

《단보》

GPS 측량 및 VLBI 관측 - 지구중심좌표계의 이용을 위한 국립지리원의 활동 -

한 상 득

1. 서 론

지난 수년간 사회, 경제, 환경의 변화에 따라 더욱 정확한 공간정보가 필요하게 되었으며, 지리/토지정보시스템(GIS/LIS), 측량 및 지도제작 기술의 급격한 발전은 국가측지좌표계의 역할에 대한 재평가를 요구하게 되었다. 또한 컴퓨터, 스캐닝, 위성측지/항법시스템과 원격탐사기술의 발달은 기존의 데이터에서 찾아보기 힘든 광범위한 지구기준데이터를 측지, 측량 및 지도전문가와 일반인들이 모두 함께 손쉽게 사용할 수 있도록 만들고 있다. GPS이전에는 3차원 데이터의 취득에 많은 비용이 들었지만, 현재에는 지도등을 이용하는 것보다 더 정확한 위치를 손쉽게 알 수 있게 되었다.

따라서 국립지리원은 광범위하고 다양한 사용자들의 3차원 위치정확도의 향상 요구에 대응하기 위하여 새로운 국가기준좌표체계를 개발·도입하고 있으며, 이 새로운 국가기준좌표계에 의하여 보다 정확한 GIS/LIS의 개발이 가능하여 질 것이며, GPS를 이용한 항법의 활성화와 측량에 필요한 위치정보의 이용성·접근성과 정확도가 향상되고, 또한 지각변동등 지구물리학에 대한 깊은 이해를 가져올 것이다.

최신 관측데이터를 이용하여 산출되는 위치정보를 세계적 공통좌표로서의 지구중심좌표계를 기준으로 하여 제공함으로써 항공, 선박등 항법시스템을 지원하여 안정성을 도모하고, GPS 관측결과를 직접 지형도에 이용할 수 있으며, 국내에 설치될 전자기준점(GPS상시관측소)을 직접 측량에 이용하여 측량의 효율과 비용절감을 꾀할 수 있게 할 것이다.

이를 위하여 국립지리원은 한국측지망을 국제기준좌표계와 결합하며, 지구중심좌표계의 도입등을 위하여

*국립지리원 측지과장

“한일 측지·지도협력회의”를 통하여 일본국 국토지리원과 함께 공동사업으로 1995년부터 GPS연속관측 및 VLBI관측사업을 추진하였으며, 또한 GPS의 실용화를 위한 연구사업의 추진과 함께 전국에 20여개소의 GPS상시관측소설치를 1997년부터 추진하고 있는 중이다.

2. 한일 GPS 연속관측사업

GPS 관측을 통한「한일간 플레이트운동의 해명」을 위하여 1995년 3월에 수원 국립지리원내에 GPS연속관측시스템(SUWN)을 설치하였다. 수원관측소와 함께 일본국 쓰쿠바시에 위치한 국토지리원내에 설치·운영중인 국제GPS관측서비스(IGS)의 관측점(TSKB)과 상대관측을 실시하고 있다.

아래 표 1은 수원관측소(SUWN)과 쓰쿠바관측소(TSKB)의 시스템을 보여주고 있다.

관측은 협정세계시(UTC) 0시0분을 기준으로 30초간격으로 24시간 실시하고 있으며, 최저관측양각은 5°이다. 기선해석을 위하여 IGS 관측국 5점(Tsukuba, Kokee Park, Guam, Shanghai, Taipei)과 일본국내 관측점 7점을 SUWN에 연결하여 전체 13점으로 네트워크를 형성

표 2-1. 한일 GPS연속관측시스템

| SUWN | TSKB |
|---|---|
| · GPS 수신기 | · GPS수신기 |
| AOA Turbo Rogue SNR-8000 | AOA Turbo Rogue SNR-8100 |
| AOA Choke Ring Antenna | AOA Choke Ring Antenna |
| · Rubidium 주파수 표준기 (주파수 안정도±2×10 ⁻¹¹) | · Cesium 주파수 표준기 (주파수 안정도±1.5×10 ⁻¹²) |
| · 데이터 관리장치 | · 데이터 관리장치 |
| - Unix workstation | - PC IBM PS/IV |
| · 무정전전원장치 | · 무정전전원장치 |

