

GPS 측위범위에 따른 타원체간의 좌표변환특성 연구 A Study on the Characteristics of the Coordinates Transformation between Ellipsoids on the Area Measured by GPS

이용창* · 강준묵**

Lee, Yong-Chang · Kang, Joon-Mook

ABSTRACT

The coordinate transformation both WGS84 and Bessel ellipsoids is essential to use of GPS in South Korea. Especially, for transformation considered the needed accuracy and the regional characteristics, the study about geoid modeling and the characteristics on the transformed area should be done. The aim of this study define the characteristics of the transformed coordinates according to transformation methods and the area measured by GPS.

For this, large network that include South Korea, four regional network consist of large network, and local network include Incheon city designed. Geoid model based on Bessel suitable to South Korea selected from study about the effects of the assumed geoid height at the geodetic origin, and then coefficients computed according as transformed area and methods. Also, the transformed characteristics of the large coefficients, the regional coefficients, and the local coefficients according to methods compared, analyzed synthetically.

要 指

국내에서 GPS를 효율적으로 활용하기 위해서는 WGS84와 벡셀 타원체간의 좌표변환 관계가 확립되어야 한다. 특히, 지역특성을 수렴하고 소요정도에 부응할 수 있는 좌표변환체계의 정립을 위해서는 변환지역에 적합한 지오이드고도형의 개발과 변환범위에 따른 기법별 좌표변환의 특성연구가 요망된다. 이에 본 연구에서는 남한지역을 대상으로한 광역망과 이를 4개의 지역권으로 나눈 지역망 및 인천시를 대상으로한 국소망을 구성, 벡셀지오이드고도 기준값이 좌표변환에 미치는 영향을 고찰하여 벡셀지오이드고도의 대표모형을 선정하고 변환기법별로 광역망의 변환, 지역망에 광역변환계수와 지역망의 변환계수를 적용한 경우 및 국소망의 변환결과들을 종합, 비교·검토함으로써 국내의 GPS 측위범위에 따른 좌표변환의 특성을 고찰하였다.

1. 서 론

최근들어 GPS는 항해·항공의 Navigation, 우주개발, 지구물리, 천문, 군사 및 Time 보정에 이르는 여러 분야에서 효율적인 수단으로 부각되고 있을 뿐만 아니라, 특히 측지 분야에서는 정밀 3차원 위치결정, 측지기준계에 대한 재 검토와 정립 및 정보화 산업사회에 부응하기 위한 정확한 지형정보의 구축 등 여러분야에서 GPS의 효용성이 입증되고 있다.^{5,10,14)} 우리나라에서도 GIS와 연계한 각종 지형정보의 획득에 GPS의 응용

를 위한 연구가 활발히 진행되고 있으나 아직은 미흡한 실정이므로 이를 위한 기초연구가 절실히 요망되고 있다. GPS로 부터 획득되는 지형정보는 WGS84 기준계에 기초한 3 차원 위치정보이므로 국내에서 효율적으로 실용화 하기 위해서는 우리가 적용하고 있는 벡셀기준계 상의 좌표로 변환하여야 한다. 특히, 정확한 3차원 변환을 위해서는 변환지역에 적합한 지오이드고도 기록모형의 개발이 선행되어야 하며 이와 연계한 WGS 84 타원체와 벡셀타원체간의 좌표변환을 변환지역 및 변환기법 별로 신중히 검토하여 소요정도와 지역특성에 맞는 좌표변환체계의 정립화 연구가 요망된다.^{1,2,3,12,15)}

*정회원 · 시립인천전문대학 토목과 조교수

**정회원 · 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

본 연구에서는 GPS 측위범위에 따른 좌표변환특성을 고찰하는데 목적을 두고 삼각점 및 수준점을 균일한 밀도로 선점하여 남한지역을 대상으로 한 광역망과 이를 지역권화 한 4개의 지역망 및 인천시를 대상으로 한 국소망을 구성하였다.¹⁷⁾ 벡셀지오이드고를 산출하기 위해 측지원점의 벡셀지오이드고 기준값을 5가지 경우로 가정하여 경우별 벡셀지오이드고의 분포와 광역망의 3-매개변환결과를 검토하여 남한지역의 벡셀지오이드고 산정을 위한 지오이드고 기준값과 대표적인 벡셀지오이드고 모형식을 도출한다. 광역망과 4개의 지역망 및 국소망에 3-, 4-, 6-, 7-매개변환, 표준 Molodensky 변환 및 회귀다항식변환기법을 각각 적용하여 변환계수를 산출하고 GPS 측위범위에 따른 변환기법별 변환특성을 비교·고찰하여 국가차원은 물론, 지역차원에서도 효율적으로 활용할 수 있는 변환기법과 변환계수를 제시하고자 한다.

