

7-매개변수 좌표변환에 의한 우리나라 측지계와 WGS-84의 좌표변환 Coordinate Transformation between Korean Geodetic System and WGS-84 by 7 Parameter Coordinate Transformation Method

권대원* · 윤홍식** · 최재화***

Kwon, Dae-Won · Yun, Hong-Sic · Choi, Jae-Hwa

要 旨

본 연구는 GPS위성측량의 기준좌표계로 채택된 세계측지계(WGS-84)와 현재 우리나라에서 사용되고 있는 베셀 타원체에 근거한 측지계와 좌표변환을 위하여 Bursa-Wolf모델, Molodensky-Badekas모델과 Veis모델의 3가지 7-매개변수 좌표변환 방법을 수행하고 좌표변환 정밀도를 비교하였다. 본 연구의 결과, 우리나라에서는 Bursa-Wolf 모델이 7-매개변수 결정모델로 적합하다는 것을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The main purpose of the present study was to investigate coordinate transformation based on two different systems: one was the World Geodetic System 1984(WGS84) adopted as a reference system for GPS satellite surveying; and another was the current Korean geodetic system based on Bessel ellipsoid. For this purpose, three methods were used to determine 7 parameters as follows: Bursa-Wolf model, Molodensky-Badekas model, and Veis model. The coordinate transformation was carried out using similarity transformation applied the obtained 7 parameters and the precision of transformed coordinate was evaluated. From this results, we found that Bursa-Wolf model is more suitable than others for the determination of transformation parameters in Korea.

1. 서 론

GPS를 비롯한 위성측량기술의 발전은 종래의 측량 기술을 대체할 수 있는 신기술로 각광받고 있다. 특히 GPS는 항법용 위치측정은 물론 기준점 측량을 통한 측지망의 구성, 지적측량, 지도제작, 건설공사측량 등에 활용되어 종래의 측량기법에 비해 정확성, 경제성과 신속성이 인정되어, 현재 세계적으로 많이 이용되고 있다. 국내에서도 GPS를 이용한 항법을 비롯한 많은 측량분야에의 활용이 기대된다.

그간 국내에서도 많은 연구의 성과로서 GPS의 활용성을 충분히 입증하였으나 아직 민간부문에서의 사용은 활성화되지 않고 있다. GPS 수신기가 아직까지는 고가이며 사용하기가 결코 쉽지 않다는 점에서도 그 이

유를 찾을 수도 있지만 무엇보다도 GPS의 기준계와 우리나라의 측지기준계가 다르다는 측지학적 문제에서 기인한다고 볼 수 있으며, 이러한 측지학적인 문제로는 GPS기준원점의 설치문제와 지오이드기복의 산정 및 타원체간의 변환관계의 정립을 들 수 있다. 타원체간의 변환관계에 대한 문제는 GPS에서 채택된 WGS-84와 우리나라의 기준인 Bessel타원체간의 변환으로 GPS에서 얻어지는 측량성과는 WGS-84 타원체에 대한 것이므로 우리나라의 측지계로의 변환이 필요하기 때문이다. 이러한 변환관계에 대한 문제는 GPS를 사용하려는 모든 국가에 공통된 문제이며 실제로 변환관계가 정립된 여러나라에서는 GPS가 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 WGS-84상의 좌표와 우리나라의 Bessel타원체상의 좌표가 기지인 삼각점 20개를 사용하여 좌표변환을 수행하였다. 좌표변환의 방법으로는 그 간의 연구성과로 그 정밀도가 인정된 매개변수방법의 3가지 모델-Bursa-Wolf모델, Veis모델, Molodensky-

*성균관대학교 토목공학과 석사과정

**부다페스트 공과대학 박사

***성균관대학교 토목공학과 교수

Badekas모델.로써 WGS-84를 우리나라 측지계로 좌표 변환하여 각 모델별로 7개의 매개변수를 구하였으며, 각 모델에 대한 좌표변환의 정밀도를 비교·분석하였다.