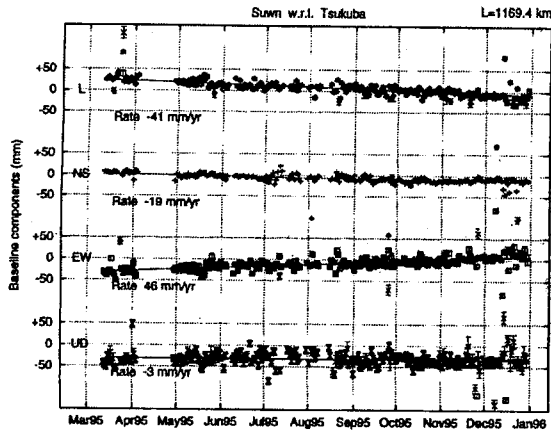


그림 2-1. 기선해석결과도

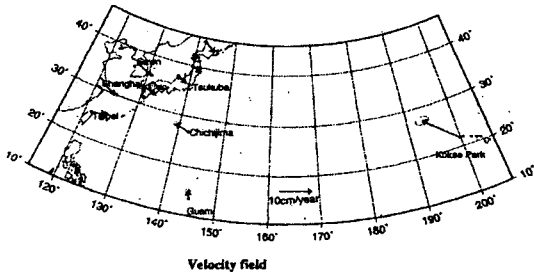
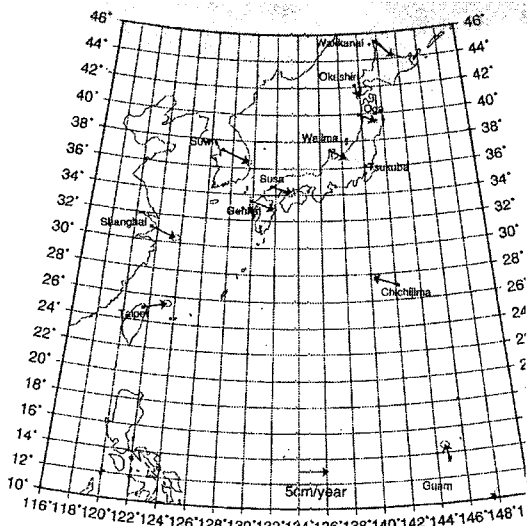


그림 2-2. (a) 기선벡터 변동도



Velocity field of EAST ASIA

그림 2-2. (b) 기선벡터변동도

하였으며, 쓰쿠바를 고정하여 60초간격의 24시간 데이터를 사용하여 매일 해석을 실시하였다. 기선해석에 사

용되는 소프트웨어는 GAMIT/GLOBK이며 IGS(International GPS Service for Geodynamics) 정밀력과 ITRF (IERS Terrestrial Reference Frame) 좌표계로 해석을 실시하였다. 해석결과는 기선장(L), 남북성분(NS), 동서성분(EW)와 상하성분(UD)으로 표시하고 있으며, 해석으로 구한 속도(Rate)를 함께 표시하였다. 그림 2-1은 SUWN에 대한 기선해석 결과도이며, 그림 2-2(a) 및 (b)는 동아시아 땅에 대한 기선벡터변동도이다.

그림 2-1에서 TSKB를 고정하여 구한 SUWN의변동량은 기선장에서 연간 41 mm 단축되고 있는 경향을 나타내고 있으며, 남북방향의 성분은 연간 19 mm 남쪽으로,

동서방향은 연간 46 mm 동쪽으로 이동하며, 상하성분은 연간 3 mm 아래로 이동하고 있는 결과를 보여주고 있다. ITRF93좌표계를 기준으로 하여 구한 수원관측점(SUWN)의 안테나 중심좌표는 다음과 같다.

$$X = -3062023.331 \text{ m (rms}=0.023 \text{ m)}$$

$$Y = 4055449.102 \text{ m (rms}=0.021 \text{ m)}$$

$$Z = 3841819.218 \text{ m (rms}=0.016 \text{ m)}$$

3. 한일 초장기선전파간섭계(Very Long Baseline Interferometer)의 관측

3.1 VLBI 관측

한국-일본간 측지망의 고정도결합과 이에 의한 지각변동량의 파악을 위하여 한일 측지·지도협력회의의 합의에 따라서 VLBI관측이 1995년 10월~11월에 일본국 가시마시 일본통신종합연구소의 26m VLBI안테나와 일본국 국토지리원에서 수원으로 이동 설치한 3.8m VLBI안테나(그림 3-1 참조)간에 실시되었다. 이동형 VLBI시스템은 직경3.8m 파라볼라 안테나와 K-4형 VLBI시스템, 수소 메이저 주파수표준장치, 원격자동감시·제어장치등으로 구성되어 있고, 안테나 이외의 모든 장치는 컨테이너에 탑재되어 있다.

