

국가좌표계 변환요소의 개선 Improved National Datum Transformation Parameters of South Korea

李 榮 鎮*
Lee, Young-Jin

要 旨

이 논문에서는 한국경위도원점의 실용성과 및 VLBI관측점과의 연결에 의한 국제지구기준좌표계94(ITRF94) 성과의 결정과정을 설명하고 있으며 이를 이용한 원점변환요소를 도출하고 있다. 또한 실용성과와 31점으로 구성된 지구중심좌표계 KTRF94 성과간의 국가변환요소를 가중변수법을 이용하여 산정하고 결과를 제시하였다. 이 변환 요소에 대한 특성을 분석한 결과, 앞으로 KTRF성과를 사용한다면 기선해석의 초기좌표 계산이나 지구중심좌표계의 3차원 성과산정에 활용될수 있음을 보여주고 있다.

ABSTRACT

In this paper, the historical coordinates data of origin SUWON are reviewed and determination procedures are explained with the three dimensional geocentric coordinates of ITRF94 that is determined using VLBI observations. Also three translation parameters are calculated on the origin point. The national transformation parameters between the Korean geodetic system and Korean Terrestrial Reference Frame 1994(KTRF94) system, are determined using least square methods with weighted parameter constraints. The results of transformation show that one set of parameters are applicable to fixing of a position for GPS relative positioning processing and to adjusting of a network for three dimensional geocentric coordinates(KTRF94) computing.

1. 서 론

측지분야의 학문, 기술 및 장비의 발전과 개발에 따라 위성측위시스템의 보급과 LIS/GIS기술의 활용은 정보통신망의 정비에 따라 일반사용자들이 언제, 어디서나, 필요한 정확도로서 위치정보를 파악할 수 있는 시대에 진입하고 있다.

기존의 측량기술과 이러한 신기술의 접목은 측지과학(geomatics) 또는 측지공학(geomatic engineering)이라는 단어와 학과가 출현하게 되었는데, 'geomatics'는 'geodesy'의 'geo'와 'mathematics'의 'matics'를 조합한 인조어로서 불란서 측지학자인 B. Duvoissson박사가 1975년에 캐나다에서 처음 사용한 것이다.¹⁰⁾

이 분야는 전통적으로 측량학(surveying and mappig)

의 영역인 측지측량, 지형도측량, 지적측량, 수로측량, 항공측량, 응용측량에 추가하여 지적학, 원격탐사, GIS, GPS, 토지정보관리(land information management) 등을 포함하는 분야로 새롭게 정립되고 있다.

동경원점의 결정에는 오랜 역사적 배경을 갖고 있으며 그 결과로부터 타원체좌표계인 동경원점계의 측지원자가 결정되어 있다. 현재 국립지리원 구내에 설정되어 있는 천문원점은 1981년 8월부터 1985년 10월까지 Wild T-4와 크로노미터에 의해 관측된 데이터로부터 중량평균한 것으로서 그 성과는 1985년 12월 27일에 고시된 것이다.

측량법상으로는 공식적으로 이 점의 수치를 한국경위도원점으로 지정하고 있으나 실용적으로는 현재의 실용성과가 1910년대의 삼각측량 성과를 기준으로 하고 있으므로 동경원점을 공용하고 있는 것으로 파악되고 있다.

*慶一大學校 工大 測地工學科 助教授

표 1. VLBI점 연결관측의 벡터(국립지리원 구내)

From	To	DX(m)	DY(m)	DZ(m)	비고
VLBI안테나중심	VLBI금속표	2.0835	-2.7686	-2.6404	편심측정
GPS연속관측점(*)	VLBI금속표	-0.620	4.755	-9.260	GPS(96.3.6)
VLBI금속표	NGI(원점)	21.3983	-17.0460	50.8870	"
NGI(원점)	GPS연속관측점(*)	-20.778	12.291	-41.627	"
(소계)		(0.003)	(0.000)	(0.000)	(폐합차)
GPS연속관측점(*)	기준면중심	-0.034	0.045	0.042	편심 70 mm

(*) GPS연속관측점은 GPS연속관측점의 pillar 상면의 중심(Marker와 70 mm 차이).