2. 기본해석이론

2.1 지오이드고 모델링

본 연구에서는 측지원점의 벡셀지오이드고 기준값(N_{B0})을 5가지 경우로 가정하고 N_{B0} 값에 따른 경우별 평균지심편차량($\Delta X_M, \Delta Y_M, \Delta Z_M$)을 도출, Molodensky 변환식으로 부터 벡셀타원체와 WGS84 타원체간의 이격량(ΔH)을 산정하고 GPS/Leveling 기법으로 부터 산출된 WGS84 타원체면으로 부터 지오이드 면까지의 높이(N_{B4})를 감하여 각 측점의 벡셀타원체면으로 부터 지오이드면까지의 높이(N_B)를 결정하였다.^{6,11,16)}

2.2 타원체간의 좌표변환모형

2.2.1 매개변환요소기법

우리나라 기준계(X_{KD})와 WGS84 기준계(X_{84})간의 변환방정식은 다음과 같이 Helmert 변환식으로 구성할 수 있다.

$$K_{KD} = S [R] X_{84} + \Delta X \quad (1)$$

여기서, $X_{KD} = [X_{KD} \ Y_{KD} \ Z_{KD}]^T$, $X_{84} = [X_{84} \ Y_{84} \ Z_{84}]^T$, ΔX 는 두 타원체간의 원점편차량에 의한 직교좌표성분으로 $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]^T$ 와 같다. 그리고 $[R]$ 은 두 측지계 간의 회전행렬, S 는 축척계수이다. 윗식은 비선형

함수이므로 Taylor 급수전개로 선형화하고 matrix 해법으로 해석하여 매개변환계수를 산출하게 된다. 따라서 7-매개변환은 $\Delta X, [R], S$, 6-매개변환은 $\Delta X, [R]$, 4-매개변환은 $\Delta X, S$ 그리고 3-매개변환의 경우에 ΔX 를 도출하면 WGS84 측지좌표를 벡셀좌표로 변환할 수 있게 된다.^{6,8,13)}

2.2.2 표준 Molodensky

위성관측점에 대한 WGS84와 벡셀좌표계상 직교좌표성분의 평균편차량($\Delta X, \Delta Y, \Delta H$)을 산출하고 Molodensky의 제안식에 적용하여 측지계간의 좌표변환을 수행한다. 본 연구에서는 3 매개변환계수를 매개변수로 활용하였다.^{6,11)}

2.2.3 회귀다항식

위성관측점에 대한 WGS84 및 벡셀좌표계상 직교좌표성분의 편차를 산출하고 이를 독립변수로 한 4차원 경향해석으로 부터 회귀계수를 산출하여 좌표계간의 변환을 수행한다.⁹⁾

3. 적용실험

3.1 GPS 관측망

남한지역을 대상으로 하는 광역망과 이를 4개의 지역권으로 나눈 지역망 및 인천시를 대상으로 한 국소망을 아래와 같이 구성하였다. 삼각점은 기존에 관측한

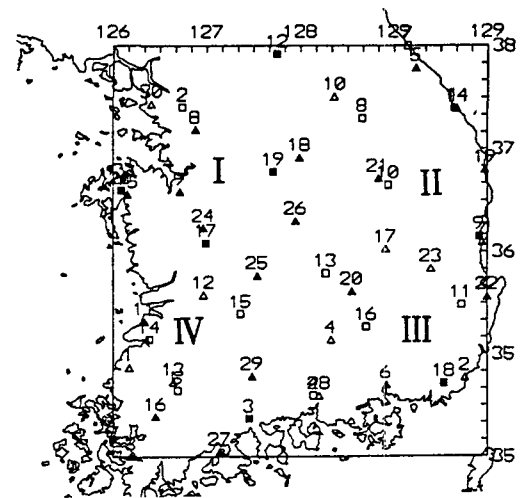


그림 1. GPS 관측망

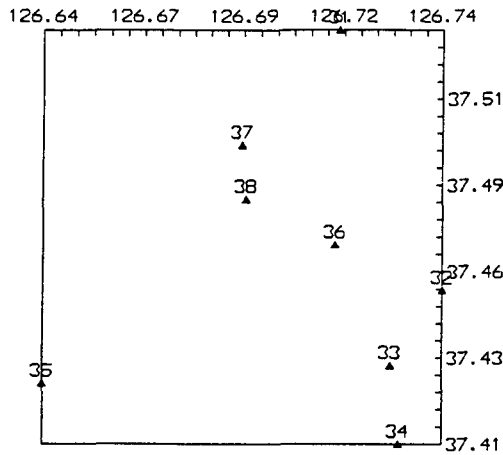


그림 2. GPS 국소지역망

17개 측점(▲, 윗첨자는 측점의 일련번호)에 기하학적인 배치관계를 고려, 13개 측점(△)을 추가로 선점하여 30개 측점, 수준점은 기존의 9개 측점(■)에 11개 측점(□)을 추가하여 20개 측점을 선점하고 그림 1과 같이 50개 측점을 조합한 남한지역의 광역망과 이를 경인·충남지역(I 지역), 강원·경북지역(II 지역) 경남·경북지역(III 지역) 및 전남·전북지역(IV 지역)으로 지역권화한 4개의 지역망을 구성하였다.²⁷⁾ 그림 2는 인천광역시를 대상으로 8개의 3, 4등 삼각점(▲, 윗첨자는 측점의 일련번호)을 선점하여 구성한 국소망을 나타낸다. 본 연구에서 활용된 총 58개 기준점의 성과는 국립지리원이 고시한 실용성과를 사용하였다. 추가로 관측한 삼각점 13개 측점과 수준점 11개 측점에 대한 위성관측은 1994년 11월~1995년 2월 중에 대덕관측소(DAEN)⁹⁾을 고정점으로 Trimble 4000 SSE 수신기 3대를 이용하여 삼각점 3시간, 수준점 2시간씩 1일 2 Session으로 고도 10°인 위성으로 부터 L1/L2 주파수를 수신하였고 인천광역시내 8개 측점은 1995년 8월에 Trimble 4000 SE 수신기 3대를 이용하여 측점당 2시간씩 수신하였다. 수신된 관측자료는 GPSurvey를 활용하여 측점간의 기선거리와 고도 및 방위각을 결정하고 최소제곱기법에 근거한 3차원 측지망 조정을 수행하여 WGS84 타원체상의 3차원 좌표성과를 지심좌표(X, Y, Z)와 측지경위도좌표(ϕ, λ, H)로 산출하였다. 추가로 관측된 13개 삼각점과 11개 수준점의 WGS84 타원체상의 조정좌표성과는 사전에 관측된 26개 측점의 결과와 유사하게 경도, 위도 및 고도성분에서 각각 평균 ± 5

