

GPS에 의한 정밀 3차원 지형정보 획득 The Acquisition of precise three dimensional topographic information by GPS

강준묵* · 이용창** · 박필호***

Kang, Joon-Mook · Lee, Yong-Chang · Park, Pil-Ho

要 旨

정확하고 경제성 있는 지형정보의 구축은 각종 건설공사를 비롯한 국토종합개발에 기본 요건으로서 그 중요성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 남한 지역을 대상으로 하는 광역망과 충남·북 일원의 지역망 내, 1, 2 등 삼각점에 대한 GPS 관측을 수행하여 WGS 84 좌표를 조정·산출하고 Bessel 타원체 상의 좌표로 변환하기 위한 변환계수를 Bessel Geoid Undulation을 고려한 7-Parameter 변환기법으로 도출 하므로써, GPS에 의한 정밀 3차원 지형정보의 획득은 물론, 순변환된 성과와 역변환된 성과에 각각 T.M. 및 U.T.M 투영도법을 적용하여 정밀 지도제작을 위한 기본 자료의 산출 가능성을 제시코자 한다.

ABSTRACT

The construction of the accurate, economic topographic information for a sorts of work and a base facilities of country is one of the very important subjects.

In this paper, Global network which include south KOREA and Regional network which include Chung-Nam/Chung-Buk provinces were designed, obtained WGS84 coordinates of control points in networks by GPS. The coefficients of transformation between WGS84 coordinates and Bessel coordinates in consideration of geoid undulations was derived by 7-parameter method. Also, the efficiency of 7-parameter method was proved through successful application of T.M. and U.T.M projection for the precise mapping, and the effectiveness of the acquisition of three dimensional topographic information by GPS was suggested.

1. 序 論

국토에 관련된 지형정보는 토목공사의 계획·조사·설계의 중요한 자료로서 토지구획정리사업, 도시계획, 간척사업, 댐의 유역면적산정, 노선측량의 도상선정과 면적 및 토공량 산정 등에 널리 활용되고 있다. 따라서 정확한 지형정보의 구축은 각종건설공사를 비롯한 국토종합개발 계획에 매우 중요한 정보를 제공한다.

비교적 경제적이고 정확한 지형도 제작방법으로는 오래전부터 연구·적용되어 온 항공사진 측량에 의한 제작기법과 높은 해상도를 갖는 위성영상매체를 통한 3차원 Modeling 등이 있다. 두 기법은 공통적으로

높은 정밀도를 갖는 지상기준점(GCP: Ground Control Point)을 필요로 하며 특히, 세계적 측지기준계에 근거한 지형정보의 구축 또한 절실히 요청되므로 국부적인 구역 뿐만 아니라 광역적인 구역에서 국가 기준망 및 세계측지망에 결속된 GCP의 획득면에서 보다 새로운 기법의 제시가 요망되고 있다.

GPS는 1일 24시간 세계측지계 상의 3차원 위치측정과 신속한 관측 Data의 처리를 통하여 높은 정확도의 지형정보를 산출할 수 있는 전천후 첨단 측위 장비이다. 따라서 측지는 물론 지적, 구조물의 변형 및 지각변동의 측정, 기타 정적 및 동적측위에 이르기까지 그 응용분야가 다양한 최첨단 시스템이므로 광역은 물론 국소지역의 고정밀 지형정보를 용이하게 산출할 수 있을 것이다.¹⁾

