

## GPS 상시관측소의 절대좌표 산정에 관한 연구 Determination of Absolute Coordinates of Permanent GPS Site

윤홍식\* · 황진상\*\*

Yun, Hong Sic · Hwang, Jin Sang

### 요 旨

본 연구는 GPS 상시관측소의 기준좌표계별 절대좌표 산정을 위한 적합한 방안의 결정을 위해 수행되었으며, 성균관대학교 구내에 설치된 상시관측소를 연구대상으로 하였다. 본 논문에서 ITRF97성과는 정밀도 0.001 ppm의 정밀단독측위기법으로 GPS 데이터를 해석하여 산정하였고, WGS84와 대한민국 좌표계 성과는 결정된 ITRF97성과를 이미 제공되어 있는 파라미터들로 변환하여 산정하였다. ITRF97 성과의 경우 제트추진연구소에서 개발한 위치결정 알고리즘과 GIPSY-OASIS II(이하 GOA II)를 사용하여 산정하였다. WGS84와 대한민국 좌표계 성과는 IERS에서 전 지구적으로 계산한 좌표변환 계수와 2000년도 국립지리원에서 시행한 사업인 한국 지구중심 기준좌표계의 결정 사업을 통해 산정된 좌표변환 계수를 이용하여 산정하였으며, 이를 지역적인 GPS 데이터 해석을 통해 산정된 성과와 비교하여 그 활용성을 검증하였다.

### ABSTRACT

This paper deals with the data processing method relative to reference frames through the calculation of absolute coordinates of permanent GPS site which was established at Sungkyunkwan University. In this paper, we computed the ITRF97 coordinates with high precision (0.0001 ppm) from GPS data analysis. Also, we derived the accurate coordinates referred to WGS84 and Korean Geodetic Datum (KGD) using transformation parameters provided. ITRF97 coordinates were computed by using the GIPSY-OASIS II (GOA II) software and the algorithms for determining the position developed Jet Propulsion Laboratory (JPL). The coordinates referred to WGS84 and KGD were derived from the transformation parameters provided by International Earth Rotation Service (IERS) and National Geography Institute (NGI). The parameters determined by NGI were calculated from the 2000 project of the establishment of geocentric coordinate system. We tested its availability through the comparison of the coordinates obtained from local GPS data analysis.

### 1. 서 론

GPS를 이용한 위치정보의 취득 및 활용이 활발해지면서 GPS측위, 차량항법장치 등과 같은 GPS 응용기법들의 기준점 역할을 하는 GPS 상시관측점들이 설치되고 있다. GPS 상시관측점의 운용에 있어서 중요한 사항은 기준 좌표의 결정, 데이터의 안정적인 수신과 표준파일 형태로의 변환, 일반사용자들의 활용을 위한 전달 등이 있는데 이 중 가장 중요한 사항은 측위의 기준이 될 상시관측소의 절대좌표를 산정하는 것이다. GPS 측위기법이 가지는 정밀도가 0.01~0.001 ppm임을 감안한다면 상

시관측점 좌표의 정확도가 상시관측점의 데이터를 이용한 상대측위 기법의 정확도를 좌우하게 될 것이기 때문이다. 또한, GPS 상시관측점의 운용 목적중의 하나가 지각변동량의 계산임을 감안할 때에 정밀도 0.001 ppm 이상의 GPS 데이터 해석기법을 사용하여 상시관측점의 좌표를 계산하고, 지속적으로 갱신해야 한다.

GPS 상시 관측점들의 절대좌표를 산정하기 위해서는 1000 km이상의 기선장 해석 및 정밀한 궤도와 좌표계 모델링을 통한 정밀 단독측위와 같은 전 지구적인 영역에서의 데이터 해석이 필요하다. 이를 위해 국내에서 수행된 현재까지의 연구로는 국립지리원(1996)이 한국 측지좌표계와 지구중심 좌표계의 재정립을 위한 목적으로 일본 쓰쿠바의 상시관측점의 데이터와 성과를 이용하여 국립지리원내에 설치된 상시관측점의 좌표를 산정한 것

\*성균관대학교 토목공학과 교수

\*\*범이부설연구소

과국립지리원(2001)이 지구 기준좌표계인 ITRF97에 준거하고, 아시아 지역에 분포한 상시관측점들의 데이터들을 이용하여 국립지리원내의 상시관측점 좌표를 산정한 연구가 있다.<sup>3)</sup>

본 연구의 목적은 이러한 기존의 연구들에서 사용된 측지학적인 방법론들을 보완하고 보다 나은 GPS 데이터의 해석기법과 충분한 데이터를 사용하여 성균관대학교 내에 설치한 GPS 상시관측점의 절대좌표를 산정함과 함께 각 기준좌표계별 절대좌표의 산정을 위한 적합한 위치결정 방법을 제시하는 것이다.

본 연구에서 사용한 상시관측점은 2000년도 초에 성균관대학교내의 제 2공학과 옥상에 설치한 점이다. 본 연구에서는 상기 상시관측점의 정밀성과를 산출하기 위하여 GPS데이터 해석을 위한 좌표계의 모델링 부분에서 실제 지구에 가장 가깝게 계산된 ITRF97을 사용하였고, 정밀한 해석을 위해 미국의 제트추진 연구소에서 개발한 GOAII를 사용하였다. 또한, Fiducial Laboratories for an International Natural Science Network (FLINN)을 통해 수집된 데이터를 처리하여 계산된 정밀력과 극 운동량 계산 결과를 사용하였다.

