지형정보DB구축을 위한 GPS의 응용

○강준묵*, 이용창**, 김홍진***

요 지

정확하고 경제성 있는 지형정보의 구축은 각종건설공사를 비롯한 국토종합개발에 기본 요건으로서 그 중요성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 충남·북 일원의 11개 삼각점에 대한 GPS 관측을 수행하여 산출된 WGS84 좌표를 Bessel 타원체 상의 좌표로 변환하고 TM 및 UTM 투영 도법을 적용, GPS에 의한 3차원 지형정보의 획득은 물론 지도제작을 위한 기본자료를 산출하고자 한다.

1. 서 론

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 국토종합개발계획에 매우 중요한 정보를 제공한다.

비교적 경제적이고 정확한 지형도제작방법으로는 오래전부터 연구·적용되어 온 항공사진측량에 의한 제작기법과 높은 해상도를 갖는 위성영상데이터를 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 구역뿐만 아니라 광역적인 구역에서도 측점간 정밀한 거리측정, 국가 기준망 및 세계측지망에 결속된 GCP의 획득면에서 보다 새로운 기법의 제시가 요망되고 있다.

GPS 인공위성 측위 System은 기존의 측량방식과는 달리 측점간 시통에 무관하며 기상의 영향을 거의 받지 않고 24시간 3차원 위치측정과 신속한 관측 Data의 처리를 통하여 높은 정확도의 3차원 지형정보를 산출할 수 있는 全天候 고정밀 첨단 측위장비이다. 따라서 측지는 물론 지적, 구조물의 변형 및 지각변동의 측정, 기타 정적 및 동적측위에 이르기 까지 그 응용분야가 다양한 최 첨단 system이므로 광역은 물론 국소지역의 고정밀 지형정보를 용이하게 산출할 수 있을 것이다. 그러나, GPS를 국내에서 효율적으로 실용화 시키기 위해서는 다음의 연구가 반드시 선행되어야 한다.

첫째, 국제적으로 공인된 GPS 측지 기준점의 설치·운용과제이다.
둘째, GPS로 부터 획득된 WGS 84 타원체 상의 좌표값을 우리가 적용하고 있는 Bessel 타원체 상의 좌표로 변환시킬 수 있는 알고리즘을 개발하여야 한다. 특히, 고정밀 3차원 지형정보의 산출을 위해서는 계획 구역의 지형에 맞는 Geoid undulation model의 연구도 병행되어야 한다.

---

* 충남대학교 공과대학 교수
** 충남대학교 대학원 박사과정
*** 충남대학교 대학원 박사과정

궁극적으로는 이상의 기본연구를 토대로 Geoid model에 연계된 좌표변환, 3차원 DTM 지형모델의 구축, TM 및 UTM의 지도투영 등 각 단계별로 최적화된 작업공정과 GPS 작업규정이 확립되어야 할 것이다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 GPS로 부터 획득된 WGS84 좌표를 Geoid undulation을 보정하여 7 Parameter 기법에 의한 Bessel 타원체 상의 좌표를 산출하고 또한, T.M 및 UTM 투영도법을 적용하여 변환 전·후 지도좌표의 변환특성을 고찰하고자 한다. 연구진행과정을 간략히 나타내면 그림 1 과 같다.

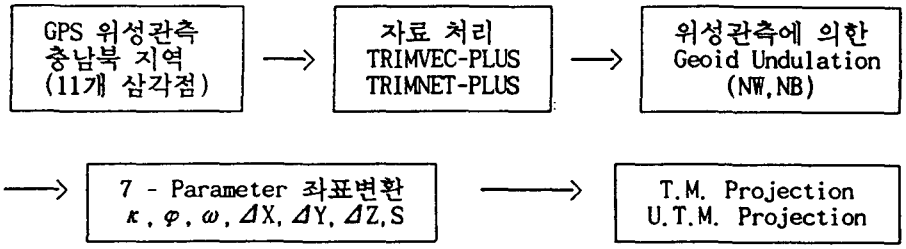

그림 1. 연구수행 흐름도

3. 7 - Parameter 좌표변환

7-Parameter 변환방법은 측지계간의 변환관계를 나타내는 7개의 변환요소를 최소자승법으로 산출하여 좌표변환하는 방법으로 세계측지계를 우리나라 측지계(KD : Korea Datum)로 변환하는 기본방정식은 (1)식과 같다.