표 1. 평균지심좌표 편차량 (Bessel - WGS 84)
(단위 ; m)

경우	N_{B_0}	N_{B_0}	ΔX_M	ΔY_M	ΔZ_M	편심거리 가정값
I	0.000	0.000	118.592	-469878	-653.208	813.345
II	-29.065	-29.065	132.984	-488.390	-670.350	839.987
III	-54.000	-54.000	145.330	-504.272	-685.057	863.968
IV	-63.000	-63.000	149.786	-510.004	-690.365	871.289
V	-70.000	-70.000	153.252	-514.463	-694.494	877.770

cm 이내, 인천광역시내 8개 측점은 평균 ± 4 mm 이내의 표준오차로 결정할 수 있었다.⁷⁾

4. 결과의 비교분석

4.1 벡셀지오이드고 기준에 따른 평균지심편차량

측지원점의 Bessel 지오이드고(N_B) 기준값(N_{B_0})을 5가지로 가정하였다. 경우 I은 준거타원체와 지오이드가 일치한다는 가정에서, 경우 II는 미국 지도제작국(DMA)의 N_B 산출식에서 계산한 수원원점값이다. 경우 III, IV 및 V는 DMA에서 결정한 일본 경위도원점의 $N_{B_0}(+34.187 \text{ m})$ 를 0.0으로 하여 남한지역 중앙부(위도 36.4°, 경도 128°), 수원원점 및 임의 측점에 대해 상대적으로 산정한 값으로 소수점 이하의 수는 N_{B_0} 산출식의 표준오차 관계로 생략하였다.^{9,11)} N_{B_0} 값에 따른 경우별 평균지심편차량($\Delta X_M, \Delta Y_M, \Delta Z_M$)은 표 1과 같다. N_{B_0} 을 경우 I에서 경우 V로 Bessel 타원체를 지오이드의 상방향으로 점차 올림에 따라 두 타원체의 평균지심좌표편차량은 X 성분에서 점차 증가하는 반면, Y와 Z는 감소하면서 타원체 중심간 편심거리도 810 m \rightarrow 880 m로 증가되었고 전반적으로 $\Delta X_M, \Delta Y_M$ 및 ΔZ_M 성분들이 N_{B_0} 값에 1차 비례함을 나타내고 있다.

4.2 벡셀 지오이드고 모델링

그림 3은 앞서 산정된 경우별 평균지심편차량을 WGS84 좌표에 적용하고 GPS/수준측량기법과의 조합 해석으로부터 산정된 50개 측점의 N_B 를 각 경우별로 나타낸 것이다. 남한지역내 N_B 는 5가지 경우 모두, 측점간 상대 지오이드고의 분포경향은 동일한 양상을 보이거나 가정된 N_{B_0} 값을 중앙값으로 -10 m ~ +10 m 범위내의 분포로 준거타원체와 지오이드의 높이차는 N_{B_0} 값에 따라

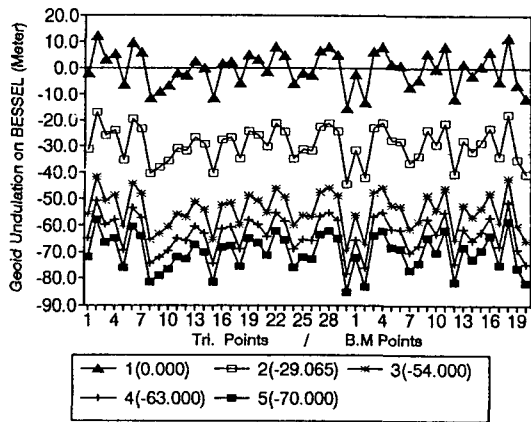


그림 3. 경우별 벡셀지오이드고 기록경향

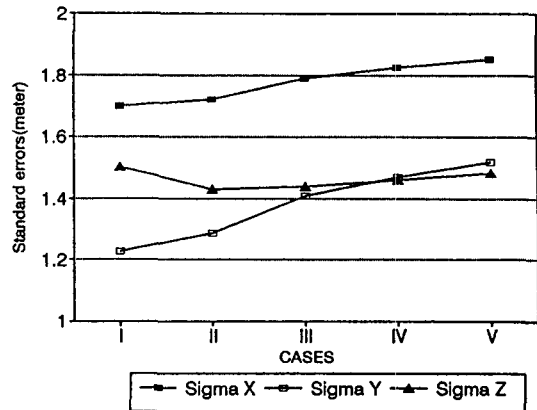


그림 4. 각 경우별 좌표변환표준오차

표 2. 경우별 3-매개변환계수 (m)

경우	ΔX	ΔY	ΔZ	표준오차(1σ)
I	118.592	-469.878	-653.208	$\pm 1.698 \pm 1.226 \pm 1.502$
II	132.984	-488.390	-670.350	$\pm 1.723 \pm 1.286 \pm 1.429$
III	145.330	-504.272	-685.057	$\pm 1.791 \pm 1.410 \pm 1.439$
IV	149.786	-510.004	-690.365	$\pm 1.825 \pm 1.469 \pm 1.459$
V	153.252	-514.463	-694.494	$\pm 1.854 \pm 1.518 \pm 1.481$

변동함을 알 수 있었다. 표 2는 남한지역의 좌표변환을 위한 대표적 지오이드고 모델을 선정하기 위해 표고와 5가지의 N_B 를 각 경우별로 조합하여 산출한 3-매개변환계수와 계수의 표준오차를 나타낸 것이다.

