

## 매개변환요소에 따른 WGS84와 Bessel 타원체간의 좌표변환해석

## Analysis of Coordinates Transformation between WGS84 and Bessel Ellipsoids According to the Transformation Parameters

강준목\* · 신봉호\*\* · 이용창\*\*\* · 윤철규\*\*\*\*

Kang, Joon Mook · Shin, Bong Ho · Lee, Yong Chang · Yoon, Cheol Gyu

## Abstract

This paper proposed transformation coefficients suitable to South Korea for the establishment of coordinate transformation system between Bessel and WGS84 ellipsoids. For this, the coordinates transformation algorithms concerned with parameter methods was developed, and global test network which has 15 astronomical points in South Korea were designed. Based on signals received from GPS, computed the geoid undulation by GPS/Leveling, and derived parameters(3-, 4-, 6-, and 7-parameter) for transformation between each ellipsoid, applied global networks to study the characteristics of transformation according to parameters. Through the successful application of 7-parameters derived in this study and 7-parameters proposed by DMA for map projection, transformation coefficients suitable to South Korea was proposed.

## 요 지

본 연구는 WGS84 타원체와 Bessel 타원체간의 측지좌표계 변환의 확립을 위해 매개변환요소에 따른 타원체 간의 좌표변환체계를 정립, 남한지역에 고루 분포된 15개 천문점에 대한 GPS 관측자료를 토대로 위성관측에 의한 Geoid 고를 산정하고 좌표변환을 위한 매개변수를 3-, 4-, 6- 및 7-변환요소로 도출하여 각 요소별로 변환특성을 고찰하고 DMA에서 제시된 변환요소의 결과와 함께 지도투영에 적용하므로써 국내에 적합한 변환계수를 제시한 것이다.

## 1. 서 론

GPS 위치결정체계는 기존의 측량방식과는 달리 측점 간 시통에 무관하며 24시간 세계 측지기준계의 3차원 위치측정과 신속한 관측자료의 처리를

통한 위치해석이 가능하다는 장점 때문에 정밀 위치해석을 요하는 정적 및 동적 대상체에 대한 절대 및 상대적인 3차원 위치결정에 유용한 최첨단 응용 체계로서 전세계적으로 많은 관심이 모아지고 있다. 현재 운용중인 NAVSTAR(Navigation System with Time and Ranging)/GPS 위성체계는 미 공군이 주도가 되어 1984년 8월 1호가 발사된 이래로 Block I(NAVSTAR)그룹에 속하는 위성 1대와 Block II에

\* 정희원 · 충남대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원 · 충북대학교 토목공학과 교수

\*\*\* 정희원 · 시립 인천전문대학 토목과 조교수

\*\*\*\* 정희원 · 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

속하는 9대의 위성 및 Block IIA 그룹에 속하는 15대의 위성, 총 26대가 작동중(1994년 8월 8일 현재)에 있으며 20세기 말 혹은 21세기 초를 겨냥한 Block IIR 그룹의 위성들이 설계에 착수된 상태에 있다.<sup>(1,2)</sup> 특히, 최근에는 A/S(Anti-Spoofing)에 대비할 수 있는 수신기의 개발과 절대위치결정의 정확도 향상을 위한 각종 모듈의 개발 및 GPS와 GLONASS의 조합운용 등 그 효용성을 향상시키려는 연구에 많은 관심이 집중되고 있다.<sup>(3,4)</sup> 따라서 측지, 지적분야의 정밀 기준망의 구축은 물론, 항공기와 선박 및 각종차량의 운항, 목표물의 원격위치결정 및 탄두의 궤도추적 등의 군사적 이용 등 다방면에서 종래의 관측방식에 비해 정확성, 경제성, 신속성 면에서 그 효용성이 입증되고 있다.<sup>(5-7)</sup> 더우기 세계측지기준계에 의한 지형공간정보체계의 구축이 절실히 요구되는 현점에서 GPS의 운용에 관한 연구는 국익차원에서도 매우 중요한 과제로 부각되고 있다. 그러나 GPS로부터 획득되는 지형정보는 세계측지기준계(WGS84 Datum)에 기초한 3차원 위치정보이므로 국내에서 효율적으로 실용화하기 위해서는 우리가 적용하고 있는 Bessel 타원체 상의 좌표로 변환하여야 한다. 특히, 정확한 3차원 변환을 위해서는 변환지역에 적합한 지오이드 기복모형의 개발이 선행되어야 하며 이와 연계한 측지계간의 좌표변환체계를 신중히 정립하여야 한다.<sup>(8-11)</sup>