$$X_{KD} = S\,[R]\,X_{84} + [X_s] \qquad (1)$$

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

$$X_{KD} = [\,x_{KD}\ y_{KD}\ z_{KD}\,]^T \quad X_{84} = [\,x_{84}\ y_{84}\ z_{84}\,]^T \quad [X_s] = [\,\Delta x\ \Delta y\ \Delta z\,]^T$$

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

위의 행렬식 [R]에서 κ, φ, ω는 각각 z, y, x축에서의 회전각을 의미한다.
변환요소의 함수인 (1)식을 선형화하면 (2)식과 같이 표시된다.

$$F(X) = -X_{KD} + S\,[R]\,X_{84} + \Delta X = 0 \qquad (2)$$

(2)식에서 X는 변환요소(δx, δy, δz, ε, ϕ, ω, S) 들로 구성된 벡터를 의미한다. 이 식을 Taylor 급수로 전개하여 조건방정식을 구성하고 최소자승법으로 풀어 변환요소들을 산출하고 이것을 (1)식에 대입하면 두 측지계 간의 상호변환이 가능하게 된다.

윗 식(1)에서 관측지점의 높이는 평균해면고(H)에서 Bessel 타원체를 기준으로 한 Geoid undulation(N_B)를 고려하여 도출하였다. N_B는 변환지역의 Mean Datum Shift량($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)을 도출하고 표준 Molodensky 변환식에 적용, 각 측점에 대해 산정된 타원체 간의 이격량(ΔH)에 WGS84 타원체를 기준으로 한 Geoid undulation (N_W)을 차감하여 산출하였다.

4. 관측 및 자료처리

충남북 일원의 정밀 1차 기준망에 속해 있는 삼각점 11개 측점을 그림 3과 같이 선점하고 현재, 국제공동 GPS관측망(IGS:International GPS & Geodynamivc Service)에 가입되어 활동중인 대덕관측소(DAEN)을 고정점으로 Trimbel SST 수신기 3대를 이용하여 각 측점당 3시간씩 1일 2session으로 고도 10° 인 위성으로 부터 L1/L2 주파수를 수신하였다. DAEN의 WGS84 타원체 상의 좌표는 국제 SLR망에 속해 있는 Simosato 측점과 국제공동관측을 수행하여 결정하였고 좌표값과 표준오차는 표 1과 같다.

표 1. DAEN의 WGS84 좌표와 정밀도

성분	좌 표 값
위도 σ	36 22 27.91449 ±0.00015
경도 σ	127 21 57.87881 ±0.00007
고도 σ	77.6069 ±0.0060

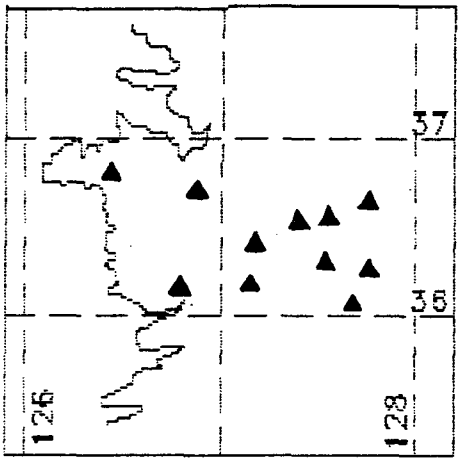

그림 3. GPS 관측망 도

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 측지점의 WGS84 좌표를 결정한 후, 망 조정 Software 인 TRIMNET-PLUS 을 활용하여 측점간의 기선거리, 고도, 방위각 Data 에 내포된 Outlier을 τ test, χ^2test로 검출하고 경중률을 고려한 반복조정으로 부터 관측점들의 WGS84 좌표성과를 경도, 위도 및 고도성분에서 각각 ±4 cm 이내의 표준오차로 결정할 수 있었다.

5. 비교 분석

5-1. 좌표변환 해석

위성관측이 수행된 11개 측지점의 실용성과와 조정된 WGS84 좌표성과는 표 2와 같다.

