한국측지학회지, 제 14 권, 제 2 호, pp.141~150(1996년 12월 30일)

한국측지좌표계의 재정립에 대한 연구
Redefinition Procedures of the Korean Geodetic System

이영진* · 조규전** · 김원익***
Lee, Young-Jin Cho, Kyu-Jon Kim, Won-Ik

要　　旨

최근 우리나라에서는 위성측위시스템의 보급에 따라 측지분야에서 뿐만 아니라 지적 및 GIS/LIS 데이터베이스 관리분야에서도 그 활용성이 커지고 있으며, 지구중심좌표계(geocentric coordinate system)에 대한 관심도 높아지고 있다. 이 논문에서는 현행의 측지기준계를 분석하여 지구중심좌표계에 의한 새로운 측지기준좌표계(geodetic reference frame)의 설정방안을 고찰하였고, 이에 따른 국가기준점망의 구축방법과 기존의 좌표체계에서 새로운 좌표체계로 변경하고자할 경우에 고려되어야 할 기준점관리와 성과관리 등에 대하여 고찰하였다.

ABSTRACT

A satellite positioning system has been recently introduced in Korea and the applications of the system are increasing gradually, and it is, therefore, interested in the geocentric coordinate system. In this paper, the requirements of the redefinition of the Korean geodetic system which is suited to the geocentric datum and the strategies for the establishment of new geodetic networks are considered. It is also taken into account to maintain the control points, in the transition from the old coordinate systems to a new coordinate system.

1. 서　　론

측지/지적 분야의 학문, 기술 및 장비의 발전과 개발에 따라 1910년대에 구축된 기존 측지망은 위성측위시스템의 보급과 정보통신망의 정비에 따라 일반사용자들이 언제, 어디서나, 필요한 정확도로서 위치정보를 파악할 수 있는 시대에 진입하고 있다.

현재 관리되고 있는 기준점체계로는 요구정확도를 만족시킬 수 없는 경우가 발생하고 있으며 전면적인 성과갱신이나 좌표계의 변경이 곤란하고 수평위치와 수직위치를 각각 삼각점과 수준점이라는 두 종류의 기준체계를 사용하고 있기 때문에 어려움을 안고 있다.

따라서 국내에서도 최근에 이와 관련된 많은 연구[1,3,4,5,6]가 진행되어 실용화된 GPS 등의 위성측위시스템을 적극 활용할 수 있어야 하고, 사용자에 대한 서비스 향상 및 다양한 위치정보의 요구에 부응할 수 있도록 하기 위하여도 한국측지기준계의 재정립을 필요로 하고 있다.

본 연구에서는 변화된 환경에 적합한 지구중심좌표계(geocentric coordinate system)와 타원체좌표계(ellipsoidal coordinate system)의 차이와 특성을 검토하고 현재의 한국측지기준계와 기준점체계의 현황과 문제점을 분석하여 새로운 측지좌표계의 구축과 위성측위시스템의 활용을 위한 기본 방향을 제시하는데 그 목적이 있다.

국제지구자전관측사업(International Earth Rotation Service; IERS)은 국제극운동관측사업(International Polar Motion Service; IMPS)과 국제시보국(Bureau International de l'Heure; BIH)을 대체하고 지구회전변동 감시를 위하여 설치된 국제협력 조직으로서 1988년 1월에 발족되었으며, IERS천체기준좌표계(IERS Celestial Reference Frame; ICRF), 지구기준좌표계(IERS Terrestrial Reference Frame; ITRF), 지구회전요소(Earth Orientation Parameters; EOP)등의 성과를 제공하고 있는데 지구중심계의 설정에 기여하고 있다.[11,23]

* 慶一大學校 工大 測地工學科 助教授
** 京畿大學校 工大 土木工學科 教授
*** 建設交通部 國立地理院 院長

유럽에서는 대륙망으로서 EUREF(Eropean Reference Frame)를 구성하였는데, ITRF-89의 일부로서 EUREF-89를 결정하고 이를 점간거리 300 km~500 km로 고밀도화한 것이다.[22,24]

1986년 DÖNAV사업에서는 독일과 오스트리아에 대하여 ITRF점을 기준으로 측점수 50, 점간거리 100 km~150 km의 국가기본망을 관측시험하였다.[22] 1991년에 관측된 독일의 DREF사업에서는 측점수 109, 점간거리 70~100 km의 국가기본망을 관측하였으며, 스위스에서는 독일의 점에 연결하여 점간거리 30~40 km인 100점의 국가 GPS기본망을 구성하였다.[23] 또한, 90년대초 영국에서는 도시지역 점간거리 20~25 km, 기타지역은 50 km로서 국가기본망을 구성하고 있는데 여기에서도 ITRF점을 기준으로 하고 있다.[15]

미국에서는 대륙망으로서 NGRS(National Geodetic Reference System)를 VLBI점에 기준하여 구성하고 국가기본망에 대응되는 주정부측지기준망은 100~200 km의 밀도로 구성하였으며 고정밀도 주정부측지망(statewide high-precision geodetic network; HPGN)은 점간거리 30~60 km로 구성하였다.[14] 카나다에서는 대륙망과 국가기본망으로서 ACS(Canada GPS Active Control System)의 연속관측점을 채용하고 있는데 국가 500 km, 주 250 km의 밀도로 배치되고 있다.[25]

일본의 경우에는 지진예지사업과 연관하여 GPS관측을 실시하고 있으며 200 km밀도의 연속관측점을 VLBI점을 기준으로 설정하고, 평균변장 20 km 인 3000점을 A기준점측량이라고 하여 5년 주기로 반복관측하는 사업을 착수하였다. 이 A기준점측량으로서 국가기본망이 구성되며 다른 기존 삼각점을 B기준점으로 재편성하고 있다.[9]

앞으로 대부분의 국가에서는 국가GPS기본망을 기초로 하여 이미 설치되어 있는 표석기준점을 재분류하여 구성할 것이며 1~4등 삼각점의 구조를 국가기본망과 국가기준점망의 2단계 계층구조로 단순화하게 될 것이다.

