

GPS에 의한 지형의 높이정보 획득에 관한 연구

A Study on the Acquisition of Geoidal Height by Means of Global Positioning System

姜 準 默* 李 鎔 昌** 朴 弼 鎬***
KANG Joon-Mook LEE Yong-Chang PARK Pil-Ho

要 旨

GPS는 1일 24시간 高精度 3차원 위치해석이 가능한 위성측위 system으로서 국토개발을 위한 측지분야는 물론, 지구물리, 군사 및 Time 보정에 이르기 까지 여러분야에서 효율적인 수단으로 부각되고 있다. 그러나 GPS를 우리나라에 실제 적용하기 위해서는 WGS84 타원체 상의 좌표값을 Bessel 타원체로 변환시킬 수 있는 변환체계의 정립과 우리나라 지형에 적합한 Geoid Undulation의 model개발이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 국내의 경도 126° ~ 129° 위도 36° ~ 37° 중 위권 지역에 대한 Geoid Undulation을 GPS와 수준측량성과의 조합·해석(GPS/Leveling)으로 부터 다항식 Model로 도출하고 지구중력장 model(OSU91A, OSU86F)에 대한 보정 다항식을 유도하여 이에 의한 geoid height을 산정, 그 특성을 고찰하였다.

ABSTRACT

As Global Positioning System is able to provide 24-hour all weather surveying capability and high precision survey in three dimension, expected that the extensive use of GPS to support geodesy, geophysics, military and time correction, etc. But, in order to use the GPS results effectively, we have to solve problems about coordinates transformation relating the WGS84 to Bessel Datums and development of the accurate geoid undulation model. In this paper, we derive polynomial model equations about geoid undulation around local area(longitude 126° ~ 129°, latitude 36° ~ 37°) in Korea by GPS/Leveling method, also study the geoidal height calculation methods supplemented by Earth Gravitational Models (OSU91A, OSU86F).

1. 서 론

GPS를 비롯한 위성에 의한 3차원 측위 해석에서 Geoid undulation의 결정은 타원체간의 좌표변환과 정표고 결정에 필수 요소이다.^{1,9)}

Geoidal height는 지구의 중력장에 의해서 결정되는 기준면과 물리적 성격을 고려하지 않은 수학적 기준면 간의 높이차이므로 직접적으로 구할 수 있는

기법은 없고 간접적으로 몇가지 기법을 Modeling 하여 산정하게 된다.

Geoid Undulation Model은 대상지역의 중력이상자료, 천문측량자료, 측지성과 및 상대적인 위성관측자료 등을 토대로 보간법에 의해 얻어지는 지역적인 Model과 지구전체의 종합적인 자료를 토대로하여 구면조화함수 (Spherical harmonic expansion)로 나타내는 범 지구모델로 나뉘어 연구되어 왔다.^{3,4,7)}

* 충남대 공대 토목과 교수

** 충남대 토목과 박사과정

*** 표준과학원 천문대 선임연구원

중력이상을 이용한 Free-air Geoid는 비교적 정도는 높으나 Stokes 식에 관한 다수의 보정항과 보간 방법 및 난해한 적분과정을 포함하며 관련된 측정값을 중력계로 일일이 측정해야 하므로 비효율적이다. 또한 천문 Geoid의 경우는 천문점의 수와 밀도, 배치 분포 등에 따른 오차변화의 기복이 심하고 보간법의 적용에 주의를 기울여야 하며 관측조건에 상당한 제약을 받는다는 단점이 있다.³⁵⁾

구면조화함수와 Degree, Order에 대한 계수를 이용한 최근의 지구중력장 Model로는 1986년 Ohio 주립대학의 Rapp, Cruz 등이 지표면 중력자료와 위성 궤도자료를 토대로 $n=m=360$ 인 구면조화함수의 계수를 결정하여 개발한 OSU86 E,F model과 OSU 91A model 등이 있다.⁴⁷⁾

본 연구에서는 GPS와 수준측량 성과의 조합·해석으로 부터 산정된 Geoid Undulation 의 다항식 Model를 도출, 종래의 수준측량 성과와 비교·검토하여 Model의 적용 타당성을 규명함과 아울러 OSU91A, OSU86F 지구중력장 Model에 대한 보정 다항식을 유도하고 GEM T1,T2 및 DMA($n=m=18$) model에 대한 특성도 고찰하여 중력장 Model을 보완한 정표고의 산정방법도 모색하고자 한다.