현재 IGS가 제공하고 있는 위성의 정밀궤도력 및 시계정보는 15분의 주기로 제공되고 있는 반면, 7개의 IGS 자료 데이터 처리센터중의 하나인 JPL에서는 자체적으로 전 세계 관측망을 통하여 수집된 데이터를 활용하여 매 5분 간격의 향상된 GPS 궤도정보와 30초 간격의 위성시계 보정 매개변수를 산정하고, 정밀측위 및 지구물리학 분야의 연구에 활용하고 있다.<sup>4)</sup>

JPL의 위성궤도와 위성 시계정보의 정밀도는 수 센티미터 정도로 계산되어 제공되고 있으며, JPL에서 개발된 GOA II는 이를 이용하여 2주파수신기 1대로써 수신한 단일 측정점의 위치를 결정할 수 있는 정밀 단독측위 기법이 제공되고 있다. 정밀 단독측위 기법에 의한 위치결정을 위하여는 최소 1시간 이상 수신된 데이터를 사용하여 처리하여야 하며, 데이터의 처리결과로는 ITRF좌표계에 준거한 지심 3차원 직각좌표와 측지좌표를 얻을 수 있다. 또한, GOA II는 Bias-Free와 Bias-Fix에 의한 상대측위 방법으로 정밀측위를 수행할 수 있는 기법이 제공되고 있다.<sup>5)</sup>

ITRF97성과는 기존의 연구 결과<sup>3),4)</sup> 그 정확도가 검증된 GOAII의 정밀단독측위 기법을 사용하여 산정하였다. 총 18일간 수신한 SKKU의 데이터를 일별로 처리하고

결과들을 시계열 분석기법으로 분석하여 정확한 epoch 상의 성과를 산정하였다.

WGS84(G873) 성과는 IERS에서 발표한 ITRF97로부터의 변환 파라미터를 사용하여 산정하였으며, 그 결과를 지역적인 데이터 해석과 망조정을 통해 산정된 결과와의 비교를 통해 검증하였다.

한국측지좌표(신 고시 성과 기준) 성과는 2000년도 국립지리원에서 시행한 사업인 한국 지구중심 기준좌표계의 결정 사업을 통해 산정된 ITRF97로부터의 좌표변환 계수를 이용하여 산정하였고 그 결과를 지역적인 데이터 해석과 망조정 그리고, 지역적인 좌표변환을 통해 산정한 성과와 비교하여 검증하였다.

## 2. 연구 지역 및 사용데이터

본 연구의 대상은 성균관대학교에 위치한 GPS 상시관측소(이하 SKKU)이다. SKKU의 위치결정을 위해 SKKU에서 18일간 수신한 GPS 데이터 및 아시아지역에 위치한 상시관측소들의 데이터를 이용하였으며, JPL과 IGS에서 배포하고 있는 정밀궤도력 및 지구자전 파라미터(EOPS)를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 GPS 데이터들을 통해 구성된 위치결정을 위한 망은 그림 1에 나타내었다.

SKKU는 Ashtech사에서 제작한 12채널의 2주파 수신기인 Z-FX CORS와 IGS의 규격에 따라 제작된 Chock Ring 안테나로 구성되어 있다. 그림 2는 안테나의 규격을 표시한 것이고, 그림 3은 SKKU의 설치 전경을 표시

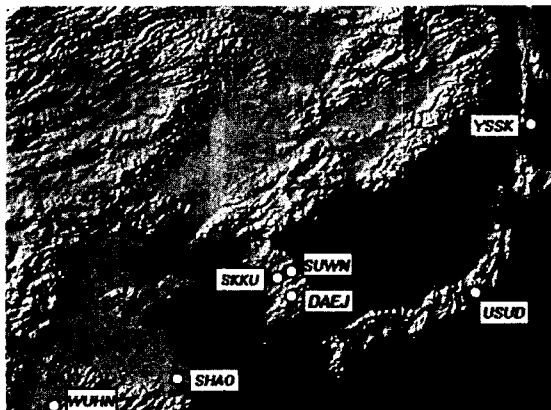


그림 1. 연구를 위하여 선정한 아시아지역의 상시 관측소 위치 분포도

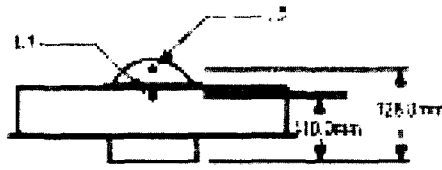
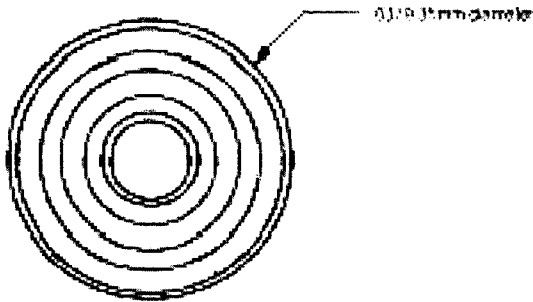


그림 2. Chock ring 안테나의 제원

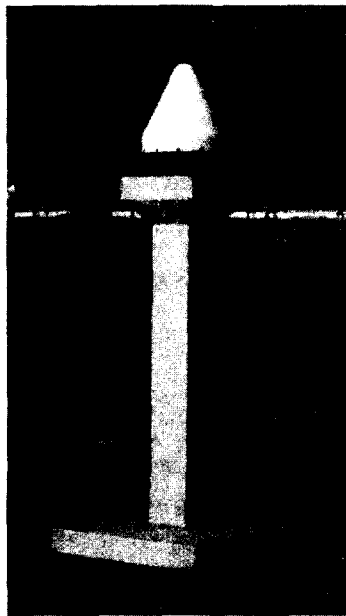


그림 3. 성균관대학교 제 2공학관 옥상에 설치된 GPS 안테나의 전경

한 것이다.

