

GPS 측지기준계와 우리나라 측지기준계의 좌표변환

The Coordinate Transformation Between Korean and GPS Geodetic Reference System

박 필 호*
Park Pil-Ho

要 旨

GPS가 우리나라에서 실용화되기 위해서는 Bessel 타원체에 기준한 우리나라의 측지기준계와 GPS에서 사용하는 측지기준계(WGS 84)간의 좌표변환이 선결과제이다. 이 글에서는 여러가지 좌표변환 방법에 대한 고찰과 더불어 국내에서 그동안 수행하여 왔던 좌표변환에 관한 연구결과를 살펴보고자 한다. 이를 토대로 각 좌표변환 방법의 국내의 적용성 여부를 검토하고, 좌표변환의 문제점 및 해결방안과 앞으로의 전망에 대하여 논의 하고자 한다.

ABSTRACT

Before GPS is practically used in Korea, we must fix a problem on the coordinate transformation between WGS 84 and Korean geodetic system based on Bessel ellipsoid. On this article, I investigate various coordinate transformation methods and review the researched results about the coordinate transformation which have been performed in Korea. With the inspection of which method is more applicable to Korea, I discuss about the future prospect and the fixing way for the problem of domestic coordinate transformation.

* 한국표준과학연구원 천문대 선임연구원

1. 서론

소련의 인공위성인 Sputnik 1호가 발사되어 우주시대가 개막된 10년 후, Transit 위성을 이용한 NNSS(Navy Navigation Satellite System)가 일반인에게 공개되어 지상의 위치측정 분야에 활용되기 시작한 1967년 이래 인공위성이 항법 및 측지, 측량분야에서 차지하는 비중은 급속히 커가는 추세이다. 미국방성은 NNSS의 단점을 보완한 새로운 위치결정 시스템인 GPS(Global Positioning System)의 개발을 1973년 부터 추진하게 되었고 1978년 첫번째 위성이 발사된 이래 현재 총 24개의 GPS 위성(Block II)이 활동하고 있다. GPS를 이용할 경우 지구상 어디에서나 하루 24시간 동안 3차원 위치측정과 정밀시각 결정이 항상 가능할 뿐만 아니라, 날씨와 측정거리에 영향을 거의 받지 않고 정밀한 결과를 얻을 수 있어 전 세계적으로 다양한 분야에 활용되고 있다. GPS는 선박, 항공기, 자동차의 위치측정은 물론 측지망 구성, 정밀지도 제작, 항공측량, 위성측량, 토목공사 및 지형공간정보의 구축등 여러분야에 활용되어 위치측정 정밀도와 효율성 및 비용절감면에서 그 능력을 인정받고 있다. 국내에서도 여러기관에서 GPS 수신기를 이미 도입하여 활용하여 왔으며 향후 측지 및 측량분야를 비롯한 많은 분야에 그 이용이 점점 확대될 전망이다.

GPS에서는 WGS 84(World Geodetic System 1984) 측지타원체에 입각한 측지기준계를 사용하고 있다. 반면에 우리나라의 측지망은 Bessel 1841 측지타원체에 입각한 측지기준계를 사용하고 있으며 일본도 역시 우리와 동일한 측지기준계를 사용하고 있다. 역사적인 배경을 살펴볼때 현대적 개념의 우리나라 초기 측지망이 1910년대에 일본의 식민지 정책의 일환으로 일본에 의하여 구성되었으므로 일본이 그 당시 쓰고 있던 Bessel 1841 측지기준계를 우리도 타의에 의하여 쓰게된 것이다. 현재에도 우리나라 측지망은 일본과 더불어 국제적으로 Tokyo Datum이라 불리우고 있다. 이와같이 GPS에서 사용하는 측지기준계와 우리나라 측지망의 기준계가 다르기 때문에 국내 지점들의 위치를 GPS로 측정하여 좌표를 결정한다고 하더라도 GPS의 측정성과를 국내에서 곧바로 사용할 수 없게 된다. 따라서 GPS로 측정된 위치측정 결과를 국내에 적용시키기 위해서는 우리나라 측지계와 세계측지계를 상호변환할 수 있는 기술의 개발이 선행되어야 한다. 이 문제는 비록 우리나라에 국한된 문제가 아니고 세계측

지계를 현재 사용하고 있지 않는 나라에서 GPS를 사용할 경우 선결하여야 할 문제다. 미국방성의 지도제작국(DMA: Defence Mapping Agency)에서는 각 나라의 측지망을 세계측지계로 상호 변환할 수 있는 좌표변환요소를 산출하여 발표하고 있으나 좌표변환 오차가 우리나라의 경우 경위도와 높이에서 각각 4.5m, 4.8m, 1.5m에 달하여 GPS를 이용한 정밀 측지망 구성에는 DMA의 좌표변환요소를 적용할 수 없을 것으로 판단된다. 따라서 GPS를 국내 측지 및 측량분야에 실용화 하기 위해서는 우리나라 측지망의 실정에 맞는 더 정확한 좌표변환요소를 우리 스스로 산출하여 사용하여야 할 것이다. 이를 위해서는 먼저 우리나라의 측지망에 속해 있는 측지기준점을 가능하면 조밀하고 고루 분포되게 GPS로 측정하여야 한다. 그리고 나서 측지망의 실용성과 GPS에 의하여 새롭게 측정된 좌표값을 향후 논의될 좌표변환 방법에 적용하면 좌표변환요소의 산출이 가능하게 된다.