2. 좌표변환

2.1 지리좌표와 지심직각좌표의 변환

매개변수 변환방법을 사용하기 위해서는 우리나라의 실용성과를 Bessel 지심직각좌표로 표현하여야 하며, 이때의 변환식은 식(1)과 같다.³⁾

$$\begin{aligned} X &= (N+h) \cdot \cos \varphi \cos \lambda \\ Y &= (N+h) \cdot \cos \varphi \sin \lambda \\ Z &= \left(\frac{b^2}{a^2}N+h\right) \sin \varphi \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 a는 타원체의 장반경, b는 타원체의 단반경이며, N은 황곡률반경으로 식(2)와 같다.

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} \quad (2)$$

한편 식(1)에서 h는 Bessel 타원체면에서 관측지점까지의 높이, 즉 Bessel 타원체고(ellipsoidal height)를 의미하며, 우리나라 실용성과 높이는 평균해수면(지오이드)으로부터의 높이 H(orthometric height)이므로 관측지점의 Bessel 타원체고를 구하기 위해서는 식(3)과 같이 타원체면과 지오이드의 높이차 N(geoidal height)을 알아야한다.

$$h = H + N \quad (3)$$

본 연구에서는 관측지점의 지오이드고를 구하기 위하여 DMA에서 Tokyo Dakyo에 대하여 개발한 회귀다항식을 사용하였으며 식(4)와 같다.^{4,7)}

$$\begin{aligned} N &= 19.004 - 37.468U + 31.786V + 3.470UV - 4.018U^3 \\ &\quad + 1.326UV^2 - 8.480V^3 - 3.724U^3V + 7.243U^2V^2 \\ &\quad - 4.923V^4 + 0.293U^3V^2 - 0.225U^5V^6 + 0.200U^2V^9 \\ U &= K(\varphi - 35) \end{aligned} \quad (4)$$

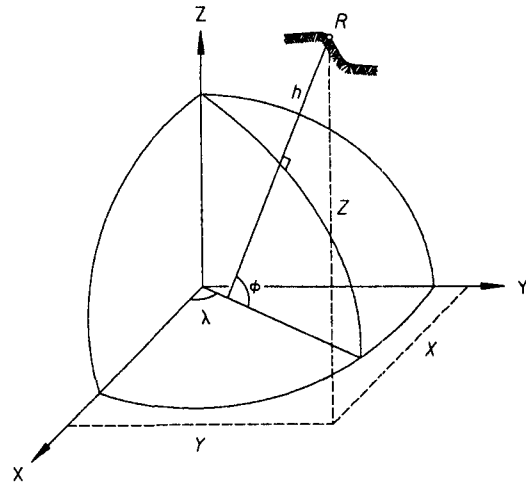


그림 1. 지리 좌표(φ, λ, h)와 지심직각좌표(X,Y,Z)

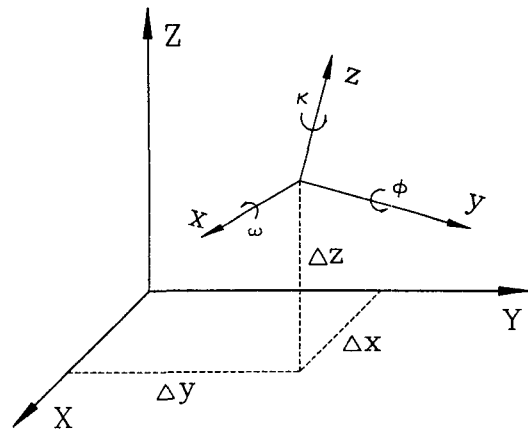


그림 2. Bursa-Wolf 변환모델

$$\begin{aligned} V &= K(\lambda - 135) \\ K &= 0.15707963 \end{aligned}$$

2.2 7-매개변수 좌표변환

2.2.1 Bursa-Wolf 변환모델

Bursa와 Wolf에 의해 제시된 7-매개변수 변환모델은 식(5)와 같으며 일반적인 형태는 그림 2와 같이 표시된다.¹⁾

$$\underline{X}_B = (1 + \Delta s) R_z(\kappa) R_y(\varphi) R_x(\omega) \underline{X}_W + \underline{T} \quad (5)$$