높이의 기준은 IGS의 기준을 따라 ARP로 설정하였으며, GPS데이터의 수신지점은 L1, L2 phase center들의 위치를 제트추진연구소에서 제시하고 있는 식 (2-1)에 대입하여 결정하였다.

$$H_{LC} = 2.5457 \times H_{L2} - 1.5457 \times H_{L1} \quad (2-1)$$

### 3. 데이터의 해석 및 좌표 결정

현재 전 지구적인 범위에서 GPS 데이터를 해석하여 정밀케도력, EOPS, 지각변동량을 계산해 내고 있는 기관으로는 IGS, JPL, SOPAC 등이 있다. 이들 기관에서 주로 사용하고 있는 소프트웨어는 GOA II, GAMIT/GLOBK, BERNES이며, 본 연구에서는 이들 중에서 GOA II를 이용하여 GPS데이터를 해석하였다.

#### 3.1 GOA II에 의한 ITRF97 좌표의 산정

GOA II는 JPL에서 개발한 GPS 데이터 해석 및 저궤도 위성의 궤도 계산용 소프트웨어이다. GOA II가 다른 소프트웨어들과 구별되는 가장 특징적인 부분은 이중차(double difference)처리를 거치지 않고서도 GPS 데이터를 해석하는 정밀 단독측위용 소프트웨어란 점이다. GOA II에서 제공하고 있는 위치결정 알고리즘에는 여러 가지가 있지만 이중 기준좌표계를 구현하는 방법에 따라서 표 1에 표시한 바와 같이 2가지로 크게 구분된다.<sup>8)</sup>

##### 3.1.1 데이터의 전처리

먼저 RINEX2 포맷의 기본데이터를 변환하여 재구성하였다. GPS 데이터 중 L1, L2 반송파와 P1, P2 코드 데이터를 사용하였으며, Wide-Lane 및 Narrow-Lane 조합기법을 이용하여 cycle slip을 제거하고, 이온층으로 인한 오차를 제거한 후에 300초 간격으로 데이터를 샘플링하였다.

##### 3.1.2 궤도 및 지구 모델링

GOA II에서는 GPS 데이터를 정밀하게 해석하기 위해 GPS 데이터 외에 여러 종류의 부가적인 데이터들을 이용하며, 이 데이터들을 통해 데이터의 해석을 위한 초기 값과 부분 도함수들을 결정한다. 먼저 사용되는 부가적

표 1. GOA II의 위치결정 알고리즘 구분

구분	설명
fiducial-free solution	관측소 좌표에 constraints가 부여되지 않은 상태에서 데이터를 해석한 후, 전 지구적으로 분포된 상시관측소들의 데이터를 처리하여 산정한 orientation parameter를 통해 기준좌표계를 구현함
fiducial-fix (or tight constraints) solution	안정적인 지각에 분포된 상시관측소의 데이터에 강한 constraints를 부여한 후, 데이터를 해석하여 기준좌표계를 구현함

표 2. 모델링에 사용된 데이터와 용도

파일명	용도
peci	GPS위성의 정밀 궤도력
tpeo.nml	Earth orientation parameters
TDPfile	시간에 따른 지각의 변화 보정 데이터
Shadow	GPS위성의 shadow event 보정 데이터
X-file	기준 좌표계 구현용 변환 파라미터

인 데이터들의 종류와 용도를 표 2에 정리하였다.<sup>9)</sup>

Fiducial-free Solution의 경우에 표 2에 표시된 데이터를 모두 사용하며, Fiducial-fix Solution은 이들 중에서 정밀 궤도력과 EOPS만을 사용한다. 정밀 궤도력은 Fiducial Laboratory for an International Natural science Network (FLINN)이란 전 지구적인 GPS 상시관측망을 이용하여 계산된 것이며, 이를 이용할 경우에 별도의 궤도 모델링 과정을 거치지 않는다.

좌표계 및 지각변동량과 관련된 지구모델링은 다음과 같은 방정식에 의해 이루어진다.<sup>9)</sup>

$$r_1 = \Omega P N U X Y (\alpha r_{E0} + r_{GC} + \Delta) \quad (3-1)$$

- 여기서, P : 세차운동 보정 행렬
- N : 강제장동 보정 행렬
- X, Y : 극 운동량 보정 행렬
- Ω : 지구 자전의 불규칙성 보정행렬
- U : 지구 자전량 보정 행렬
- α : 좌표계 축척 변환 계수
- r<sub>GC</sub> : 지심오차 보정 행렬
- Δ : 조석효과 보정 행렬

이다. 또한, r<sub>E0</sub>는 특정 시간의 지구에 고정된 지구 기준좌표계이고, r<sub>1</sub>는 GPS 측위의 기준이 될 J2000 기준의 Earth Centered Inertial (ECI) 좌표계이다. 보정량들은 계산에 사용될 GPS 반송파 위상에 가산되며, 이 과정을 통해 측위의 기준이 될 좌표계를 실제 지구에 근사시킨다.