이 글에서는 여러가지 좌표변환 방법에 대한 고찰과 더불어 국내의 적용성 여부 및 국내에서 그동안 수행하여 왔던 좌표변환에 관한 연구결과를 살펴보고자 한다. 그리고 현재의 연구현황 및 그 전망에 대하여 논의 하고자 한다.

2. WGS 84 측지기준계

GPS는 WGS 84라는 측지기준계를 사용한다. 즉 GPS 관측에 의하여 결정된 모든 좌표는 WGS 84를 기준으로 표현된 것이다. WGS 84는 여러가지 관측장비를 가지고 전세계적으로 측정해온 지구의 중력장과 지구모양을 근거로해서 1984년에 만들어진 지구중심, 지구고정 좌표계로서, 지구전체를 대상으로하는 세계공통 좌표계이다. WGS 84는 <그림 2.1>에서와 같이 지구의 질량중심에 위치한 좌표원점과 X, Y, Z 축으로 정의되는 좌표계이다. 여기서 Z축은 1984년에 국제시보국(BIH)에서 채택한 지구 자전축과 평행하며, X축은 BIH에서 1984년에 정의한 본초 자오선과 평행한 평면이 지구의 적도면과 교차하는 선이고 Y축은 X축과 Z축이 이루는 평면에 동쪽으로 수직인 방향으로 정의된다. WGS 84 좌표계의 원점과 축은 WGS 84 타원체의 기하학적 중심과 X, Y, Z 축으로 쓰인다. 예를 들면 WGS 84 좌표계의 Z축은 WGS 84 타원체의 회전축이다. WGS 84 타원체는 <표 2.1>과 같은 구성요소에 의하여 구현된다.

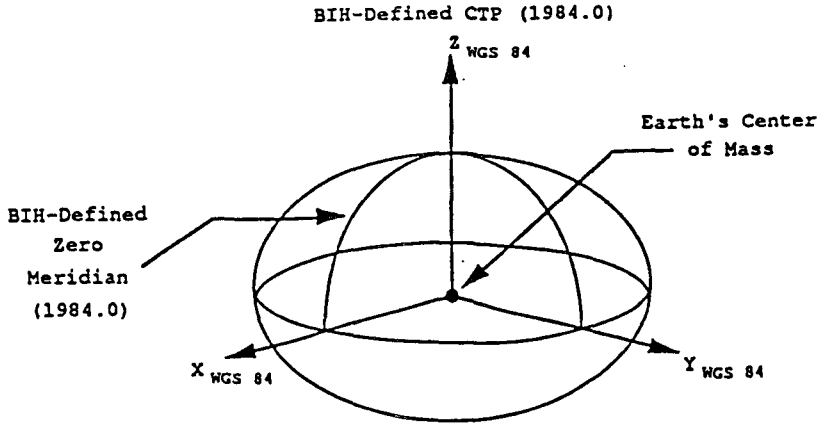


그림 2.1 WGS 84 측지기준계

표 2.1 WGS 84 측지타원체의 주요 구성요소²⁾

측지계 구성요소	약어	크기	정밀도 (1σ)
장반경	a	6378137 m	± 2 m
지구의 각속도	ω	$7292115 \times 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$	$\pm 0.1500 \times 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$
지구의 중력 상수 (지구의 대기 질량 포함)	GM	$3986005 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	$\pm 0.6 \times 10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
편평도 (타원율)	f	1 / 298.257223563 (0.00335281066474)	
단반경	b	6356752.3142 m	
이심율	e	0.0818191908426	
광속도 (진공 상태)	c	299792458 m	

표 3.1 좌표변환 방법들의 특성

좌표변환 방법	특 성
변환요소 방법	! 직교좌표계상에서 처리 ! 최소자승법 이용 ! 입력자료 : 두 측지계의 직교좌표 성분 ! 산출자료 : 7개의 변환요소($\Delta x, \Delta y, \Delta z, \epsilon, \varphi, \omega, S$) ! 변환요소의 수에 따라 7, 6, 4, 3 변환요소 방법으로 구분
MRE 방법	! 입력자료 : 경도와 위도 ! 산출자료 : 경위도와 높이 보정량
Molodensky 방법	! 입력자료 : $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta a, \Delta f$, 경도, 위도, 높이 ! 산출자료 : 경위도와 높이의 보정량 ! 표준 Molodensky 방법과 약식 Molodensky 방법으로 구분

3. 좌표변환 방법

서로 다른 측지기준계간의 좌표변환 방법은 크게 3가지, 변환요소 방법, MRE (Multiple Regression Equation) 방법, Molodensky 방법으로 구분된다. 각 방법들의 특성은 <표 3.1>과 같다. 이 장에서는 3가지 방법의 좌표변환식에 대하여 논하고자 한다.