현재 국립지리원에서 고시되어 있는 경위도원점의 실용성과는 정밀1차기준점측량 성과로서 전국적인 1차망의 구성이 완료되지 않은 시점에서 조정계산을 실시한 결과이며 표고는 천문측량 당시에 직접수준측량한 것이다. 성과표에 나타나 있는 수치는 임시성과로서 위도 37° 16' 23.153", 경도 127° 03' 22.429" (10.405"를 가산한 값임), 표고 67.50 m이다.²⁾

이후 정밀1차기준점측량의 검증을 거쳐 실용성과로서 1차성과를 다음과 같이 확정한 상태이다.

위도 37° 16' 23.149"

경도 127° 03' 22.453" (10.405"를 가산한 값임)

표고 67.50 m

이 수치는 인접된 1, 2등 삼각점을 기준으로 산정되었기 때문에 정식으로 고시될수 있으며 우리나라 측지 계산의 기준으로 삼을 수 있다. 한편 측지연구의 일환으로 전국망의 동시조정 성과를 산정하고 있으나 최종 성과가 아니기 때문에 재고시되지 못하였다.

현재의 국가기준점체계로서는 요구정확도를 만족시킬 수 없는 경우가 발생하고 있으며 전면적인 성과갱신이나 좌표계의 변경이 곤란하고 수평위치와 수직위치를 각각 삼각점과 수준점이라는 두 종류의 기준체계를 사용하고 있기 때문에 GPS의 활용에 어려움을 안고 있다.

그러나 위성측위시스템을 적극 활용할 수 있고 사용자에 대한 서비스 향상 및 다양한 위치정보의 요구에 부응할 수 있도록 하기 위하여 지구중심좌표계와 기존 국가좌표계간에 호환이 이루어질 수 있도록 국가변환 요소가 결정되어야 한다.

국내외에서는 이와 관련된 많은 연구가 수행된 바 있으며 각국마다 특성있는 결과가 제시되고 있다.^{7-9,14,15)}

97년도에 발표한 결과³⁾에서는 92년도 한일협력에 의해 결정된 WGS84성과와 이와 관련된 좌표성과를 사

용한 바 있으나, 본 연구에서는 이를 개선하기 위하여 경위도원점의 ITRF94성과에 의한 원점변환요소, 그리고 국가기본망 31점의 KTRF94 성과에 의한 국가변환 요소를 산정하는데 연구목적이 있다.

2. 경위도원점(NGI)의 3차원성과

이 절에 기술되어 있는 내용은 국립지리원과 국토지리원의 자료에 근거하고 있으며,^{12,6)} 한국측지학회 학술 발표회에 발표된 바 있다.¹⁸⁾

1995년에 국립지리원에서는 일본 국토지리원의 협조를 받아 VLBI 관측을 실시한 바 있으며 이로부터 결정된 VLBI금속표의 ITRF94성과를 산출하였다. 또한 한국경위도원점 금속표(NGI)의 ITRF94좌표를 산출하기 위하여 1996년 3월 6일에 GPS에 의한 연결관측이 실시되었다.

표 1은 VLBI금속표와 NGI, SUWN간의 연결관측 내용이며 표 2는 이로부터 결정된 경위도원점 금속표 NGI의 성과와 GPS연속관측점(SUWN)의 성과를 보여 준다. 표 1에서 GPS연속관측점 - VLBI금속표 - NGI 원점간의 폐합차는 매우 미소하므로 내부적으로 검증될 수 있다.

그러나 한일간 VLBI관측의 결과는 다른 데이터인 GPS 등으로부터 검증할 필요가 있는데 VLBI관측과 GPS 연속관측 각각의 내부적인 평가는 별도로 이루어졌다.

국립지리원 구내에 설치된 VLBI관측점과 GPS관측

표 2. 경위도원점의 VLBI성과

구 분	ITRF94(Epoch 1995.827)
경위도원점 금속표 (NGI)	X= -3062002.5526 m Y= 4055436.7504 m Z= 3841860.8691 m

점은 매우 근접해 있으며, 일본의 경우에는 GSIS점이 스쿠바 국토지리원 구내에 있고 가시마 26 m VLBI안테나와는 약 55 km 떨어진 관계로 GSIS와 인접한 5 m VLBI안테나와 결합될 수 있다. 따라서 GPS와 VLBI성과를 상호 비교할 수가 있다.