2. Geoid Undulation의 결정 방법

2. 1. GPS와 수준측량 성과의 조합

지표면상의 한 측정점에서 높이는 정표고(H); (Orthometric height), 기준 타원체고(h); Ellipsoid height) 및 지오이드 고(N);(Geoidal height)로 나눌 수 있고 그림 1로 부터 이들의 관계식을 구성하면 (1)식과 같다.²⁶⁾

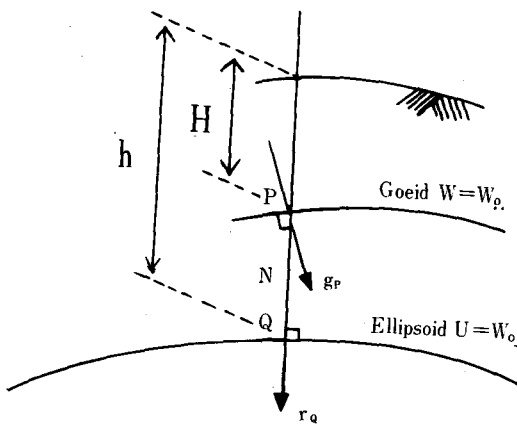


그림 1. 정표고, 타원체고, 지오이드고의 관계

$$N = h - H \quad (1)$$

GPS/Leveling 에 의한 Geoid undulation 결정방법은 사전에 표고가 정확히 결정된 측정점을 대상으로 GPS 원점을 고정된 상대측위를 실시하고 이로 부터 결정된 WGS84 타원체상의 높이(h)에서 해당 측정점의 정표고 성과(H)를 감하여 WGS84 타원체 면에서 Geoid 면까지의 높이(N)를 결정하는 방법이다. 따라서 기존의 수준성고가 평균해면으로 부터 정밀하게 결정되어 있다면 GPS/Leveling 으로 geoidal height 을 산출하고 각종 보간법을 적용하여 model 식을 구성하는 것이 비교적 이상적일 것이다.

2. 2. 지구 중력장 Model

지구 중력장은 회전타원체에 의한 정규중력 potential(U)과 회전타원체에서 벗어난 지표근처 부근 질량에 의한 異常 potential (T)로 나눌 수 있고 그림 1에서와 같은 Geoid 면상의 실제 potential(W)은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.^{34,7)}

$$W_p(x,y,z) = U_p(x,y,z) + T_p(x,y,z) \\ = U_Q(x,y,z) - \gamma N + T_p(x,y,z) \quad (2)$$

$W_p(x,y,z)=U_Q(x,y,z)$ 이므로 첨자를 생략하면 $T = \gamma N$ 혹은

$$T = \gamma N \quad (3)$$

γ : 타원체 상의 정규중력

으로 (3)식은 지오이드 높이(N)과 포텐셜이상 T의 관계를 나타내는 Bruns식이다.

지구의 중력 포텐셜 W를 구면조화급수(spherical harmonic series)로 표현하면 다음과 같다.

$$W_p(r,\theta,\lambda) = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta) \right] \quad (4)$$

여기서, r,θ,λ : 계산할 지점의 극 중심좌표

GM : Newton의 중력상수 × 지구질량

a : 타원체의 적도반경

C_{nm}, S_{nm} : 중력포텐셜 계수

$P_{nm}(\cos \theta)$: Associated Legendre 함수

지오이드높이 N 은 Bruns 정리에 따라 (2),(4)식으로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$N = \frac{GM}{\gamma r} \left[\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta) \right] \quad (5)$$

따라서 중력포텐셜계수 C, S 를 산정하면 지오이드 높이 N 을 구할 수 있다.

2.3 중력장 Model의 보완

보완 Model은 두가지 기본가정에 기초한다.

