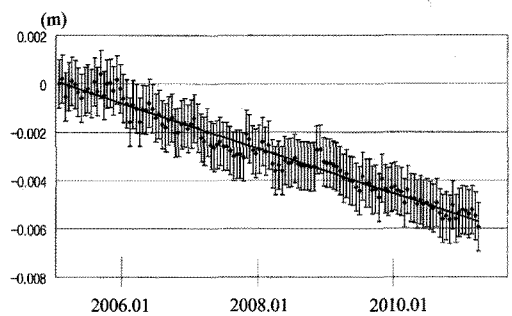


그림 10. CCJM 경도방향 변화

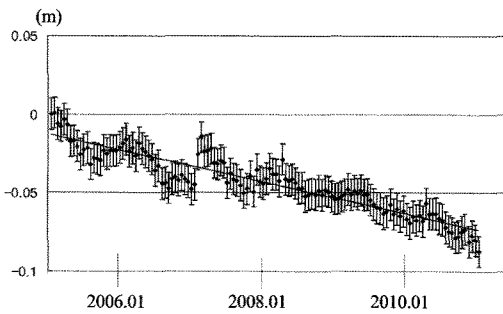


그림 7. STK2 위도방향 변화

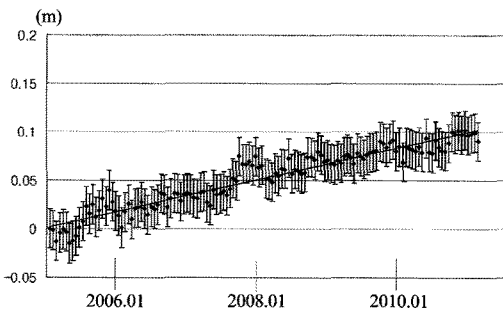


그림 8. STK2 경도방향 변화

표 3은 10개 상시관측소의 정밀절대측위 처리결과로부터 산출된 지각변동속도이며, 그림 11은 각 상시관측소 별 지각변동속도의 그래프이다.

표 3. 정밀절대측위에 의한 지각변동속도

관측소명	지각변동속도(mm/year)			방위각	지각판
	위도방향 (RMSE)	경도방향 (RMSE)	크기		
BJFS	-5.8 (±0.3)	+32.1 (±0.5)	32.6	100.2°	유라시아
DAEJ	-7.9 (±0.03)	+28.7 (±0.5)	29.8	105.4°	유라시아
PIMO	-12.0 (±0.3)	+27.5 (±0.7)	30.0	113.6°	유라시아
SHAO	-9.7 (±0.4)	+34.2 (±0.7)	35.6	105.8°	유라시아
SUWN	-7.8 (±0.3)	+28.2 (±0.5)	29.3	105.5°	유라시아
TWTF	-6.6 (±0.2)	+33.4 (±0.5)	34.1	101.2°	유라시아
USUD	-13.7 (±0.3)	+13.4 (±0.5)	19.2	135.6°	유라시아
STK2	-10.6 (±0.3)	+16.1 (±0.4)	19.3	123.4°	북아메리카
TSKB	-13.6 (±0.3)	+11.5 (±0.4)	17.8	139.8°	북아메리카
CCJM	+14.2 (±0.2)	-27.8 (±0.5)	31.2	297.1°	필리핀

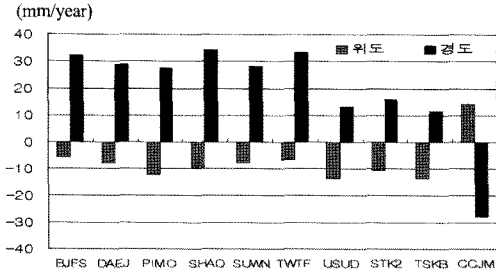


그림 11. 각 상시관측소 별 지각변동속도

그림 11에 보는 바와 같이, 유라시아 판과 북아메리카 판에 속하는 BJFS, DAEJ, PIMO, SHAO, SUWN, TWTF, USUD, STK2 및 TSKB가 남동쪽 방향으로 이동하고 있으며, 필리핀 판의 CCJM이 북서쪽 방향으로 이동하고 있다.