본 연구에서는 남한지역을 대상으로 타원체 간 기하학적 특성을 파악하고 지오이드 고를 보정한 변환요소기법(3-, 4-, 6- 및 7-매개변환요소)에 관한 프로그램을 수정·개발하여 좌표변환체계를 정립하고 남한지역내 정밀 1차 기준망에 속한 측정점들을 대상으로 균등한 밀도로 15개 측정점을 선정하여 시험망을 구성하였다. WGS84 타원체상의 위치가 정밀하게 결정된 GPS기준점을 고정점으로 상대측위를 수행하고 WGS84와 Bessel 타원체 간의 평균 지심좌표 편차량을 산출하여, 표준 Molodsky 식 및 GPS/Leveling 기법과 조합, 각 측정점의 지오이드 기복을 산정하고 이를 변환에 적용하여 3-, 4-, 6-, 7-변환요소를 도출하였다. 각 변환요소의 변환정확도를 고찰하기 위하여 실용성과 변환성과간의 접근성을 토대로 국내에 적합한 변환기법과 계수를 제시하고자 하였다. 그리고 도출된 변환계수를 횡원통(Transverse Mercator : T.M.) 투영법 및 국제

횡원통(Universal Transverse Mercator : U.T.M.)에 적용하여 지도제작을 위한 효용성을 입증하고 타원체 상호간의 원활한 변환체계를 확립하므로써 GPS에 의한 효율적인 지형정보의 획득에 활용할 수 있는 좌표변환체계를 제시하고자 한다.

## 2. 해석 이론

### 2.1 지오이드 기복 산정

일반적으로 높이는 평균 해수면에 근거한 정표고( $h_{msl}$ ; Orthometric Height)와 기준타원체 고 및 지오이드 고로 나눌 수 있다. 특히, 본 연구에서는 Bessel 타원체면 및 WGS84 타원체면으로부터 지표면까지의 높이를 각각  $H_B$ ,  $H_{84}$ 로, 각 타원체로부터 지오이드 면까지의 높이차를  $N_B$  및  $N_{84}$ 로 표기하였다.

WGS 84 타원체면으로부터 지오이드까지의 높이차( $N_{84}$ )를 산출하기 위해 본 연구에서는 GPS/Leveling 방법을 활용하였다. GPS/Leveling에 의한 지오이드 기복의 결정방법은 사전에 표고가 정확히 결정된 측정점을 대상으로 GPS 기준점을 고정된 상대위치결정을 실시하여 조정산출된 WGS84 타원체상의 높이( $H_{84}$ )에서 해당 측정점의 정표고 성과( $h_{msl}$ )를 감하여 WGS84 타원체면에서 지오이드면까지의 높이를 결정하는 방법이다. 따라서 기존의 수준성과가 평균해수면으로부터 정밀하게 결정되어 있다면, GPS/Leveling으로 지오이드 고를 산출하고 각종 보간법을 적용하여 모형식을 구성하는 것이 비교적 효율적일 것이다.

$N_{84}$ 와  $H_{84}$  및  $h_{msl}$ 의 관계를 수식으로 나타내면 식 (1)과 같다.<sup>(12)</sup>

$$N_{84} = H_{84} - h_{msl} \quad (1)$$

또한, 두 측지계간의 정밀한 3차원 좌표변환을 위해서는 평균해수면을 기초로 한 정표고를 임의 타원체를 기준으로 한 타원체 상의 높이로 변환해야 하며 이 과정에서 Bessel 타원체로부터 지오이드까지의 높이를 알아야 한다. 이를 위해서는 국가의 측지원점 혹은 해당지역의 중앙부에 대한 준거타원체면과 지오이드면까지의 높이( $N_{B0}$ )가 우선 결정되어야 한다. 그러나 이 높이는 상대적인 "가정값"임으로(0m 혹은 임의 값) 기준값의 선정에 따라 두

타원체간의 평균지심좌표 편차량이 달라짐은 물론, 해당지역내 측점들의  $N_B$  분포가 각기 다른 양상으로 나타나게 된다.

본 연구에서는  $N_{B0} = -24.414m$ 로 임의 가정<sup>(14)</sup>하고 이로부터 GPS 관측점에 대해 두 타원체 간의 평균지심좌표편차( $\Delta X_M, \Delta Y_M, \Delta Z_M$ )를 산출, 장반경의 차  $\Delta a$  및 편평률의 차  $\Delta f$ 를 표준 Molodensky 식에 대입하여 두 타원체 간의 이격량  $\Delta H$ 를 산정하고 GPS/Leveling으로부터 산출된 N84를 감하여  $N_B$ 를 결정하였다.<sup>(10)</sup>

### 2.2 매개변환요소에 따른 측지계간 좌표변환

본 기법은 최소제곱기법으로부터 산정된 7개의 변환계수를 적용하여 상이한 두 직교좌표간의 변환을 수행한다. 우리나라 측지계( $X_{KD}$ )와 WGS84 기준계( $X_{84}$ )간의 변환방정식은 식 (2)와 같이 Helmert 변환으로 구성할 수 있다.<sup>(13)</sup>

$$X_{KD} = S[R]X_{84} + \Delta X_d \quad (2)$$

여기서,  $X_{KD} = [X_{KD} \ Y_{KD} \ Z_{KD}]^T$ ,  $X_{84} = [X_{84} \ Y_{84} \ Z_{84}]^T$ ,  $\Delta X_d$ 는 두 타원체 간의 원점편차량에 의한 직교좌표성분으로  $[\Delta X_M \ \Delta Y_M \ \Delta Z_M]^T$ 와 같으며,  $[R]$ 은 두 측지계 간의 회전행렬이다.