3.1 변환요소 방법

변환요소 방법은 측지기준계간의 변환관계를 나타내는 7개의 변환요소를 최소자승법으로 산출하여 좌표변환하는 방법이며 직교좌표계내에서만 가능하다. 이 방법으로 WGS 84를 우리나라 측지기준계(KD : Korea Datum)로 변환하는 기본방정식은 (3.1)식과 같다. 한편, 좌표계 변환을 역으로 수행할 경우에는 (3.1)식에서 X_{KD} 와 X_{84} 의 위치를 바꿔주면 되고 이 결과 변환요소의 부호가 바뀐다.

$$X_{KD} = S [R] X_{84} + \Delta X \quad (3.1)$$

(3.1)식에서 X_{KD} 는 우리나라 측지계의 직교좌표계 성분벡터, X_{84} 는 세계측지계의 직교좌표계 성분벡터, ΔX 는 우리나라 측지계와 세계측지계의 원점편차량에 의한 직교좌표계 성분벡터, S 는 두 측지계간의 scale 차이, $[R]$ 은 두 측지간의 회전을 나타내는 행렬로서 아래와 같이 각각 표시할 수 있다.

$$X_{KD} = [X_{KD} \ Y_{KD} \ Z_{KD}]^T$$

$$X_{84} = [X_{84} \ Y_{84} \ Z_{84}]^T$$

$$\Delta X = [\Delta x \ \Delta y \ \Delta z]^T$$

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos\phi \cos\epsilon & \cos\phi \sin\epsilon & -\sin\phi \\ -\cos\omega \sin\epsilon + \sin\omega \sin\phi \cos\epsilon & \cos\omega \cos\epsilon + \sin\omega \sin\phi \sin\epsilon & \sin\omega \cos\phi \\ \sin\omega \sin\epsilon + \cos\omega \sin\phi \cos\epsilon & -\sin\omega \cos\epsilon + \cos\omega \sin\phi \sin\epsilon & \cos\omega \cos\phi \end{bmatrix}$$

위의 행렬식 $[R]$ 에서 ϵ , ϕ , ω 는 그림 <3.1>에서 보듯이 각각 Z, Y, X 축에서의 회전각을 의미한다. (3.1)식은 비선형 방정식이므로 최소자승법에 적용시키기 위해서는 다음과 같은 과정을 통해 선형방정식으로 만들어야 한다. (3.1)식은 변환요소의 함수이므로 (3.2)식과 같이 표시할 수 있다.

$$F(X) = -X_{KD} + S [R] X_{84} + \Delta X = 0 \quad (3.2)$$

(3.2)식에서 X 는 변환요소(Δx , Δy , Δz , ϵ , ϕ , ω , S)들로 구성된 벡터를 의미한다. 이 식을 Taylor 급수로 전개하여 1차항까지만 취하면 (3.3)식과 같다.

$$F(X_0) + \left. \frac{\partial F(X)}{\partial X} \right|_{X=X_0} dX = 0 \quad (3.3)$$

윗 식에서 X_0 는 변환요소의 초기 근사값이며 dX 는 X_0 에 대한 보정값이다. (3.3)식을 다시 행렬식으로 나타내면 (3.4)식과 같이 최소자승법에서 사용할 수 있는 조건방정식이 구성된다.

$$[A] dX = -F(X_0) \quad (3.4)$$

윗 식에서 [A]는 (3.2)식의 함수를 변환요소들로 편미분한 행렬로서 아래와 같다.

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(X)}{\partial \Delta x} & \frac{\partial F(X)}{\partial \Delta y} & \frac{\partial F(X)}{\partial \Delta z} & \frac{\partial F(X)}{\partial \epsilon} & \frac{\partial F(X)}{\partial \phi} & \frac{\partial F(X)}{\partial \omega} & \frac{\partial F(X)}{\partial S} \end{bmatrix}$$

변환요소 방법에 의한 좌표변환은 (3.4)식을 최소자승법으로 풀어 변환요소들을 산출하고 이것을 (3.1)식에 대입하므로써 가능하게 된다.