식(5)에서 \underline{X}_B 은 우리나라 실용성과의 지심직각좌표, \underline{X}_W 는 WGS84상의 지심직각좌표이고, \underline{T} 는 이동량벡터

$$R_z R_y R_x = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos k & \cos \omega \sin k + \sin \omega \sin \varphi \cos k & \sin \omega \sin k - \cos \omega \sin \varphi \cos k \\ -\cos \varphi \sin k & \cos \omega \cos k + \sin \omega \sin \varphi \sin k & \sin \omega \cos k + \cos \omega \sin \varphi \sin k \\ \sin \varphi & -\sin \omega \cos \varphi & \cos \omega \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (6)$$

(Δx , Δy , Δz)이며, Δs 는 축척차이다. $R_z(\kappa)R_y(\varphi)R_x(\omega)$ 는 두 좌표계사이의 회전을 나타내는 행렬로서 식(6)과 같다.

식(6)에서 ω , φ , κ 는 각각 x, y, z 축에서의 회전각을 의미하며, 회전각이 미소하다가 가정하면 식(6)은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$R_z R_y R_x = \begin{bmatrix} 1 & k & -\varphi \\ -k & 1 & \omega \\ \varphi & -\omega & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

식(6)과 식(7)의 불일치(차이)가 회전각이 1"정도일 때에 0.5×10^{-11} 수준이며, 3"정도일 때에는 0.5×10^{-10} 수준이며, 9"정도일 때에는 0.5×10^{-9} 의 오차는 좌표에 있어서 3 mm 정도로 전파된다.

7개 매개변수를 구하기 위해서 식(5)를 조정을 위한 수학적 모델로 다시 쓰면 식(8)과 같다.

$$F \equiv \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega \\ \varphi \\ k \end{bmatrix} + (1+\Delta s) \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} = 0 \quad (8)$$

여기서,

$$U = \begin{bmatrix} 0 & -Z_w(1+\Delta s) & Y_w(1+\Delta s) \\ Z_w(1+\Delta s) & 0 & -X_w(1+\Delta s) \\ Y_w(1+\Delta s) & X_w(1+\Delta s) & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

식(8)을 최소제곱조정을 위하여 선형화하면 식(10), 식(11)과 같은 관측방정식이 되며 최소제곱조정에 의해 7개 매개변수를 구하게 된다.

$$BV + Ax^* + W = 0 \quad (10)$$

또는

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{X_w} \\ V_{Y_w} \\ V_{Z_w} \\ V_{X_s} \\ V_{Y_s} \\ V_{Z_s} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$+ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_w & Y_w & X_w \\ 0 & 1 & 0 & Z_w & 0 & -X_w & Y_w \\ 0 & 0 & 1 & -Y_w & X_w & 0 & Z_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ \omega \\ \varphi \\ k \\ \Delta s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_w - X_B \\ X_w - X_B \\ X_w - X_B \end{bmatrix} = 0$$

식(10)에서 V 는 관측값의 잔차, x^* 는 7개의 매개변수를 나타낸다.