이 기선벡터는 측량시기와 방법이 다른 것을 사용하고 있기 때문에 참의 좌표관계를 나타내고 있으며 안테나 중심과 금속표간의 관계는 2~3 mm 정확도로서 편심측정되어 있다.

비교는 경로 2,447 km의 기선에 대한 환폐합차를 구하여 평가되었으며 좌표차에서 최대 30 mm이며, 남북방향에서 +19 mm, 동향방향 +11 mm, 상하방향 -28 mm의 환폐합차가 나왔다.

또한 1994년 10월에 실시된 한일 GPS기선측량의 결과인 수원 SUWN연속관측점의 변동량을 고려한 결과와 VLBI관측의 결과를 비교해 보면 남북방향 -3 mm, 동서방향 -17 mm, 상하방향 22 mm가 그 차이로 나타나고 있으므로 이 역시 VLBI성과와 GPS성과가 유사하므로 수원경위도원점의 VLBI성과가 타당함을 입증하고 있다.

3. 국가변환요소의 개선

3.1 경위도원점의 변환요소

VLBI관측으로부터 결정된 경위도원점 금속표의 중심이 ITRF94좌표가 결정되어 있으므로 실용성과(1차 성과)와의 차이로 부터 원점변환요소(3-변수)를 구할 수 있다. ITRF94성과는 별도의 결과를 이용하고 실용성과는 경위도원점 주변의 1, 2등 삼각점과 연결하여 정밀1차기준점측량한 성과를 사용하였다.

본 연구에서는 벡셀지오이드를 고려한 경우와 고려치 않은 경우에 대하여 각각 분석코자 하였으며 KTRF94성과(전국망)에 의한 3-변수식의 적용결과와 비교 고찰하였다. 표 3에서는 원점변환요소의 수치를 보여주고 있다.

원점변환요소의 적합도를 분석하기 위하여 정밀1차 성과(전국망)를 이용하여 변환한 결과로부터 편차를 분석한 결과를 표 4에 나타냈다.

이 표에서 높이만을 고려해 보면 벡셀지오이드고를 고려한 모델의 경우에는 최대 5 m 편차내에 들고 있으나 벡셀지오이드고를 고려치 않은 경우에는 최대 30

표 3. 원점변환요소

	벡셀지오이드고를 고려한 모델	벡셀지오이드고를 고려치 않은 모델
이동요소	$dX_0=145.109$ m $dY_0=-501.599$ m $dZ_0=-686.687$ m	$dX_0=114.026$ m $dY_0=-460.435$ m $dZ_0=-647.431$ m

표 4. 원점변환요소의 적합도 분석

	벡셀지오이드고를 고려한 모델			벡셀지오이드고를 고려치 않은 모델		
	φ	λ	h	φ	λ	h
평균	0.081"	0.051"	-2.45 m	0.043"	0.087"	-12.06 m
표준편차	± 0.094	± 0.088	± 2.83	± 0.068	± 0.108	± 14.04
최대편차	0.158"	0.166"	4.54 m	0.125"	0.175"	23.88 m

m의 편차가 나고 있다. 이 결과는 국내에서 벡셀지오이드고를 필히 고려해야 함을 보여주며, 벡셀지오이드고를 고려하지 않은 경우에는 측정거리가 제한되어야 한다.

또한 수평위치만을 고려해 본다면 벡셀지오이드고를 고려한 모델과 고려치 않은 모델에서 모두 최대편차 10 m내로 나타나고 있으므로 1 ppm의 정확도 확보에 무리가 없음을 보여준다.

그러므로 동경원점으로부터 멀리 떨어져 있는 우리나라의 경우에는 일반적으로 벡셀지오이드고를 고려하여 GPS기선해석용 초기좌표의 결정에 원점변환요소를 이용할 수 있다. 그러나 원점변환요소를 이용하여 성과를 산정하는 용도로 사용되어서는 아니된다.

3.2 데이터 및 데이터처리

본 연구에서 우리나라 국가변환요소를 산정하기 위하여 사용한 데이터는 1996년도에 국립지리원에서 정밀1차기준점측량 용역사업으로 시행된 전국망 31점에 의한 것이다. GPS측량은 "GPS에 의한 정밀기준점측량 작업규정"에 따라 실시된 것으로서 전국망을 2세션(반복)으로 관측하여 조정된 결과를 활용하였다.