표 2의 계수를 적용하여 변환한 벡셀타원체상의 좌표를 실용성과 비교한 결과, 측지원점의 벡셀지오이드고가 경우 I에서 경우 V로 변환에 따라 측지좌표성분은 평균 $\sigma_\phi = 0.053''$, $\sigma_\lambda = 0.079''$, $\sigma_h = 0.168$ m의 표준오차로 거의 일정한 분포를 보이나 지심좌표성분은 그림 4와 같이 σ_x 와 σ_y 는 미소한 폭으로 서서히 증가하는 반면, σ_z 는 감소하다 증가하는 포물선형의 분포를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 σ_z 에 비중을 두고 σ_y 가 σ_z 에 근접하면서 σ_x 가 최소인 경우 III($N_{B0} = -54.000$ m)를 남한지역의 벡셀지오이드고 산정을 위한 측지원점의 기준값으로 선정하였다. 또한 경우 III의 N_B 분포를 1차 회귀계수에 대한 3차원 경향해석과 분산분석을 통하여 $N_B = C_0 + C_1(\phi \times 180/\pi) + C_2(\lambda \times 180/\pi)$, 상관도 0.995, 평균 ± 23.7 cm의 편차로서 모델링할 수 있었다.

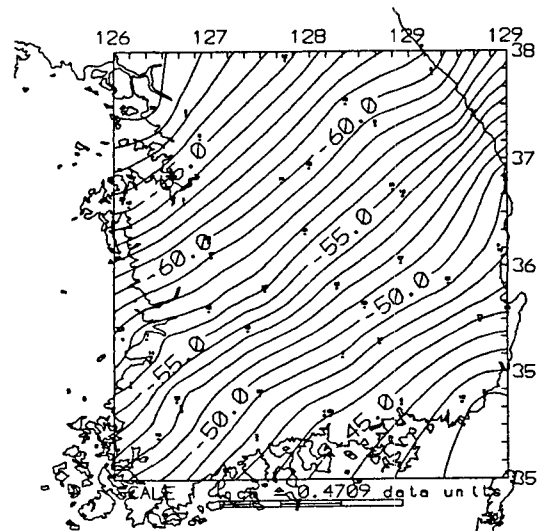


그림 5. 벡셀지오이드고 기록(경우 III)

상관도 0.995, 평균 ± 23.7 cm의 편차로서 모델링할 수 있었다.

그림 5는 경우 III($N_{B0} = -54.0$)의 벡셀지오이드고 분포를 도시한 것이다. 표 3은 미국 DMA에서 발표된 한반도 지역의 3-매개변환계수를 나타낸 것이다.¹¹⁾ 1987년 DMA 성과는 한반도 지역에서 실시된 8개 측점의 Doppler 관측자료를 이용한 결과이며 1991년 성과는 VLBI 관측자료를 토대로 측지원점의 Bessel 지오이드고를 수정하고 국내지역에 분포된 12개의 Doppler 관측자료로부터 산정된 것으로 일본에서도 이와 유사한 연구결과를 제시한 바 있다.⁹⁾ 본 연구에서 산출된 경우 III의 변환계수는 DMA에서 제시한 계수

표 3. 3-매개변환계수의 비교 (단위 : m)

경 우	ΔX	ΔY	ΔZ	표준오차(1 σ)
DMA (1987년)	128.	-481.	-685.	$\pm 5.0 \pm 3.0 \pm 3.0$
DMA (1991년)	146.	-507.	-687.	$\pm 8.0 \pm 5.0 \pm 8.0$

보다 평균 3배의 정확도 향상을 나타내므로 지도 및 해도작성은 물론 일반측지에도 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

4.3 측위범위에 따른 변환기법별 좌표변환특성

4.3.1. 광역망

표 4 및 표 5는 3-매개변환(3-P), 4-매개변환(4-P), 6-매개변환(6-P), 7-매개변환(7-P), 표준 Molodensky 및 회귀다항식 변환이론에 근거하여 산출한 남한지역의 변환기법별 좌표변환계수와 계수의 표준오차를 나타낸다. 회귀다항식 변환계수는 4차원 경향해석으로 부터 산출하였고 각 성분의 회귀계수에 대한 분산분석은 제 1 및 제 2의 자유도($v_1 = 3, v_2 = 26$), 유의수준 5% 에서 F 검정의 한계값을 $F_c = 2.980$ 로 선정하고 검정한 결과, 세 성분 모두 $F \gg F_c$, 적합도 93%, 90%, 81% 및 평균 90%이상의 상관성을 나타냈고 원 성분값과의

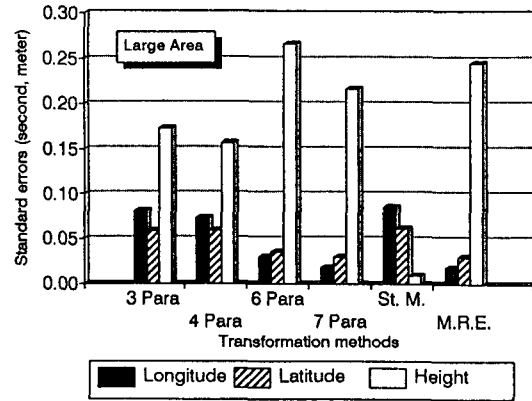


그림 6. 광역망의 변환기법별 좌표변환 정확도

편차는 각각 ± 51.2 cm, ± 47.6 cm, ± 77.6 cm로서 비교적 양호한 회귀성을 나타내었다.