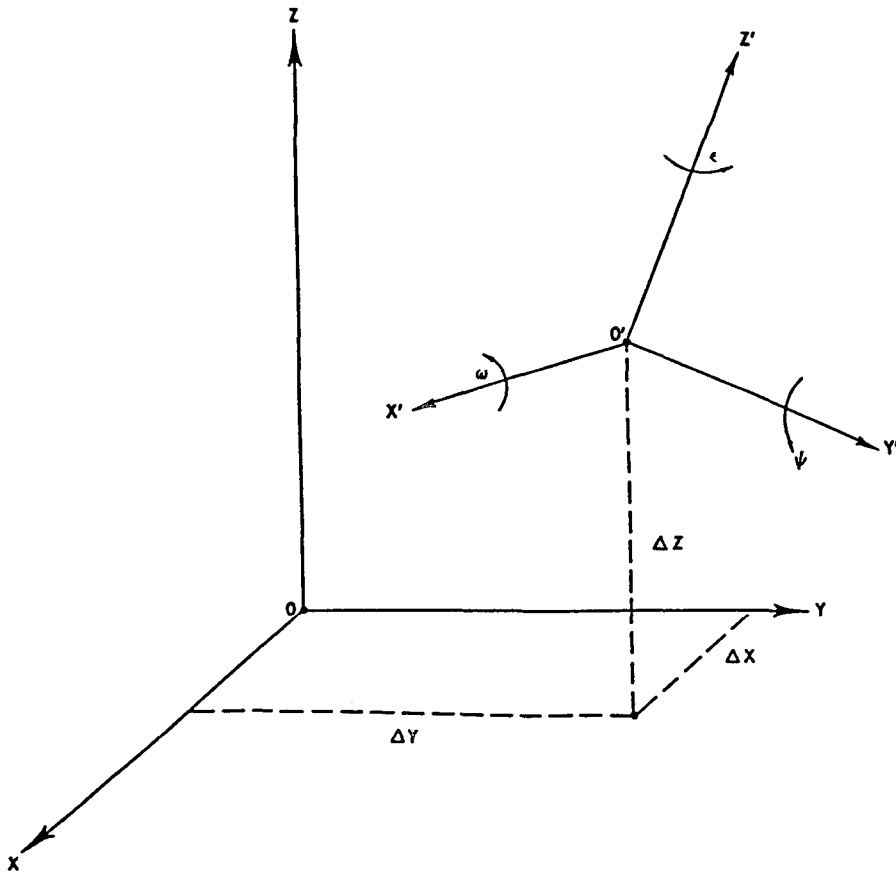


그림 3.1 두 측지기준계간의 좌표변환 관계

3.2 MRE 방법

미국의 DMA에 의하여 제공된 MRE 방법에 의한 좌표변환식은 (3.5)식이다.³⁾ 이 식은 Tokyo Datum(우리나라 포함)을 WGS 84로 변환하는 식이며 좌표보정량 ($\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, ΔH)를 구하여 Tokyo Datum에 기준한 좌표값에 더해지면 WGS 84 좌표를 얻을 수 있다. 역으로 이 식을 이용하여 WGS 84를 Tokyo Datum으로 변환할 경우에는 이식에 의하여 산출되는 좌표보정량의 부호를 바꾸어 WGS 84 좌표값에 더해지면 된다.

$$\begin{aligned} \Delta\phi'' &= 11.42838 + 0.38110 U + 0.66055 V - 2.85156 U^2 - 7.90920 U^3 \\ &\quad + 2.660.655 U^2V - 1.44720 UV^2 - 0.55880 V^3 + 17.02465 U^4 \\ &\quad - 13.83455 U^3V + 2.24425 UV^3 + 4.26478 U^5 + 10.19286 U^4V \\ &\quad - 12.27058 U^3V^2 + 1.72169 UV^4 - 10.70332 U^6 + 9.42547U^4V^2 \\ &\quad - 0.04957 U^3V^3 - 1.63710 U^7 - 3.31782 U^4V^3 + 5.58416 U^3V^4 \\ &\quad + 2.17642 U^8 - 3.44749 U^4V^4 - 0.18249 V^8 - 0.40958 U^2V^7 \\ &\quad - 0.08997 V^9 + 0.75251 U^3V^7 - 0.14797 U^2V^8 - 0.00866 U^9V^5 \\ \\ \Delta\lambda'' &= - 9.41485 - 4.14394V - 0.20672UV - 1.37944 V^2 - 1.23235U^3 \\ &\quad - 0.83040 U^2V^2 + 5.62308 V^3 + 1.80683 V^4 - 4.51075 V^5 \\ &\quad + 0.09944 U^6 - 0.91183 V^6 + 0.90813 U^7 + 0.28770 U^2V^5 \quad (3.5) \\ &\quad + 1.48962 V^7 + 0.16266 V^8 - 0.27918 U^9 - 0.16036 V^9 \\ &\quad - 0.03918 U^5V^8 + 0.01027 U^7V^8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_m &= 17.498 - 5.767 U - 30.032 V + 93.585 U^2 - 23.478 UV \\ &\quad + 20.307 U^2V + 11.444 UV^2 + 12.581 V^3 - 235.503 U^4 \\ &\quad + 48.615 U^3V + 76.860 U^5 - 2.569 V^5 + 170.295 U^6 \\ &\quad - 39.287 U^5V - 73.837 U^7 - 11.695 U^3V^4 - 38.249 U^8 \\ &\quad + 9.382 U^7V + 3.445 U^4V^5 + 0.329 UV^9 - 0.147 U^3V^9 \end{aligned}$$