GPS수신데이터는 모두 RINEX포맷으로 변환하여 TRIMEC 소프트웨어로 기선해석을 실시하고 소정의 점계산을 실시하였으며 수원원점 1점을 고정하여 3차원망조정을 실시하여 KTRF94계 또는 WGS84계에 의한 3차원좌표를 산출하였다.

기선해석을 위한 고정점의 출발점인 수원원점은

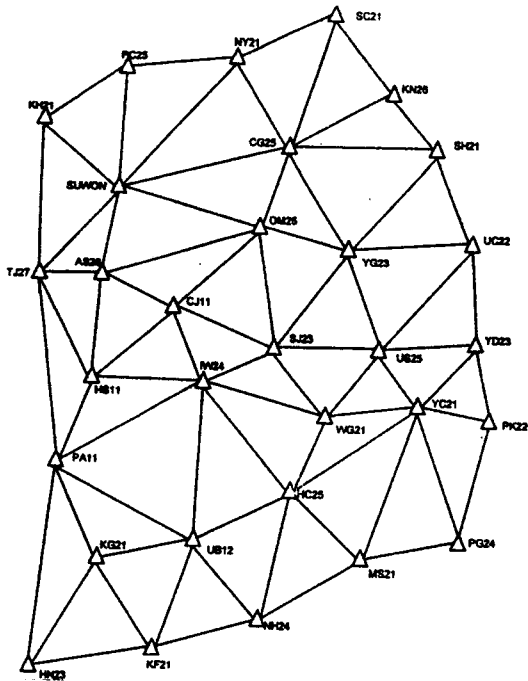


그림 1. 국가기본점 관측망도(31점)

1991년도 한일 협력사업에 따라 동경과의 상대측위에 의해 결정된 수치를 사용하였으며 이를 초기좌표로 하여 전국망의 기선해석이 실시되었다.

한편 Bessel성과인 실용성과는 기존에 고시되어 있는 실용성과와 1994년도의 측지연구에서 산정된 정밀 1차망 성과(임시성과)를 사용하였는데 모두 국립지리원으로부터 제공받았다. 총 31점의 KTRF94의 조정 성과중에서 측지부대에서 재설한 KH21, PC25 삼각점, 그리고 정밀1차성과가 산정되어 있지 않거나 재설점인 CG25, IW24, YC21 삼각점을 제외고 총 26점을 국가변환요소의 산정에 사용하였다.

정밀1차성과는 EDM방식에 의한 정밀1차기준점망을 조정한 것이며 변동점을 제외한 완전점중에서 적합되는 안정점을 고정점으로 하여 전국규모로 동시조정된 성과이다.

벡셀지오이드고는 이영진(1995)의 연구에서 산정된 수치를 사용하였으며 이는 1947년부터 1979년까지 관측된 일본 국토지리원의 354점과 1973년부터 현재까지 국립지리원에서 관측된 40점을 혼합하여 결정한 천문측지 지오이드고이다. 남한지역의 천문지오이드 지도 (KGM95-A)로부터 삼각점의 벡셀지오이드고를 계산하

여 사용하였다.⁴⁾

국가변환요소의 결정을 위한 전산처리는 가중변수 (weighted parameters)에 의한 최소제곱해법을 사용하였으며 이 방법은 가중변수를 적절히 선택하여 여러 경우 별로 해를 구할 수 있는 특징이 있다.

6-변수식이나 4-변수식에 대한 활용성이 별로 없기 때문에 본 연구에서는 Bursa-Wolf모델에 의한 다음을 고려하였다.

- ① 7-변수 (측척, 3회전, 3이동)
- ② 3-변수 (3이동)

기준계 A, B의 공통점 i에 대응되는 3차원좌표를 각각 u_i, w_i 라 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.^{3,12,17)}

$$w = a + (1 + \lambda) Ru_i \quad (3-1)$$

따라서 선형화된 i점의 관측방정식은 다음과 같이 된다.

$$A_i X + B_i V_i = b_i \quad (3-2)$$

V는 잔차이며 X는 변환요소의 조정량이 된다. 3차원 변환모델의 경우에는 최소 3점의 공통점이 필요하게 되므로 공통점의 수가 m일 때의 선형방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$A \Delta X + B V = b \quad (3-3)$$