본 연구에서는 남한 전역(광역망)에 고루 분포된

*충남대 공대 교수

**충남대 대학원 박사과정

***표준과학원 천문대 선임연구원

11개 천문관측점과 충남·북 지역(지역망)내 11개 삼각측점들에 대한 WGS 84 좌표를 상대측위(Differential GPS)방식으로 조정·산출하고 WGS 84 타원체와 Bessel 타원체간의 기하학적 특성값(평균지심편차량; $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, 장반경의 차; Δa , 편평률의 차; Δf)을 도출, 표준 Molodensky 이론에 근거하여 산출된 타원체 간의 이격량(ΔH)에서 GPS/Leveling에 의한 N_{84} (WGS 84 타원체와 Geoid 간의 연직거리)를 감하여 N_{bd} (Bessel 타원체와 Geoid 간의 연직거리)를 산정, 실용성과의 평균해면고를 H_B (Bessel 타원체를 기준으로 한 높이)로 변환하고 7-Parameter 변환이론으로부터 순변환(WGS 84 좌표를 Bessel 좌표로 변환) 및 역변환(실용성과를 WGS 84 좌표로 변환)하기 위한 변환계수를 각각 도출하여 광역망과 지역망의 변환 특성을 분석하였으며 특히, WGS 84 좌표를 Bessel 좌표로 변환한 성과를 T.M. 투영하여 실용성과의 투영결과와 비교함과 아울러 실용성과를 WGS 84 좌표로 역변환하고 이를 U.T.M. 투영하여 GPS 성과의 투영결과와도 비교·검토하므로써 GPS에 의한 정밀

지형정보획득의 효용성을 제시하고자 하였다.

2. 해석이론

2.1 7-Parameter 좌표변환

7-Parameter 변환방법은 측지계 간의 변환관계를 나타내는 7개의 변환요소를 최소제곱법으로 산출하여 좌표변환하는 방법으로 세계측지계를 우리나라 측지계(KD: Korea Datum)로 변환하는 기본방정식은 (2-1)식과 같다.^{2,5)}

$$X_{KD} = S[R]X_{84} + [X_s] \quad (2-1)$$

윗 식에서 X_{KD} 는 우리나라 측지계의 직교좌표계 벡터성분, X_{84} 는 세계측지계의 직교좌표계 벡터성분, $[X_s]$ 는 우리나라 측지계와 WGS 84 기준계의 원점 편차에 의한 직교좌표계 벡터성분, S는 두 측지계간의 scale 차, [R]은 회전을 나타내는 행렬로서 각각 아래와 같이 표시할 수 있다.

$$X_{KD} = [x_{KD} \ y_{KD} \ z_{KD}]^T, \quad X_{84} = [x_{84} \ y_{84} \ z_{84}]^T$$

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

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

위의 행렬식 [R]에서 κ, ϕ, ω 는 각각 z, y, x 축에서의 회전각을 의미한다.

변환요소의 함수인 (1)식을 테일러급수로 전개하고 선형화된 조건방정식을 구성하여 최소제곱법으로 변

환요소벡터 $X(\Delta x, \Delta y, \Delta z, \epsilon, \phi, \omega, S)$ 를 도출한다.

2.2 N_{bd} 해석

정밀 3차원 좌표변환을 위해서는 실용성과의 평균 해면고(h)를 H_B 로 변환하여야 되므로 본 연구에서는 아래의 세단계 과정으로부터 N_{bd} 를 산정하였다.^{6,8)}

1 단계) 타원체 간 평균지심편차량의 산정

(2-1)식에서 3-Parameter($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) 변환요소만을 고려한 (2-2)식의 최소제곱조정으로부터,

$$X_{KD} = X_{84} + [X_s] \quad (2-2)$$

또는 n 개 측정의 두 타원체간 지심좌표차(dX_i, dY_i, dZ_i)를 평균하여 (2-3)식으로 산출한다.

$$\Delta X = \frac{\sum dX_i}{n}, \quad \Delta Y = \frac{\sum dY_i}{n}, \quad \Delta Z = \frac{\sum dZ_i}{n} \quad (2-3)$$