2. 지구중심좌표계와 타원체 좌표계

2.1. 지구중심좌표계

공간상에서 한 점의 위치를 나타내기 위해서는 원점의 위치, 좌표축의 방향, 위치를 정의하기 위한 요소 등을 설정해야만 한다. 여기에는 서로 다른 세 종류가 있는데, 지구좌표계는 지표면상의 점 위치를 나타내기 위한 것이며, 천체좌표계는 별 또는 위성의 이동을, 그리고 궤도좌표계는 위성궤도를 나타내기 위한 것이다.

지구좌표계에서 세차와 장동은 지구 자전축에 대한 이동을 나타내며 지구회전과 극운동에 대한 회전행렬로부터 천체좌표계인 관용관성계(Conventional Inertial System; CIS)에서 지구중심의 관용지심계(Conventional Terrestrial System; CTS)로 변환할 수 있다.[18,23]

CTS에서는 지구자전축에 대한 회전을 정의해야 하는데 종래까지는 1900년~1905년 사이의 극운동의 중심을 CIO(Conventional International Origin)로 정의하여 사용해 왔다. 그러나 세차의 영향을 개선시킨 이후로는 CTP(Conventional Terrsterial Pole)로 알려지고 있으며 지구의 적도면이 CTP방향과 직교하게 된다. 또한, 이 지구적도면과 그리니치 자오선이 교차하는 선을 주축으로 정하고 있다.

BIH에서는 1984년에 국제지구자전관측사업(IERS)의 결과로서 새로운 BTS(BIH Terrestrial System)를 도입하게 되었고 BTS는 지구기준좌표계(ITRF)에 승계되고 있다.

CIS에서는 천체북극인 CEP(Celestial Ephemeris Pole)를 기준으로 하고 있는데 J2000.0인 standand epoch에서 일치되는 축이고 CEP의 축에 직교하는 면이 적도면이 되며 주축은 GAST(Greenwich Apparant Sideral Time)의 기준방향이 된다.

결국 지구중심좌표계인 CTS는 다음과 같이 정의될 수 있다.[23,26]

① 원점(0, 0, 0)은 지구의 질량중심에 있다.

② 북극(z축)은 CTP(또는 CIO) 방향이다.

③ CTP(또는 CIO)방향선에 직교하고 지구중심을 지나는 면이 적도면이다.

④ 적도면과 그리니치 자오선이 교차하는 ㅂ향이 주축(x축)이다.

⑤ 오른손 좌표계이다.

지구중심좌표계의 대표적인 예로서는 WGS84, ITRF89, NAD83(North American Datum1983) 등이 있다. ITRF는 데이터 해석센터에서 독자적으로 산출하는 관측국의 위치와 이동에 근거하여 IERS에서 3차원 지구기준좌표를(ITRF측점) 정확도 10 cm이내로 공표하고 있는데 ITRF의 기본개념은 다음과 같다.[11]

① 지구중심좌표계를 기준.

② 상대론을 고려한 SI축척을 기준

③ BIH 1984.0 지구기준좌표계를 기준

④ 지각에 상대적인 좌표계의 회전과 변위가 없다는 조건

정밀력에 있어서는 CIGNET(Coorperative International GPS Network), IGS (International GPS Service for Geodynamics), VLBI 등 ITRF에 소속된 측점에서의 관측결과로 부터 계산되고 있기 때문에 GPS 벡터도 ITRF에 관련되고 있다.[12,13]

미국의 NAD83은 ITRF측점에 비해 2 m 수준의 이심량을 보이고 있는데 GPS상대측위에 있어서는 이 영향이 무시될 수 있으나, 높이에 있어서는 타원체고(타원체고의 차이가 아님)의 영향이 약 0.5 m에 달하여 활용에 제약이 따르고 있다.

2.2. 타원체 좌표계

타원체좌표계는 현재까지 실용적으로 가장 많이 채택되어 온 기준체계이며 지표면에 가장 적합되는 것으로서 단축을 기준으로 회전하는 편평타원체를 채용하고 장반경 a와 편평률 f 로 정의하며 그 위치는 타원체의 위도 φ, 타원체의 경도 λ, 타원체고 h로 표현하게 된다.

타원체 좌표계는 3차원 좌표계로 나타낼 수도 있는데 CTS에서 채택되고 있는 좌표계와 모두 평형이라는 조건을 전제로 하고 있다. 따라서 타원체 좌표계는 다음과 같이 정의될 수 있다.[20,26]

① 원점 (0, 0, 0)은 타원체의 중심이다 (지구중심 부근).

② z축은 타원체의 북극방향이다.

③ x축은 타원체의 기준자오선 방향이다.

④ y축은 오른손 좌표계로 구성된다.

이러한 타원체 좌표계에서는 타원체상의 주, 역문제 계산이 이루어질 수 있고 또한 투영법에 따라 평면좌표계의 병용이 가능하기 때문에 국가기준점망의 구성은 물론이고 지적측량, 건설측량, 지도제작 등의 실생활과 밀접한 관계를 갖고 있다.

이는 타원체가 지오이드 보다 수학적인 연산이 간편하고 실제의 지구형상과 유사하기 때문에 측지망에서 수평좌표의 기준면으로 널리 사용되고 있는 이유가 되고 있다. 반면에 타원체는 높이좌표의 기준면으로서는 부적당하기 때문에 평균해면에 적합되는 수준면인 지오이드를 높이의 기준으로 사용하고 있다.