그림 6은 산출한 변환계수를 남한지역에 적용하고 변환한 결과를 실용성과 비교하여 산출한 변환기법별 경도, 위도 및 고도 성분의 표준오차를 나타낸 것이다. 좌표변환결과, 6가지 변환기법 모두 경도 및 위도에서 평균 ± 1 m, 표고에서 ± 20 cm의 변환편차를 보였고, 특히 7-매개변환과 회귀다항식변환기법이 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 또한, 3-매개변환기법과 4-매개변환기법, 6-매개변환기법과 7-매개변환기법이 각각 유사한 변환결과를 나타내고 있는 점은, 축척계수

표 4. 매개변환요소와 계수의 표준오차 (광역망)

계수	성분	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\kappa(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	s(ppm)
3-P		145.330	-504.272	-685.057
	1 σ	1.791	1.410	1.439				
4-P		125.257	-478.448	-661.302	.	.	.	-6.346
	1 σ	6.594	8.481	7.802				2.083
6-P		145.492	-499.959	-689.485	-2.191	-2.373	1.614	.
	1 σ	10.272	7.752	9.442	0.316	0.319	0.275	
7-P		125.873	-477.689	-661.475	-2.181	-2.337	1.802	-6.349
	1 σ	8.373	6.586	8.153	0.242	0.244	0.212	0.828

표 5. 회귀다항식기법의 변환계수와 회귀성 검정 (광역망)

$$\Delta X' = -121.797 - 0.00003\Delta X + 0.00001\Delta Y + 0.00003\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.512 \text{ m})$$

$$\Delta Y' = -601.867 + 0.00000\Delta X + 0.00001\Delta Y + 0.00002\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.476 \text{ m})$$

$$\Delta Z' = 1772.613 + 0.00003\Delta X - 0.00025\Delta Y - 0.00023\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.776 \text{ m})$$

표 6. 매개변환요소와 계수의 표준오차 (지역망 I)

계수	성분	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\kappa(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	s(ppm)
3-P		145.307	-503.154	-686.277
1 σ		1.206	1.214	1.004				
4-P		112.614	-460.138	-646.258	.	.	.	-10.555
1 σ		12.625	16.608	15.452				4.074
6-P		147.167	-494.135	-694.453	-2.604	-2.698	1.637	.
1 σ		27.425	19.506	20.356	0.838	0.792	0.615	
7-P		113.022	-459.494	-646.619	-2.526	-2.692	2.028	-10.555
1 σ		17.223	12.572	14.072	0.498	0.471	0.369	1.523

표 7. 회귀다항식 기법의 변환계수와 회귀성 검증 (지역망 I)

$$\Delta X' = 304.175 + 0.00000\Delta X - 0.00003\Delta Y - 0.00001\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.177 \text{ m})$$

$$\Delta Y' = -802.406 + 0.00011\Delta X - 0.00014\Delta Y - 0.00011\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.371 \text{ m})$$

$$\Delta Z' = -451.652 + 0.00000\Delta X - 0.00003\Delta Y - 0.00003\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.463 \text{ m})$$

보다 측방향의 회전요소가 변환에 주는 영향이 크게 작용한 것으로 사료된다.

4.3.2 지역망

표 6 및 표 7은 지역망 I 내에서 산정한 6가지의 변환 기법별 좌표변환계수와 계수의 표준오차 및 회귀성 검증 결과를 나타낸다. 표 3과 비교할때 매개변환계수의 표준오차는 측위범위가 좁아짐에 따라 현저히 증가한 경향을 나타내었고 회귀다항식의 F 검증값은 광역망에 비해 작게 나타났다. 특히, 평균지심편차량이 표 3과 수 m의 편차를 보인 점은 지역망 I의 타원체간 기하학적 특성이 반영된 결과로 사료된다. 위 계수를 지역망의 변환에 적용하고 광역망의 계수를 지역망 I에 재 적용한 변환결과를 비교하여 도시하면 그림 7과 같다. 표준 Molodensky 변환에서는 3-P 에서 산출한 계수를 매개변수로 변환에 활용하였다. 전반적으로 6가지 변환 기법에서 광역망을 이용한 변환결과에 비해서 지역망의 변환계수를 도출하고 적용한 결과가 표 3, 표 4 및 표 5의 광역망계수를 지역망에 적용한 변환정도보다 2배 이상 향상된 변환을 나타내었고 변환기법별 정도 면에서도 7-매개변환, 회귀다항식 및 6-매개변환 순으로 나타나 앞의 연구결과와 일치하고 있다. 그러나, 표준 Molodensky 변환의 표고성분편차는 지역망의 계수