### 3.2 정밀절대측위에 의한 지각변동 분석

정밀절대측위 결과를 통해 각 상시관측소의 지각변동 방향과 지각변동 속도를 산출하였다. 표 3에서 보는 것과 같이 유라시아 판에 위치한 BJFS, DAEJ, PIMO, SHAO, SUWN, TWTF가 방위각 100.2~113.6°의 방향과 29.3~35.6mm/year 속도로 남동쪽으로 이동하고 있다.

유라시아 판과 북아메리카 판의 경계에 위치한 USUD는 방위각 135.6°, 지각변동속도 19.2mm/year로 인접한 북아메리카 판에 위치한 STK2, TSKB와 비슷한 지각변동 방향과 속도를 보였다. 이는 유라시아 판과 북아메리카 판의 경계부분에 위치한 USUD가 유라시아 판보다 북아메리카 판의 영향을 더 받고 있기 때문인 것으로 판단된다.

한반도에 속한 DAEJ와 SUWN의 지각변동은 같은 유라시아 판에 속한 BJFS, SHAO, TWTF 및 PIMO와 비슷한 양상으로 지각판의 경계에 위치한 USUD와 달리 주변 지각판의 영향을 받지 않는 움직임을 보였다. 이는 그림 12에서

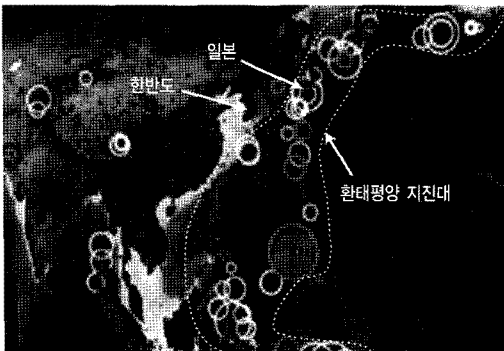


그림 12. 지진 발생 지역

보는 것처럼 한반도가 지진활동이 매우 활발한 환태평양 지진대에 가깝게 위치하고 있지만, 지각판의 경계 부분에 위치한 일본과는 다르게 직접적인 지진대의 영향을 받지 않는 것을 나타내는 결과라 사료된다.

북아메리카 판에 위치한 STK2와 TSKB는 방위각 123.4~139.8°, 지각변동속도 17.8~19.3mm/year, 필리핀 판에 위치한 CCJM의 경우 방위각 297.0°, 지각변동속도는 31.2mm/year로 산출되었다. 그림 13에 연구대상지의 지각변동 벡터를 도시하였다.

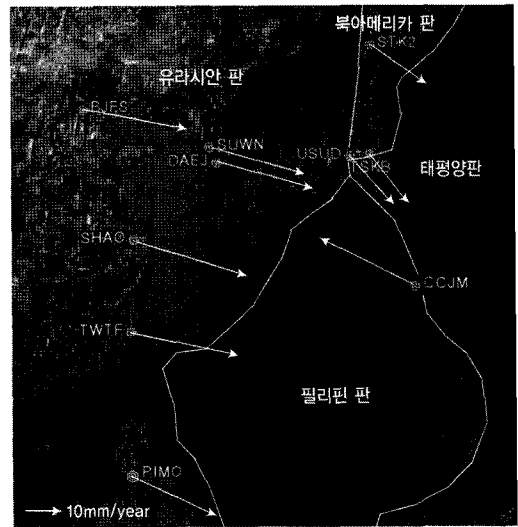


그림 13. 지각변동 벡터

### 3.3 상대측위에 의한 지각변동 분석

본 연구에서는 한반도를 기준으로 한 지각변동 분석을 위해 수원(SUWN)을 기준점으로 상대측위를 수행하였으며, 결과를 통해 각 상시관측소의 상대속도를 산출하였다. 표 4는 수원을 기준으로 한 지각변동 상대속도이며, 그림 14는 수원을 기준으로 한 지각변동 벡터이다.

그림 14에 보는 바와 같이 BJFS, SHAO, TWTF, PIMO 및 DAEJ의 상대속도는 STK2, TSKB, CCJM에 비해 크기가 미소하다. 이는 한반도와 중국, 대만이 지각변동 양상이 비슷하며, 같은 지각판에 속한다는 것을 시사하는 결과이다.