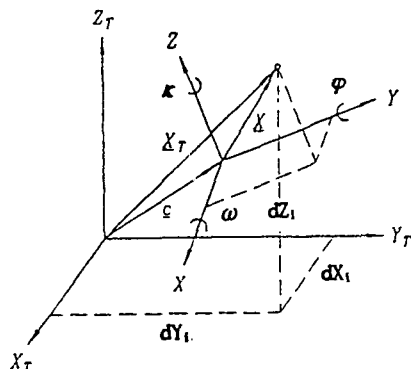


그림 1. 타원체간의 변환요소

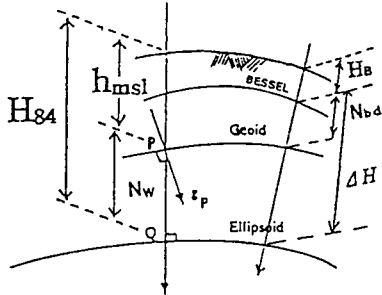


그림 2. 지오이드와 높이와의 관계

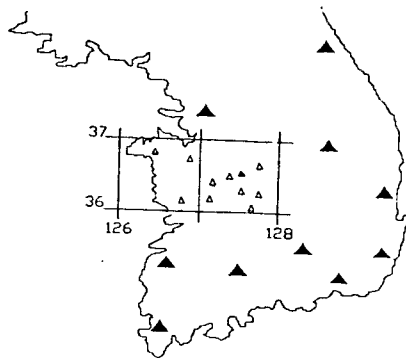


그림 3. GPS 관측망도

2 단계) 타원체 간 이격량의 산정

WGS 84 타원체와 Bessel 타원체 간의 기하학적 특성값(ΔX , ΔY , ΔZ , Δa , Δf)을 표준 Molodensky 변환이론에 근거하여 임의의 φ , λ (WGS 84 타원체 상의 위도, 경도) 측정점에 대한 이격량(ΔH)을 도출한다.

$$\Delta H = \Delta X \cos\varphi \cos\lambda + \Delta Y \cos\varphi \sin\lambda + \Delta Z \sin\varphi - \Delta a(a/R_N) + \Delta f(b/a)R_N \sin^2\varphi \quad (2-4)$$

여기서, $e^2 = 2f - f^2$

R_M, R_N : 자오선 및 묘유선의 곡률반경

$\Delta a = 739.845$, $\Delta f \times 10^4 = 0.10037483$

3 단계) GPS/Leveling에 의한 N_{84} 의 산정

그림 2에서와 같이 삼각점의 표고에 과대오차가 없다는 가정하에서 N_{84} 를 다음 식으로부터 산정한다.

$$N_{84} = H_{84} - h \quad (2-5)$$

따라서 위성 관측점의 Bessel 타원체고를 (2-6)식으로부터 산출하여 지심좌표로 변환한 다음, (2-1)식에 근거하여 변환계수를 도출하게 된다.

표 1. DAEN의 WGS 84 좌표와 정밀도

성분	좌표값
위도 σ	36 22 27.91449 \pm 0.00015
경도 σ	127 21 57.87881 \pm 0.00007
고도 σ	77.60691 \pm 0.0060

$$H_B = \Delta H - N_{84} \quad (2-6)$$

3. 위성신호획득 및 자료처리

정밀 1차 기준망에 속해 있는 삼각점 21개 측점을 선점하고 그림 3과 같이 남한지역에 고루 분포한 11개 측점으로 구성된 광역망과 충남·북 지역내 11개 측점으로 구성된 지역망(굵은 선 부분)으로 위성신호획득을 위한 관측망을 구성하고 현재, 국제공동 GPS 관측망(IGS: International GPS & Geodynamic Service)에 가입되어 활동중인 대덕관측소(DEAN)⁵⁾를 고정점으로 Trimble SST 수신기 3 set를 이용하여 각 측정당 3시간씩 1일 2 session으로 고도 10°인 위성으로부터 L1/L2 주파수를 수신하였다. DEAN의 WGS 84 타원체 상의 좌표와 표준오차는 표 1과 같다.