첫째, 조정된 GPS 관측값은 매우 양호한 자료로서 정확한 것으로 가정한다.

둘째, 기존 수준점의 정표고 또한 정확한 것으로 한다.

이 두조건이 만족된다면 Geoidal height을 GPS 관측값과 정표고값의 함수로 보고 최소제곱조정을 실시하여 선정된 측정들에 대한 중력장 Model의 보정값을 산출하게 된다.

(1) 식으로부터 임의의 두 측정간의 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$h_i = H_i + N_i + V_i \quad (6)$$

$$h_{i-1} = H_{i-1} + N_i + V_{i-1} \quad (7)$$

V ; 선정된 측정에서의 중력장 model에 의한 Geoidal height의 보정값

(7) 식에서 (6) 식을 빼고 재 정리하면 (8) 식이 된다.

$$V_{i-1} - V_i = dh - dH - dN \quad (8)$$

dh, dH 및 dN 는 GPS 관측, 수준측량 및 중력장 Model로부터 각각 산정된 것이다.

식 (8)을 matrix form 으로 일반화 하면 다음과 같다.

$$A v = f \quad (9)$$

여기서, A ; 관측값에 대한 $(n-1) \times n$ 계수행렬
 v ; 중력장 Model 의 보정값 벡터 (n)
 f ; 벡터의 closure ($n-1$)
 n ; 관측점의 수

(9) 식으로부터 보정값 v 을 산출하고 보정값에 관한 최적의 fitting model 식을 도출하게 된다.

3. Geoid Undulation Model의 Trend Analysis

해석 방법은 Model 지역내 측정들의 Geoid 기복을 미지계수와 평면좌표의 함수로 정의하여 산정하는 기법으로 기본 model식은 다음과 같다.

$$Nm = C_0 + C_1 U + C_2 V + C_3 U^2 + C_4 UV + C_5 V^2 + \dots + C_{99} U^9 V^9 \quad (10)$$

$$U = k (\varphi - 35)$$

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

$$k = 0.15707963$$

여기서, U : 측정의 측지학적 위도 성분

V : 측정의 측지학적 경도 성분

k : 축척계수

φ : 측지 위도 λ : 측지 경도

35, 135 : Bessel Datum area의 위도, 경도 중앙값

최소제곱조정으로 부터 다항식의 계수를 산정하고 F-test에 의한 계수의 회귀성을 검정하였다.

$$H_0 : C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_m = 0$$

$$H_1 : C_1, C_2, C_3, \dots, C_m \neq 0$$

귀무가설(H_0)는 "부분 회귀계수가 0 이다. 즉, 회귀성이 없다." 로서 만일, F 값이 한계값 보다 크면 가설은 棄却되고 對立假說 H_1 이 채택되게 된다.

4. 관측 및 자료처리

본 연구에서는 대덕 Station을 기준점으로 강원, 경북, 전북, 충·남북 일원에 대한 사전 답사를 통해 8개의 천문점, 9개의 수준점 및 1,2 등 삼각점 12개 측정점을 선점하고 4개 이상의 위성을 볼 수 있는 시간대를 선택하였다. Trimble 4000SDT 수신기 3대를 사용하여 하루에 천문점, 삼각점은 3시간, 중력점 2시간씩 1일 2 session으로 1991년 8월과 1992년 7월에 각각 15일, 11일 동안 고도 15° 이상인 위성만으로부터 L1과 L2의 주파수를 모두 수신하였다. 관측된 위성은 모두 8대로서 PRN 번호는 11, 28, 18, 19, 15, 21, 2, 14 이다.⁸⁹⁾

자료처리시 고정점으로 사용된 대덕 Station(DAEN)의 좌표는 1991년 일본 Simosato 측정(VLBI 관측점), 중국, 대만 등과 공동 관측으로 결정한 천문대(KAO)의 좌표성과를 기초로 대덕 station 과 1일 24시간 연속 관측한 15일 동안의 수신자료를 SBP (Single Baseline Processing) 처리하여 결정한 것이다.⁸⁾

5. 분석 및 고찰

관측자료는 Trimble 社의 자료처리 Software를 이용하여 기선, 방위각, 상대위치를 결정하고 Outlier 검출과 경중률을 고려한 반복조정으로부터 29개 관측점의 WGS84 좌표계 상의 경도, 위도 및 고도성과를 $1\sigma = \pm 3 \text{ cm}$ 이내로 결정하였다.