한편, 유라시아 판의 경계에 위치한 USUD, 북아메리카 판에 위치한 STK2, TSKB와 필리핀 판에 위치한 CCJM의 지각변동은 크기와 방향에서 유라시아 판과 상당히 다른 양상으로 한반도를 향해 접근하는 움직임을 보이고 있다. 이러한 결과는 이 지점들이 태평양 판, 북아메리카 판, 유라시아 판, 필리핀 판의 경계부분에 위치하여 각 지각판들

표 4. 수원을 기준으로 한 지각변동 상대속도

관측소명	지각변동속도(mm/year)			방위각	지각판
	위도방향 (RMSE)	경도방향 (RMSE)	크기		
BJFS	-2.2 (±0.1)	+2.8 (±0.2)	3.6	128.2°	유라시아
DAEJ	-1.0 (±0.1)	+0.3 (±0.2)	1.0	163.3°	유라시아
PIMO	-2.0 (±0.1)	+2.6 (±0.2)	3.2	127.6°	유라시아
SHAO	-0.5 (±0.1)	+3.9 (±0.2)	3.9	97.3°	유라시아
TWTF	+2.1 (±0.1)	+3.1 (±0.1)	3.7	55.9°	유라시아
USUD	+10.6 (±0.1)	-22.9 (±0.2)	25.2	294.8°	유라시아
STK2	+1.3 (±0.2)	-9.8 (±0.2)	9.8	277.6°	북아메리카
TSKB	+9.9 (±0.1)	-22.6 (±0.2)	24.7	293.7°	북아메리카
CCJM	+22.2 (±0.1)	-46.4 (±0.2)	51.4	295.6°	필리핀

의 상호작용을 받기 때문인 것으로 판단되며, 연구를 통해 한반도와 일본이 연간 약 2.5cm씩 가까워지고 있음을 제시할 수 있었다.

### 3.4 지각변동 모델과의 비교

본 연구에서는 한반도 및 주변 10개 상시관측소에 대해 지각변동 모델들을 이용해 지각변동량을 산출하고, 그 결과를 본 연구에서 결정된 정밀절대측위 결과와 비교함으로써 한반도 및 주변지역의 지각변동에 잘 부합되는 모델을 평가하였다.

여러 지각운동 모델들 중 GSRM v1.2(Kreemer, 2003), CGPS 2004(Prawirodirdjo et al, 2004), REVEL 2000(Sella et al, 2002), ITRF2000 AS&B(Altamini et al, 2002), APKIM2000.0(Drewes, H. and Angermann, 2001), NUVEL 1A(DeMets et al, 1994)의 6개의 지각운동 모델들을 이용하였으며, 지각운동 모델들의 지각변동량은 UNAVCO (University NAVSTAR Consortium)에서 제공되는 웹 계산 모듈을 통해 산출하였다. 표 5는 본 연구에 사용된 지각변동 모델을 정리한 것이며, 표 6에 각 모델별 지각변동량을 나타내었다.

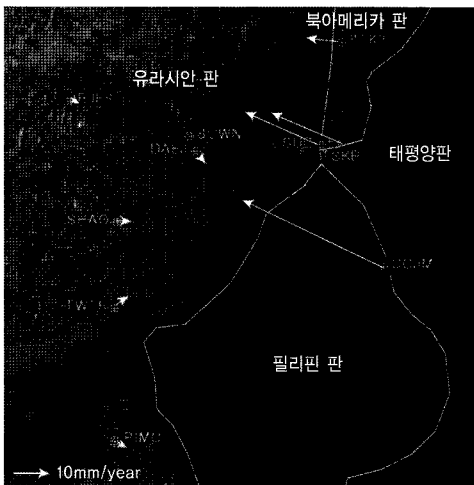


그림 14. 수원을 기준으로 한 지각변동 벡터

표 5. 지각변동 모델

모델명	이용 데이터	발표년도
GSRM v1.2	GPS	2003
CGPS 2004	GPS	2004
REVEL 2000	GPS	2000
ITRF2000 AS&B	SLR, VLBI, GPS	2002
APKIM2000.0	SLR, VLBI, GPS	2001
NUVEL 1A	NUVEL 1 모델	1994