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \lambda \\ \Delta \omega \\ \Delta \theta \\ \Delta \kappa \\ \Delta a_1 \\ \Delta a_2 \\ \Delta a_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & B_1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & B_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{u1} \\ v_{w1} \\ v_{u2} \\ \vdots \\ v_{wm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \quad (3-4)$$

(3 m × 7) (7 × 1) (3 m × 6 m) (6 m × 1) (3 m × 1)

측정량인 좌표에 대응되는 공분산행렬은 (6 m × 6 m)의 크기로서,

$$Q_l = Q_u + Q_w \quad (3-5)$$

또한 변환요소의 공분산행렬은 (7 × 7)의 크기이다.

$$Q_x \quad (3-6)$$

Lagranger 상관계수 k를 이용하여 최소제곱법의 원리를 적용하면, 다음과 같이 된다.

$$X = (P_x + A^T M^{-1} A)^{-1} A^T M^{-1} b \quad (3-7)$$

$$k = M^{-1} (AX - b) \quad (3-8)$$

$$V = -P^{-1} B^T M^{-1} (AX - b) \quad (3-9)$$

여기서 $M=BP^{-1}B^T$ 이다. 또한 단위중량에 대한 사후분산값을 다음과 같이 된다.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{6m - u + u_x} \quad (3-10)$$

여기서, m 은 공통점의 수, u 는 변환요소의 수 (7), u_x 는 가중변환요소(weighted parameter)의 수가 된다.

변환은 KTRF94성과와 실용성과 또는 1차성과간의 두 가지 경우에 대하여 해를 구하였으며 실용성과와 1차성과에서는 모두 +10.405" 및 벡셀지오이드를 고려하였다. 가중변수에 의한 해법은 변수의 초기값을 부여하고 공분산행렬의 구성에서 표준오차의 크기를 작게 부여하여 결과에 영향이 없도록 하였다.

예로서 측척의 경우에는 0.001 ppm이 되도록 분산값을 1×10^{-18} 로 부여하고 다른 인자에 대해서는 매우 큰 값을 부여하게 된다. 하나의 전산프로그램으로서 변수에 대한 중량만을 바꾸어 가면서 변수의 수에 따라 해를 구할 수 있는 특징이 있다.

3.3 변환요소의 결과와 분석

표 5에서는 KTRF94와 1차성과간의 변환요소를 결정한 결과를 보여주고 있으며, 표 6에서는 KTRF94와 실용성과간의 변환요소를 결정한 결과를 보여주고 있다. WGS84성과를 이용하는 경우에는 KTRF94와의 관계로부터 규정될 수 있기 때문에 제외되었다.

결정된 변환요소의 추정정확도면에서 볼때 Bursa-Wolf모델의 경우보다 Molodensky-Badekas모델이 훨씬 정밀한 결과를 보여주고 있으나 B-W모델에서는 망의 무게중심 또는 경위도원점을 회전의 중심으로 해야 되는 문제점이 있으므로 B-W 모델만을 다루었다.

표 5와 6에서 KTRF94성과와 1차성과 또는 실용성과를 적용한 결과를 분석해 보면, 7-변수의 경우에 있어서는 변환요소의 수치는 표준편차의 범위내에 있으므로 서로 동등한 것으로 파악되지만 표준편차의 크기는 1차성과를 사용한 경우가 실용성과를 사용한 경우보다 양호함을 알 수 있다.

이는 1차망의 성과가 비교적 균질성을 확보하고 있

표 5. KTRF94와 1차성과간의 변환요소

변수	변환요소	잔차에 대한 표준편차/ 최대편차	
7-변수	$\lambda = -5.97 \pm 0.35$ ppm		
	$\omega = +2.05 \pm 0.43$ "	$\varphi = \pm 0.013$ "	0.052 "
	$\theta = -0.73 \pm 0.51$ "	(0.40 m)	(1.16 m)
	$\kappa = -2.68 \pm 0.55$ "	$\lambda = \pm 0.006$ "	0.012 "
	$x_0 = +166.59 \pm 18.97$ m	(0.15 m)	(0.30 m)
	$y_0 = -476.83 \pm 13.46$ m	$h = \pm 1.24$ m	2.69 m
	$z_0 = -634.80 \pm 13.30$ m		
3-변수	$\lambda = 0$		
	$\omega = 0$	$\varphi = \pm 0.046$ "	0.119 "
	$\theta = 0$	(1.42 m)	(3.69 m)
	$\kappa = 0$	$\lambda = \pm 0.059$ "	0.112 "
	$x_0 = +145.83 \pm 0.79$ m	(1.46 m)	(2.76 m)
	$y_0 = -504.43 \pm 0.99$ m	$h = \pm 1.53$ m	2.76 m
	$z_0 = -685.93 \pm 0.95$ m		

※(비고) Bessel 지오이드를 고려한 것임.