관측자료를 Trimble의 자료처리 소프트웨어인 Trimvec-plus의 MBP(Multi Baseline Processing)방식에 의해 Double Difference 기법으로 L1/L2 처리하여 장기선에 따른 전리층의 영향을 제거하고 Modified Hofield Model에 의한 대류층의 영향을 보정하여 11개 측정점의 WGS 84 좌표를 결정한 후, 망조정 Software인 Trimnet-plus을 활용하여 측정점간의 기선거리, 고도, 방위각 Data에 내포된 과대오차를 τ 검정, χ^2 검정으로 검출하고 경중률을 고려한 반복조정으로부터 관측점들의 WGS 84 좌표성과를 경도, 위도 및 고도성분에서 각각 ± 4 cm 이내의 표준오차로 결정할 수 있었다.

4. 비교분석

4.1 측지계간 기하학적 특성 도출

최소제곱조정으로부터 산정된 광역 및 지역망내 평균지심 편차량의 표준오차는 표 2와 같으며 Bessel 타원체의 중심과 WGS 84 타원체의 중심간 이격량은 830~840 m 이격되어 있음을 추정할 수 있었다. 이

표 2. 평균 지심 편차량 (KD-WGS 84)

(단위; M)

성분	광역 망			지역 망		
요 소	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
편차량	131.433	-486.579	-668.203	127.926	-481.374	-665.377
σ	± 1.339	± 1.339	± 1.339	± 0.526	± 0.526	± 0.526

표 3. 광역망의 Bessel 타원체를 기준으로 한 Geoid(N_{bd})

연번	측점	h	H_{84}	ΔH	N_{84}	N_{bd}
1	고창 24	199.680	223.597	-51.790	23.917	-27.873
2	방어진 24	100.310	130.355	-43.722	30.045	-13.677
3	청주 11	291.300	317.285	-56.404	25.985	-30.419
4	해남 23	48.630	73.531	-47.502	24.901	-22.601
5	합천 25	244.970	272.945	-48.652	27.975	-20.677
6	강릉 26	148.780	175.754	-59.027	26.974	-32.053
7	마산 21	297.880	326.790	-45.223	28.910	-16.313
8	영덕 23	150.160	179.925	-49.690	29.765	-19.925
9	수원원점	67.500	91.415	-61.211	23.915	-37.296
10	영주 23	376.720	404.670	-55.019	27.950	-27.069
11	운봉 11	1502.130	1530.012	-48.662	27.882	-20.780

표 4. 지역망의 Bessel 타원체를 기준으로 한 Geoid(N_{bd})

연번	측점	h	H_{84}	ΔH	N_{84}	N_{bd}
1	금산 24	878.930	904.322	-47.343	25.392	-21.951
2	조치원 23	58.480	83.978	-50.157	25.498	-24.659
3	공주 22	192.750	217.777	-49.939	25.027	-24.912
4	대전 12	399.470	424.758	-48.465	25.288	-23.177
5	논산 21	47.870	72.468	-48.612	24.598	-24.014
6	이원 24	283.950	309.341	-46.575	25.391	-21.184
7	속리 11	1058.440	1084.900	-48.245	26.460	-21.785
8	청주 11	291.300	317.285	-49.689	25.985	-23.704
9	아산 26	184.200	208.080	-52.105	23.880	-28.225
10	한산 11	214.710	239.080	-48.912	24.370	-24.542
11	서산 27	109.430	132.010	-53.083	22.580	-30.503

결과는 1987년 DMA(Defense Mapping Agency of U.S.A.)⁴⁾에서 한국과 일본 일원에 13개의 Doppler 관측을 통하여 도출한 $\Delta X=128$ m, $\Delta Y=-499$ m, $\Delta Z=-672$ m와 비교될 수 있는 값으로서 이에 관해서는 다수의 측점을 활용한 좀더 광범위한 연구가 요망된다. 또한 지역망의 표준오차가 광역망에 비해 ± 0.813 m 만큼 감소된 것은 적용범위가 지역적이며 측점의 밀도가 높기 때문으로 사료된다.