$$U = K (\phi - 35)$$

$$V = K (\lambda - 135)$$

$$K = 0.15707963$$

(3.5)식에서 φ 와 λ 는 Bessel 측지기준계에서의 위도와 경도로서 단위는 도(°)이다.

3.3 Molodensky 방법

Molodensky 방법을 이용하여 국부좌표계를 WGS 84로 변환하는 식은 (3.6)식과 같다. 이 식도 역시 DMA에 의하여 제공된 것이다.¹⁾⁻³⁾

$$\begin{aligned} \Delta \varphi'' = & \{-\Delta X \sin \varphi \cos \lambda - \Delta Y \sin \varphi \sin \lambda + \Delta Z \cos \varphi \\ & + \Delta a (R_N e^2 \sin \varphi \cos \varphi) / a + \Delta f [R_N(a/b) + R_N(b/a)] \sin \varphi \cos \varphi \\ & \cdot [(R_N + H) \sin 1''] \end{aligned}$$

$$\Delta \lambda'' = [-\Delta X \sin \lambda + \Delta Y \cos \lambda] \cdot [(R_N + H) \cos \varphi \sin 1'']^{-1} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \Delta H_m = & \Delta X \cos \varphi \cos \lambda + \Delta Y \cos \varphi \sin \lambda + \Delta Z \sin \varphi \\ & - \Delta a (a/R_N) + \Delta f (b/a) R_N \sin^2 \varphi \end{aligned}$$

(3.6)식에 H 는 Bessel 타원체면으로 부터의 높이이며 a , b , f , e 는 각각 Bessel 타원체의 장반경, 단반경, 편평율, 이심율이고 Δa 와 Δf 는 각각 Bessel 타원체와 WGS 84 타원체간의 장반경과 편평율의 차이이다. 그리고 ΔX , ΔY , ΔZ 는 Bessel 타원체와 WGS 84간의 좌표계 원점차이량이며 R_N 은 prime vertical에서의 곡률반경, R_M 은 자오선에서의 곡률반경을 의미하며 아래의 식으로 주어진다.

$$R_N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}$$

$$R_M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}$$

$$e^2 = 2f - f^2$$

4. 국내의 좌표변환 연구결과의 고찰

4.1 1992년 연구결과⁴⁾

국내에서 수행된 좌표변환에 관한 연구결과가 1992년에 박필호 등에 의하여 처음으로 한국측지학회지 제 10권 1호에 발표되었다. 이 연구를 위하여 <그림 4.1>과 <그림 4.2>에 나타낸 것과 같은 충남북 일원의 경도 약 30분, 위도 약 30분에 분포되어 있는 7개 측지기준점을 GPS로 측정하였고, 위에서 언급한 3가지 좌표변환 방법을 적용하여 좌표변환 정밀도를 서로 비교하였다. 이 연구에서 GPS 측정에 의하여 결정된 관측지점의 좌표는 망조정 결과 평균 3cm 이내로 정밀하게 결정되었다. 이 연구를 통하여 <표 4.1>에서 보듯이 변환요소 방법으로 경도, 위도, 높이에서 각각 0.006초(약 18 cm), 0.01초(약 30cm), 24cm로 접근하는 좌표변환 결과를 얻었고, 변환요소 방법이 DMA에서 제시한 식을 이용한 다른 두 가지 방법에 비하여 더 정밀한 것으로 판명되었다. <표4.1>에서 MRE와 Molodensky 방법의 경우 경도에서 10초의 일률적인 차이를 보이는 것은 일본에서 행한 동경원점의 경도 수정량 10.405초⁵⁾를 우리나라 실용성상에 적용하지 않고 좌표변환하였기 때문이다. 그리고 좌표변환시 변환요소 방법과 Molodensky 방법을 이용하는 경우 Bessel 타원체에서의 지오이드 높이에 관한 정확한 정보가 제공되어야 높이에 있어 보다 더 정밀한 좌표변환이 가능한 것으로 지적되었다. 우리나라 측지계는 경우에는 이 연구에 의하면 우리나라 측지망과 WGS 84 사이의 경도와 위도, 높이 차이가 각각 약 8초, 10.5초, 45m인 것으로 나타났다. 이는 좌표변환을 하지 않고 GPS로 측정된 좌표값을 우리나라에서 사용할 수 없음을 간접적으로 시사하고 있다.