### 3.1.3 파라미터의 산정

GOA II는 파라미터의 산정을 위해 개선된 Kalman Filter인 SRIF(Square Root Information Filter)를 사용하고 있는데 해석에 사용되는 기본데이터는 이중차나 삼중차 처리를 거치지 않은 단일 GPS위성과 단일 GPS수신기 사이의 관측값이며, 초기값과 부분 도함수는 FLINN에서 제공된 데이터들과 모델링 부분에서 생성된 값들이

다. 이러한 과정을 통해서 GPS 관측값의 오차원들이 계산되어지며, 최확치가 결정된다.<sup>10)</sup> 불확정정수의 경우 별도의 해석과정을 거치게 되나 본 연구로부터 얻은 위치 결정에 큰 영향을 미치지 않았다.

### 3.1.4 Fiducial-free Solution

주변 국가에 위치한 다른 상시관측소의 데이터를 사용하지 않고서도 1일 단위로 수신된 SKKU의 데이터만을 이용하여 위치를 결정하였다. 데이터의 해석과정에서 이중차 처리를 필요로 하지 않으며, 기준좌표계의 구현을 위해 다른 고정점을 필요로 하지 않기 때문이다.

2001년 3월 14일에서 31일까지의 18일간 수신된 데이터를 GOA II의 정밀 단독측위 기법을 통해 일별로 해석하였다. 그림 4와 5는 파라미터 산정을 위한 수치해석 결과 산정된 Post-fit Residuals의 분포를 나타낸 것이다.

반송파의 경우 잔차가 ±1 cm 이내 분포되어 있고 코드데이터의 경우에 몇 개의 과대잔차를 제외하면 대부

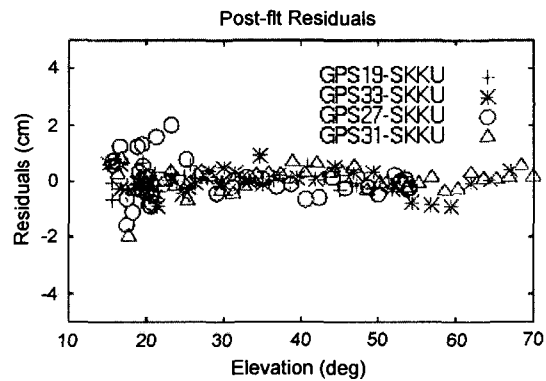


그림 4. 반송파 처리결과 post-fit residuals

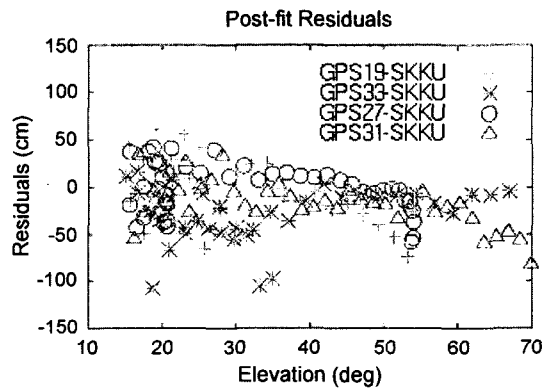


그림 5. 코드데이터 처리결과 post-fit residuals

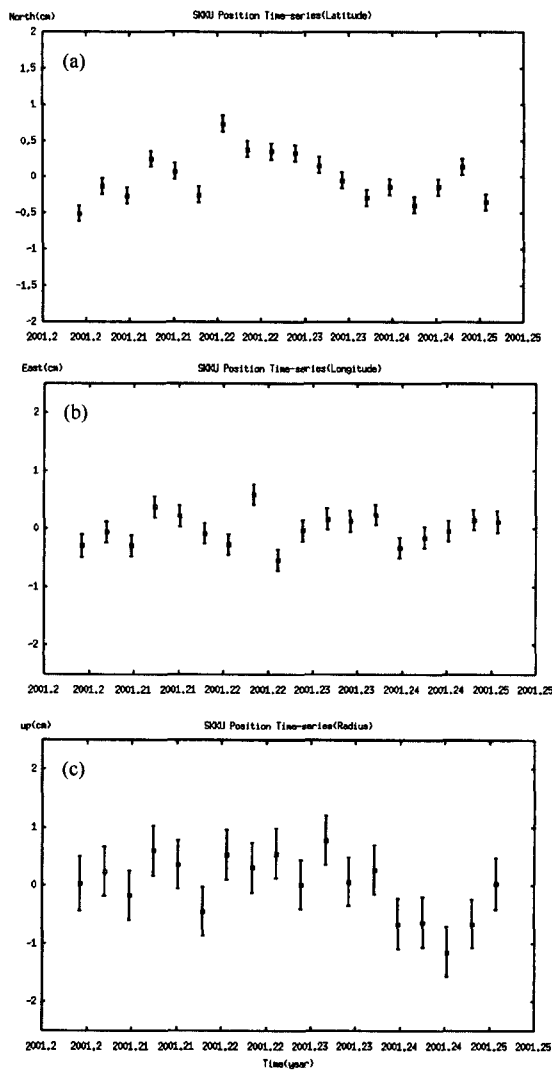


그림 6. (a) 측지좌표(위도방향 성분)의 시간이력, (b) 측지좌표(경도방향 성분)의 시간이력, (c) 측지좌표(표고방향 성분)의 시간이력

분  $\pm 50$  cm 이내에 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 기준좌표계의 구현을 위해 1차적인 처리를 통해 결정된 좌표를 JPL에서 제공하고 있는 ITRF97 기준의 파라미터 파일(X-file)을 이용하여 변환하였으며, 최종적으로 결정된 좌표의 18일간의 시간이력을 분석하여 2001년 3월 23일 기준의 절대좌표를 산정하였다. 시간이력은 그림 6에 나타내었으며, 결정된 SKKU의 지심직각좌표 및 측지좌표와 그 정밀도를 표 3과 4에 나타내었다.