먼저 국립지리원 구내에 설치된 VLBI 관측기대에 3.8m 안테나가 조립되어 설치되었으며, 배선 접속과 함께 안테나 빔패턴의 측정, 시스템 잡음온도 측정, 각



그림 3-1. 이동형 VLBI안테나

기기의 작동 및 기능확인등 시스템 점검이 이루어졌다.

관측시스템의 기능확인에 이어 안테나의 측교정을 실시하였는데, 이는 안테나 설치한 후에 태양, 달, Quasar(준성) 등의 전파원(radio source)을 관측하고 가장 강한 전파를 수신할 수 있도록 안테나 각축(Az축, EL축, 범축 방향)의 구동량을 보정하는 것을 말한다. 즉, 각 축의 교정 파라미터를 계산하는 것이다. 각축의 방향이 크게 되면 보정량이 커지게 되므로 정확도가 낮아지게 되며, 대형안테나에 비하여 소형 안테나의 경우에는 수신감도가 낮기 때문에 Quasar에 의한 측교정을 실시할 수 없어서 측교정의 정확도가 떨어진다.

측교정 관측을 기초로 최적 파라미터를 산출하고 10월16일~17일에 24시간 관측을 1세션으로 한 최초의 관측을 실시하였으며, 이 결과를 분석하여 수동으로 2일간 측교정을 실시함과 동시에 측교정 파라미터 산출프로그램을 수정하고 새로운 측교정 파라미터를 산정한 후에 2-4세션의 관측을 실시하였다.

관측내용은 다음과 같다.

- ① 제1세션(SUWON-1): '95년 10월 16일~10월 17일 12개 전파성
- ② 제2세션(SUWON-2): '95년 10월 24일~10월 25일

표 3-1. 기선해석의 조건

| 항 목 | 조 건 |
|------------|-----------------------|
| 지구회전요소 | IERS Bulletin B |
| 조석 파라미터 | 스쿠바와 수원이 같은 것으로 고려 |
| 스쿠바국의 좌표 | ITRF 95(Epoch 1993.0) |
| 전파성의 위치 | ICRF 93(국제천문기준좌표계) |
| 케이블 보정 데이터 | 사용안됨 |
| 대기보정모델 | MTDRFLY |
| 전리층보정 | S 및 X밴드의 동시수신에 의한 보정 |
| 사용한 전파성의 수 | 12~13 |

13개 전파성

- ③ 제3세션(SUWON-3): '95년 10월 31일~11월 1일

13개 전파성

- ④ 제4세션(SUWON-4): '95년 11월 1일~11월 2일

13개 전파성

VLBI해석은 하드웨어 처리인 상관처리, 소프트웨어 처리인 밴드폭 합성, DB구축 및 기선해석으로 이루어진다. 상관처리와 밴드폭합성은 가시마 우주센터의 상관처리장치와 밴드폭 합성소프트웨어인 KOMB를 사용하였다. DB구축에서는 일본통신종합연구소에서 개발된 소프트웨어 KATS_MAKE_DB와 DBUPDATE를 이용하여 NASA우주비행센터(GSFC)에서 개발된 MARK III형 DB형식으로 DB를 구축하였다.

3.2 VLBI의 해석

기선해석은 GSFC에서 개발된 소프트웨어 CALC와 SOLVE를 이용하였는데 CALC는 전파성의 위치를 정밀하게 계산하는 것이며 SOLVE는 최종적으로 기선해석을 실시하는 소프트웨어이다. 표3-1은 기선해석의 조건을 보여주고 있다.

해석과정에서는 ITRF94인 지구기준좌표계를 기준으로 하여 스쿠바국을 고정하여 해를 구하였다. 다만 전파성의 위치가 ICRF93(IERS천문기준좌표계)을 기준으로 하고 있으므로 기선벡터는 ITRF93을 기준으로 하는 결과가 된다. 따라서 XYZ성분에서 ITRF94와는 수 mm의 불확실량이 포함되는 것으로 예측되나 기선장에서는 1 mm 이내로 일치되는 것으로서 실용상 무시될 수 있다.