2.2.2 Molodensky-Badekas 변환모델

WGS-84의 좌표계를 구좌표계(x, y, z)라 하고 Bessel 타원체에 근거한 우리나라의 좌표계를 신좌표계(X, Y, Z)라 하면 Molodensky-Badekas 변환모델은 식(12)와 같으며, 좌표축의 설정은 그림 3과 같다.¹⁾

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} + (1+\Delta s) \begin{bmatrix} 0 & k & -\varphi \\ -k & 0 & \omega \\ \varphi & -\omega & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = 0 \quad (12)$$

식(12)에서 이동량벡터(dX , dY , dZ)는 좌표계 기준원점간의 이동을 의미하며 식(13)과 같다.

$$\begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{X}_0 \\ \bar{Y}_0 \\ \bar{Z}_0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

식(13)에서 X_0 , Y_0 , Z_0 는 신좌표계에 대한 기준원점의 좌표이며, \bar{X}_0 , \bar{Y}_0 , \bar{Z}_0 는 구좌표계에 대한 기준원점의 좌

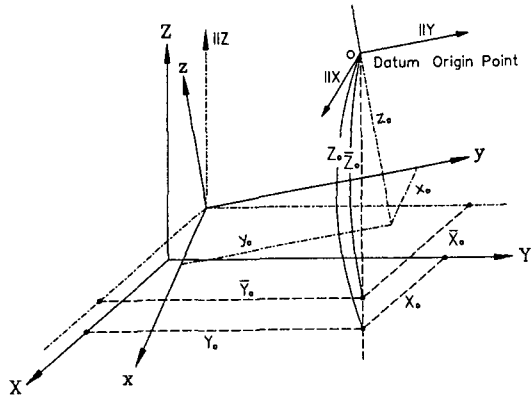


그림 3. Molodensky-Badekas 변환모델

표 x_0, y_0, z_0 를 신좌표계로 회전하여 얻을 수 있다. 이 모델은 이동량 매개변수를 기준원점에 대해 적용함으로써 매개변수들 간에 높은 상관관계를 가지는 Bursa-Wolf 변환모델의 문제를 해결할 수 있다.

2.2.3 Veis 변환모델

Veis 모델은 측지기준점이 정의되어 있는 경우에, 기준원점에서의 회전과 다른 과정이 결합된 모델이다. 먼저 구좌표계에서 φ_0, λ_0 로 정의된 기준원점이 국지좌표계상에 정의되어야 한다. 국지좌표계의 축은 μ (측지자오선의 접선, 양의 방향은 남쪽), ν (측지자오선에 수직이고 기준원점을 지나는 선, 양의 방향은 동쪽), ω (기준원점에서 타원체의 법선, 양의 방향은 윗쪽)이다. 기준원점은 국지좌표축에 대한 회전에 의해 바뀌게 된다. 즉, ω 축에 대하여 α , ν 축에 대하여 ξ , μ 에 대하여 η 이다. 식(14)의 회전을 기준원점과 임의의 점(i)의 벡터 $x_i - x_0$ 에 적용시키면 벡터 $x_i - x_0$ 는 국지좌표계에서 직각좌표계로 변환된다.

$$M \equiv R_z^T(\lambda_0) R_y^T(90^\circ - \varphi_0) R_x(\eta) R_x(\alpha) R_y(90^\circ - \varphi_0) R_z(\lambda_0) \quad (14)$$

식(14)에 의해 회전된 벡터에 축척계수 $(1 + \Delta s)$ 와 기준원점간의 이동량벡터 T 를 고려하면, Veis 변환모델은

$$U = \begin{bmatrix} 1 & \alpha \sin \varphi_0 - \eta \cos \varphi_0 & -\alpha \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 - \xi \cos \lambda_0 - \eta \sin \varphi_0 \cos \lambda_0 \\ -\alpha \sin \varphi_0 + \eta \cos \varphi_0 & 1 & \alpha \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 - \xi \cos \lambda_0 + \eta \sin \varphi_0 \cos \lambda_0 \\ \alpha \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 + \xi \cos \lambda_0 - \eta \sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & -\alpha \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 + \xi \sin \lambda_0 - \eta \sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