4.2 Geoid Undulation의 산정

표준 Molodensky 변환식으로부터 산정된 타원체 간의 이격량(ΔH)과 GPS/Leveling에 의한 N_{84} 로부터 광역 및 지역망 내 위성관측점의 N_{bd} 를 산정하면 각각 표 3, 표 4와 같다. 여기서 N_{bd} 의 부호가 -인 것은 Geoid가 Bessel 타원체면 아래로 지나기 때문이다. 전반적으로 N_{bd} 의 분포경향은 서해안에서 동해안으로 진행되면서 Bessel 타원체와의 이격이 점차 감소하는

표 5. 7-Parameter 좌표변환계수 (광역망)

성분	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta z(m)$	$\epsilon(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	S(ppm)
요 소	134.468	-490.682	-668.271	-2.217	-2.362	1.968	0.654
σ	15.053	11.555	14.011	0.435	0.433	0.360	1.441

표 6. 7-Parameter 좌표변환계수 (지역망)

성분	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta z(m)$	$\epsilon(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	S(ppm)
요 소	127.793	-461.706	-682.894	-3.344	-3.575	1.763	-0.368
σ	16.661	14.849	21.082	0.458	0.488	0.599	1.825

표 7. 좌표변환 결과 (광역망)

	실 용 성 과						변 환 된 성 과							
고창 24	35	21	32.711	126	30	58.638	171.807	35	21	32.741	126	30	58.658	171.919
방어진 24	35	16	46.977	129	15	9.326	86.633	35	16	47.006	129	15	9.339	86.762
청주 11	36	34	47.300	127	25	17.193	260.881	36	34	47.309	127	25	17.173	261.060
해남 23	34	38	41.778	126	31	59.517	26.029	34	38	41.734	126	31	59.483	26.107
합천 25	35	35	1.674	128	9	41.235	224.293	35	35	1.673	128	9	41.246	224.427
강릉 26	37	45	55.755	128	51	2.596	116.727	37	45	55.692	128	51	2.611	116.978
마산 21	35	13	14.018	128	36	48.096	281.567	35	13	14.042	128	36	48.125	281.688
영덕 23	36	22	8.054	129	23	38.242	130.235	36	22	8.059	129	23	38.232	130.420
수원원점	37	16	23.153	127	3	22.429	30.204	37	16	23.174	127	3	22.423	30.410
영주 23	36	52	58.451	128	32	52.304	349.651	36	52	58.465	128	32	52.300	349.855
운봉 11	35	17	26.231	127	32	3.221	1481.350	35	17	26.209	127	32	3.214	1481.467

경향을 나타내었고 지역망의 경우는 -31~-21 m, 광역망은 -38~-13 m로 분포함을 알 수 있었다.

4.3 좌표변환해석

표 5, 6은 각각 남한 및 충남·북 지역 내 11개 기준점들의 WGS 84 좌표를 Bessel 좌표로 변환하기 위하여 7-Parameter 변환기법으로부터 도출한 변환 계수와 표준오차를 나타낸다.

역변환을 위해서는 이들 변환계수의 부호를 반대로 하여 적용하면 된다. 광역망에서 위성관측을 통하여 조정·산출된 WGS 84 좌표에 표 5의 변환계수를 적용하여 Bessel 좌표로 변환하고 실용성과와의 변환 편차를 산정한 결과는 표 7과 같이 경도, 위도 및 고도에서 각각 ± 0.018 초, ± 0.029 초 및 ± 0.164 m로서 경·위도에서 ± 1 m 이내의 비교적 양호한 변환 결과를 획득할 수 있었다.

지역망의 경우는 표 8과 같이 조정·산출된 WGS

84 좌표에 표 6의 계수를 적용하여 Bessel 좌표로 변환하고 실용성과와의 변환오차를 산정한 결과, 경도, 위도 및 고도에서 각각 ± 0.006 초, ± 0.016 초 및 ± 0.183 m로서 광역망에 비해 경·위도 성분에서 ± 0.012 초, ± 0.013 초의 편차로 실용성과와의 접근도가 향상되었다. 특히, 고도에서의 월등한 변환결과는 본 연구에서 도출한 N_{bd} 의 효용성을 입증하는 결과로 사료된다.