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos\phi \cos\kappa & \cos\omega \sin\kappa & \sin\omega \sin\kappa \\ & +\sin\omega \sin\phi \cos\kappa & -\cos\omega \sin\phi \cos\kappa \\ -\cos\phi \sin\kappa & \cos\omega \cos\kappa & \sin\omega \cos\kappa \\ & +\sin\omega \sin\phi \sin\kappa & +\cos\omega \sin\phi \sin\kappa \\ \sin\phi & -\sin\omega \cos\phi & \cos\omega \cos\phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서,  $\kappa, \phi, \omega$ 는 각각 z, y, x축에서의 회전각을 의미한다.

회전행렬은 정방행렬이므로  $[R] [R]^T = I$ 이 된다.

$$F(X) = S [R] X_{84} + \Delta X - X_{KD} = 0 \quad (4)$$

(4)식은 비선형 함수이므로 Taylor 급수로 선형화하고 1차항까지 취하면 다음의 선형화된 방정식이 구성된다.

$$F(X_0) + \left. \frac{\partial F(X)}{\partial X} \right|_{X=X_0} dX = 0 \quad (5)$$

윗 식에서  $X_0$ 는 7-매개변수의 초기근사값이며  $dX$ 는  $X_0$ 에 대한 보정값이다.

(5)식을 이용하여 조건방정식을 구성하고 행렬식으로 나타내면 다음과 같다.

$$Av + B\Delta = f \quad (6)$$

여기서,

$$A = [S_0 R_0 - I], \quad V = [V_{84} \ V_{KD}]^T$$

$$B = [S_0 X_{84} \ S_0 R(1)_0 X_{84} \ S_0 R(2)_0 X_{84} \ S_0 R(3)_0 X_{84} \ I]$$

$$\Delta = [\delta S, \delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta X_1, \delta X_2, \delta X_3]^T \text{로서}$$

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ ; 회전요소에 대한 보정량,  
 $\delta X_1, \delta X_2, \delta X_3$ ; 원점이동량에 대한 보정량이다.

또한  $[R] = R(\kappa) R(\phi) R(\omega)$ 이므로

$$R(1) = \partial M / \partial \omega, \quad R(2) = \partial M / \partial \phi, \quad R(3) = \partial M / \partial \lambda \text{이 된다.}$$

i개 측점에 대하여, 단위 경중률( $P=I$ )로 가정하고 (6)식을 해석하면 7개 변환요소의 보정량을 산출할 수 있다.

$$\Delta = [\Sigma(B^T B)]^{-1} [\Sigma(B^T f)] \quad (7)$$

여인수(Cofactor) 행렬,  $Q_c$ 는 다음과 같이 구성된다.

$$Q_c = A^T P A = A^T A = (1 + S_0^2) I \quad (8)$$

또한, Autocofactor 행렬;  $Q_{dd}$ 는  $Q_c^{-1}$ 이므로 식 (9)와 같고

$$Q_{dd} = (1 + S_0^2) [\Sigma(B^T B_i)]^{-1} \quad (9)$$

$V = (A^T P A)^{-1} A^T P (-B\Delta + f) = \alpha A^T (-B\Delta + f)$ 이 된다.

여기서  $\Delta$ 가 0에 수렴되면,  $V = \alpha A^T f$ , 전체 조정의 표준오차는  $\sigma_0$ 로 결정할 수 있고 각 변환요소의 표준오차를  $\Sigma_{dd}$ 의 대각선요소로 결정하게 된다.

$$\sigma_0^2 = \alpha f^T f / r \quad (10)$$

$$\Sigma_{dd} = \sigma_0^2 Q_{dd} = f^T f [\Sigma(B^T B_i)]^{-1} / r \quad (11)$$

따라서 7개 변환 매개변수인  $\Delta X_d, [R], S$ 를 알면 WGS84 측지좌표를 Bessel 좌표로 변환할 수 있다.

같은 원리로서 3-, 4- 및 6-매개변환요소 변환은 각각  $\Delta X_d, \Delta X_c$ 와  $S$  및  $\Delta X_d$ 와  $[R]$ 의 변환요소를 산출하여 변환을 수행한다.