표 6. KTRF94와 실용성과간의 변환요소

변수	변환요소	잔차에 대한 표준편차/ 최대편차	
7-변수	$\lambda = -2.67 \pm 1.64$ ppm		
	$\omega = +2.73 \pm 0.41$ "	$\varphi = \pm 0.044$ "	0.145 "
	$\theta = -1.64 \pm 0.49$ "	(1.36 m)	(4.48 m)
	$\kappa = -3.20 \pm 0.51$ "	$\lambda = \pm 0.032$ "	0.084 "
	$x_0 = +170.96 \pm 17.17$ m	(0.79 m)	(2.07 m)
	$y_0 = -494.45 \pm 13.32$ m	$h = \pm 1.24$ m	2.73 m
	$z_0 = -647.75 \pm 12.97$ m		
3-변수	$\lambda = 0$		
	$\omega = 0$	$\varphi = \pm 0.074$ "	0.212 "
	$\theta = 0$	(2.29 m)	(6.55 m)
	$\kappa = 0$	$\lambda = \pm 0.097$ "	0.187 "
	$x_0 = +146.28 \pm 0.41$ m	(2.39 m)	(4.61 m)
	$y_0 = -504.69 \pm 0.45$ m	$h = \pm 1.39$ m	2.29 m
	$z_0 = -686.31 \pm 0.55$ m		

※(비고) Bessel 지오이드를 고려한 것임.

고 전국적으로 조정된 것이므로 1910년대 이후 계속적으로 유지관리되어 오고 있는 실용성과 보다는 양호할 것이기 때문에 예상될 수 있는 결과이다.

그러나 3-변수의 경우에는 실용성과의 쪽이 표준편차가 더 양호한 것으로 나타났으나 이는 표 5와 6의 변환의 적합도에 대한 분석을 해보면 다른 형태가 되고 있음을 알 수 있다. 즉, 두 표에서 3-변수의 경우를 보면 1차성과를 사용한 모델이 실용성과를 사용한 경우보다 2배 정도 양호함을 보여준다. 따라서 두 결과는

거의 동일한 것으로 보여진다.

변환정확도의 적합성(잔차)의 측면에서 볼 때 표 6의 1차성과를 사용할 때의 결과에서 보면 7변수의 경우가 가장 양호하며, 표준편차는 위도 $\pm 0.013''$ (0.04 m), 경도 $\pm 0.006''$ (0.15 m), 높이 ± 1.2 m이고 최대 편차는 위도 $0.052''$ (1.6 m), 경도 $0.012''$ (0.3 m), 높이 2.7 m로서 최대편차가 표준편차의 4배 이내에 있음을 보여준다. 이는 실용성과를 사용한 경우에는 1차성과를 사용한 경우와 비교할때 높이는 동일하지만 위도와 경도는 거의 4배 낮은 정확도임을 보여준다.

3변수인 경우의 적합성을 분석해 보면 1차성과를 사용한 경우가 표준편차에서 위도 $\pm 0.046''$ (1.42 m), 경도 $\pm 0.059''$ (1.46 m), 높이 ± 1.53 m 내로서 실용성과를 사용한 경우보다 1.6배 적합함을 알 수 있다. 최대편차의 경우에는 1차의 경우가 3.7 m, 실용성과의 경우가 6.6 m로 나타났다.

그러나 변환요소 수치의 비교에서는 7변수보다 3변수의 경우가 차이가 작기 때문에 요소값 자체에 대한 안정성이 좋다고 볼 수 있으며, 대신에 적합도면에서는 7변수쪽이 더 좋다고 말할 수 있다.

4. 고 찰

본 연구에서 산정된 변환요소는 GPS기선해석에서 초기좌표의 결정에 사용될 수 있으며 지형도의 지도변환 또는 도로지도에 의한 차량항법 등에 활용될 수 있을 것이다. 어떤 요소가 어떤 용도에 활용될 수 있는지를 파악하기 위하여 먼저 GPS기선해석에서 필요로 하는 기지점(초기좌표)의 정확도를 분석할 필요가 있다.