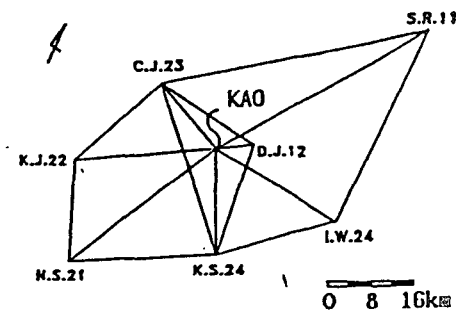


그림 4.1 GPS 관측망 도

	清州		俗離
公州	大田		
論山	錦山	伊院	

그림 4.2 관측지점의 1:50000
기본도지도첩상에서
일람표

표 4.1 실용성과(①)와 3가지 좌표변환 방법에 의하여 변환된 좌표의 차이
 [변환요소 방법(②), MRE 방법(③), Molodensky 방법(④)]

단위 : 경위도(초), 높이(m)

측점	성분	① - ②	① - ③	① - ④	성분	① - ②
CJ 25	위도	-0.01047	0.02318	-0.00719	x(m)	-0.233
	경도	0.00768	-10.40590	-10.40874	y(m)	-0.010
	높이	-0.073	-0.080	-0.134	z(m)	-0.302
DJ 12	위도	-0.00827	0.06034	0.00249	x(m)	-0.149
	경도	-0.00002	-10.40867	-10.38658	y(m)	0.196
	높이	0.118	0.358	0.306	z(m)	-0.135
IW 24	위도	-0.00666	0.10045	-0.00803	x(m)	0.206
	경도	-0.01127	-10.41935	-10.36306	y(m)	0.195
	높이	-0.114	0.059	0.373	z(m)	-0.233
KJ 22	위도	-0.00377	0.04091	-0.01747	x(m)	-0.096
	경도	0.00652	-10.41788	-10.39754	y(m)	-0.143
	높이	-0.156	-0.290	-0.051	z(m)	-0.186
KS 24	위도	-0.00137	0.09678	-0.00478	x(m)	0.397
	경도	-0.00730	-10.42547	-10.36535	y(m)	-0.220
	높이	-0.546	-0.683	-0.060	z(m)	-0.356
NS 21	위도	0.00438	0.13830	-0.10042	x(m)	0.125
	경도	0.00080	-10.38568	-10.37288	y(m)	-0.198
	높이	-0.190	-0.613	0.211	z(m)	-0.003
SR 11	위도	0.02367	0.08449	0.06961	x(m)	0.317
	경도	0.00105	-10.38367	-10.39779	y(m)	-0.450
	높이	-0.144	0.651	-0.165	z(m)	0.501
표준 편차 1σ	위도	0.01081	0.08584	0.04687	x(m)	0.240
	경도	0.00636	10.40667	10.38458	y(m)	0.235
	높이	0.242	0.461	0.217	z(m)	0.287

4.2 1993년 연구결과⁶⁾

1992년에 이어 박필호 등은 <그림 4.3>에 나타낸 경상북도 전역과 충청북도 일부지역을 포함한 경도 1도 32분, 위도 1도 7분에 이르는 지역을 대상으로 좌표변환연구를 수행하였다. 이 연구의 대상범위는 1992년 발표한 1단계 연구의 약 4배에 해당한다. 이 연구를 위하여 7개의 천문측지점과 3개의 삼각점으로 구성된 10개의 측지기준점 및 근처의 8개 수준점을 GPS로 동시에 측정하였다. GPS 측정치의 신뢰도를 검증하기 위하여 각 기선을 폐합한 결과 폐합정밀도가 약 0.2ppm 으로서 매우 정밀한 것으로 판단된다. 이 연구의 특징은 보통 산 정상에 위치한 우리나라 측지기준점의 높이성고가 수준점에 비하여 정밀도가 떨어진다고 가정하고, 측지기준점에 포함된 과대오차를 검출하기 위하여 근처의 수준점을 이용했다는 점이다. 실제로 높이의 과대오차가 일부 측지기준점에서 발견되었으며 수준점 성과로 과대오차를 보정하므로써 높이의 좌표변환 정밀도가 훨씬 나아짐을 보였다. 이 연구의 결과 향후 보다 정밀한 좌표변환 결과를 얻기 위해서는 이와같은 GPS 측정방법을 계속 사용하는 것이 바람직한 것으로 제시되었다. <표4.2>에서 볼 수 있듯이 이 연구에서도 역시 변환요소 방법에 의한 좌표변환 정밀도가 다른 두 방법에 비하여 3배 정도 더 우수한 것으로 나타났으며 변환요소 방법을 이용한 경우 위도, 경도, 높이에서 각각 0.017초(약 50cm), 0.016초(약 50cm), 32.9cm의 정밀도로 좌표변환이 가능하였다. 이 결과는 1992년의 좁은 지역을 대상으로 한 것보다 좌표변환 정밀도가 다소 떨어짐을 나타내고 있다. 그 원인은 크게 두가지 면에서 검토될 수 있다. 첫째는 대상지역의 확대에 따른 오차의 증대이거나, 둘째는 대상지역이 태백산맥을 가로지르는 산악지역이라 서쪽의 평야지대 보다 측지기준점의 실용성고에 오차가 더 포함될 수 있다는 추측이다. 만일 오차의 주원인이 대상지역의 확대에 따른 것이라면 남한 전체에 대한 좌표변환 보다는 지역적으로 분할해서 좌표변환하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 이 연구에서는 오차의 증가요인을 확실하게 발견하지 못하였다. 그러나 좌표변환을 적용하기 전에 망조정 등을 이용하여 우리나라 실용