### 3. 관측 및 자료처리

본 연구의 수행을 위해 그림 1과 같이 남한전역이 포함될 수 있도록 우리나라의 정밀 1차 기준망에 속하며 천문관측이 수행된 삼각점 15점을 선점하여 광역망(Global Network)을 구성하고 Trimble 4000 SST 수신기 3 Set를 이용하여 현재 국제공동 GPS 관측망(IGS: International GPS & Geodynamics Service)에 가입되어 있는 대덕 관측소(DAEN)를 고정점으로 Trimble 4000 SST 수신기 3대를 이용하여 측정당 3시간씩 1일 2 Session으로 차감 GPS (Differential GPS) 관측계획을 수립하여 고도 10° 이상인 위성만으로부터 L1/L2 주파수를 수신하도록 하였다. 자료처리시 고정점으로 사용된 DAEN의 좌표는 1991년 일본 Simosato(下里)의 SLR(Satellite Laser Ranging) 관측점과 공동관측으로 이미 좌표가 결정된 표준 과학원 천문대의 GPS 기준점과 15일 동안 1일 24시간 연속관측된 자료를 SBP-Double Difference L1기법으로 처리한 것으로 WGS84 타원체 상의 좌표와 표준편차는 표 1과 같다.<sup>(10)</sup> 그림에서 ▲는 삼각점을 나타내며 첨자는 측정의 기호

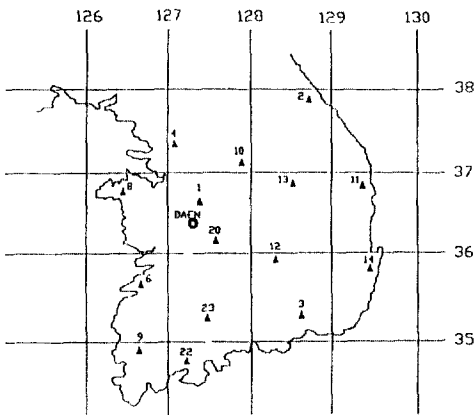


그림 1. GPS 관측망도

이다.

수신된 자료의 처리는 Trimble사의 자료처리 Software인 Trimvec plus 및 Trimnet plus을 활용하여 장치선에 따른 전리층의 영향을 제거하기 위해 MBP-single Triple difference L1/L2 방식을 채택하고 대류층의 영향을 보정하기 위하여 Modified Hopfield Model을 적용하여 최소구속조건에 근거한 3차원 측지망조정을 수행하였다. 특히 과대오차의 검출을 위한 전제검정으로 사전 분산값 및 경중률이 고려된 사후 분산값의  $\chi^2$  검정을 실시하고, 부분검정으로는 Pope의  $\tau$  검정전략에 의한 검정 한계구간을 기준으로 검출하여 WGS84 좌표계 상의 3차원 성과를 높은 정확도로 결정할 수 있었다. 표 2, 표 3은 각각 15개 측정의 실용성과와 조정산출된 WGS 84 타원체 상의 좌표이다.

### 4. 비교 분석

#### 4.1 타원체 간 기하학적 특성값 도출

타원체간의 좌표변환을 위해서 두 타원체의 평균 지심좌표 편차( $\Delta X_M$ ,  $\Delta Y_M$ ,  $\Delta Z_M$ )를 산정하고 변환을 위한 계 요소를 산출하였다.

##### 4.1.1 평균 지심좌표 편차

광역망내에 각각 평균 1° 간격으로 배치한 15개 삼각측점의 Bessel 성과와 위성 관측자료를 토대로 최소제곱조정을 통하여 도출한 Bessel 및 WGS84 타원체간의 평균 지심좌표편차량(KD-WGS)과 표준 편차는 표 4와 같고 편차성분을 도시하면 그림 2와 같다.

분포경향은 북서에서 남동방향으로 X(126m~135 m), Y(-477m~-492m), Z(-663m~-676m)로 각각 증감하는 양상을 나타내고 있다. Bessel 타원체와 WGS84 타원체의 평균 중심간 거리는 남한 지역의 경우 835m 정도 이격된 것으로 사료된다. 또한, 이 결과는 1987년 DMA<sup>(11)</sup>에서 한반도 일원에

표 1. DAEN의 WGS84 좌표와 정밀도

성분	직교좌표(m)	표준편차	성분	측지좌표(°)	표준편차
X	-3120422.951	± 0.044	$\phi$	36 22 27.91449	± 0.00015
Y	4086355.676	± 0.028	$\lambda$	127 21 57.87881	± 0.00007
Z	3761769.613	± 0.044	H	77.6069	± 0.0060

표 2. 삼각측점의 좌표성과 (기준타원체 : Bessel 1841)

기 호	측 점	위 도(°, ")	경 도(°, ")	해면고(m)
1	청주 11	36 34 47.30000	127 25 17.19300	291.300
2	강릉 26	37 45 55.75500	128 51 02.59600	148.780
3	마산 21	35 13 14.01770	128 36 48.09550	297.880
4	수원원점	37 16 23.15300	127 03 22.42900	67.500
6	부안 11	35 43 51.47300	126 38 27.34000	287.960
8	서산 27	36 45 15.49600	126 29 59.59300	109.430
9	영암 11	34 58 03.17900	126 43 47.22200	82.120
10	엄정 25	37 02 54.34120	127 54 13.37960	105.770
11	울진 22	36 57 01.15551	129 25 06.06665	54.070
12	왜관 21	35 58 31.05300	128 19 54.79500	468.200
13	영주 23	36 52 58.45104	128 32 52.30351	376.720
14	불국 22	35 55 50.91100	129 26 12.75500	290.660
20	이원 24	36 06 01.01000	127 33 44.08500	283.950
22	고흥 21	34 41 04.38600	127 15 15.36400	156.460
23	운봉 11	35 17 26.23100	127 31 03.22100	1502.130