표 6. 지각변동 모델에 의한 지각변동량

관측소명	Velocity(mm/year) GSRM v1.2			Velocity(mm/year) GPS 2004			Velocity(mm/year) REVEL 2000			Velocity(mm/year) ITRF2000 AS&B			Velocity(mm/year) APKIM2000.0			Velocity(mm/year) NUVEL 1A		
	lat(N)	lon(E)	mag	lat(N)	lon(E)	mag	lat(N)	lon(E)	mag	lat(N)	lon(E)	mag	lat(N)	lon(E)	mag	lat(N)	lon(E)	mag
BJFS	-10.35	27.8	29.66	-9.1	26.85	28.35	-9.29	26.32	27.91	-8.85	26.88	108.23	-8.32	26.96	28.21	-12.28	22.50	25.63
DAEJ	-12.94	26.64	29.62	-11.45	25.91	28.33	-11.46	25.41	27.87	-11.17	25.98	113.26	-10.71	26.11	28.22	-14.23	21.13	25.47
PIMO	-11.59	26.96	29.35	-10.22	26.53	28.43	-10.33	26.34	28.29	-9.96	26.68	110.47	-9.46	26.63	28.26	-13.24	21.94	25.63
SHAO	-11.61	27.67	30.01	-10.24	26.94	28.82	-10.35	26.51	28.46	-9.98	27.02	110.27	-9.48	27.08	28.69	-13.25	22.28	25.92
SUWN	-12.88	26.6	29.55	-11.39	25.86	28.25	-11.4	25.34	27.79	-11.11	25.92	113.2	-10.65	26.05	28.14	-14.18	21.09	25.41
TWTF	-11.61	27.67	30.01	-10.24	27.05	28.92	-10.34	26.7	28.64	-9.97	27.15	110.17	-9.47	27.17	28.77	-13.25	22.37	26.00
USUD	-14.94	25.09	29.20	-13.27	24.54	27.9	-13.11	24.05	27.39	-12.97	24.65	117.75	-12.59	24.82	27.83	-15.56	19.47	24.92
STK2	-15.45	23.33	27.98	-13.74	22.79	26.61	-13.53	22.22	26.01	-13.43	22.88	120.42	-13.09	23.13	26.58	-15.85	17.70	23.76
TSKB	-15.2	24.82	29.10	-13.52	24.31	27.81	-13.33	23.82	27.29	-13.21	24.42	118.41	-12.85	24.6	27.75	-15.71	19.20	24.81
CCJM	14.31	-37.55	40.18	-	-	-	8.98	-34.19	35.35	-	-	-	-	-	-	3.38	-19.25	19.54

그림 15와 그림 16은 지각운동 모델별 위도와 경도방향의 지각변동속도이다. 그래프의 가로축에는 각 상시관측소를 표시하였으며, 세로축에는 지각변동 속도를 나타내었다.

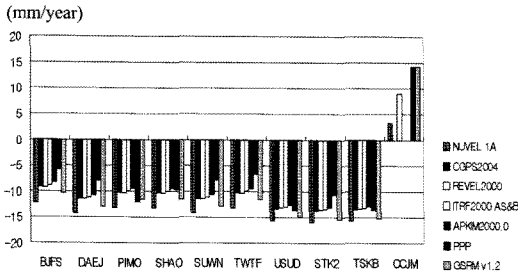


그림 15. 위도방향 지각변동속도 비교

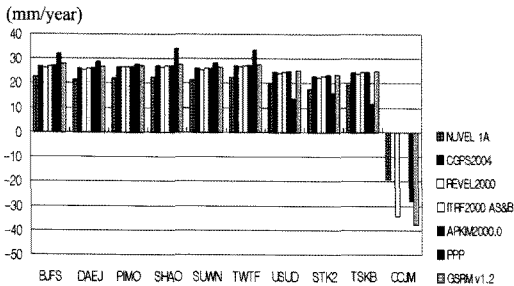


그림 16. 경도방향 지각변동속도 비교

그림 15와 그림 16에 보는 바와 같이 정밀절대측위 결과와 6개 모델의 결과에서 10개 상시관측소의 이동 방향이 모두 일치하며, 유라시아 및 북아메리카 판에 위치한 상시관측소들은 동남쪽 방향, 필리핀 판에 위치한 CCJM은 북서쪽 방향으로 이동하고 있다.