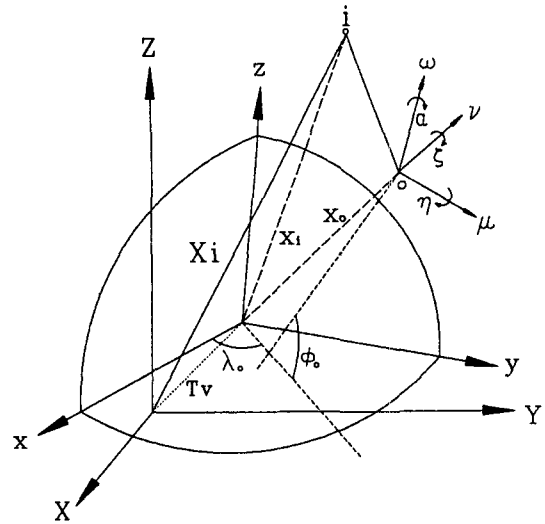


그림 4. Veis 변환모델

식(15)와 같이 정의할 수 있다.¹⁾ 변환과정은 그림 4에 표시한 바와 같다.

$$X = T + x_0 + (1 + \Delta s) M (x - x_0) \quad (15)$$

식(14)의 M 을 서로 곱하면 식(16)과 같으며, 식(15)은 선형조정모델로 되어 Veis 모델의 7-매개변수($\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta s, \alpha, \xi, \eta$)를 추정할 수 있다.

3. 좌표변환 결과와 분석

본 연구에 사용된 20개의 삼각점의 분포는 그림 5와 같다.

좌표변환에 사용된 삼각점의 실용성과는 전국을 단일망으로 구성하여 동시조정을 실시한 우리나라 정밀 1차 측지망의 실용성과이며⁵⁾, 표 1과 같다. 표 1에서 경도는 우리나라 실용성과에 동경원점 보정량 10.405초를 더한 값이다.

우리나라의 실용성과(위도, 경도, 표고)를 지심직각좌표(X, Y, Z)로 바꾸기 위하여 필요한 Bessel 지오이

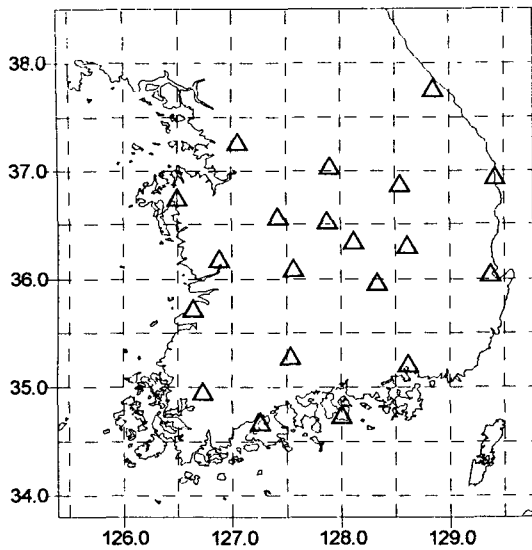


그림 5. 좌표변환에 사용된 삼각점의 분포도

드고는 식(4)를 사용하여 구하였으며, 각 삼각점의 Bessel 지오이드고와 타원체고는 표 2와 같다.

GPS에 의해 관측된 각 삼각점의 WGS-84 좌표는 표 3과 같으며, 타원체고는 WGS-84 타원체고이다.

20개의 삼각점에 대해 7-매개변수 좌표변환의 3가지 모델(Bursa-Wolf모델, Veis모델, Molodensky-Badekas 모델)로 좌표변환을 수행하여 각 모델별 7개의 매개변수를 구하였으며 표 4, 표 5, 표 6에 나타내었다. Veis 모델, Molodensky-Badekas모델은 좌표변환의 과정에 있어 기준원점이 필요하므로 본 연구에서는 삼각점의 분포를 보아 대체로 중심에 위치하는 SJ23을 기준원점으로 설정하였다.