표 3과 4에 산정된 좌표의 정밀도는 각 날짜별로 산

표 3. 상시관측소의 측지좌표와 정밀도

	측지좌표 (deg, m)	1 $\sigma$ (sec, m)	Daily repeatability (m)
위도방향 성분	37.295255849	$\pm 0.0003$	0.003243
경도방향 성분	126.977392993	$\pm 0.0004$	0.002799
표고방향 성분	99.2913	$\pm 0.0010$	0.004641

(기준좌표계: ITRF97, 기준타원체: GRS80)

표 4. 상시관측소의 지심직각 좌표와 정밀도

	지심직각좌표(m)	1 $\sigma$ (m)
X 방향 성분	-3055790.5893	$\pm 0.00060$
Y 방향 성분	4058501.8634	$\pm 0.00074$
Z 방향 성분	3843571.8236	$\pm 0.00061$

(기준좌표계: ITRF97)

정된 좌표의 변동량을 나타내고 있는 것이며, 24시간 데이터를 처리하여 결정된 Daily solution의 경우는 평균 2~3 mm수준의 정밀도로 산정되었다.

### 3.1.5 Fiducial-fix Solution

Fiducial-fix Solution은 안정된 지각에 위치한 상시관측소의 데이터와 성과를 이용하여 절대좌표를 산정하는 경우에 사용된다. 본 연구에서는 SKKU의 절대좌표 산정을 위해 SKKU의 데이터와 아시아지역 상시관측소들의 데이터를 함께 해석하였으며 해석시 중국 상하이 관측소(이하 SHAO)와 일본의 우스다 관측소(이하 USUD)의 좌표에 강한 Constraints를 주었다. 이에 따라 데이터는 SHAO와 USUD의 산정결과가 그 초기값과 거의 일치하도록 강제적으로 해석되었으며, 두 상시관측소의 성과가 ITRF97에 준거한 것이므로 산정된 다른 상시관측소의 성과들 또한, ITRF97 성과로 산정 되었다고 볼 수 있으므로 별도의 기준좌표계 구현과정이 생략된다. 데이터의 해석 결과 산정된 기선의 길이 및 정밀도는 표 5와 같다.

기선해석 결과를 살펴볼 때, 기선의 길이와 정밀도 사이에는 특정한 상관관계가 나타나고 있지 않으며, 고정점과 연결된 기선의 경우 다른 기선들에 비해 상대적으로 높은 정밀도를 보이고 있다.

기선의 길이와 정밀도 사이에 상관관계가 나타나지 않는 것은 GOA II가 데이터의 해석을 위해 사용하는 데이터가 측정간의 상대거리를 나타내는, 이중차 처리된 반송파 데이터가 아니기 때문이라고 사료되며, 이 사항에 대해서는 향후 더 많은 연구가 수행되어야 한다고 본

표 5. 결정된 기선의 길이와 정밀도

기선	길이(m)	1σ(m)
DAEJ-SHAO	819298.0746	0.0001
DAEJ-SKKU	105534.4499	0.0007
DAEJ-SUWN	101333.2408	0.0007
DAEJ-USUD	986391.46	0.0001
DAEJ-WUHN	1369575.975	0.0027
DAEJ-YSSK	1727899.325	0.0012
SHAO-SKKU	868301.3476	0.0008
SHAO-SUWN	870958.0038	0.0008
SHAO-USUD	1680038.876	0.0001
SHAO-WUHN	657432.1376	0.0029
SHAO-YSSK	2534916.533	0.0014
SKKU-SUWN	7158.256	0.0007
SKKU-USUD	1023680.342	0.0008
SKKU-WUHN	1382744.73	0.0027
SKKU-YSSK	1680951.319	0.0014
SUWN-USUD	1016756.514	0.0008
SUWN-WUHN	1387616.825	0.0027
SUWN-YSSK	1677700.015	0.0014
USUD-WUHN	2300470.059	0.0030
USUD-YSSK	1261094.677	0.0012
WUHN-YSSK	3013240.424	0.0031

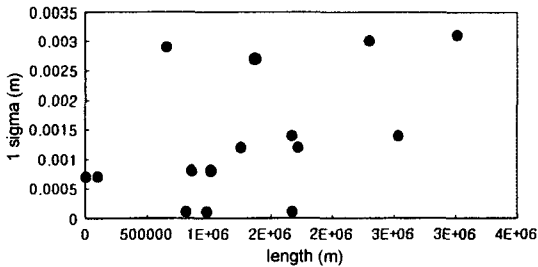


그림 7. 기선길이에 따른 정밀도의 변화

다. 데이터를 해석한 상시관측소들의 좌표는 표 6과 같으며, 고정점으로 사용된 SHAO와 USUD의 성과는 생략하였다.