실용적으로는 측지원점(initial point or origin of datum)에서 천문측량을 실시하여 그 결과를 고정하는 것이 일반적이다. 즉, 우리나라의 경우에는 동경원점을 공용하고 있으므로 원점에서 다음이 설정된 것이다.

①② a, f (Bessel타원체)

③ 자오선방향의연직선편차 ξ_0 (=0)

④ 묘유선방향의 연직선편차 η_0 (=0)

⑤ 측지방위각 α_0 (=A_0)

⑥ 지오이드고 N_0 (=0)

⑦ 타원체의 단축 // 지구자전축

따라서 7개의 원점요소(datum parameters)가 필요한 것이며 3차원 좌표계의 개념을 고려한다면 지역타원체와 지심타원체간의 관계를 나타내는 요소들인 측지원자(geodetic datum)는 최소 5개가 필요하다.

①② a, f

③④⑤ Δx, Δy, Δz

이때, Δx=Δy=Δz=0인 측지원자를 절대원자(absolute datum)라고 하며 측지기준계 GRS80이 그 대표적인 예이다. 특정한 지역기준계에 대하여는 원점이동량 요소(datum shift parameter) Δx, Δy, Δz를 구할 수 있는데 이는 지구중심좌표계에 대하여 특정한 지역좌표계의 평균위치를 나타낸다.

그러나 실용적인 면에서 볼 때 지역측지원자를 설정하더라도 세 축의 방향을 CTS에 평행하도록 유지할 수 없기 때문에 하나의 타원체좌표계를 다른 좌표계로 변환할 경우에는 회전인자를 포함하게 되므로 3차원 좌표계상에서 다음과 같은 7개 요소를 사용하는 것이 일반적이다.

①②③ Δx, Δy, Δz (원점이동)

④⑤⑥ ω, θ, κ (회전)

⑦ (1+λ) (축척)

한편, 요소의 수는 지상관측망의 일부에 사용하거나 또는 위성궤도로 부터 산정할 때 더 증가되게 된다. WGS84는 WGS72를 기초로 하고 차수 180인 중력장을 기본으로 하였기 때문에 지구회전, 광속도, 지심중력상수 등의 기본상수 뿐만아니라 지구중력장의 조화함수의 계수가 포함된다.

3. 한국측지계의 분석

3.1. 국가기준점 체계의 현황

현재의 국가기준점 체계는 기본적으로 1910년대 토지조사사업의 일환으로 실시된 기준점 체계와 성과관리 체계를 유지 계승해 오고 있다. 이러한 기준점 체계의 특징을 요약해 본다면 아래와 같다.

(1) 동경원점계에 의한 지역좌표계이다.

1910년대 측량작업에서 국내의 삼각망을 일본의 삼각망으로 부터 연결한 관계로 동경원점에서 천문관측을 실시하여 Bessel타원체를 고정시킨 영향이 그대로 파급되고 있다.[3,7,8] 따라서 동경원점 부근의 지오이드 기복이 유달리 심하여 연직선 편차가 크고 세계측지계와 큰 편차를 보이고 있는 지역측지계의 특성을 유지하고 있다.

(2) 수평위치와 높이의 구분과 기준계가 다르다.

수평위치를 표현하기 위하여 삼각점을 설치하고 그 위치를 Bessel타원체에 기준인 경위도좌표로 결정하였으며, 높이에 대해서는 수준점을 설치하고 높이위치가 실생활과 밀접한 관계를 갖도록 하기 위하여 지오이드(엄밀하게는 평균해면)로 부터의 정표고(orthometric height)로 나타내었다.

삼각점 성과의 계산에서는 전개법(development method)을 사용하였기 때문에 기준타원체면이 지오이드와 일치하는 것으로 가정하여 측정량을 보정하였으므로 계산의 기준은 평균해면이 되고 있다. 수준점 성과의 경우에는 1910년대에 5개의 수준기점을 사용하였으나(KLN10) 현재에는 전면적으로 개측하여 1990년 1월에 재고시한 성과(KLN87)이며[8] 인천만의 평균해면을 기준으로 하고 있다.

(3) 표석에 의해 위치를 나타낸다.

현재의 기준점 체계에서는 표석을 매설해 두고 위치(삼각점의 수평위치 또는 수준점의 높이)의 기준으로 사용해 온 관계로 이 표석에 결합하는 측량을 실시하여 좌표를 산출하게 된다. 따라서 표석에 따라 위치의 기준이 다른 형태를 갖고 있다.

(4) 기준점의 구성이 계층구조이다.

현재 삼각망을 구성하고 있는 1~4등 삼각점은 1/5만 지형도 작성을 주목적으로 하였기 때문에 전국적으로 통일된 정확도와 밀도로 구성된 계층구조이다. 망의 구축작업에서도 등급별로 순차적으로 실시하였고 변장에 대한 상대정확도로 구분하여 위치정확도를 확보토록 하였다. 수준망의 경우에도 1, 2등 수준노선을 순차적으로 구성하고 있다.