표 2. 실용성과 및 WGS84 좌표성과 (단위, 도 분 초, m)

측 점	φ_B	λ_B	H_B^*	φ_W	λ_W	H_W
청주 11	36 34 47.300	127 25 17.193	267.596	34 57.795	25 9.522	317.285
아산 26	36 46 40.253	126 55 42.947	155.975	46 50.658	55 35.449	208.080
한산 11	36 11 31.594	126 53 1.291	190.168	11 42.242	52 53.799	239.080
서산 27	36 7 17.843	127 19 21.309	856.979	7 28.525	19 13.680	904.322
금산 24	36 36 40.718	127 18 45.971	33.821	36 51.202	18 38.340	83.978
조치원23	36 28 56.333	127 7 13.183	167.838	29 6.868	7 5.615	217.777
공주 22	36 22 47.283	127 27 17.417	376.293	22 57.861	27 9.740	424.758
대전 12	36 13 6.622	127 3 16.957	23.856	13 17.263	3 9.410	72.468
논산 21	36 6 1.010	127 33 44.085	262.766	6 11.693	33 36.379	309.341
이원 24	36 32 25.031	127 52 22.749	1036.655	32 35.502	52 14.934	1084.900
속리 11	36 45 15.496	126 29 59.593	78.927	45 25.927	29 52.218	132.010

여기서 고도(H^*)는 Bessel 타원체상의 높이로서 두 타원체의 중심이 일치하지 않으므로 인한 충남북 지역의 평균 Datum shifts와 이를 표준 Molodensky 변환식에 적용하여 도출된 타원체 간 이격량(ΔH) 및 GPS/Leveling 기법에 의한 N_W과를 조합, N_B를 산출하고 정표고로 부터 차감하여 결정하였다.

최소제곱조정으로 부터 산정된 충남북 지역의 Mean Datum shifts 와 표준편차는 표 3과 같으며 이 지역에서의 Bessel 타원체와 WGS84 타원체의 중심은 830여 m 이격되어 있음을 알 수 있었고 이결과는 1984년, DMA 에서 한반도 일원에 13개의 Doppler 관측을 통하여 도출한 $\Delta X(m) = 128$, $\Delta Y(m) = -499$, $\Delta Z(m) = -672$ 와 비교될 수 있는 값으로서 이에 관해서는 다수의 측점을 활용한 좀더 광범위한 연구가 요망된다.

표 3. 충남북지역의 Mean Datum Shifts (KD - WGS)

성 분	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
편차량 1σ	127.926 ±0.526	-481.374 ±0.526	-665.377 ±0.526

표준 Molodensky 변환식으로 부터 산정된 타원체의 이격량과 GPS와 수준측량성과를 조합하여 산출된 N_W 및 n=m=360인 지구 중력장 모델(OSU91A, OSU86F)로 부터 보간산출된 N_W 및 N_B 는 표 4와 같다.

특히, GPS/Leveling 기법에 의한 N_W를 기준으로 OSU91A 및 OSU86F 결과와 비교한 표준편차는 각각 0.570 m, 0.534 m 로서 중력장 model의 일반적인 fitting 정도와 상응되고 있음을 알 수 있었으며 중력장 model 간의 편차도 대략 ± 67 cm로 추산된다.

표 4. Geoid Undulation (Unit : meter)

측 점	ΔH	GPS/LEV	OSU91A	OSU86F	N_B
청 주 11	-49.689	25.985	25.762	24.951	-23.704
아 산 26	-52.105	23.880	24.024	23.603	-28.225
한 산 11	-48.912	24.370	24.548	24.025	-24.542
서 산 27	-47.343	25.392	25.954	25.266	-21.951
금 산 24	-50.157	25.498	25.370	24.635	-24.659
조치원23	-49.939	25.027	24.901	24.295	-24.912
공 주 22	-48.465	25.288	26.099	25.299	-23.177
대 전 12	-48.612	24.598	24.980	24.410	-24.014
논 산 21	-46.575	25.391	26.755	26.015	-21.184
이 원 24	-48.245	26.460	27.043	26.120	-21.785
속 리 11	-53.083	22.580	22.933	22.762	-30.503

표 5, 6은 충남북지역의 11개 기준점에 대한 Bessel 및 WGS84 좌표성과를 이용하여 7 Parameter 변환기법으로 부터 도출한 변환계수와 표준편차 및 이를 적용하여 변환산출한 Bessel 타원체 상의 좌표를 나타낸다.