표 3. GPS 관측에 의한 WGS84 조정좌표성과

기 호	측 점	위 도(°, ")	경 도(°, ")	타원체고(m)
1	청주 11	36 34 57.79506	127 25 09.52233	317.285
2	강릉 26	37 46 05.69808	128 50 54.46198	175.754
3	마산 21	35 13 25.10581	128 36 40.10991	326.790
4	수원원점	37 16 33.36443	127 03 14.88140	91.415
6	부안 11	35 44 02.28706	126 38 19.92070	313.790
8	서산 27	36 45 25.92730	126 29 52.21828	132.010
9	영암 11	34 58 14.28793	126 43 39.80512	106.810
10	엄정 25	37 03 04.69360	127 54 05.58089	131.940
11	울진 22	36 57 11.55006	129 24 57.75494	86.160
12	왜관 21	35 58 41.85728	128 19 46.80380	496.200
13	영주 23	36 53 08.83759	128 32 44.27327	404.670
14	불국 22	35 56 01.69525	129 26 04.45639	319.720
20	이원 24	36 06 11.69278	127 33 36.37928	309.341
22	고흥 21	34 41 15.62140	127 15 07.80142	182.993
23	운봉 11	35 17 37.23034	127 31 55.54784	1530.012

13개의 Doppler 관측을 통하여 도출한  $\Delta X_M = 128 \pm 4.6m$ ,  $\Delta Y_M = -499 \pm 5.0m$ ,  $\Delta Z_M = -672 \pm 2.0m$ 와 비교될 수 있는 값으로서 도서지방을 포함하여 지역에 따라 고른 분포로 다수의 균일한 측점을 활용한다면 두 타원체간의 보상요소를 좀더 향상된

정밀도로 결정할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4.1.2 측지좌표 편차

광역망으로부터 도출한 평균지심 편차량  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ 와  $\Delta a$  및  $\Delta f$ 를 기본요소로 WGS84 좌표를 입력하여 표준 Molodensky 변환식으로부터 도출한

두 타원체 간의 평균측지좌표의 편차성분은  $\Delta\phi_M = -10.658''$ ,  $\Delta\lambda_M = +7.794''$  및  $\Delta H_M = -51.215\text{m}$ 로서 편차경향은 위도의 경우 북에서 남으로 감소하는 분포를 경도편차의 경우는 서에서 동으로 증가하는 분포를 보였고 고도편차는 북서에서 남동으로 서서히 증가하는 경향으로 나타났다.

#### 4.2 지오이드 기록 산정

표 5는 15개 삼각점을 대상으로 표 4의 평균지심편차량으로부터 각 측점의 타원체간 이격량( $\Delta H$ )를 산정하고 GPS/leveling 기법으로  $N_{84}$ 를 산출하여  $N_B$ 를 결정한 결과이다.

#### 4.3 변환요소별 변환정밀도 해석

앞서 도출한  $N_B$ 를 이용하여 남한지역내 15개 삼각측점의 고시된 평균해면고를 Bessel 타원체상의 높이로 변환하고 WGS84 좌표와 실용성과를 이용하여 3-, 4-, 6- 및 7-매개변수 기법에 근거한 최소제곱조정으로부터 각각의 변환요소를 도출하고 변환정확도를 고찰하였다.

##### 4.3.1 3-매개변수 변환

표 6은 두 측지망내의 삼각측점들에 대한 WGS84와 Bessel 타원체간의 변환을 3-매개변수 이론에 근거하여 도출한 변환계수와 표준편차를 나타낸

표 4. 광역망의 평균지심좌표편차(KD-WGS)  $\Delta a = -739.845$ ,  $\Delta f \times 10^4 = 0.10037483$

성분	$\Delta X_M(\text{m})$	$\Delta Y_M(\text{m})$	$\Delta Z_M(\text{m})$
편차	130.567	-485.167	-667.417
1 $\sigma$	$\pm 1.068$	$\pm 1.068$	$\pm 1.068$

다.