성과의 정밀도에 대한 검증이 선행될 수 있다면 그 원인을 규명할 수 있을 뿐만 아니라 실용성과의 과대오차를 제거할 수 있어 훨씬 정밀한 좌표변환 결과를 얻을 수 있을것으로 기대된다.

嚴政						
			榮州			蔚珍
	尙州		義城			盈德
				華北		浦項
		倭館				佛國

그림 4.3 기준점의 1:50000 기본도
지도첩상에서 일람표

표 4.2 3가지 좌표변환 방법에 의하여 변환된 좌표와 실용성과(①)의 차이.
[변환요소 방법(②), MRE 방법(③), Molodensky 방법(④)]

측점	① - ②			① - ③			① - ④		
	위도 (초)	경도 (초)	높이 (m)	위도 (초)	경도 (초)	높이 (m)	위도 (초)	경도 (초)	높이 (m)
불국22	0.003	-0.016	0.566	0.118	0.203	0.659	0.086	0.053	-1.497
상주23	0.017	0.010	-0.124	0.053	0.043	0.026	-0.003	0.040	-1.383
엄정25	-0.004	-0.021	0.373	-0.074	0.012	1.480	-0.045	-0.071	-0.298
울진22	-0.019	0.014	-0.053	0.017	0.258	1.357	0.056	-0.035	-1.354
왜관21	-0.026	0.021	-0.030	0.064	0.059	-0.542	-0.026	0.092	-1.649
영덕23	0.006	-0.017	-0.453	0.095	0.206	0.242	0.083	0.002	-2.175
영주23	0.024	0.004	-0.275	0.000	0.089	1.021	0.033	-0.031	-1.306
1σ	0.017	0.016	0.329	0.071	0.153	0.915	0.055	0.054	1.475

4.3 기타방법의 검토

좌표변환 방법을 사용하지 않고 GPS 측정을 통하여 곧바로 우리나라 실용성과를 얻을 수 있는 방법으로는 기선측정시 기준점의 좌표를 WGS 84 좌표값으로 입력하지 않고 실용성과의 좌표를 입력하는 경우가 있다. 그러나 이 방법에 의한 결과는 GPS를 항법용으로 사용할 경우이나 적용될 수도 있으며 정밀 측지 및 측량용으로는 사용해서는 않된다. <표 4.3>은 변환요소 방법의 좌표변환에 의한 결과(①)와 실용성과의 좌표를 기준점의 좌표로 입력한 경우(②)를 서로 비교하여 나타낸 것이다. 이 표에서 보듯이 좌표변환을 하지 않을 경우 오차가 10배 이상 크게 된다.

표 4.3 5개 지점의 WGS 84 좌표와 우리나라 실용성과 및 변환요소 방법으로 좌표변환된 좌표값의 비교

단위 : 경위도(도, 분, 초), 높이(m)

측점	좌표 성분	실 용 성 과 X	좌표변환 방법 사용 ①	실용성과 입력 방법 사용 ②	X - ①	X - ②
KJ 22	위도	36-28-56.333	36-28-56.337	36-28-56.232	-0.004	0.101
	경도	127-07-02.778	127-07-02.772	127-07-02.751	0.006	0.027
	높이	192.75	192.91	190.97	-0.16	1.78
KS 24	위도	36-07-17.843	36-07-17.844	36-07-17.893	-0.001	-0.050
	경도	127-19-10.904	127-19-10.912	127-19-10.782	-0.007	0.122
	높이	878.93	879.48	880.93	-0.55	-2.00

5. 토의와 맺음

천문대 GPS 관측소와 충남대학교 토목공학과는 남한전역을 대상으로 정밀 1차 기준점 망에 속한 천문점과 삼각점 및 근처의 수준점을 포함하여 약

50개 지점에 대한 GPS 측정을 1993년에 수행하였다. 변환요소 방법을 이용하여 이미 측정된 데이터로부터 남한 전체를 30cm 이내의 정밀도로 좌표변환할 수 있는 변환요소를 산출할 계획이다. MRE 방법의 경우 이제까지 DMA에서 제공한 식을 이용하여 왔으나 우리 측지망의 성과에 기초한 MRE 식을 산출하여 사용할 예정이다.