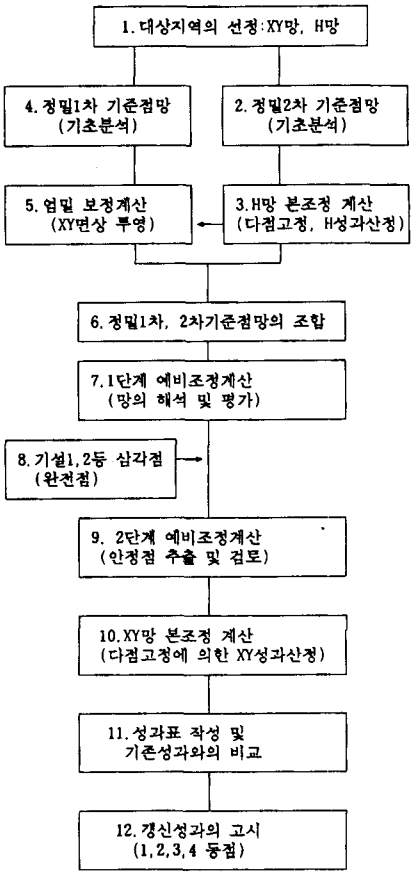

그림 1. 실용성과의 갱신방안[8]

(5) 복구, 재설된 기준점이 많다.

6.25동란 이후 대부분의 기준점이 손상되어 응급복구(원위치 보존)가 이루어졌고 파괴 . 망실된 기준점에 대하여는 재설 및 복구측량이 실시되었다. 1970년대 이후에는 정밀 1, 2차 기준점측량에 의해 전면적인 재측량이 진행되고 있는데 이에 따라 1910년대 측량의 불부합 성과와 구소삼각원점지역 성과의 통합을 포함하여 전면갱신이 가능하며 그림 1에서는 그 갱신체계를 보여주고 있다.

(6) 평면좌표는 Gauss등각이중투영법에 의해 3개의 좌표계로 설정되어 있다.

현재 사용중에 있는 실용성과는 1910년대의 기준점 체계에 근거하고 있으므로 당시의 방법을 유지하고 있는 체계이다. 그러나 평면좌표는 삼각점과 지도(지적도)의 좌표치에 가산값이 다르며, 경위도좌표에서는 경도에 +10.4050″하는 단서조항 때문에 불편이 따르고

있고 실용적으로 사용하고 있는 TM투영과 Gauss 등각 이중투영법에서도 차이가 발생되고 있다.

3.2. 현 기준점체계의 문제점

우리나라의 국가기준점 체계는 측량방법의 변화와 정확도향상, 위치정보 이용의 고도화에 따라 그 한계를 갖고 있다. 일본의 경우를 참고로 하여[9,10] 우리나라 기준점체계의 문제점을 고찰하면 다음과 같다.

(1) 기준점의 수가 많아서 물리적 유지관리가 어렵다.

이는 기준점의 계층구조에 따르는 구조적인 문제점으로서 수평위치와 높이위치를 분리한 체계 때문에 발생되고 있으며 표석을 기준점으로 이용하기 때문에 수많은 표석을 필요로하게 되므로 유지관리가 곤란한 상태이다.

(2) 기준점망의 특성상 위치정확도의 유지관리가 어렵다.

반복관측에 의한 정확도 관리 또는 지각변동조사에 필요한 위치정보를 갱신하는데 어려움이 있다. 이는 성과를 한번 고시하게 되면 공공측량 또는 지적측량에서의 활용성 때문에 그 수치를 쉽게 변경할 수 없기 때문이다.

(3) 위치정보의 정확도가 요구 정확도에 미달되는 경우가 많아지고 있다.

도시기준점측량, 대규모 건설사업 등에서 필요로 하는 정확도가 대단히 높아서 국가기준점이 제 역할을 할 수 없게 된 이유로서는 현재의 기준점체계가 상위등급의 체계를 고수하고 있는데 있다. 따라서 실용성과를 1,2등 삼각망의 정확도 이상으로 유지하기가 곤란하다.

(4) 측정능력에도 불구하고 위치정확도의 향상에 많은 시일이 필요하다.

국토개발로 인하여 기준점의 이설, 복구가 많아졌고 전면개측의 지연에 따라 성과갱신도 지연될 수 밖에 없고 이용자 측면에서는 기준점 설치의 시점보다도 측정능력(장비, 관측기술의 향상)이 더 우수하게 되었지만 국가기준점의 정확도는 불충분하다.

(5) 사용자 편의성에 미흡하다.

정보화, 고도화되고 있는 사회에서 기준점의 성과를 알기 위한 열람, 등본 교부의 절차는 정보통신기술의 발달로 실시간처리가 가능하게 되었으나 차량항법 등 측량이외의 분야에서의 이용을 고려치 못하고 있다.

(6) 위성측량 기술의 활용이 어렵다.

법률적으로 벳셀타원체의 위치로 제한되어 있기 때문에 위성측량 기술의 활용이 편리한 국제좌표계에 의한 위치정보의 정비가 필요하다. 다시말해서 지구중심좌표계와의 결합을 통하여 국내와 국제좌표계간의 변환이 용이하고 높이의 기준면인 지오이드와의 관계를 명확하게 할 필요가 있다.

결과적으로 새로운 기준점체계는 현재와 미래의 측지측량에 가장 효과적인 이상적인 체계여야 하므로 언제, 어디서나, 필요한 정확도로서 위치정보를 얻을 수 있는 기준점체계여야 할 것이다. 따라서 24시간 동안 거의 실시간으로 전국 어디서나 mm에서 m수준까지의 정확도로 다양한 위치정보를 알 수 있다면 이상적이다.

이상적인 기준점체계를 갖추기 위해서는 하드웨어인 기준점 뿐만 아니라 소프트웨어인 위치정보 서비스 기능(GPS연속관측, 통신시스템 등)도 함께 정비되어야 한다.

GPS등 위성측위시스템의 연속관측데이터와 위치정보 데이터베이스에 의한 데이터 서비스 시스템이 수반되는 이상적인 기준점체계를 갖추기 위해서는 앞으로도 많은 시일이 필요할 것이지만, 기준점정비 또는 구성에도 역시 많은 시일이 필요하므로 이상적인 기준점체계를 최종 목표로 하되 현행의 체계를 보완해 나가면서 대비하는 과정을 필요로 하고 있다.