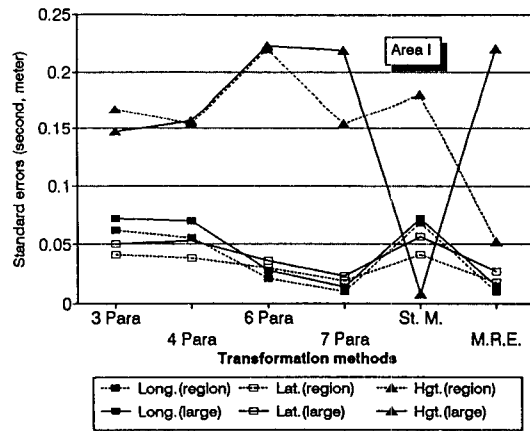


그림 7. 변환계수별 지역망(I)의 변환정확도

를 적용한 결과(0.018m)가 오히려 광역망(0.008 m)보다 약간 증가되어 나타나는데 이는 지역망에 적합한 지오이드고 모형의 필요성을 제시하는 것으로 향후, 중력, GPS 및 위성고도계 자료의 조합해석을 통하여 표준오차가 수 cm급인 지오이드고 모형을 구성해야 할 것으로 사료된다.

그림 8, 그림 9, 및 그림 10은 지역망 II, III, IV에 광역망 및 지역망의 변환계수를 적용하고 GPS 측위범위에 따른 좌표변환의 특성을 지역별로 도시한 것이다.

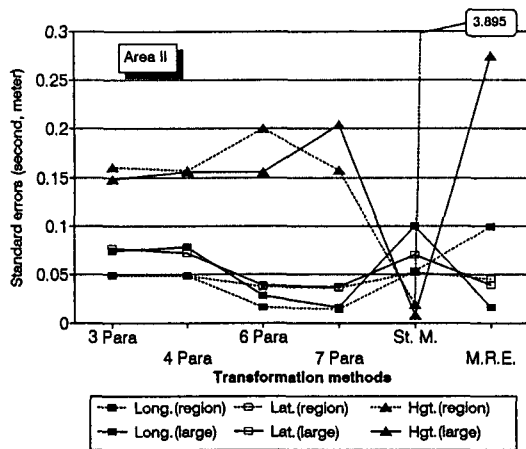


그림 8. 변환계수별 지역망(II)의 변환정확도

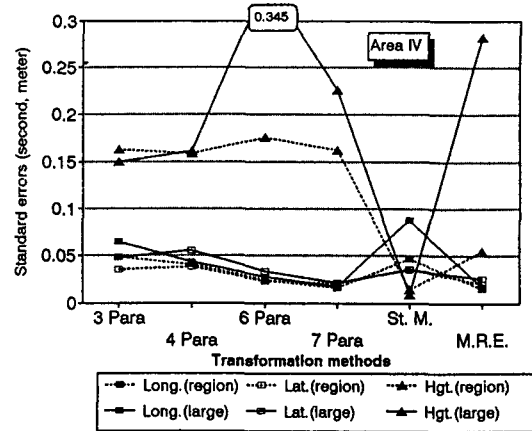


그림 10. 변환계수별 지역망(IV)의 변환정확도

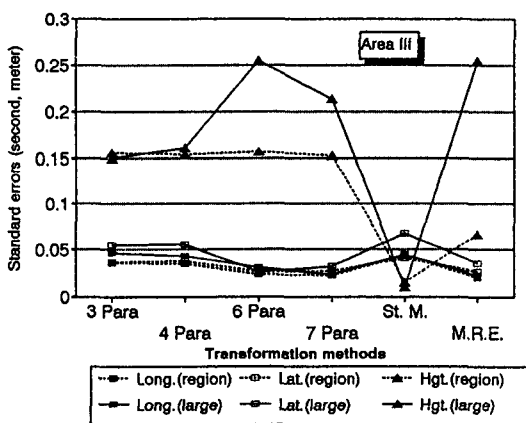


그림 9. 변환계수별 지역망(III)의 변환정확도

지역망 II의 경우 6가지 변환기법에서 광역망을 이용한 변환결과에 비해 지역망의 변환계수를 산출하고 적용한 결과가 전반적으로 향상된 변환을 나타내었고 변환기법면에서는 7-매개변환, 회귀다항식 및 6-매개변환순으로 앞의 광역망 및 지역망 I의 연구결과와 일치하고 있다. 그러나, 회귀다항식변환에서는 경도, 위도 및 고도성분에서 지역망의 계수를 적용한 결과에 비해 오히려 광역망의 계수를 이용한 경우가 양호하게 나타났고 특히, 고도성분에서 3.895 m의 큰 편차를 보이므로 산지가 많은 지형조건에서 회귀다항식기법을 적용할 경우, 측정점의 배치밀도와 기하학적인 분포 등의 요인을 신중히 검토해야 할 것으로 판단되었다. 지역망 III 및 지역망 IV의 경우도 6가지 변환기법에서 지역망의 변

환계수를 산출하고 적용한 결과가 광역망의 계수에 비해 월등히 향상된 변환을 나타내었고 변환기법면에서도 7-매개변환, 회귀다항식 및 6-매개변환기법이 거의 대등한 변환정도로서 앞의 연구결과와 일치하고 있다.

특히, 고도성분에서 지역망 III는 회귀다항식 기법의 경우, 광역망의 계수를 적용한 결과(0.255 m)에 비해 지역망 III의 계수를 적용한 결과(0.067 m)가 특징적이며 지역망 IV도 6-P 및 회귀다항식기법에서 지역망 IV의 계수를 적용한 결과가 월등한 향상을 나타내어 전반적으로 지역 II 보다는 양호한 결과를 나타내므로 지역특성에 따른 변환계수의 효용성을 확인할 수 있었다. 특히 강원·경북지역(II지역)의 불규칙적인 분포경향은 지역특성에 따른 영향으로 사료되며 향후, 좀더 세심한 연구가 요망된다.