각각의 모델에 의해 산출된 7-매개변수에서 알 수 있듯이 Bursa-Wolf모델과 Molodensky-Badekas모델에서는 회전매개변수의 값이 동일하며, Molodensky-Badekas모델과 Veis모델에서는 기준원점의 이동량매개변수의 값이 동일함을 알 수 있다. 축척차는 세가지 모델에서 동일한 값을 나타내었다. 또한 3가지 7-매개변수를 이용하여 각각의 변환모델로써 Wgs-84상의 좌표를 우리나라 측지계로 좌표변환한 좌표값은 모두 동일하였다. 이는 3가지 모델이 상호연관관계를 가지고

표 1. 삼각점의 우리나라 실용성과

삼각점명	위도(도분초)	경도(도분초)	표고(m)
IW24	36 06 01.00467	127 33 44.08549	283.95
SR11	36 32 24.98110	127 52 22.74885	1058.44
SJ23	36 21 08.43932	128 06 45.60301	92.55
UJ25	37 02 54.38288	124 54 13.41852	105.77
UJ22	36 57 01.13954	129 25 06.09010	54.07
YK21	35 58 31.09828	128 19 54.74549	468.20
YJ23	36 52 58.44745	128 32 52.31846	376.72
US25	36 18 57.13077	128 36 24.31681	291.90
PH24	36 03 11.01519	129 22 13.90000	70.94
N.G	35 17 26.20374	127 32 03.21647	1502.130
G.M	34 45 05.43870	127 59 54.35009	665.57
CJ11	36 34 47.30544	127 25 17.18990	291.30
KR26	37 45 55.67214	128 51 02.64321	148.780
MS21	35 13 14.02925	128 36 48.10924	297.88
SW00	37 16 23.16836	127 03 22.44883	67.50
BA11	35 43 51.46664	126 38 27.32845	288.65
HS11	36 11 31.60615	126 53 01.29443	214.71
SS27	36 45 15.51887	126 29 59.59611	109.43
YA11	34 58 03.15538	126 43 47.20183	82.120
KH21	34 41 04.35495	127 15 15.35157	156.46

표 2. 각 삼각점의 Bessel 지오이드고와 타원체고

삼각점명	표 고 (m)	지오이드고 (m)	타원체고 (m)
W24	283.95	-20.372	263.578
SR11	1058.44	-21.518	1036.922
SJ23	92.55	-19.453	73.097
UJ25	105.77	-24.173	81.597
UJ22	54.07	-17.662	36.408
YK21	468.20	-16.365	451.835
YJ23	376.72	-20.672	356.048
US25	291.90	-17.223	274.677
PH24	70.94	-12.634	58.306
N.G	1502.13	-15.701	1486.429
G.M	665.57	-10.314	655.256
CJ11	291.30	-23.694	267.606
KR26	148.78	-24.326	124.454
MS21	297.88	-10.673	287.207
SW00	67.50	-29.031	38.469
BA11	288.65	-22.596	266.054
HS11	214.71	-24.040	190.67
SS27	109.43	-29.054	80.376
YA11	82.120	-17.516	64.604
KH21	156.46	-13.193	143.27

표 3. 각 삼각점의 WGS-84 좌표성과

삼각점명	위도(도분초)			경도(도분초)			표고(m)
IW24	36	06	11.69278	127	33	36.37928	309.341
SR11	36	32	35.50212	127	52	14.93362	1084.900
SJ23	36	21	19.03692	128	06	37.72206	119.985
UJ25	37	03	04.69393	124	54	05.58028	131.888
UJ22	36	57	11.55085	129	25	57.75491	86.074
YK21	35	58	41.85714	128	19	46.80375	496.212
YJ23	36	52	08.83749	128	32	44.27327	404.654
US25	36	18	07.75815	128	36	16.28269	320.144
PH24	36	03	21.76269	129	22	05.63616	100.740
N.G	35	17	37.22963	127	32	55.63616	1530.085
G.M	34	45	16.69500	127	59	46.53480	695.133
CJ11	36	34	57.79513	127	25	09.52255	317.271
KR26	37	45	05.69843	128	51	54.46218	175.452
MS21	35	13	25.10581	128	36	40.11140	326.981
SW00	37	16	33.36443	127	03	14.88140	91.415
BA11	35	44	02.28692	126	38	19.92097	313.812
HS11	36	11	42.24212	126	53	53.79750	239.052
SS27	36	45	25.92730	126	29	52.21828	132.010
YA11	34	58	14.28805	126	43	39.80533	106.949
KH21	34	41	15.62137	127	15	07.80101	183.264