4. 한국측지계의 재정립 방안

4.1. 지구중심좌표계의 정의방안

위성측위시스템과 국제좌표체계에 적극 대처하기 위해서는 지구중심좌표계의 설정을 필요로 하며 측지기준좌표계(geodetic reference frame)를 설정하기 위해서는 좌표계의 측지원자에 대한 정의(geodetic datum definition)가 필요하다.

위치를 나타내기 위한 기준면으로서 타원체면이 사용되더라도 3차원 좌표계가 설정되어야 하므로 다음의 두 종류가 정의되어야만 한다.[20,21]

① 경위도 좌표를 나타내기 위한 기준면

② 3차원좌표계의 원점(origin), 좌표축(orientation), 축척(scale)

지구중심좌표계인 측지기준좌표계를 우리나라에서 구현(materialization)할 수 있는 방안은 다음과 같다.

(1) 원점의 선택 : 새로운 한국측지계의 원점은 지구

의 질량중심으로 한다.

GPS위성측위시스템에서 채용한 기준계는 WGS84로서 이 역시 지구의 질량중심을 원점으로 하였으나 ITRF에서는 보다 정밀한 1cm정확도로서 질량중심을 결정하고 있다. 따라서 3차원 좌표계의 새로운 원점으로는 ITRF의 원점과 같은 지구중심점으로 설정되어야 한다.

ITRF의 원점은 VLBI관측에 의하여 구현될 수 있으므로 VLBI점의 정확한 수치가 결정된다면 이로 부터 원점설정이 가능해 진다. 만일 필요로 하는 높은 정확도가 유지될 수 없다고 하더라도 원점이동량만이 존재하므로(회전은 없음) 동일한 지구중심좌표계 체계간의 변환이 가능하게 된다.

(2) 기준면의 선택 : 측지기준계 1980(GRS80)을 표준타원체로 채택한다.

현재 IAG에서 채택하고 있는 GRS80타원체는 측지사업에 공식적인 기준면으로 사용할 것을 권고하고 있는 것이다. 1983년에 일부의 수정의견이 제시되었으나 특별히 수치를 변경해야 할 필요성이 인정되지 못하여 그대로 유지되고 있다.

한편 WGS84에서는 GRS80의 구면조화함수를 정규화하여 사용할 때 유효숫자로서 8자리만을 채용하였기 때문에 WGS84와 GRS80사이에는 편평률에서만 약간의 차이를 보이고 있으나 이 차이는 실용적인 목적에서 거의 무시될 수 있다.

(3) 좌표축의 정의 : 좌표계의 축방향과 회전은 ITRF에 따른다.

ITRF기준좌표계에서는 다른 지구중심좌표계에서와 같은 방법으로 x, y축의 회전요소를 0으로 하고 있는데 이는 종전의 지역타원체의 설정에서 좌표축이 평행해야 한다는 이론이 만족됨을 알 수 있다. 다만 z축의 회전은 경도(또는 시각)와 관련되기 때문에 BIH1984.0을 기준으로 하는 ITRF의 정의를 따라야 할 것이다.

(4) 축척의 정의 : VLBI축척을 고정하는 것을 원칙으로 한다.

ITRF의 축척과 같아지도록 VLBI관측에 의한 축척을 고정하여 지표면상 측점좌표를 3차원 좌표계에 적합시켜야 하는데 이는 최소 2점 이상의 VLBI관측점이 필요하다. 그러나 이의 구현이 곤란한 경우에는 위성신호의 연속관측점간의 축척을 제약하여 사용할 수도 있다. 이 문제는 지표면상의 측점간 거리 등 3차원 위치결정에 중요한 역할을 하게 된다.

이상에서와 같이 원점, 기준면, 좌표축, 축척이 정의될 수 있는 현실적인 구현방법으로는 ITRF기준좌표계와 GRS80타원체를 사용하고 VLBI관측점을 설치하는 것이 기본이 된다. 다만, 지표면 측점간의 축척을 일치시키기 위하여 VLBI관측점을 추가로 설치 하거나 GPS연속관측점과의 조합해석이 수반되어야 할 것이다.

4.2. 새로운 기준점체계의 구축방안

새로운 기준점체계를 구축하기 위해서는 필요한 기준점의 종류와 배치, 관측체제, 성과관리 등의 방안을 검토하여 현행 체계와의 적합성 또는 앞으로 실현가능성을 고려하여야 한다. 우리나라의 새로운 기준점체계는 국가기본망(national fundamental network), 국가3차원망(*national 3-D network*), 국가기준점망(national conventional network)으로 체계화한다고 할 때의 구축방향은 다음과 같이 제시될수 있다(그림 2참조).

4.2.1. 위성기준점망(국가기본망)

국가기본망은 GPS연속관측점과 위성기준점으로 구성하되, GPS연속관측점은 전국에 약 10~20점을 간격 100~200 km로 배치하고 접근성과 활용성을 고려하여 새로이 선점한다. 위성기준점은 약 50점을 간격 60 km로 배치하며 표석기준점중에서 활용성과 기존 삼각망과의 결합만을 고려하여 선점한다.