4.3.3 국소망

시 단위의 국소지역에 대한 변환특성을 고찰하기 위해 인천지역내 8개 측정점으로 부터 국소망의 좌표변환계수를 산출하고 남한전역의 광역망계수와 인천시가 속한 지역망 I의 변환계수를 선정하여 국소지역(Local Area)에 대한 기법별 좌표변환의 특성을 파악하였다.

3-P, 4-P, 6-P, 7-P 매개변환기법 중 축척계수 및 회전요소가 고려된 4-P, 6-P 및 7-P는 변환계수의 산정과정에서 발산하였는데 이는 변환범위가 국소지역인 관계로 사료되어 국소지역망의 경우 매개변환요소기법은 3-P 변환기법만을 활용하였다. 또한 표준 Molodensky 변환의 경우, 3-P에서 산출한 계수를 그대로 적용하였

표 8. 3-매개변환계수와 표준오차 (단위 : m)

지역	성분	ΔX	ΔY	ΔZ
광역망 (남한전역)		145.330	-504.272	-685.057
	1σ	1.791	1.410	1.439
지역망 (지역 I)		145.307	-503.154	-686.277
	1σ	1.206	1.214	1.004
국소망 (인천지역)		138.566	-491.220	-679.465
	1σ	0.472	1.341	1.211

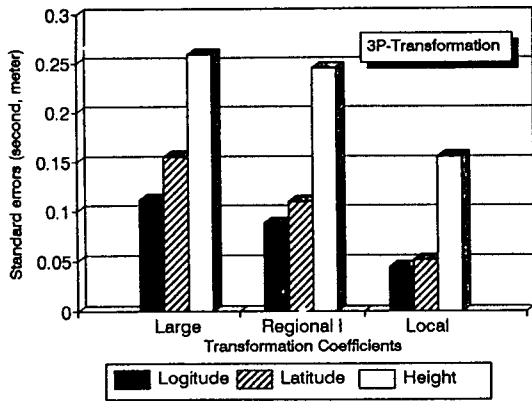


그림 11. 3-매개변환기법에 따른 인천지역의 변환정확도

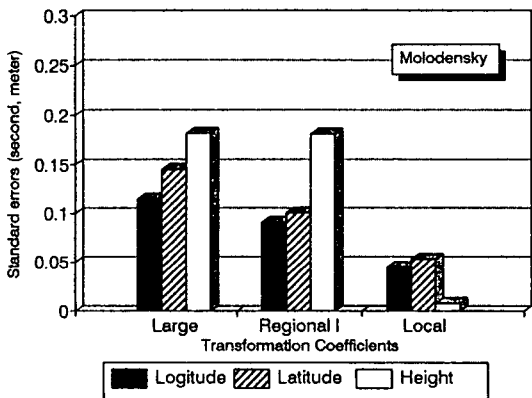


그림 12. 표준 Molodensky 기법에 따른 인천지역의 변환정확도

표 9. 회귀다항식 계수와 회귀분석 (국소망)

$$\begin{aligned} \Delta X' &= 304.175 + 0.00000\Delta X - 0.00003\Delta Y - 0.00001\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.177 \text{ m}) \\ \Delta Y' &= -802.406 + 0.00011\Delta X - 0.00014\Delta Y - 0.00011\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.371 \text{ m}) \\ \Delta Z' &= -451.652 + 0.00000\Delta X - 0.00003\Delta Y - 0.00003\Delta Z \quad (1\sigma = \pm 0.463 \text{ m}) \end{aligned}$$

표 10. 인천지역의 측위범위별 계수의 기법별 좌표변환표준오차
단위 : $\Delta \lambda(^{\circ})$ $\Delta \phi(^{\circ})$ $\Delta H(\text{m})$

지역	변환기법 성분	3-매개변환	표준 Molodensky	M.R.E.
		광역망	$\Delta \lambda$	0.112
광역망	$\Delta \epsilon$	0.155	0.145	0.084
	ΔH	0.259	0.182	0.320
	지역망 I	$\Delta \lambda$	0.088	0.091
지역망 I	$\Delta \epsilon$	0.110	0.101	0.062
	ΔH	0.245	0.181	0.184
	국소망	$\Delta \lambda$	0.044	0.045
국소망	$\Delta \epsilon$	0.051	0.053	0.050
	ΔH	0.155	0.008	0.069

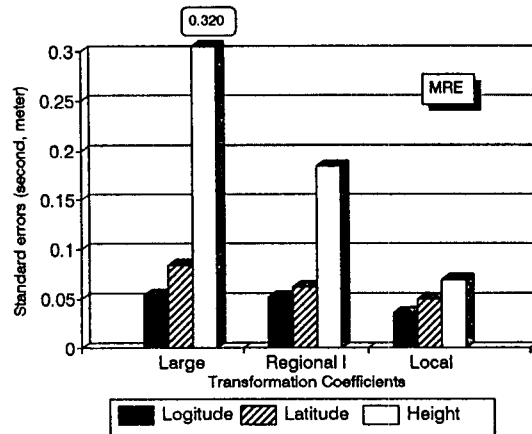


그림 13. MRE 기법에 의한 인천지역의 변환정확도

고 회귀다항식 기법에서는 4차원 경향해석을 통하여 표 8과 같은 회귀계수를 산출하였다. 표 10은 위 계수들과 측위 범위별로 산정된 광역망 및 지역망 I의 계수를 국소망에 적용하여 변환한 결과와 고시성과의 변환편차를 나타낸 것이다.