4세션의 관측데이터 중에서 최초의 관측세션(SUWON-1)의 경우에는 수원국의 안테나 측교정에 문제가 있었고 S/N비(신호대 잡음비)가 나빠서 대부분의

표 3-2. VLBI 기선해석결과(안테나 중심간)

| 관측세션 | DX(m) | DY(m) | DZ(m) | S(m) |
|---------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| SUWON-2 | 935866.2336 | 778875.3022 | 117694.3693 | 1223251.5310 |
| SUWON-3 | 935866.2386 | 778875.3028 | 117694.3626 | 1223251.5346 |
| SUWON-4 | 935866.2439 | 778875.2921 | 117694.3937 | 1223251.5349 |
| 평 균 | 935866.2387 | 778875.2990 | 117694.3752 | 1223251.5335 |
| 최대교차 | 0.0103 | 0.0107 | 0.0311 | 0.0039 |

표 3-3. VLBI관측정확도 (단위 : mm)

| 관측세션 | X | Y | Z | S | 상하 | 동서 | 남북 | 비교 |
|---------|------|------|------|-----|------|-----|-----|----|
| SUWON-2 | 17.4 | 15.1 | 17.4 | 5.8 | 27.3 | 7.2 | 5.9 | |
| SUWON-3 | 18.3 | 16.3 | 17.5 | 6.0 | 28.5 | 7.3 | 6.0 | |
| SUWON-4 | 17.5 | 14.6 | 15.8 | 6.2 | 26.1 | 7.5 | 5.7 | |

데이터가 해석불가능의 상태가 되었다. 따라서 제반 분석을 통하여 1세션을 제외하고 SUWON-2~SUWON-4세션의 평균값을 채택하였다. 그 결과 관측정확도는 표 3-3에서와 같이 수평방향 5~8 mm, 상하방향 26~29 mm, 기선장 약 6 mm이다. XYZ 좌표차에 있어서는 15~20 mm로 나타났다.

표 3-2는 한일 VLBI관측에 의한 기선해석결과를 보여주고 있으며 가시마와 수원관측국간의 안테나 중심간의 기선벡터를 나타낸다. 수원 VLBI관측국의 경우에는 서북쪽으로 나무숲이 있고 다른 방향에서도 건축물등이 존재하는 관계로 상공시계가 차단되어 일부 방향을 제외한다면 약각 10°이하를 확보하기 어려웠다. 따라서 수평방향에 비하여 상하방향에서 4배정도 정확도가 낮게 나타남을 알 수 있다.

표 3-2로부터 수원-가시마 안테나 중심간의 기선벡터

는 다음과 같다.

$$DX = +935866.2387 \text{ m,}$$

$$DY = +778875.2990 \text{ m,}$$

$$DZ = +117694.3752 \text{ m,}$$

$$S = +1223251.5335 \text{ m}$$

가시마 VLBI관측국(안테나 중심 : EL · Az 축 중심)의 위치는 국제연구사업을 통하여 높은 정확도로 ITRF94(Epoch 1993.0)의 값이 결정되어 있으며, 그 정확도는 위치에서 7 mm, 속도에서 2 mm/yr이다. 이 가시마 좌표를 토대로 하여 수원 VLBI안테나 중심의 지구중심좌표를 구할 수 있는데 표 3-4에 두 관측국의 좌표를 표시하였다.

표 3-4 하단의 평균값이 ITRF94에 기준한 1995년 10월29일 (Epoch 1995.827)의 수원 VLBI안테나중심(EL · AZ 축 중심)의 지심좌표이며, 이 값은 국제기준좌표계에 의한 수원관측점의 위치를 나타내고 있고 지각변화이외의 국제기준좌표계에 대한 수원 관측점의 plate이동을 반영하고 있는 값으로서 매일 변화하는 성질을 갖고 있다. VLBI관측이 완료된 후에 3.8 m안테나가 철거되었으며, 현재에는 VLBI금속표만 남아 있다. 따라서 안테나 중심과 금속표간의 편심측정에 의한 결