한반도 및 주변지역의 지각변동에 잘 부합되는 모델을 평가하기 위해 정밀절대측위를 통해 산출된 10개 상시관측소의 지각변동속도를 지각변동 모델들의 결과와 비교하였다. 표 7에 정밀절대측위 결과와 각 모델 결과의 RMSE를 나타내었다.

표 7. 정밀절대측위 결과와 각 모델결과의 RMSE

모델명	lat (mm/year)	lon (mm/year)	mag (mm/year)
GSRM v1.2	±2.25	±7.90	±6.44
CGPS 2004	±2.13	±7.61	±6.54
REVEL 2000	±2.32	±7.45	±6.02
ITRF2000 AS&B	±2.13	±7.63	±6.32
APKIM2000.0	±2.12	±7.69	±6.38
NUVEL 1A	±2.92	±8.05	±6.64

각 모델의 위도방향 RMSE는  $\pm 2.12 \sim \pm 2.92 \text{mm/year}$ 이며, 경도방향의 RMSE는  $\pm 7.45 \sim \pm 8.05 \text{mm/year}$ 로 산출되었다. 이러한 차이는 표 5에 나타난 것과 같이 각 모델들의 발표년도와 이용 데이터의 종류가 상이하기 때문으로 판단된다.

각 상시관측소의 지각변동속도 차이에 대한 RMSE는  $\pm 6.02 \sim \pm 6.64 \text{mm/year}$ 로 REVEL2000 모델이 정밀절대측위 결과와 가장 작은 차이를 나타내었다. 향후, 동아시아 지역에서의 GPS를 이용한 지각변동 연구의 경우, REVEL 2000 모델을 활용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

### 3.5 기간별 지각변동 분석

본 연구에서는 연구기간 전체에 대한 지각변동 분석과 함께 특정 기간의 지각변동에서 특이한 양상이 나타나는지를 파악하기 위해 연구기간을 2005~2006년, 2007~2008년, 2009~2010년으로 구분하여 기간별 지각변동속도를 분석하였다. 그림 17과 그림 18은 각 기간별 위도 및 경도 방향 지각변동속도이다.

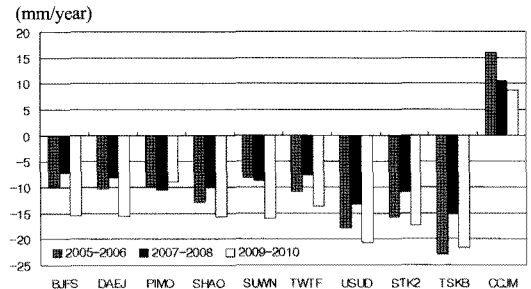


그림 17. 위도방향 지각변동속도 변화

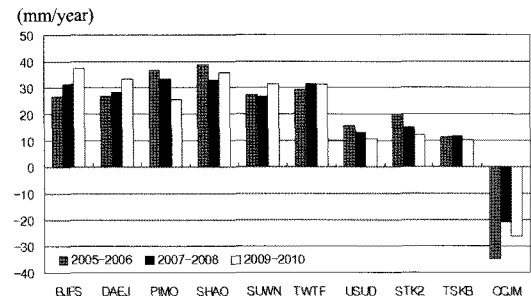


그림 18. 경도방향 지각변동속도 변화

각 기간별 지각변동 산출결과에서 특징적인 차이를 나타내는 기간은 없었지만 유라시아 판과 북아메리카 판의 위도방향 지각변동속도가 2006~2008년보다 2009~2010년