표 5. 충남북 지역의 7 − Parameter 변환계수

	δX(m)	δY(m)	δZ(m)	κ(")	ϕ(")	ω(")	S(ppm)
산 출 값	127.791	-461.693	-682.910	-3.344	-3.576	1.763	-0.368
1σ	32.611,	28.037	36.888	.935	.996	.993	1.825

위 계수를 위성관측을 통하여 조정산출한 WGS84 좌표에 적용하고 Bessel 좌표로 변환하여 실용성과와의 변환편차를 산정한 결과, 경도, 위도 및 고도에서 각각 ±0.006초, ±0.010초 및 ±0.183 m 로서 비교적 양호한 상호간의 변환체계를 확립할 수 있었다.

표 6. 변환계수로 부터 산정된 *Bessel* 좌표 (단위, 도 분 초, m)

측 점	φ_{TB}	λ_{TB}	H_{TB}
청 주 11	3 36 34 47.307	127 25 17.185	267.660
아 산 26	11 36 46 40.248	126 55 42.951	156.036
한 산 11	14 36 11 31.589	126 53 1.295	190.476
서 산 27	31 36 7 17.849	127 19 21.316	857.246
금 산 24	32 36 36 40.726	127 18 45.968	33.890
조치원23	33 36 28 56.337	127 7 13.183	167.990
공 주 22	34 36 22 47.292	127 27 17.417	376.433
대 전 12	35 36 13 6.622	127 3 16.961	24.126
논 산 21	36 36 6 1.009	127 33 44.094	263.004
이 원 24	37 36 32 25.003	127 52 22.742	1036.662
속 리 11	18 36 45 15.503	126 29 59.582	79.064

5-2. T.M. 및 U.T.M. 투영 분석

1) Transverse Mercator 지도 투영

표 7은 11개 기준점의 실용성과와 WGS84 타원체 좌표값으로 부터 변환 산출된 두 Bessel 타원체의 측지 경위도 좌표를 T.M 도법으로 투영하고 상호간의 직교좌표성분을 비교한 것이다. 여기서 X_O, Y_O 및 X_T, Y_T는 각각 실용성과 및 위성관측에 의한 변환성과를 기초로 투영변환한 직교좌표성분이다.

표 7. 실용성과와 변환성과의 T.M. 지도투영 (기준타원체 : Bessel 1841)

측 점	X_O	X_T	Y_O	Y_T
청 주 11	386730.752	386731.363	262676.574	262675.828
아 산 26	423030.632	423030.327	249393.693	249394.187
한 산 11	313958.121	313957.814	242820.322	242820.573
서 산 27	300893.779	300894.398	248603.248	248603.744
금 산 24	391406.914	391407.529	246656.442	246656.191
조치원23	367564.425	367564.733	217926.779	217926.778
공 주 22	349781.614	349782.231	268262.984	268262.979
대 전 12	319526.914	319526.914	208651.058	208651.307
논 산 21	297055.437	297055.134	284526.905	284527.408
이 원 24	379009.985	379007.512	329962.071	329961.613
속 리 11	418104.966	418105.583	186175.191	186174.453

두 Bessel 좌표성과를 각 성분별로 분석한 결과 X 및 Y성분의 표준편차는 각각 ±0.881m, ±0.450m 의 투영편차를 보이며 두 성분을 동시에 고려할 경우, ± 1m 이내의 투영변환이 가능하므로 지도 제작상의 허용오차범위를 도상 0.1mm 로 가정한다면, 본 연구에서 도출한 변환계수를 위성좌표에 적용할 경우 1/10,000 의 지형도 제작에도 유용할 것으로 판단된다.

2) Universal Transverse Mercator 지도 투영

표 8은 11개 기준점의 위성관측에 의한 WGS84 좌표 및 실용성과로 부터 변환산출된 WGS84 좌표값에 의한 측지 경위도 좌표를 U.T.M 도법으로 투영하고 상호간의 직교좌표성분을 비교한 것이다. 여기서 N_O, E_O 및 N_T, E_T는 각각 위성관측에 의한 WGS84좌표와 실용성과로 부터 변환산출한 WGS84 성과를 기초로 투영변환한 직교좌표성분이다.