「일반적으로 초기좌표에서 위치오차 10 m는 1 ppm의 정확도」라고 말하는 것은 실용적으로 사용하기 위한 최종결과를 의미한다고 볼 수 있기 때문에 이를 좌표오차로 고려할 수도 있다.^{11,16)} 따라서 경위도좌표의 경우에는 1차성이나 실용성과 어느 것을 사용하든지 7변수, 3변수 어느 식을 사용하여 변환해도 거리 1 ppm이 확보될 수 있다.

또한 연구에서 적용한 높이는 Bessel지오이드를 반영한 결과이며 그 결과 적합도(잔차)의 최대오차가 2.8 m이므로 Bessel 지오이드를 고려한다면 1 ppm 정확도를 확보하는데 지장이 없음을 알 수 있다.

공공측량에서의 GPS측량을 위한 기선해석용 초기좌

표의 결정을 위해서는 활용이 간편하고 사용성이나 사용모델에 대한 변환요소의 수치가 안정되고 있는 3변수식을 사용하는 것이 합리적일 것이다. 공공측량에서의 최대거리를 10 km로 본다면 0.2 ppm오차가 2 mm 크기에 해당되므로 경위도좌표 10 m, 높이 6.5 m 오차 내에 있다면 기선해석이 만족될 수 있을 것이다.

이 경우에 있어서는 높이오차의 영향 때문에 필히 벡셀지오이드고 (1 m 단위)를 반영하여야 한다. 만일 벡셀지오이드고를 고려하지 않는다면 평균해면을 지오이드면으로 취급하여 표고를 높이로 고려하게 되므로 최대 30 m 오차가 포함되게 된다. 이는 1 ppm의 영향을 미치므로 좌표오차의 크기가 2 mm 내로 해석될 수 있도록 거리를 2 km 이내로 국한시켜야 한다는 것을 의미한다.

GPS에 의한 높이차 측정은 거리보다 2.5배 낮은 정확도이므로 거리측정의 정확도가 1 ppm일 때 높이측정의 정확도가 2.5 ppm이라는 점을 고려해야 하고 이 역시 상대측위라는 것을 주의해야 한다.

국가변환요소가 주어져 있는 경우라고 하더라도 국가기준점외의 다른 공공기준점이나 지적기준점에서 변환할 경우에는 정확도 예측이 곤란하므로 기선해석에서의 초기좌표는 항상 국가기준점에서 출발되어야 한다는 점에 유의할 필요가 있다. 또한 국가기준점, 공공기준점, 지적기준점 등의 측량성과 자체를 실용성과(고시성과)로 변환하는 용도로서 국가변환요소를 사용할 수 없다는 점도 강조되어야 한다.

국가기준점측량에서는 GPS기선해석의 정확도를 0.1 ppm까지 허용한다고 할 때 최대편차 5 m 이내인 7변수식을 적용할 수 있다. 그러나 국가기준점측량에서 기선해석을 위한 초기좌표는 KTRF94좌표가 산정되어 있는 삼각점을 직접 연결하고 이로부터 기선해석이나 성과산정이 이루어지는 것이 타당하다.

지도를 직접 변환하기 위해서는 도상 0.2 mm를 목표 정확도로 할 때 축척 1/2.5만에서 5 m, 등고선간격 20 m의 1/4인 2.5 m의 위치정확도를 가져야 한다. 실용적으로 지도수정 등에 있어서 최대 2배까지 오차를 허용한다고 볼 때 10 m 한계이므로 축척 1/2.5만 지도를 변환하고자 할 때에는 실용성과의 변환정확도가 10 m 이내인 3변수식으로 충분히 적용할 수가 있다. 같은 방법으로 축척 1/1만 지도에 있어서는 최대오차(수평)의 한계가 4 m이므로 7변수식을 사용해야만 한다. 그러나 축척 1/5천 이상의 대축척에 있어서는 기설 국가기

준점에 대한 지심 3차원성과를 별도의 방법(GPS측량 또는 재조정 등)에 의해 결정하고 나서 변환요소를 적용하는 것이 타당할 것으로 판단되므로 별도의 엄밀한 변환요소가 산정되어야 한다.