3.2 WGS84좌표의 산정

WGS84좌표는 1971년에 계산된 이후에 지속적으로 갱신되어 왔다. 최근에 갱신되어 현재 사용중인 WGS84(G873) 좌표계는 GPS기준점들의 좌표를 ITRF91성과로 갱신함을 통해 구현되었으며, ITRF91과 거의 유사하다고 볼 수 있다.

표 6. Bias-fix Solution

SITE	X(m)	Y(m)	Z(m)
SKKU	-3055790.5289	4058501.7796	3843571.8039
SUWN	-3062022.7143	4055447.9963	3841818.2641
DAEJ	-3120041.8757	4084614.9276	3764026.9232
WUHN	-2267749.0569	5009154.0757	3221290.6471
YSSK	-3465321.0627	2638269.3943	4644085.4213

\*SUWN의 경우 안테나 높이 기준을 안테나 마운트 하단이 아닌 기둥 바닥으로 하여 산정하였으며, 이는 IERS에서 ITRF97 계산시 사용한 방법과 동일하다. 이와 같은 방법상의 차이로 인해 국립지리원 공표좌표와 차이가 있음을 밝힌다.

표 7. 좌표변환에 사용된 파라미터

T1(cm)	T2(cm)	T3(cm)	D(ppb)	R1(mas)	R2(mas)	R3(mas)
2.0	1.6	-1.4	0.6	0	0	0

표 8. 산정된 SKKU의 WGS84 (G873)성과

경위도 좌표	위도	경도	타원체고
	37°17'	126°58'	99.360
	42.92063"	38.61355"	
지심직 각 좌표	X	Y	Z
	-3055790.5693	4058501.8774	3843571.8096

본 연구에서는 WGS84(G873)성과의 산정을 위해 IERS에서 계산한 ITRF97과 WGS84(G873) 사이의 변환 파라미터를 사용하였으며, 국내 상시관측소 데이터를 이용한 DGPS처리를 통해 산정된 성과와의 비교를 통해 그 정확도를 검증하였다. 작업에 사용된 좌표변환 파라미터와 산정 성과는 표 7과 8에 표시하였다.

표 7의 파라미터는 ITRF97과 ITRF91 사이의 변환 파라미터로써 WGS84(G873)이 ITRF91로 갱신되었다는 사실에 근거하여 사용되었다. 변환에 사용된 식 (3-2)는 현재 IERS에서 사용되고 있는 것이다.

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D & -R3 & R2 \\ R3 & D & -R1 \\ -R2 & R1 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

식 (3-2)에서 (X<sub>w</sub>, Y<sub>w</sub>, Z<sub>w</sub>)는 산정된 SKKU의 WGS84(G873)성과이며, (X<sub>I</sub>, Y<sub>I</sub>, Z<sub>I</sub>)는 이미 결정된 ITRF97성과이다. T1, T2, T3는 평행이동 파라미터이고,

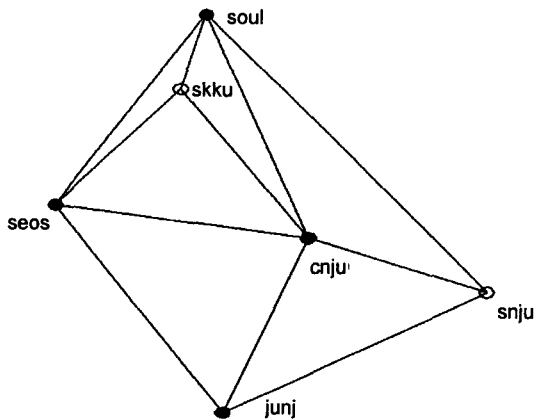


그림 8. WGS84 성과산정을 위한 GPS관측망

표 9. GPSurvey를 이용한 기선해석 결과

기선	길이(m)	1σ(m)
SOUL-SEOS	108025.422	0.004
SEOS-SKKU	71858.644	0.002
CNJU-SKKU	85780.409	0.003
SOUL-SKKU	83206.575	0.002
SNJU-SOUL	168046.275	0.009
SEOS-JUNJ	118405.178	0.005
SOUL-CNJU	116339.038	0.004

표 10. 지역적인 GPS데이터 해석을 통해 산정된 WGS84 (G873) 성과

	위도	경도	타원체고
경위도좌표	37°17' 42.92012"	126°58' 38.61489"	99.373 m
지심좌 각 좌표	X -3055790.607	Y 4058501.873	Z 3843571.805

R1, R2, R3는 회전행렬성분이며, D는 축척 파라미터이다.<sup>9)</sup> 좌표변환을 통해 산정된 성과의 검증에 위해 국내 GPS상시점들의 데이터를 이용하여 SKKU의 성과를 계산하였다. 데이터의 해석은 Trimble사의 GPSurvey를 통해 수행되었으며, 기준점들의 좌표는 WGS84(G873)에 준거한 것들이다. 그림 8은 성과산정을 위해 구성된 GPS 관측망이고, 표 9와 10은 기선해석 결과 및 산정된 성과를 표시한 것이다.