두 WGS84 좌표성과를 각 성분별로 분석한 결과 N,E성분의 표준편차는 각각 ±0.600m, ±0.430m 의 투영편차를 보이며 두 성분을 동시에 고려할 경우는 ±0.738m 의 투영편차를 나타낸다. 특히, T.M.에 의한 투영편차보다 작은 편차를 보이는 것은 평면으로 간주하는 범위가 크기 때문인 것으로 사료된다.

표 8. 실용성과와 변환성과의 UTM 지도투영 (타원체 : WGS84)

측 점	N_0	N_T	E_0	E_T
청 주 11	4049746	4049746	358587	358586
아 산 26	4072554	4072554	314969	314969
한 산 11	4007665	4007665	309533	309533
서 산 27	3999073	3999073	348859	348859
금 산 24	4053406	4053406	348926	348926
조치원23	4039418	4039416	331437	331437
공 주 22	4027512	4027512	361218	361218
대 전 12	4010271	4010271	324968	324969
논 산 21	3996360	3996360	370390	370390
이 원 24	4044793	4044793	398930	398930
속 리 11	4070858	4070858	276641	276642

실용성과와 WGS84좌표로 부터 도출된 Bessel 경위도를 UTM 투영한 경우의 각 측점별 N, E 성분을 나타내면 표 9와 같다. 여기서 N_0, E_0 및 N_T, E_T 성분은 각각 실용성과와 변환 산출한 Bessel 성과의 UTM 직교좌표성분이다.

표 9. 실용성과와 변환성과의 UTM 지도투영 (타원체 : Bessel)

측 점	N_0	N_T	E_0	E_T
청 주 11	4049016	4049016	358788	358789
아 산 26	4071824	4071824	315171	315171
한 산 11	4006934	4006934	309736	309735
서 산 27	3998343	3998343	349062	349062
금 산 24	4052677	4052676	349128	349128
조치원23	4038687	4038688	331638	331639
공 주 22	4026783	4026782	361420	361420
대 전 12	4009539	4009541	325171	325170
논 산 21	3995630	3995630	370594	370593
이 원 24	4044064	4044063	399132	399132
속 리 11	4070126	4070128	276842	276843

N, E성분의 표준편차는 각각 ±1.044m, ±0.739m 의 투영편차를 보이며 두 성분을 동시에 고려할 경우는 ±1.279m 의 투영편차를 나타내므로 평면으로 간주되는 범위가 작아질 경우 상대적으로 투영편차가 증가됨을 확인할 수 있었다.

6. 결 론

GPS로 부터 획득된 WGS84 좌표를 Geoid undulation을 보정하여 Bessel 타원체 상의 좌표로 변환하고 T.M 및 UTM 투영도법에 의한 지도좌표의 변환특성을 고찰한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 충남북 지역의 WGS84 타원체를 기준으로 한 Geoid 기복은 GPS/Leveling, OSU91A 및 OSU86F 모델, 모두 약 22 ~ 27 m 의 분포로 나타났고 GPS/Leveling기법을 기준으로 한 OSU91A 및 OSU86F 모델과의 편차는 각각 ±0.570m, ±0.534 m,중력장 model 간의 편차도 대략 ± 67 cm로 나타났다.

2) 7 Parameter 기법을 적용하여 경도, 위도 및 고도에서 각각 ±0.006초, ±0.010초 및 ±0.183 m 의 변환 표준편차를 갖는 비교적 양호한 변환계수를 도출할 수 있었다.

3) 실용성과 및 WGS84 좌표로 부터 변환산출된 Bessel 좌표성과를 T.M. 및 U.T.M 투영한 결과 ± 1m 이내의 투영편차를 보이므로 도상 0.1mm의 허용오차를 감안하면, 본 연구에서 도출한 변환계수를 위성좌표에 적용할 경우, 1/10,000 의 지형도 제작에도 유용할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. *B. Hofmann-Wellenhof, "Global Positioning System - Theory and Practice", Springer-Verlag Wien New York, 1992*

2. *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.*

3. *Supplement to Department of Defense World Geodetic System 1984 DMA Technical Report : Part I, Part II, , 1987, DMA TR 8350. 2-A, 2-B.*

4. *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*

5. 강준묵, 이용창, 박필호,송승호, "*GPS*을 이용한 *Geoid Undulation Model* 산정에 관한 연구, 한국측지학회 논문발표 개요집, *PP.8-17, 1993.2.13*