의 결과에서 다소 커지고 있는 것으로 분석되었다. 향후, 2006~2010년에 대한 추가적인 GPS 자료처리가 이루어진다면 더욱 정밀한 기간별 지각변동 분석이 가능할 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 IGS 상시관측소를 통해 취득한 GPS 자료를 이용하여 한반도 주변의 정밀한 지각변동속도 및 한반도를 기준으로 한 상대속도를 산출하고, 기간별 지각변동 분석을 통해 지각변동 특성을 파악하고자 하였다. 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2005년 1월~2010년 8월에 이르는 68개월간의 한반도 주변 IGS 자료를 정밀절대측위로 처리하여 각 상시관측소 별 지각변동속도를 결정하였으며, 산출된 지각변동속도로부터 유라시아 및 북아메리카 판이 남동쪽 방향, 필리핀 판이 북서쪽 방향으로 이동하고 있음을 파악하였다.
2. 수원을 기준으로 한 지각변동 분석을 통해 유라시아 판에 속한 한반도, 중국, 대만의 지각변동 양상이 비슷하며, 북아메리카 판과 필리핀 판에 위치한 상시관측소들이 한반도를 향해 접근하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 이 지점들이 태평양 판, 북아메리카 판, 유라시아 판, 필리핀 판의 경계부분에 위치하여 각 지각판들의 상호작용을 받기 때문인 것으로 판단되며, 연구를 통해 일본이 연간 약 2.5cm의 속도로 한반도와 가까워지고 있음을 제시할 수 있었다.
3. 정밀절대측위 결과와 지각변동 모델 적용결과의 비교를 통해, 동아시아지역에서의 GPS를 이용한 지각변동 연구의 경우, REVEL 2000 모델이 상대적으로 적합한 모델임을 제시할 수 있었다.
4. 기간별 지각변동속도 산출을 통해 유라시아 판 및 북아메리카 판의 위도방향 지각변동속도가 2006~2008년에 비해 2009~2010년에 다소 커지고 있는 것으로 분석되었다. 향후, 2006~2010년에 대한 추가적인 GPS 자료처리가 이루어진다면 더욱 정밀한 기간별 지각변동 분석이 가능할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 연구는 2009년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

#### 참고문헌

박필호 (2001), GPS를 이용한 한반도 및 동아시아의 지각속도 측정과 해석, 석사학위논문, 연세대학교.

신영홍, 박종욱, 박필호 (2006), 한반도 남부 모호면의 변형 구조, *Journal of Korean Earth Science Society*, Vol.27, No.6, pp. 620-642.

Altamimi, Z., Sillard, P., and Boucher, C. (2002), ITRF2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *JGR*, Vol.107, No.B10.

Becker, M., Reinhart, E., Nordin, S.B., Angermann, D., Michel, G. and Reigber, C. (2000), Improving the velocity field in South and South-East Asia: The third round of GEODYSSSEA, *Earth Planets Space*, Vol.52, pp. 721-726.

Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P. and Meindl, M. (2007), Bernese GPS Software Version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern, pp. 183-195.

DeMets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F. and Stein, S. (1994), Effects of recent revision to the geomagnetic reversal timescale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.21, No.20, pp. 2191-2194.

Dermanis, A. and Grafarend, E.W. (1993), The Finite Element Approach to the Geodetic Computation of Two- and Three-dimensional Deformation Parameters: A Study of Frame Invariance and Parameter Estimability, *Proceedings of the International Conference on CARTOGRAPHY-GEODESY 5th Centenary of the Americas*, pp. 2-13.

Drewes, H. and Angermann, D. (2001), The Actual Plate Kinematic and Crustal Deformation Medel 2000 (APKIM2000) as a Geodetic Reference System, AIG 2001 *Scientific Assembly*, pp. 2-8.

Hamdy, A.M., Park, P.H. and Lim, H.C. (2005), Horizontal Deformation in South Korea from Permanent GPS Network Data, 2000-2003, *Earth Planets Space*, Vol.57, pp. 77-82.



- Jin, S., Li, Z.C. and Park, P.H. (2006), Seismicity and GPS constraints on crustal deformation in the southern part of the Korean Peninsula, *Geosciences Journal*, Vol.10, No.4, pp. 491-497.
- Komaki, K. (1993), Horizontal crustal movements revealed by geodetic measurements : Applications of a new method for estimating displacement vectors, *J. Geod. Soc. Japan*, Vol.39, pp. 387-410.
- Kreemer, C., Holt, W. E., and Haines, A. J. (2003), An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation, *Geophys. J. Int.*, Vol.154, pp. 8-34.
- Prawirodirdjo, L. and Bock, Y., (2004), Instantaneous global plate motion model from 12 years of continuous GPS observations, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, Vol.109, No.B08405.
- Sella, G. F., Dixon, T. H. and Mao, A., (2002), REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy, *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, Vol.107, No.B4.

---

(접수일 2010. 12. 17, 심사일 2010. 12. 24, 심사완료일 2010. 12. 25)