### 3.3 한국 측지좌표의 산정

GPS 측량을 통해 한국 측지좌표를 산정하기 위한 방

표 11. 기선해석과 측지망 조정을 통해 산정된 성과

	위도	경도	표고
경위도좌표	37°17' 32.72847"	126°58' 46.15501"	75.896 m

표 12. 측지망 조정절차에서 한국 측지좌표 성과를 고정하여 산정한 성과

	위도	경도	표고
경위도좌표	37°17' 32.72292"	126°58' 46.14975"	76.358 m

표 13. 변환파라미터를 사용하여 산정한 성과

	위도	경도	표고
경위도좌표	37°17' 33.43223"	126°58' 46.54319"	80.358 m

안에는 성과를 가지고 있는 정밀1차 기준점들을 GPS관 측망에 포함시켜 이들의 기존성과와 새로이 결정된 WGS84(G873)성과간의 변환파라미터를 산정하고, 이를 통해서 다른 측점들의 성과를 산정하는 기법과 중거리 이하의 측지망의 경우에 측지망 조정 절차에서 한국 측 지좌표 성과를 고정점의 성과로 사용하여 기타 측점들의 성과를 산정하는 기법이 일반적이었으며, 기 산정된 변 환파라미터를 이용하는 기법이 사용된다.

본 연구에서는 이러한 각각의 방안을 모두 사용하여 SKKU의 한국 측지좌표 성과를 산정하였으며, 데이터의 처리 및 변환에는 GPSurvey를 사용하였다.

먼저 기선해석과 측지망 조정을 통해서 WGS84성과를 산정한 후, 이를 지역적으로 변환하여 한국 측지좌표 성 과를 산정하는 방안을 통해 산정된 성과는 표 11에 표시 하였으며, 측지망 조정 절차에서 한국 측지좌표 성과로 기준점의 좌표로 고정하여 산정한 결과는 표 12에 표시 한 바와 같다.

한국 지구중심 기준좌표계의 정립사업을 통해 계산된 ITRF97성과와 한국 측지좌표 성과간의 변환 파라미터를 사용하여 성과를 산정한 결과는 표 13에 표시하였다.

## 4. 결과의 비교 및 검토

GOA II를 사용하여 18일간 관측한 데이터를 Fiducial-free해석기법으로 일별로 처리하고, 그 시간이력을 분석 한 결과는 각 좌표축 방향으로 1 mm이하의 재현성을

**표 14. GAMIT/GLOBK 성과와의 비교 결과**

	GOAII 성과 (1)	GAMIT/GLOBK 성과 (2)	(1)-(2)
X 방향 성분	-3055790.5893 m	-3055790.5847 m	-4.6 mm
Y 방향 성분	4058501.8634 m	4058501.8618 m	1.6 mm
Z 방향 성분	3843571.8236 m	3843571.8238 m	0.2 mm

**표 15. 변환성과 지역적 해석 성과의 비교**

	변환성과 (1)	지역적 해석성과 (2)	(1)-(2)
X 방향 성분	-3055790.5693 m	-3055790.607 m	-37.7 mm
Y 방향 성분	4058501.8774 m	4058501.873 m	4.4 mm
Z 방향 성분	3843571.8096 m	3843571.805 m	4.1 mm

가지는 정밀한 성과를 산정할 수 있었다.

정확도의 경우 SOPAC에서 사용중인 GAMIT/GLOBK를 통해 산정된 성과와 비교한 결과, 각 축 방향으로 5 mm미만의 차이를 나타내었으며, 산정된 좌표의 정확도 또한, 상당히 정확하다는 사실을 나타내고 있다. 표 14는 두 성과를 비교한 결과이다.

반면, 해외 상시관측소들의 데이터를 이용하고 그 좌표에 강한 Constraints를 주어 해석한 결과의 경우는 Fiducial-free, GAMIT/GLOBK 성과 모두와 큰 차이를 나타내었으며, GOAII가 데이터 해석 특성상 double-difference를 사용하지 않기 때문에 좌표에 부여된 Constraints들을 제대로 소화하지 못한 것이 원인이라 사료된다.

WGS84(G873)성과의 경우는 기 산정된 ITRF97 성과를 IERS에서 제공하는 파라미터를 이용해 변환하여 산정한 경우와 주변 상시관측소들의 데이터와 성과를 이용하여 지역적인 데이터 해석을 통해 산정한 경우를 비교하였으며, 표 15는 그 결과이다.

별도의 데이터 해석과정을 거치지 않고 정밀하게 산정된 ITRF97좌표를 변환하는 것만으로도 정확한 WGS84(G873) 성과를 산정할 수 있다는 가정을 하였으나 표 15에서 알 수 있는 바와 같이 X축 방향으로 3.77cm의 차이가 발생하여 상시관측소의 기준좌표로 사용하는 것은 불가능하다는 것을 알 수 있었다. 좌표변환에 의하여 산정된 성과의 경우에는 비교적 낮은 정밀도를 필요로 하는 측점에 대하여는 사용할 수 있지만 GPS상시관측소의 절대좌표로서는 부적합하다고 평가되며, 이에 대한 결론을 도출하기 위해서는 보다 많은 연구와 실험이 필요

**표 16. 한국 측지좌표 성과의 검증**

	기준성과 (1)	비교성과* (2)	(1)-(2)
위도	37°17'	37°17'	0.0055"
	32.72847"	32.72292"	
경도	126°58'	126°58'	0.0052"
	46.15501"	46.14975"	
표고	75.896 m	76.358 m	-0.462 m

\*측지망 조정절차에서 한국 측지좌표 성과를 기준점으로 사용하여 산정한 성과

**표 17. 한국 측지좌표 성과의 검증 II**

	기준성과 (1)	비교성과* (2)	(1)-(2)
위도	37°17'	37°17'	-0.7037"
	32.72847"	33.43223"	
경도	126°58'	126°58'	-0.3881"
	46.15501"	46.54319"	
표고	75.896 m	80.358 m	-4.462 m

\*변환파라미터를 이용하여 산정한 성과

하다.