각각의 변환계수를 측지망에 적용하고 고시된 실용성과를 기준으로 변환표준편차를 산정하면  $d\lambda = \pm 0.076''$ ,  $d\phi = \pm 0.055''$  및  $dh = \pm 0.160\text{m}$ 로서 특히

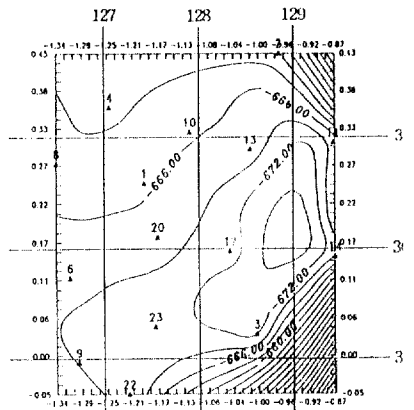
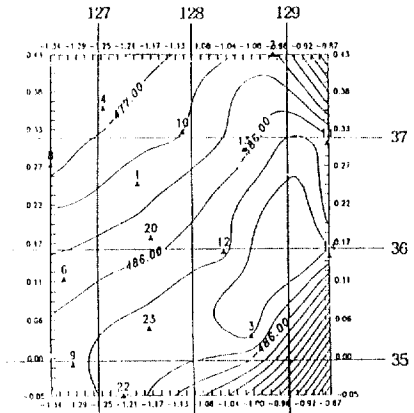


그림 2. 광역망의 지심좌표편차(KD-WGS84) 분포

표 5. 15개 기준점의 이격량 및 지오이드고 (단위 : m)

측점	$\Delta H$	$N_8$	$N_B$	측점	$\Delta H$	$N_{84}$	$N_B$
1	-54.612	25.985	-28.627	11	-51.136	32.090	-19.046
2	-57.247	26.974	-30.273	12	-48.664	28.000	-20.664
3	-43.426	28.910	-14.516	13	-53.232	27.950	-25.282
4	-59.423	23.915	-35.508	14	-45.238	29.060	-16.178
6	-51.832	25.830	-26.002	20	-51.507	25.391	-26.116
8	-58.006	22.580	-35.426	22	-44.003	26.533	-17.470
9	-47.111	24.690	-22.421	23	-46.863	27.882	-18.981
10	-55.929	26.170	-29.759				

고도변환성분의 표준편차가 작게 나타난 것은 본 연구에서 산정한 지오이드 고의 양호함으로 사료된다.

#### 4.3.2 4-매개변환요소 변환

광역 및 지역망에 대한 WGS84와 Bessel 타원체간의 좌표변환계수를 4-매개변환요소 이론에 근거하여 도출한 계수성분과 표준편차는 표 7과 같다.

위의 변환계수를 각 측지망에 적용하고 고시된 실용성과를 기준으로 변환표준편차를 산정하면  $d\lambda = \pm 0.074''$ ,  $d\phi = \pm 0.056''$  및  $dh = \pm 0.158m$ 로서 3-매개변환요소와 유사한 결과를 나타내고 있어 부가된 축척성분은 두 측지계간의 변환에 큰 영향을 주지 않고 있음을 확인할 수 있었다.

#### 4.3.3 6-매개변환요소 변환

3-매개변환요소에 세 좌표축의 회전요소를 부가한 변환기법으로 산출된 변환계수와 표준편차는 표 8과 같다.

각각의 변환계수를 측지망에 적용하고 실용성과를 기준으로 변환표준편차를 고찰한 결과,  $d\lambda = \pm$

표 6. 3-매개변환요소와 표준편차

성분	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
계수	130.511	-485.163	-667.476
$1\sigma$	$\pm 0.393$	$\pm 0.393$	$\pm 0.393$

표 7. 4-매개변환요소와 표준편차

성분	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	S(ppm)
계수	124.682	-477.661	-660.564	-1.844
$1\sigma$	$\pm 9.679$	$\pm 12.453$	$\pm 11.473$	3.060

표 8. 6-매개변환요소와 표준편차

성분	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\kappa(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$
계수	131.626	-484.929	-666.789	-2.159	-2.293	1.816
$1\sigma$	$\pm 13.876$	$\pm 10.174$	$\pm 12.262$	0.424	0.425	0.354

표 9. 7-매개변환요소와 표준편차

성분	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\kappa(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	S(ppm)
계수	125.905	-478.377	-658.757	-2.166	-2.284	1.866	-1.844
$1\sigma$	$\pm 14.588$	$\pm 11.216$	$\pm 13.700$	0.421	0.422	0.352	1.404

$0.020''$ ,  $d\phi = \pm 0.033''$  및  $dh = \pm 0.160m$ 로서 특히, 경·위도의 변환정확도가 3- 및 4-매개변환요소에 비해 약 3배 향상되어  $\pm 1m$  이내의 변환정확도로서 변환이 가능함을 알 수 있었다. 특히 고도 성분의 경우, 표준편차가 약간 증가되는 경향이 있으나  $\pm 3cm$  내외의 미소한 양이므로 변환요소의 부가와는 거의 무관함을 알 수 있었다.

#### 4.3.4 7-매개변환요소 변환

표 9는 WGS84와 Bessel 타원체간의 변환을 위한 지심편차성분과 세 축의 회전요소 및 타원체간의 축척계수를 최소제곱조정을 통해 결정된 결과를 나타낸 것으로 변환에 적용한 결과  $d\lambda = \pm 0.019''$ ,  $d\phi = \pm 0.033''$  및  $dh = \pm 0.160m$ 로서 6-매개변환요소와 매우 유사한 결과를 나타내었고 4-매개변환의 경우와 같이 축척요소는 주된 변수로 작용하지 않음을 재차 확인할 수 있었다.