4.4 T.M. 및 U.T.M. 투영 분석

표 9는 광역망 내 11개 삼각점의 실용성과와 WGS 84 타원체 좌표값으로부터 변환 산출한 Bessel 타원체의 측지 경위도 좌표를 T.M. 도법으로 투영하고 상호간의 직교좌표성분을 비교한 것이다. 여기서 X_0 , Y_0 및 X_T , Y_T 는 각각 실용성과 및 위성관측에 의한 변환성과를 기초로 투영변환한 직교좌표성분이다. 두 Bessel 좌표성과에 의한 T.M. 투영결과를 각 성분별

표 8. 좌표변환 결과 (지역망)

	실 용 성 과						변 환 된 성 과							
	점	X	Y	Z	X	Y	점	X	Y	Z	X	Y		
금산 24	36	7	17.843	127	19	21.309	856.979	36	7	17.849	127	19	21.317	857.246
조치원 23	36	36	40.718	127	18	45.971	33.821	36	36	40.726	127	18	45.968	33.890
공주 22	36	28	56.333	127	7	13.183	167.838	36	28	56.337	127	7	13.184	167.990
대전 12	36	22	47.283	127	27	17.417	376.293	36	22	47.292	127	27	17.418	376.433
논산 21	36	13	6.622	127	3	16.957	23.856	36	13	6.622	127	3	16.962	24.126
이원 24	36	6	1.010	127	33	44.085	262.766	36	6	1.009	127	33	44.094	263.004
속리 11	36	32	25.031	127	52	22.749	1036.655	36	32	25.003	127	52	22.742	1036.662
청주 11	36	34	47.300	127	25	17.193	267.596	36	34	47.307	127	25	17.186	267.660
아산 26	36	46	40.253	126	55	42.947	155.975	36	46	40.248	126	55	42.952	156.036
한산 11	36	11	31.594	126	53	1.291	190.168	36	11	31.590	126	53	1.296	190.476
서산 27	36	45	15.496	126	29	59.593	78.927	36	45	15.503	126	29	59.582	79.064

표 9. T.M. 투영결과 (광역망)

측 점	X ₀	X _T	Y ₀	Y _T
고창 24	207071.936	207072.858	156041.694	156042.203
방어진 24	198188.859	198189.753	222977.069	222977.395
청주 11	342481.929	342482.204	237714.304	237713.805
해남 23	127844.005	127842.653	157208.287	157207.415
합천 25	232217.132	232217.098	124006.536	124006.812
강릉 26	473983.742	473981.799	186848.396	186848.760
마산 21	191665.799	191666.536	164803.424	164804.160
영덕 23	319070.529	319070.682	235350.225	235349.975
수원원점	419331.554	204986.597	419332.201	204986.449
영주 23	376126.646	159697.533	376127.078	159697.436
운봉 11	199500.091	248590.081	199499.413	248589.908

표 10. U.T.M. 투영결과 (광역망)

측 점	N ₀	N _T	E ₀	E _T
고창 24	3916042	3916040	274152	274151
방어진 24	3904434	3904432	522763	522762
청주 11	4049746	4049746	358587	358587
해남 23	3836789	3836789	273728	273730
합천 25	3938449	3938449	423833	423833
강릉 26	4180113	4180115	486654	486654
마산 21	3897913	3897913	464613	464612
영덕 23	4025265	4025265	535132	535132
수원원점	4127258	4127258	327483	327483
영주 23	4082298	4082298	459511	459511
운봉 11	3906600	3906600	366527	366527

로 분석한 결과 X 및 Y성분의 표준오차는 각각 ± 0.899 m, ± 0.449 m의 투영표준오차를 보이며 두 성

분을 동시에 고려할 경우, ± 1.005 m 이내의 정확도로서 투영변환이 가능하므로 지도제작상의 허용오차 범위를 도상 0.1 mm로 가정한다면, 본 연구에서 도출한 변환계수를 위성좌표에 적용할 경우 1/10,050의 지형도 제작에도 유용할 것으로 판단된다.