각 위치결정 기법별로 산정된 한국 측지좌표 성과들을 비교하였으며, 비교의 기준은 지역적인 GPS데이터 해석 및 좌표변환을 통해서 산정된 성과를 기준으로 하였다.

한국 측지좌표 성과의 경우에 위치결정 기법별로 차이가 크게 나타났는데 표 16의 결과로부터 위도 및 경도 방향에서의 차이가 약 15 cm 미만으로 나타났고, 표고의 차이는 46.2 cm로 나타났다. 표 17의 결과는 위도, 경도 및 표고 방향에서의 차이가 미터단위의 큰 차이를 나타내었다.

## 5. 결 론

GPS 상시관측소의 기준좌표계별 절대좌표 산정을 위한 본 연구의 수행결과 다음과 같은 결과 및 결론을 도출하였다.

1) JPL의 위치결정 알고리즘에 따라 GOA II의 fiducial-free 해석기법으로 GPS 데이터를 해석하여 SKKU의 ITRF97 성과를 산정한 결과 daily repeatability가 5 mm 미만이며, GAMIT /GLOBK 성과와의 비교 결과 5 mm 미만의 낮은 편차를 나타내는 정밀도와 정확도면에 모두 신뢰할 만한 절대좌표를 결정할 수 있었다.

2) WGS84(G873) 성과의 경우 기 결정된 ITRF97 성과를 IERS 제공하는 파라미터를 통해 변환하여 산정하



였다. 정확도의 평가를 위해 지역적인 데이터 해석성과 비교한 결과 지심직각좌표계상의 Y, Z 축 방향 성과의 경우 5 mm 미만의 작은 편차를 나타내었으나 X축 방향 성과의 경우는 3 cm 이상의 차이를 나타내었다.

3) 한국 측지좌표 성과의 경우 기 결정된 ITRF97성과를 변환하는 방법과 GPS 데이터를 지역적으로 해석한 뒤 망조정시 기준점의 성과를 한국 측지좌표 성과로 하여 산정하는 방법을 통해 결정하였으나 기준성과와의 비교 결과 두 성과 모두 비교적 큰 차이를 나타내었다.

이러한 결과를 통해 JPL의 위치결정 알고리즘과 GOA II를 이용한 ITRF97 성과의 산정은 정밀도와 정확도 모두에서 신뢰할만 하나 WGS84 성과와 한국측지좌표성과 산정의 경우 기 산정된 ITRF97를 변환하여 산정하는 방법에는 무리가 있으며, 정밀하게 산정된 성과를 기준으로 한 지역적인 GPS 데이터 해석을 통해 산정하는 것이 바람직하다는 결론을 내리게 되었다. 그러나, 본 연구는 일부 지역과 특정 데이터에 국한된 실험연구이며, 정확한 결론의 도출을 위해서는 많은 데이터 및 연구지역을 대상으로 한 심도있는 연구가 수행되어야 함을 밝히는 바이다.

## 사 사

본 연구는 성균관대학교에 성균학술연구비의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## 참고문헌

1. 국립지리원, 한국측지좌표계와 지구중심좌표계의 재정립

- 에 관한 연구(I), 1996.
2. 국립지리원, 한국 지구중심 좌표계 결정을 위한 성과산출 등에 관한 학술연구 용역, 2001.
3. 윤홍식, 황진상, 최윤수, ITRF에 준거한 정밀GPS 측위에 관한 연구, 한국측지학회지, 제18권, 제3호 2000.
4. 이용창, 정밀절대측위(PPP)기법에 의한 GPS기준점 좌표의 산정, 한국측지학회지, 제17권, 제2호, 1999.
5. Frank H. W., J. F. Zumberge, An Introduction to GIPSY/OASIS-II, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, 1997.
6. IERS, 1997 IERS Annual Report, Central Bureau of IERS, 1998.
7. Michael H., W. Bertiger, G. Blewitt, A. Freedman, K. Hurst, S. Lichten, U. Lindqwister, Y. Vigue, F. Webb, T. Yunk, J. Zumberge, Global Geodesy Using GPS without Fiducial Sites, Geophysical Research Letters, Vol. 19, No. 2, 1992, pp. 131-134.
8. Murray, J. R., P. Segall, P. Cervelli, W. Prescott, J. Svarc, Inversion of GPS Data for Spatially Variable Slip-rate on the San Andreas Fault near Parkfield, CA, Geophysical Research Letters, Vol. 28, No. 2, 2001, pp. 359-362.
9. Sovers O. J., J. S. Border, Observation Model and Parameter Partial for the JPL Geodetic GPS Modelling Software "GPSOMC", JPL Publication 87-21, Rev. 2, pp. 25-31, 1990.
10. Stephen M. L., Estimation and Filtering for High-Precision GPS Positioning Applications, Manuscripta Geodetica, 15, 159-176, 1990.

(2001년 9월 18일 원고접수)