그림 3은 광역망으로부터 도출된 3-, 4-, 6- 및 7-매개변환요소를 변환에 적용하고 각 성분에 대한 실용성과의 변환표준편차를 비교한 것이다. 전반적으로 3- 및 4-변환요소, 6- 및 7-변환요소기법이 같은 변환특성을 나타냈고 변환정확도는 3-, 4-, 6-, 7-매개변환요소 순으로 향상됨을 알 수 있었다. 또한 1987년 DMA기술교범<sup>(14)</sup>에서 제시한 7-매개변환요소를 적용한 경우 변환오차는  $d\lambda = \pm 0.019''$ ,  $d\phi = \pm 0.033''$  및  $dh = \pm 1.029m$ 로서 경·위도 성분의 경우는 본 연구의 결과와 매우 유사하나 고도성분의 경우 4가지 변환요소 모두가 DMA방식에 비해 월등히 향상된 변환결과를 나타낸 것은 본 논문에서 개발한 NB의 산출방법이 타당함을 입증한 변환결과로 사료된다.

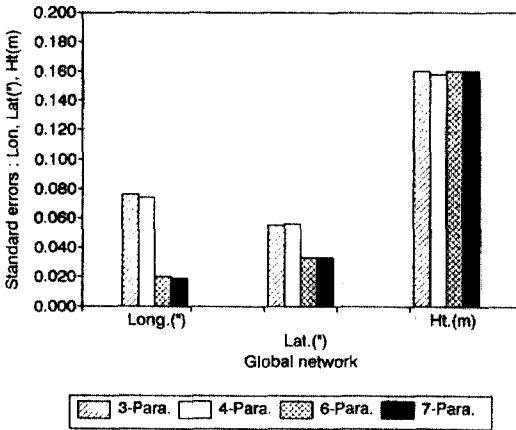


그림 3. 변환요소 기법별 변환표준편차 비교

#### 4.4 지도투영

표 10은 광역망내 15개 삼각점의 WGS84 좌표 값에 7-매개변환요소를 적용하여 변환·산출한 Bessel 타원체의 측지 경·위도 좌표를 TM 도법으로 투영하고 실용성과의 투영결과와 직교좌표성분을 상호간 비교한 것이다.

여기서  $X_0$ ,  $Y_0$  및  $X_T$ ,  $Y_T$ 는 각각 실용성과 및 위성관측에 의한 변환성과를 기초로 투영변환한 직교좌표성분이다. 두 Bessel 좌표성분에 의한 TM 투영결과를 각 성분별로 분석한 결과, X 및 Y성분의 표준편차는 각각  $\pm 1.014m$ ,  $\pm 0.232m$ 의 투영표준오차를 보이며 두 성분을 동시에 고려할 경우,  $\pm 1.040m$  이내의 정확도로서 투영변환이 가능하므로 지도제작상의 허용오차범위를 도상 0.1 mm로 가정한다면, 본 연구에서 도출한 변환계수를 위성좌표에 적용할 경우, 1/10,000의 지형도 제작에도 유용할 것으로 사료된다.

표 11은 실용성과에 역변환요소를 적용하여 역변환 산출된 WGS84 좌표와 위성관측에 의한 WGS84 좌표에 UTM 도법을 적용하고 상호간의 지도좌표성분을 비교한 것이다. 여기서  $N_0$ ,  $E_0$  및  $N_T$ ,  $E_T$ 는 각각 위성관측에 의한 WGS84 좌표와 실용성과로부터 변환산출한 WGS84 좌표를 기초로 투영변환한 직교좌표성분이다. 분석결과, N, E성분의 투영표준편차는 각각  $\pm 1.506m$ ,  $\pm 0.447m$ , 두 성분을 동시에 고려할 경우는  $\pm 1.571m$ 의 투영오차가 기대된다. 특히, TM 투영경우의 표준편차보다 큰 편차를 보인 것은 평면으로 간주하는 범위에서 UTM 투영이 넓

표 10. 실용성과의 변환성과의 TM 투영좌표

측 점	$X_0$	$X_T$	$Y_0$	$Y_T$
1	342481.929	342482.021	237714.304	237714.129
2	473983.742	473981.152	186848.396	186848.808
3	191665.790	191666.690	164803.411	164804.085
4	419331.554	419331.832	204986.597	204986.917
6	248279.737	248279.246	167518.930	167518.476
8	361878.209	361878.856	155346.457	155346.386
9	163564.021	163563.066	175325.643	175325.692
10	394780.668	394782.086	280381.581	280382.294
11	383593.949	383594.611	237258.045	237257.952
12	275533.488	275535.162	139748.500	139747.208
13	376126.647	376126.708	159697.521	159697.508
14	270479.989	270479.926	239420.177	239419.852
20	289340.640	289340.423	250624.101	250623.927
22	132168.344	132167.636	223297.616	223298.050
23	199500.091	199499.599	248590.081	248590.109

표 11. 실용성과의 변환성과의 UTM 투영좌표

측 점	$N_0$	$N_T$	$E_0$	$E_T$
1	4049746	4049746	358587	358587
2	4180113	4180115	486654	486653
3	3897913	3897913	464613	464612
4	4127258	4127258	327483	327483
6	3957013	3957013	286465	286465
8	4070858	4070858	276641	276641
9	3872145	2872147	292558	292558
10	4101128	4101126	402328	402328
11	4089764	4089761	537041	537041
12	3981749	3981746	439567	439567
13	4082298	4082298	459511	459511
14	3976693	3976693	539200	539201
20	3996360	3996360	370390	370390
22	3839797	3839799	339895	339895
23	3906600	3906600	366527	366527

기 때문인 것으로 사료된다.