본 연구에서 사용한 성과 KTRF94좌표는 WGS84좌표성과와 1 m 이내의 차이밖에 없으므로,²⁾ 기선해석에서는 KTRF94좌표를 그대로 WGS84좌표로 고려하여 기선해석에 사용하여도 실용상으로 문제가 없다.

그러므로 앞으로는 WGS84성과를 구하는 것은 별 의미가 없으며 KTRF94좌표를 구하여 기선해석과 성과산정이 이루어져야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 위성측위시스템을 적극 활용할 수 있도록 하기 위하여 지구중심좌표계와 동경원점계간의 국가변환요소의 개선과 활용에 대한 연구를 수행하였다. 연구의 결론을 요약하면 아래와 같다.

1. KTRF94 성과와 실용성과를 이용한 국가변환요소가 산정되었다(표 6).
2. 경위도원점에 대한 ITRF94 성과와 실용성과(1차)로부터 원점변환요소가 도출되었으며 그 수치는 다음과 같다(ITRF94 to Bessel).

$$\begin{aligned} dX_0 &= 145.11 \text{ m} \\ dY_0 &= -501.60 \text{ m} \\ dZ_0 &= -686.69 \text{ m} \end{aligned}$$

3. 변환모델에 대한 활용 가능성을 분석한 결과, WGS84좌표 대신에 KTRF94좌표를 사용할 수 있으며 우리나라에서는 항상 벡셀지오이드고를 고려하여야 한다.
4. 공공측량/지적측량에서의 GPS기선해석을 위한 초기좌표의 결정에 원점변환요소(3변수)를 사용할 수 있으나 국가삼각점의 변환에만 국한되어야 하며, 국가기준점측량에서는 KTRF94 성과가 산정된 삼각점에 직접 연결측량하여 기선해석과 성과산정을 실시하는 것이 바람직하다.

감사의 글

이 연구와 관련하여 관측데이터 등의 자료를 제공하

여 주신 국립지리원 관계자 여러분께 사의를 표합니다.

참고문헌

1. 국립지리원, "한일GPS측량·VLBI관측자료", 1992-1996.
2. 이영진, "한국측지좌표계와 지구중심좌표계의 재정립에 관한 연구(I), (II)", 1996-7, 국립지리원.
3. 이영진, "가중변수법에 의한 국가좌표계 변환요소의 산정", 한국측지학회지, 15(1), 1997, 29-39.
4. 이영진, "벡셀타원체 기준의 남한지역 지오이드모델(KGM95)", 한국측지학회지, 13(2), 1995, 125-133.
5. 이영진, "GPS방식에 의한 정밀기준점측량의 실용화에 대한 연구", 대한토목학회 논문집, 13(5), 1993, 201-208.
6. 國土地理院, "日韓GPS測量·VLBI觀測資料", 1992-1996.
7. 國土地理院, "基準点座標 92", 國土地理院 技術資料, 1994.
8. 飛田幹男, "Local Transformation Parameters between Tokyo Datum and WGS84 System", 國土地理院 時報, 79, 1994, 7-14.
9. 中根勝見, "測量データの3次元處理", 東洋書店, 1994.
10. Beaulieu, D., "Geomatics in Canada", GIM Journal, Feb. 1995, 73-77.
11. Eckels, R., "Surveying with GPS in Australia", UNSW report, UNISURV S-28, 1987.
12. Mikhail, E. M., "Observations and Least Squares", IEP, 1976.
13. Moritz, H., "The Definition of a Geodetic Datum", proc. of symposium on 2nd North American Geodetic Network, 1978, 63-75.
14. Nishi, S., "Transformation parameters between the Japanese Geodetic and the Average Terrestrial Coordinate System", J. of the Geodetic Society of Japan, 25(4), 1979, 269-276.
15. Rens, J. and C. L. Merry, "Datum Transformation parameters in South Africa", Survey Review, 30(236), 1990, 281-293.
16. Seeber, G., "Satellite Geodesy", 1993, Walter de Gruyter.
17. Wolf, P. and C. D. Ghilani, "Adjustment Computations: statistics and least squares in surveying and GIS", 1997, Wiley.
18. 이영진, "VLBI/GPS에 의한 한국원점의 국제지구기준좌표계 설정", 한국측지학회 학술발표회, 1998년 2월, 1-13.