표 4. Bursa-Wolf모델에 의한 7개 매개변수와 평균오차

매개변수	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	ω (")	φ (")	κ (")	Δs (ppm)
산출값	199.538	-467.589	-607.207	2.2004	0.2038	-3.4830	-0.3281
표준편차	9.408	7.344	7.452	0.2316	0.2741	0.2807	0.9489

표 5. Molodensky-Badekas모델에 의한 7개 매개변수와 평균오차

매개변수	ΔdX (m)	ΔdY (m)	ΔdZ (m)	ω (")	φ (")	κ (")	Δs (ppm)
산출값	128.535	-482.401	-664.745	2.2004	0.2038	-3.4830	-0.3281
표준편차	0.118	0.119	0.119	0.2316	0.2741	0.2807	0.9489

표 6. Veis모델에 의한 7개 매개변수와 평균오차

매개변수	ΔdX (m)	ΔdY (m)	ΔdZ (m)	ν (")	ξ (")	α (")	Δs (ppm)
산출값	128.535	-482.401	-664.745	-2.0951	-1.8571	-3.0293	-0.3281
표준편차	0.118	0.119	0.119	0.3169	0.2623	0.1957	0.9489

표 7 우리나라 측지계로 좌표변환된 좌표 및 실용성과와의 차이

삼각점명	위 도		경 도		높 이(타원체고)	
	변환값(도분초)	차이(초)	변환값(도분초)	차이(초)	변환값(m)	차이(m)
W24	36 06 01.00020	0.00447	127 33 44.07996	0.00553	262.423	1.135
SR11	36 32 24.98435	-0.00325	127 52 22.74822	0.00063	1036.494	0.428
SJ23	36 21 08.43509	0.00423	128 06 45.60764	-0.00463	72.898	0.199
UJ25	37 03 54.38380	-0.00092	124 54 13.42375	-0.00523	81.800	0.397
UJ22	36 57 01.16203	-0.02249	129 25 06.08169	0.00841	38.715	-2.307
YK21	35 58 31.09637	0.00191	128 19 54.74564	-0.00015	451.325	0.510
YJ23	36 52 58.44383	0.00362	128 32 52.31777	0.00069	355.914	0.134
US25	36 18 57.12990	0.00087	128 36 24.32470	-0.00789	274.159	0.518
PH24	36 03 11.00759	0.00760	129 22 13.91141	-0.01141	57.505	0.801
N.G	35 17 26.20905	-0.00531	127 32 03.21303	0.00344	1487.051	-0.622
G.M	34 45 05.44526	-0.00656	127 59 54.33028	0.01981	655.642	-0.386
CJ11	36 34 47.30269	0.00275	127 25 17.19401	-0.00411	267.873	-0.267
KR26	37 45 55.66208	0.01006	128 51 02.64010	0.00311	123.312	1.142
MS21	35 13 14.03137	-0.00212	128 36 48.11635	-0.00711	286.314	0.893
SW00	37 16 23.16650	-0.00186	127 03 22.45840	-0.00957	38.224	0.245
BA11	35 44 51.46198	-0.00466	126 38 27.31558	0.01287	267.076	-1.022
HS11	36 11 31.60135	-0.00480	126 53 01.28371	0.01072	190.533	0.132
SS27	36 45 15.52589	-0.00702	126 29 59.59816	-0.00205	80.236	0.140
YA11	34 58 03.15017	0.00521	126 43 47.20682	-0.00499	64.098	0.506
KH21	34 41 04.35905	-0.00410	127 15 15.36037	-0.00880	142.794	0.578
평균편차	-	0.00519	-	0.00656	-	0.615
표준오차	-	0.00691	-	0.00807	-	0.794