표 3-4. 가시마와 수원 VLBI관측국의 ITRF94좌표

| (가시마 26 m 안테나) | | | | | | |
|----------------|---------------|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| EPOCH | X(m) | Y(m) | Z(m) | V _x (m/yr) | V _y (m/yr) | V _z (m/yr) |
| 1993.0 | -3997892.2680 | 3276582.2620 | 3724118.2880 | -0.0018 | 0.0014 | -0.0144 |
| 1995.813 | -3997892.2731 | 3276582.2659 | 3724118.2475 | | 10월24일(297) | |
| 1995.832 | -3997892.2731 | 3276582.2660 | 3724118.2472 | | 10월31일(304) | |
| 1995.835 | -3997892.2731 | 3276582.2660 | 3724118.2472 | | 11월 1일(305) | |
| (수원 3.8 m안테나) | | | | | | |
| EPOCH | X(m) | Y(m) | Z(m) | V _x (m/yr) | V _y (m/yr) | V _z (m/yr) |
| 1995.813 | -3062026.0395 | 4055456.5681 | 3841812.6168 | | 10월24일(297) | |
| 1995.832 | -3062026.0345 | 4055456.5688 | 3841812.6098 | | 10월31일(304) | |
| 1995.835 | -3062026.0292 | 4055456.5681 | 3841812.6409 | | 11월 1일(305) | |
| 평 균 | -3062026.0344 | 4055456.5650 | 3841812.6225 | | 10월29일(302) | 1995.827 |

표 3-5. 수원 VLBI관측점의 ITRF954성과

| 구 분 | ITRF94 (Epoch 1995.827) |
|-----------|-------------------------|
| VLBI안테나중심 | X=-3062026.0344 m |
| | Y=+4055456.5650 m |
| | Z=+3841812.6225 m |
| VLBI금속표 | X=-3062023.9509 m |
| | Y=+4055453.7964 m |
| | Z=+3841809.9821 m |

과로부터 VLBI금속표의 ITRF(Epoch 1995.827)성과를 산출할 수 있으며, 그 결과는 표 3-5와 같다

4. GPS 상시관측소의 설치 및 운영

우주측지기술의 발전과 정보통신기술의 발달로 GPS 위성을 이용한 위치측정과 자동항법이 가능하여 짐에 따라서 GPS를 이용한 측량, 지도제작 및 수정, 자동차·항공기 및 선박의 자동항법시스템, 지리정보시스템의 구축등 여러분야에서 다양한 형태의 정확한 위치정보를 요구하고 있을 뿐만 아니라 지진의 감지등 재

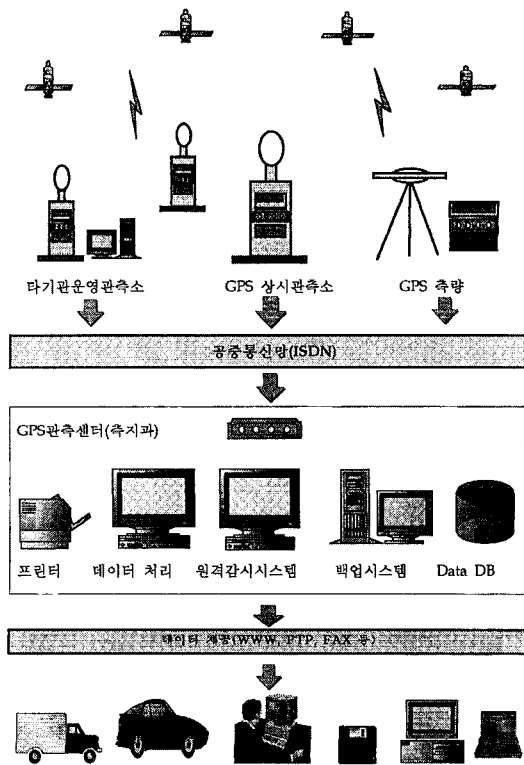


그림 4-2. GPS 상시관측소 설치예정지

해예방을 위한 지각변동관측망의 필요성이 증대되고 있음에 따라 위성추적에 의한 정밀한 궤도정보의 제공, 데이터 처리 정확도의 확보, 각종 측량에서의 전자기준점의 역할, 연속관측에 의한 지각변동량 파악 및 각종 항법시스템의 지원을 위하여 1997년부터 GPS상시관측소의 설치를 추진하기 시작하였다(그림 4-1 참조).

국립지리원은 GPS위성을 관측하는 무인원격관측시스템을 전국에 걸쳐 20개소(그림 4-2 참조)를 설치하며, 이 시스템들을 조정·통제하고 관측데이터를 처리, 분석하는 중앙센터를 국립지리원내에 설치하여 각 원격관측소의 관측데이터를 받아 정확한 좌표를 계산·결정하고, 이들 관측데이터와 보정량을 공중통신망(PC, 전화, 인터넷)과 전파를 이용하여 일반 사용자들에게 제공하여 각종 측량·토목·건설 현장, 등산, 요트 등 레저 및 스포츠와 일상생활에서 즉시 사용할 수 있도록 하며, 또한 항공, 선박, 자동차등 각종 자동항법시스템을 지원할 계획에 있다.