국가기본망은 VLBI 관측점과 결합하여 지구중심좌

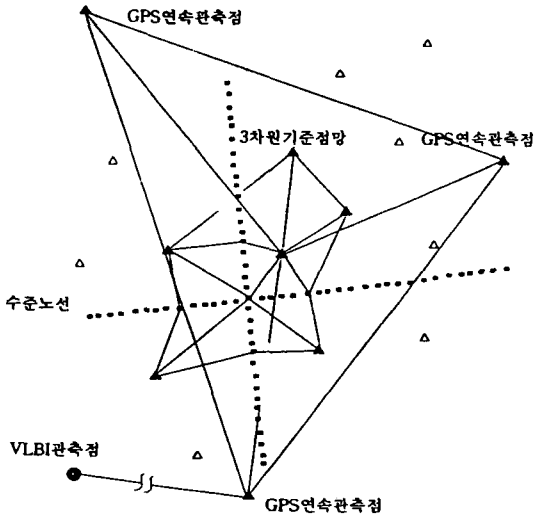

그림 2. 새로운 기준점체계의 개념도

표계에 근거한 별도의 좌표성과를 산출하며, 상대정확도는10^{-7}로서 3차원 기준점망의 골격을 이루도록 한다. 이는 연속관측점에 의해 지각변동과 시간변화에 따르는 기준점의 위치정보를 갱신하여 위치정확도가 낮아지는 것을 방지할 수 있다.

앞으로 공공측량 등에서는 사용자가 연속관측점 데이터를 전달받고 신설점에만 수신기를 설치하면 필요한 위치정보를 얻을 수 있게 되며, 연속관측점과 여기에 소속된 위치정보센타에 의하면 다른 분야, 예를 들면 차량항법, 수치지도수정 등의 분야에서 활용성이 크게 기대된다.

따라서 위성기준점에 대한 위치정보는 항상 최신의 것이 되도록 할 수 있고 위성기준점망의 조정을 통하여 지각변동의 일정기준을 넘게 될 때마다 성과갱신을 실시해야 한다.

4.2.2. 3차원기준점망(국가3차원망)

국가3차원망은 3차원기준점으로 구성하며, 3차원기준점은 용지확보의 어려움과 추후 유지관리의 효율성을 고려하여 기존의 표석기준점 중에서 활용성이 좋고, 높은 정확도가 필요한 점, 지각변동이 예견되는 점 등으로 구성한다.

점의 밀도는 전국적으로 지방자치단체(시,군)당 1점이 되도록 약 200점을 간격 20~30 km로 배치하며 대도시지역과 지각변동조사지역은 약 200점을 간격 10 km로 추가하여 총 400점을 배치토록 한다.

이 규모의 3차원기준점망은 정기적으로 3~5년마다 GPS관측을 반복실시하여야 하며 작업방법은 GPS방식에 의한 정밀 1차기준점측량에 의한다. 3차원기준점의 성과는 위성기준점의 성과에 연동되도록 성과관리하고 이에 적합한 위치정보를 제공토록 한다.

4.2.3. 표석기준점망(국가기준점망)

표석기준점은 기존체계에서의 성과활용을 피할 수 없기 때문에 기존의 성과체계가 유지되는 기준점으로서 현행의 국가기준점망중에서 3차원기준점을 제외한 점이다. 3차원기준점의 성과가 고시되는 시점에서는 표석기준점의 성과를 전면적으로 갱신하여 새로운 좌표체계에 의한 성과를 재산정할 수 있게 된다.

표석기준점은 3차원기준점에서 제외된 국가삼각점과 국가수준점으로 구성하며, 보다 효율적인 관리를 위하여 현행 3, 4등 삼각점이 1910년대의 소삼각점이고 같은 측량작업규정에 의해 관리되고 있으므로 4등삼각점을 3등삼각점에 통합시켜 1, 2, 3등 삼각점으로 단순화할 필요가 있다.

작업방법은 정밀2차 기준점측량에 의해 작업을 실시하며 기존의 방식이나 GPS방식 모두 가능하지만 지오이드고의 결정과 작업능률을 고려하여 가능한 한 GPS방식을 활용토록 해야 한다.

수준점에 대해서는 현재의 정밀수준측량방식에 따라 작업이 완료되는대로 실용성과를 고시토록 하여 기존의 동경원점계에 의한 위치정보의 활용과 보급을 원활히 할 수 있도록 하여야 한다.

4.2.4. 공공기준점(지적기준점 포함)

공공측량에 의해 설치된 공공기준점과 지적측량에 의해 설치된 지적기준점은 재측하지 않은 상태로 두되 3차원기준점 성과 또는 표석기준점의 새로운 성과가 산정되었을 경우에 새로운 좌표체계에 결합하도록 한다. 따라서 필요한 정확도로서 이상적인 체계의 활용이 가능할 때까지 물리적인 유지관리를 보류하고 그때 가서 새로운 4등삼각점으로 통합되는 체계가 되도록 한다.

위성측량 기술을 활용하면 기준점의 위치좌표를 결정할 수는 있지만 물리적인 위치복원이 불가능하기 때문에 토지소유권과 관련있는 지적조사 또는 지진에지를 위한 지각변동 등 현지에서 물리적인 위치복원이 필요한 경우에는 표석기준점의 활용가치가 남게 된다.

따라서 위성기준점과 표석기준점이 상호 보완관계의 역할을 담당해야 할 것이며, 특히 토지의 경계는 지형에 고정된 측량표에 따라 구분되고 있기 때문에 종래의 표석관리를 필요로 한다. 이는 한반도가 10 m이동하더라도 상대적인 토지경계는 변경할 필요가 없기 때문이다.

4.3. 기준점성과의 관리방안

새로운 기준점 체계는 기존의 삼각점과 수준점의 표석기준점 체계를 3차원기준점과 표석기준점으로 재편성하고 위성기준점을 새로 설정하는 방안이다. 본 연구에서 제안된 측지기준좌표계의 재정립과 기준점성과의 관리체계는 그림 3과 같다.