있음을 나타낸다. 기준원점에 대한 정확한 위치정보가 제공되는 경우에 Molodensky-Badekas모델의 7-매개변수로 바꿀 수 있으며, Tokyo Datum을 사용하는 우리나라의 경우에는 균등한 밀도로 구성된 GPS측지망에 대하여 Bursa-Wolf모델로써 7-매개변수를 산출하는 것이 타당하다고 여겨진다. 표 7은 산출된 7-매개변수를 이용하여 WGS-84상의 좌표를 우리나라 측지계 좌표로 변환하여 결과를 우리나라 측지계 좌표로 변환하여 결과를 우리나라 실용성과 비교하여 실용성과 변환성과의 차이를 나타낸 것이다.

표 7에서와 같이 7-매개변수 좌표변환에 의해 좌표변환된 좌표값은 우리나라 전역에 대해 위도에서 약 0.007초, 경도에서 약 0.008초 정도의 정밀도의 좌표변환이 가능함을 알 수 있다. 높이에 있어 1m이상의 편차가 발생되는 지점은 식(4) 지오이드고 계산식의 오차가 주요한 원인으로 예측되므로 이에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

4. 결 론

7-매개변수 좌표변환의 3가지 모델을 사용하여 WGS-84 측지계를 우리나라 측지계로 변환하여 변환정밀도를 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 7-매개변수 좌표변환에 의하여 위도에서 평균편차 0.00195초, 표준편차 0.00691초, 경도에서 평균편차 0.00656초, 표준편차 0.00807초, 높이에서 평균편차 0.615 m, 표준편차 0.794 m의 정밀도로 WGS-84 측지계를 우리나라 측지계로 변환할 수 있었다.
- 2) 보다 정밀한 좌표변환을 위해서는 우리나라 측지계에 대한 정확한 Bessel 지오이드고의 정보가 필요하다.
- 3) 현재 Tokyo Datum을 사용하는 우리나라의 경우에는 변환과정에서 기준원점이 필요하지 않는 Bursa-Wolf 변환모델로써 7-매개변수를 산출하는 것이 타당

하다.

- 4) 변환에 있어 기준원점을 사용하는 Molodensky-Badekas모델과 Veis모델은 기준원점에 대한 측지좌표계의 관계를 나타내는 데에 유용할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구에 필요한 자료를 제공해 주신 천문대 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

參考文獻

1. Richard H. Rapp, "Geometric Geodesy", published by Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus, 1989, pp. 57-74.
2. Aldred Leick, "GPS Satellite Surveying", John Wiley & Sons Inc., 1995, pp. 476-482.
3. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System; Theory and Practice" Springer-Verlag Wein, 1992, pp. 229-246.
4. Defense Mapping Agency, "Supplement to Department of Defense World Geodetic System 1984 DMA Technical Report: Part II", DMA TR 8350.2-A, 1987.
5. 국립지리원, "정밀 1차망의 실용성과 산정에 관한 연구", 1994.
6. 홍순원, "GPS위성에 의한 실용측지좌표의 획득에 관한 연구", 1993, 동아대학교 대학원 박사학위 청구논문.
7. 박필호, 한인우, 이용창, 강준목, "GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS 84의 좌표변환(I)", 한국측지학회지, 제 10권 제1호, 1992, pp. 41-50.
8. Tomas Soler and Larry D. Hothem, "Coordinate Systems Used in Geodesy: Basic Definitions and Concepts", Journal of Surveying Engineering, Vol. 114, No. 2, 1988, pp.84-97.
9. Tomas Soler and Larry D. Hothem, "Important Parameters Used in Geodetic Transformations", Journal of Surveying Engineering, Vol. 115, No. 4, 1989, pp. 414-417.