표 10은 위성관측에 의한 WGS 84 좌표 및 실용성과로부터 역변환 산출된 WGS 84 좌표를 U.T.M. 도법으로 투영하고 상호간의 지도좌표성분을 비교한 것이다. 여기서 N₀, E₀ 및 N_T, E_T는 각각 위성관측에 의한 WGS 84 좌표 및 실용성과로부터 변환산출한 WGS 84 좌표를 기초로 투영변환한 직교좌표성분이 다.

분석결과, N, E성분의 투영표준오차는 각각 ± 1.044 m, ± 0.798 m, 두 성분을 동시에 고려할 경우는 ± 1.314 m의 투영편차가 기대된다. 특히, T.M. 투영의

표 11. T.M. 투영결과 (지역망)

측 점	X ₀	X _T	Y ₀	Y _T
금산 24	345940.558	345940.797	227977.927	227977.843
조치원 23	331588.700	331588.827	210781.544	210781.537
공주 22	320303.611	320303.875	240807.587	240807.584
대전 12	302312.817	302312.818	204918.640	204918.749
논산 21	289340.640	289340.610	250624.101	250624.327
이원 24	338368.876	338367.999	278162.761	278162.603
속리 11	361878.209	361878.426	155346.457	155346.186
청주 11	342481.929	342482.144	237714.304	237714.104
아산 26	364376.403	364376.249	193626.565	193626.664
한산 11	299388.963	299388.809	189539.978	189540.078
서산 27	291610.410	291610.595	229037.391	229037.554

표 12. U.T.M. 투영결과 (지역망)

측 점	N ₀	N _T	E ₀	E _T
금산 24	4053406	4053406	348926	348926
조치원 23	4039418	4039416	331437	331437
공주 22	4027512	4027512	361218	361218
대전 12	4010271	4010271	324968	324969
논산 21	3996360	3996360	370390	370390
이원 24	4044793	4044793	398930	398930
속리 11	4070858	4070858	276641	276642
청주 11	4049746	4049746	358587	358586
아산 26	4072554	4072554	314969	314969
한산 11	4007665	4007665	309533	309533
서산 27	3999073	3999073	348859	348859

표준오차보다 큰 편차를 보인 것은 U.T.M.은 평면으로 간주하는 범위가 넓기 때문인 것으로 사료된다.

표 11은 지역망 내에 분포된 11개 삼각점의 실용성과 및 WGS 84 좌표값에 7-매개변수를 적용하여 산출한 Bessel 타원체의 측지 경위도 좌표를 T.M. 도법으로 투영하고 상호간의 직교좌표성분을 비교한 것이다. X 및 Y성분의 표준오차는 각각 ±0.099 m, ±0.022 m의 투영편차를 보이며 두 성분을 동시에 고려할 경우, ±0.101 m 이내의 투영변환이 가능하므로 지도 제작상의 허용오차범위를 도상 0.1 mm로 가정한다면, 중·남북 지역의 경우 1/1,010의 지형도 제작에도 유용할 것으로 판단되며 지역적 변환계수의 효용성을 재확인할 수 있었다.

표 12는 위성관측에 의한 WGS 84 좌표 및 실용성과로부터 역변환 산출된 WGS 84 좌표값에 의한

측지 경위도 좌표를 WGS 84 타원체 상에 U.T.M. 도법으로 투영하고 상호간의 직교좌표성분을 비교한 것이다.

N, E 성분의 표준오차는 각각 ±0.603 m, ±0.522 m, 두 성분을 동시에 고려할 경우는 ±0.798 m의 편차를 나타낸다. 특히, T.M.에 의한 투영편차보다 작은 편차를 보이는 것은 광역망의 경향과 일치하고 있다.