4.3.1. 지구중심계의 성과관리

지구중심좌표계에 의한 새로운 성과는 장기적으로 다음의 순서에 따라 산정될 수 있다.

① VLBI점과 GPS연속관측점(또는 위성기준점)에 의해 기준좌표계를 정의한다.

② 측지계변환요소와 지오이드모델을 산정한다.

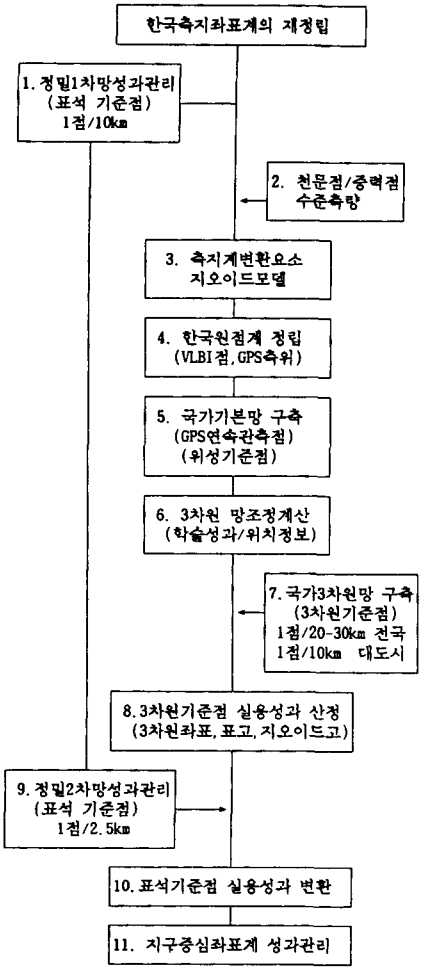

그림 3. 제안된 한국측지좌표계의 재정립 방안

③ 국가기본망(GPS연속관측점, 위선기준점)의 좌표를 산정한다.

④ 국가3차원망에 대한 GPS측량작업을 실시한다.

⑤ 국가3차원망에 대한 새로운 3차원기준점 성과를 산정한다.

⑥ 표석기준점의 성과를 변환하여 새로운 좌표체계의 성과를 산정한다.

이러한 새로운 성과는 일부지역에서 수평좌표가 종래의 성과와 다른 수치를 가질 것으로 예상되지만 국부적으로는 좌표의 평행이동과 회전이동에 의한 등각변환의 형태로 취급될 수 있으므로 혼란을 방지하기 위한 대책과 연구가 수반되어야 한다.

지구중심좌표계에서 수준측량에 의하지 않고서 수 cm~10 cm 정도의 정확도로도 충분한 측량의 경우에는 GPS에 의한 높이 데이터를 이용할 수 있기 때문에 GPS방식에 의한 3차원기준점망의 구축이 완료될 때 지오이드지도의 작성과 활용이 보편화될 수 있다. 그러나 그 전까지는 중력측량, 천문측량, GPS수준측량 또는 GPS기준점측량의 성과를 이용하여 지오이드지도가 작성되어야 하므로 현재의 방식을 유지해야 하며 수준점의 성과도 현행의 체계에 따라 성과를 갱신한다.

지구중심좌표계가 완전히 정착되기 위해서는 많은 시일이 소요될 것으로 예상되므로 현재의 기준점체계와 새로운 기준점체계간의 상호 변환을 위하여 변환요소를 정비해 나가야 하며, 필요한 정확도와 작업지역의 규모에 따라 측량방식에 대한 지침을 제시할 필요가 있다. 높은 정확도가 필요한 국가기간시설 공사에서는 새로운 체계에 따르고 좁은 지역에서 보통 수준의 정확도가 필요한 경우에는 종래의 체계에 따르도록 하는 등의 경우이다.

국가기준점의 관리는 국가3차원기본망이 구성되었는가의 여부에 따라 달라지게 될 것이다. 국가기본망이 새로 구축되었다면 최소 1점 이상의 기지점을 사용하고 상대측위법에 따라 고밀도화(densification)할 수 있다.

국가기준점을 증설, 강화하는 방안으로는 국가기본망의 3점 이상과 신점으로 망을 구성하여 국가기본망의 기준계를 유지하는 방법, 그리고 국가기본망의 1점과 신점 1점에서 동시관측하여 국가기본망에 단순히 연결하는 방법의 2가지 방법이 있다.[23]

4.3.2. 기존 기준계의 성과관리

대부분의 국가에서는 지상측량법에 따라 국가기준계를 설정하고 있으므로 1등 삼각망이 기본망이 되고 있다. 우리나라의 경우에도 GPS기본망이 구축되지 않았기 때문에 현행의 국가기준계가 유지되어야 하므로 단순히 GPS를 도구로서 활용하게 되며 고밀도화, 망의 강화, 망의 증설을 위하여 GPS성과를 기존 삼각망에 변환하여야 하고 국부적인 좌표계 변환요소가 필요하게 된다.[16,17]

기존의 기준계에서의 성과관리에서 GPS를 활용할 때 새로운 기준계가 필요하지 않은 경우와 새로운 기준계를 필요로 하는 경우의 특징은 다음과 같다.

(1) 기존의 삼각망이 정밀한 경우(새로운 기준계가 불필요)

- GPS를 측량도구로 사용한다.
- GPS가 기존의 지상법보다 경제적이고 작업이 신속하다.

- 기존 삼각점을 고정점으로 사용하며 기존 국가기준계가 유지된다.

- 많은 국가에서 측지망을 신속하게 구성하기 위해 채택하고 있다.

(2) 기존 삼각망의 정확도가 보통 이하인 경우(추후 새로운 기준계가 필요)

- GPS성과에 기존 삼각점의 오차가 포함된다.