여기서 이 계획을 실천하기 까지 몇가지 선결하여야 문제점이 있음을 지적하고자 한다. 현재로서는 좌표변환에 따른 소프트웨어를 비롯한 방법론은 정립되어 있는 상황이다. 그러나 크게 두가지 문제점이 남아 있다.

첫째는 GPS 측정시 반드시 필요한 우리나라의 GPS 측지기준점 확보의 문제이다. GPS를 이용한 기선의 측정시 측지기준점의 좌표오차는 곧바로 다른 지점의 오차로 나타난다. 따라서 측지기준점의 좌표가 부정확한 만큼 좌표변환의 결과도 부정확할 수 밖에 없다. 현재 천문대 GPS 관측소내에 설치하여 그동안 임시로 사용해 왔던 기준점의 좌표는 1991년에 일본의 Simosato에 있는 기준점으로 부터 끌어온 것이다⁷⁾. 그러나 엄밀한 의미에서 GPS 측지기준점이라 볼 수 없다. 현재로서는 국내에 GPS를 위한 측지기준점이 존재하지 않는 셈이다. 향후 GPS 측정에 의한 측지망의 구성 및 지도제작의 신뢰성과 데이터의 균질성 및 통일성을 확보하기 위해서는 국가에서 정확한 좌표변환요소 산출하여 공시할 필요가 있으며 국내의 모든 GPS 사용자가 같은 방법으로 좌표변환을 하여야 한다고 판단된다. 따라서 GPS 측지기준점의 확보는 측지원점의 확보 차원에서 중요하고 시급한 실정이다.

천문대에서는 국제적으로나 국내적으로 공인 받을 수 있는 GPS 측지기준점의 확보를 위한 기술개발을 그동안 수행하여 왔다. 천문대 GPS 관측소(약자: DAEN)는 1993년 부터 공식적으로 가동을 시작한 국제 GPS 관측망(IGS : International GPS and Geodynamics Service)의 국내대표로 활동하고 있다. 천문대는 중국, 일본, 대만, 호주 등 우리나라 주변국가에서 운용하고 있는 세계적인 측지기준점으로 부터 고정밀 GPS 측정을 통해 현재의 관측소 좌표를 1994년내에 1cm - 2cm의 정밀도로 결정할 계획이다. 이와같은 과정을 통

해 국내의 GPS 측지기준점을 확보한 후, 그동안 관측한 GPS 데이터를 재처리하여 보다 더 정밀하고 공인될 수 있는 좌표변환요소를 산출할 계획이다.

둘째는 우리나라 실용성과의 평가에 관한 것이다. GPS 측정에 의한 정밀도는 cm 단위로 정확하지만 만일 우리의 실용성과가 오차를 많이 포함하고 있는 경우에는 좋은 좌표변환 결과를 기대하기 어렵다. 현재로서 우리나라의 성과는 지역별 망조정에 의하여 부분적으로 평가가 가능할 뿐이다. 남한전체를 대상으로한 정확한 좌표변환을 위해서는 우리나라 성과의 전체 망조정을 통한 과대오차의 제거 및 정밀도 평가가 하루라도 빨리 수행되어야 할 것이며 이를 위하여 국내의 학자와 관련기관들이 유기적인 협력체제를 구축하여 노력하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Defense Mapping Agency, "Department of Defense World Geodetic System 1984", DMA TR 8350.2, 2nd Edition, 1991.
2. Defense Mapping Agency, "Supplement to Department of Defense World Geodetic System 1984 DMA Technical Report : Part I", DMA TR 8350.2-A, 1987.
3. Defense Mapping Agency, "Supplement to Department of Defense World Geodetic System 1984 DMA Technical Report : Part I", DMA TR 8350.2-B, 1987.
4. 박필호, 한인우, 이용창, 강준묵, "GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS 84의 좌표변환(I)", 한국측지학회지, 제10권 제1호, 1992, p.41.
5. 최재화, 김세걸, 최윤수, "우리나라 삼각점 실용성과 산정에 관한 연구", 한국측지학회지, 8권 1호, 1990, p.1.
6. 박필호, 한인우, 이용창, 강준묵, "GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS 84의 좌표변환(II)", 한국측지학회지, 제11권 제1호, 1992, p.41.
7. 박필호, 한인우, 김천취, 강준묵, "GPS 측지기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 9권 1호, 1991, p.37.