따라서, 광역망에 대한 TM 및 UTM 지도투영 결과를 고찰할 때 본 연구에서 도출한 7-매개변수 변환기법을 적용할 경우, 남한지역에 대한 1/10,000 ~ 1/15,000의 지형도 제작이 가능함을 입증할 수 있었다.



## 5. 결 론

WGS84 타원체와 Bessel 타원체 간의 기하학적 특성값과 지오이드 기복에 연계한 좌표변환요소별 변환정확도를 해석한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 남한지역을 대상으로 WGS84 타원체와 Bessel 타원체간의 평균 지심좌표편차량 및 평균측지좌표편차량을 각각  $\Delta X_M = 130.567 \pm 1.068m$ ,  $\Delta Y_M = -485.167 \pm 1.068m$ ,  $\Delta Z_M = -667.417 \pm 1.068m$  및  $\Delta \phi_M = -10.658''$ ,  $\Delta \mu_M = +7.794''$  및  $\Delta H_M = -51.215m$ 로 도출할 수 있었다.

2) 남한지역내 정밀 1차 기준점망에서 선점된 15개 측정점을 대상으로 변환요소 별 변환정확도를 검토한 결과 7-매개변환요소를 적용할 경우,  $\pm 1m$  이내로 상호변환할 수 있었으며 3-, 4-, 6-, 7- 변환요소 순으로 향상된 변환결과를 나타내었다.

3) 7-매개변환요소를 실용성과와 WGS84좌표에 적용하고 TM 및 UTM 투영한 결과, 남한지역에 대하여 1/10,000~1/15,000의 지형도 제작이 가능함을 입증할 수 있었으므로 GPS에 의한 각종 지형정보의 효율적 구축에 본 연구에서 도출된 변환계수의 적용이 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초 연구(과제번호 : 93-08-00-05)결과의 일부로서 연구수행에 도움을 주신 한국과학재단에 깊이 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Anderle, R.J., "Transition From NAVSAT to GPS Geodesy", *First International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System*, 1985, Volume I, pp. 11-22.
2. Jones, T., "NAVSTAR Global Positioning System-Status and Update", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System*, 1989, Vol. I, pp. 28-52.

3. Bender, P.L., "GPS Carrier Phase Ambiguity Resolution over Long Baseline" *First International Symposium on Precise Positioning with the GPS*, 1985, Volume I, pp. 357-361.
4. Lt. Col. Jules McNeff, U.S. Department of Defense, "U.S Policy Regarding Implementation of Selective Availability(SA) and Anti-Spoof (AS)", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Precise Positioning with the GPS*, 1989, Volume I.
5. Zhu Huatong, and Lu Zhiping, "Problems and Accuracies concerning the Establishment of Transformation formulas Between the Terrestrial Geodetic system and the Transit Satellite System", *Proceedings of the Fourth International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System*, 1986, Volume I, pp. 197-207.
6. Lange, H., Morales, R., and Otarola, A., "Geodetic GPS Activities in Chile", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System*, 1989, Volume II pp. 966-976.
7. Eckels, R., and Pheukvilai, K.P., "Establishing GPS Survey control and Transformation Parameters in Thailand", *GPS World*, August 1991.
8. Kumar, M., "Use of World Geodetic System 1984 Through Datum Transformations in GPS surveys", 1993. 8. 한미연합사 seminar.
9. 강준목, 이용창, 박필호, 송승호, "Geoid 고를 보정한 측지계간의 좌표변환", 토목학회 학술발표개요집, 1993, pp. 410-413.
10. 이용창, "GPS에 의한 측지학적 정밀 3차원 좌표 결정에 관한 연구", 충남대학교 대학원 박사학위논문, 1994.
11. Engelis, T., Rapp, R.H., and Bock, Y., "Measuring Orthometric height Differences with GPS and Gravity Data", *Manuscripta Geodetica*, Vol. 10, 1985, pp. 187-194.
12. Liddle, D.A., "Orthometric height determination by GPS", *Surveying and Mapping*, Vol. 49, No. 1, 1989, pp. 5-16.
13. Wells, D., "Guide to GPS Positioning", Canadian GPS Associates, 1987.
14. DMA TR 8350.2-A, DMA TR8350.2-B 1 December 1987.

(接受 : 1994. 4. 20)