그림 11, 그림 12 및 그림 13은 광역망, 지역망 I, 국소망에서 산출한 기법별 변환계수를 인천지역의 좌표변환에 적용하고 3-매개변환기법, 표준 Molodensky 변환기법 및 MRE 변환기법별로 변환정확도를 도시한 것이다.

변환결과, 경도, 위도 및 고도성분에서 세가지 기법 모두 광역(Large)계수보다 지역(Regional)계수를 적용한 결과가 양호하였고 특히, 국소(Small)계수를 적용한 결과는 지역망에 비해 50%, 광역망보다는 70% 이상의 월등한 변환결과를 나타내어 국소지역계수의 효용성을 확인할 수 있었다. 변환기법면에서는 회귀다항식기법이 경·위도성분에서 가장 양호한 변환결과를 다음으로 표준 Molodensky기법, 3-매개변환기법순으로 나타났고 표고성분에서는 표준 Molodensky 변환기법, 회귀다항식변환기법, 3-매개변환기법순으로 나타났다.

7. 결 론

남한지역을 대상으로 측지원점의 Bessel 지오이드고 기준값을 5가지 경우로 가정하고 기준값 설정에 따른 타원체간 평균지심편차량의 변화, Bessel 지오이드고의 분포 및 3-매개변환기법의 변환정확도를 고찰한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 측지원점의 Bessel 지오이드고 기준값을 경우 I에서 V로 변화시킴에 따라 타원체 중심간 편심거리가 810 m에서 880 m로 점차 증대되었고, 측지원점의 지오이드고 기준값에 1차 정비례함을 알 수 있었다.

2) 측지원점의 Bessel 지오이드 고를 5가지 경우로 변화시킴에 따른 두 타원체 간의 좌표변환편차의 측지 및 지심성분을 고찰한 결과, σ_v 와 σ_z 가 근접하면서 σ_x 가 최소인 경우 III($N_{Bo} = -54.000$ m)를 남한지역의 벡셀지오이드고 산출을 위한 측지원점의 기준값으로 선정하였다.

3) 광역망을 대상으로 변환기법별 계수를 산출하고 변환에 적용한 결과, 경도, 위도에서 평균 ± 1 m 내외, 고도에서 ± 20 cm 이내의 변환편차로 변환할 수 있는 계수를 변환기법별로 산출하였고, 특히, 7 매개변환기법 및 회귀다항식 변환기법이 양호함을 알 수 있었다.

4) 광역망의 계수를 지역망에 적용한 경우보다는 4개의 지역망으로 부터 변환기법에 따른 계수를 산출하고 적용한 경우가 평균 2배 이상 양호한 결과를 나타내었고 국소망에서는 광역 및 지역망의 계수보다 국소

망의 계수를 활용하는 경우가 월등히 향상된 결과를 보였으며 특히, 회귀다항식기법이 양호한 변환결과를 제공하였다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 학술진흥재단 신진연구인력(박사부문) 연구비에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

參考文獻

1. 강준목, 박운용, 이용창(1994), "Geoid 기준설정이 타원체간 좌표변환에 미치는 영향", 한국측지학회지 제 12권 제 1호, pp.69-76.
2. 강준목, 신봉호, 이용창, 윤철규(1994), "매개변환요소에 따른 WGS84와 Bessel 타원체간의 좌표변환해석", 대한토목학회논문집 제 14권 제 5호, pp.1209-1218.
3. 국립지리원, 우리나라 정밀 측지망 설정에 관한 연구 보고서 (1985)
4. 박필호, 한인우, 김천휘, 강준목(1991), "GPS 측지 기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 9권 1호, pp 37-45.
5. 부산대학교 정보통신연구소(1994), 제 1 회 GPS Workshop Proceeding.
6. 이용창(1994), GPS에 의한 측지학적 정밀 3차원 좌표변환에 관한 연구, 충남대학교 대학원 박사학위 논문.
7. 이용창(1995), GPS 측위범위에 따른 타원체 간의 좌표변환특성 연구, 신진연구인력연구비(박사부문) 최종보고서, 한국학술진흥재단.
8. 日本測量協會(1981), 現代測量學 第 4 卷 測地測量 ①, ②.
9. 矢田部 學(1982), "日本の測地基準系と水路部ジオイド", 日本測地學會誌 第 28 卷, 第 4 號, pp.211-219.
10. David Wells(1987), "Guide to GPS Positioning", Canadian GPS Associate, 2nd.
11. DMA(1987), TR 8350.2-A, DMA TR8350.2-B. DMA (1991), TR 8350.2 2nd.
12. Eckels, Rod, and Pheukvilai, K.P.(1991), "Establishing GPS Survey control and Transformation Parameters in Thailand", GPS World.
13. Edward M. Mikhail, F. Ackermann(1976), "Observations and Least Squares".
14. Hofmann Wellenhof B., Lichtenegger H. and Collins J. (1992), "Global Positioning System Theory and Practice", ISBN.
15. Muneendra Kumar(1993), "Use of World Geodetic Sys-

- tem 1984 Through Datum Transformations in GPS surveys", 한미연합사 seminar.
16. Petr Vanicek, Nikolaos T. Christou(1994) , "Geoid and Its Geophysical Interpretations.
17. Robert Ruland, Alfred Leick(1985), " Application of GPS in a High Precision Engineering Survey Network", First International Symposium on Precise Positioning with the GPS, Vol I, pp.483-493.