- GPS성과를 기존 삼각망에 적합(보간)시키는 방법으로 사용한다.

- 추후에 국가 GPS기본망을 구성할 때까지 GPS측정량을 보존해야 한다.

- 새로운 기준계와 망이 채택될 때까지 잠정성과로 활용할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 현행의 우리나라 측지계를 분석하여 한국측지좌표계의 재정립에 대한 필요성을 고찰하였으며 새로운 측지기준좌표계(geodetic reference frame)의 도입과 국가기준점망의 구축방안을 제시하였다. 아울러 기존의 타원체좌표계에서 점진적으로 새로운 지구중심좌표계로 변경해 갈때의 기준점과 성과관리의 방안에 대하여 고찰하였다.

한국측지좌표계의 재정립과 관련된 기본방안으로는 첫째, 새로운 지구중심좌표계는 ITRF좌표계와 GRS 80타원체에 의해 정의하고, 둘째, 새로운 기준점체계는 기존의 삼각점과 수준점의 이원화된 표석기준점체계를 3차원기준점과 표석기준점으로 재편성하고 VLBI관측점과 GPS연속관측점을 포함하는 위성기준점을 신설하며, 셋째, 국가기본망과 국가3차원망은 주기적으로 반복관측하여 성과를 갱신하되 국가기준점망은 기존의 성과체계를 유지하는 표석기준점으로 구성하여 기존의 방식에 따라 성과관리한다는 것으로 요약될 수 있다..

참고문헌

1. 강준묵, 이영진 외, "지적재조사사업을 위한 GPS의 활용에 관한 기초연구", 지적기술연구소, 1996년 7월.
2. 백은기, 이영진, "가중측점망 조정법의 적용에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 11(4), 1991, pp. 133-141.
3. 이영진, "벳셀타원체 기준의 남한지역 지오이드모델(KGM95)", 한국측지학회지, 13(2), 1995, pp. 125-133.
4. 이영진, "GPS위성에 의한 정표고의 결정에 관한 실험적 연구", 경북산업대학교 산업기술연구소 논문집, 제5집, 1995, pp. 163-170.
5. 이영진, "GPS방식에 의한 정밀기준점측량의 실용화에 대한 연구", 대한토목학회 논문집, 13(5), 1993, pp. 201-208.
6. 이영진, "GPS위성의 P코드/위상측정용 2주파수 수신기에 의한 정밀측위", 대한토목학회 논문집, 13(2), 1993, pp. 219-228.
7. 조규전, 이영진, 조봉환, "개선된 남한지역의 GRS80 중력지오이드모델 (KGM93)", 한국측지학회지, 12(1), 1994, pp. 61-68.
8. 최재화, 이영진, 최윤수, "국가삼각점 성과의 갱신방안에 관한 연구", 한국측지학회지, 10(2), 1992, pp. 13-28.
9. 國土地理院, "新しい基準点體係を求めて", 1993.
10. 飛田幹男, "最近の 測量にあって明らかになった 基準點成果の 特徵", 國土地理院 技術資料, A1-NO. 154, pp. 1~18.
11. Boucher, C., M. Feissel, and J.-F. Lestrade, "Concepts and Methods of the Central Bureau of the International Earth Rotation Service", Bulletin Geodesique, 62, 1988, pp. 511~519.
12. Beutler, G., I. I. Mueller, and R. E. Neilan, The International GPS service for Geodynamics(IGS) : the story, in "GPS Trends in precise Terrestrial, Airborne, and Spaceborne Applications", IAG Symposia 115, Springer, 1996, pp. 3~13.
13. Bevin, A. J. and J. Hall, "The Review and Development of a Modern Geodetic Datum", proc. of FIG 1994 Congress, 1994, TS506.3, pp. 81~85.
14. Cain, J. D., "Statewide, High-precision GPS Networks Support Local GIS Accuracy", GIS Word, 1992 August, pp46-56
15. Christie, R. R., "A National GPS Network for Great Britain", Ordnance Survey, 1991.
16. Engberg L. E. and T. Lithen, "The Establishment of an Improved Reference Network in Greater Stockholm by Densification of the National Network with GPS-Technique", proc. of FIG 1994 Congress, TS506.2, pp.3~13.
17. Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger and J. Collins, "Global Positioning System; theory and pratice(3rd ed.)", 1994, Springer-Verlag.
18. Leick, A., "GPS Satellite Surveying (2nd ed.)", 1995, Wiley.
19. Kinoyside, D. A., "The Geocentric Datum of Australia; transform or readjust?", proc. of FIG 1994 Congress, 1994, TS506.1, pp. 1~12.

20. Moritz, H. , "The Definition of a Geodetic Datum", proc. of symposium on 2nd North American Geodetic Network, 1978, pp. 63~75.
21. Papo, H. B., "Datum Definition in the GPS ERA", CISM Journal, vol. 42, No. 2, 1988, pp. 127-132.
22. Seeber, G., Interim Status Report on D NAV, in "Global Positioning System", IAG Symposium No. 102, 1989, Springer-Verlag, pp. 95-100.
23. Seeber, G., "Satellite Geodesy", 1993, Walter de Gruyter.
24. Seeger, H, "EUREF : The New European Reference Datum and it's Relationship to WGS84", FIG XX CONGRESS, TS506.4
25. Steeves, R. R., C. A. Chamberlain and D. J. McArthur, "Cost Effectiveness of A Canadian Active Control System", Proc. of 5th Geodetic Symm. on Satelite Positioning, 1989, pp. 825-830.
26. Vanicek, P., Report on Geocentric and Geodetic Datums, UNB Technical, Report No. 32, 1975.