광역 및 지역망에 대한 T.M. 및 U.T.M. 지도투영 결과를 고찰할 때 본 연구에서 도출한 7-Parameter 변환기법을 적용할 경우 1/1,000~1/15,000의 지형도 제작이 가능함을 입증할 수 있었으며 높은 정밀도의 변환을 위해서는 광역의 변환계수보다는 지역적인 계수를 도출하고 변환 및 투영에 적용하는 것이 효율적임을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

GPS로부터 획득된 WGS 84 좌표에 Geoid undulation을 보정하여 Bessel 타원체 상의 좌표로 변환하고 T.M. 및 U.T.M. 투영도법에 의한 지도좌표의 변환 특성을 고찰한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 광역망에 대한 평균 지심편차량을 산정한 결과 국내지역의 경우, ΔX=131.433 m, ΔY=-486.579 m, ΔZ=-668.503 m로서 중심간의 이격량을 830 m~840 m로 추정할 수 있었다.
- 2) 평균지심편차량을 이용하여 N_{bd}를 산정하고 7-Parameter 변환기법을 적용한 결과, 광역망의 경우

경도, 위도 및 고도에서 ± 0.018 초, ± 0.029 초 및 ± 0.164 m, 지역망의 경우 ± 0.006 초, ± 0.016 초 및 ± 0.183 m의 변환 정확도로 변환계수를 도출할 수 있었다.

3) 순변환 및 역변환된 성과를 T.M. 및 U.T.M. 투영하고 실용성과 및 WGS 84 성과에 의한 투영좌표와 비교한 결과, T.M. 투영에서는 도상 0.1 mm의 허용오차를 고려할 때, 광역망의 경우 축척 1/10,050, 지역망의 경우 1/1,010의 지형도제작에 효율적으로 활용될 수 있으며, U.T.M. 투영에서도 각각 ± 1.314 m 및 ± 0.796 m의 편차로 투영좌표를 획득할 수 있었으므로 GPS에 의한 정밀지형정보획득의 효용성을 입증할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 기초연구과제(과제번호 90-4-4)의 지원에 의한 연구의 일부로서 연구비를 지원하여 주신 국방과학연구소에 감사드리며 본 연구를 위해 적극 협조해 주신 표준연구원 천문대에 감사드립니다.

참고문헌

1. B. Hofmann-Wellenhof, "Global Positioning System-Theory and Practice", Springer-Verlag Wien New York, 1992.
2. Zhu H.T.,; The Analysis of the Transformation Formula in the Geocentric Coordinate Using Seven Parameters, Zheng-zhou Institute of Surveying and Mapping, No. 1-2, 1983.
3. Eckels, Rod and Pheukvilai, K.P., "Establishing GPS Survey control and Transformation Parameters in Thailand". GPS World, August 1991.
4. Supplement to Department of Defense World Geodetic System 1984 DMA Technical Report: Part I, Part II., 1987, DMA TR 8350. 2-A, 2-B.
5. 강준목, 이용창, 박필호, 전재홍, "GPS의 실용화를 위한 3차원 좌표변환에 관한 연구(II)", 대한토목학회 학술발표개요집, 1992, pp. 383-386.
6. 강준목, 이용창, 박필호, 송승호, "GPS을 이용한 Geoid Undulation Model 산정에 관한 연구", 한국측지학회 논문발표 개요집, 1993. 2. 13, pp. 8-17.
7. 강준목, 이용창, 박필호, "GPS에 의한 지형의 높이 정보 획득에 관한 연구", 한국지형공간정보학회지, 제 1권, 제1호, 1993, pp. 17-159.
8. Rapp, R.H., Y.M. Wang and N.K. Pavlis,; The Ohio State 1991 geopotential and sea surface topography harmonic coefficient models, Rep. 410, 91 pp. Dep. of Geod. Sci., Ohio State Univ., Colubus, August 1991.