1998년도에 강릉, 광주, 대구, 전주를 시작으로하여 전국에 걸쳐 20개소의 무인원격관측국을 설치하기 시

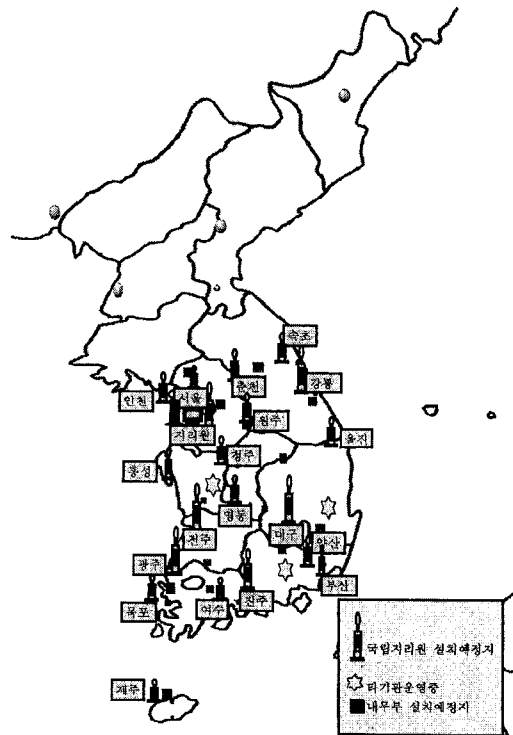


그림 4-1. GPS 상시관측시스템 구성도

작하였으며, 중앙국이 설치되는 1998년 하반기부터 시험적인 서비스를 시작할 예정이다. 또한 국립지리원에서 설치·운영하는 국가GPS상시관측소를 기본으로 하여 과학기술처, 내무부등에서 계획하고 있는 관측소들을 연계하여 국가GPS연속관측망을 구성함과 아울러 GPS상시관측소의 중복설치 배제와 함께 데이터의 공동이용을 추진하여 예산 및 자원의 절감을 도모할 예정이다.

이를 위하여 국립지리원은 1995년 3월 15일부터 수원관측소를 운영하면서 한·일간 지각변동량을 일본국 국토지리원과 함께 연구하기 시작하였으며, 1997년 10월 아시아·태평양지역 측지프로젝트97(APRGP97)에 참가하여 공동관측을 실시하였으며, 이와 함께 1997년 11월에는 국제GPS서비스(IGS)의 관측망에 참가하여 국제적인 지각변동분야의 연구활동에 참가하는 등 상시관측소의 운영과 관측성과의 분석기술을 습득하고 있는 중에 있다.

5.GPS 측량의 실용화

GPS는 WGS-84좌표계란 지구중심좌표계를 채용하고 있음에 따라서 GPS 측량성과는 현행 벡셀타원체를

기준으로한 우리나라의 실용좌표와 평균 약750 m 정도의 편차를 갖고 있으며, 이와 같은 양좌표계간의 불일치로 인하여 GPS의 이용에 많은 불편이 따르고 있으며, GPS 수신기의 공급이 증가함에 따라서 좌표계 변화요소의 필요성이 증대되어가고 있는 실정이다. 따라서 국립지리원은 GPS측량기술의 실용화를 위하여 1992년 수신기의 도입과 함께 GPS측량기술의 개발과 측지기준점의 정비사업을 실시함과 동시에 그 관측성과를 이용하여 좌표계 변환요소를 개발하기 위하여 1996년 및 1997년 측지연구사업으로서 「한국측지좌표계와 지구중심좌표계의 재정립에 관한 연구」를 한국측지학회를 통하여 수행하였으며, 이와함께 한반도 지오이드를 개발하기에 이르렀다. 개발된 좌표계변환요소와 지오이드 모델의 정확도 검증이 완료되면 이 성과들을 공개하여 모든 국민들이 손쉽게 GPS를 이용할 수 있게 할 예정이다.

이와 같이 국립지리원에서는 GPS, VLBI등을 활용하여 새로운 환경에 적합한 최적의 좌표체계확립과 GPS 이용의 활성화를 위하여 끊임없이 연구개발하여 오고 있으며, 이들 성과들을 이용한 보다 정확한 위치정보의 제공을 위하여 노력하고 있음에 따라 앞으로 가까운 시일내에 가시적인 성과를 보여줄 수 있을 것이다.