5. 1 Geoid Undulation 경향

관측점들의 표고와 Geoid undulation 은 표 1과 같다. 여기서 $H, h, N = (h-H)$ 는 각각 평균 해면고, WGS84 타원체고, GPS/Leveling에 의한 Geoid undulation를 의미하며 OSU91A, OSU86F, DMA18 및 GEM T1, T2는 중력장모델로 산정된 Geoidal height이다.

29개 관측점이 분포한 경도 $126^\circ \sim 129^\circ$, 위도 $36^\circ \sim 37^\circ$ 지역의 Geoid 기복은 N, OSU91A, OSU86F 세 경우 모두 약 25 ~ 30 m의 분포를 나타내고 있다.

GPS/Leveling을 기준으로 한 OSU91A, OSU86F model 기복과의 편차는 1m 이상을 나타낸 5개 측정점을 제외한 경우, 평균편차는 각각 -43cm, +35cm 이내의 분포를 보인다.

그림 2는 GPS/Leveling 에 의한 Geoid을 기준으로 중력장 Model 기복과의 편차를 도시한 것이다. 편차가 크게 나타난 측정점은 주로 삼각점들로 특히 IW24, BK22, HB11, WJ22, UJ25 측정 등은 평균 2m의 편차를 보이므로 간접수준측량으로 결정된 표고성과에 대한 재검토의 필요성을 암시해 주고 있다.

표 2는 측정의 분포와 종류에 따른 각 Case 별 Geoid undulation의 평균편차를 나타낸 것이다.

Case 1은 29개 측정전체, Case 2는 IW24, BK22, HB11, WJ22, UJ25 측정점을 제외한 경우이고 Case 3는 수준점, Case 4는 충남북 지역의 삼각점만에 관한 것이다. Model 간의 편차가 큰 5개 측정점을 제외한 Case 2와 Case 3, Case 4 등의 경우는 편차범위가 $\pm 40\text{cm}$ 이내로서 중력장 model의 일반적인 fitting 정도와 상응되고 있다. 또한 OSU91A와 OSU86F 중력장 model 간의 편차는 Case 1 ~ Case 5에서 대략 $\pm 60\text{여 cm}$ 로 추산된다.

표 1. 높이와 Geoid Undulation (Unit : meter)

No	측점	N	OSU91A	OSU86F	DMA18	GEM T1	GEM T2
1	YJBM	28.403	28.752	27.869	24.690	33.480	32.840
2	CHBM	24.984	25.344	24.618	22.110	31.460	31.610
3	DKBM	29.559	29.312	28.729	24.540	34.400	33.800
4	CJBM	26.341	26.457	25.686	23.330	32.140	31.900
5	UJBM	29.042	28.854	28.162	26.050	34.450	33.420
6	YDBM	29.561	29.394	29.131	25.960	35.000	34.030
7	KJBM	29.548	30.002	29.399	25.630	35.330	34.450
8	IRBM	24.594	24.977	24.431	21.330	31.490	31.830
9	HSBM	23.529	23.556	23.239	20.790	30.240	30.800
10	CJ25	25.498	25.370	24.635	22.140	31.470	31.610
11	DJ12	25.288	26.099	25.299	22.400	31.970	32.020
12	IW24	25.391	26.755	26.015	22.580	32.450	32.430
13	KJ22	25.027	24.901	24.295	21.780	31.250	31.510
14	KS24	25.392	25.954	25.266	22.100	31.990	32.110
15	NS21	24.598	24.980	24.410	21.570	31.400	31.700
16	SR11	26.460	27.043	26.120	23.230	32.530	32.330
17	DS01	25.345	25.875	25.128	22.250	31.870	31.960
18	DS02	25.283	25.883	25.139	22.250	31.880	31.970
19	DS03	25.062	25.822	25.085	22.220	31.840	31.940
20	DS04	25.235	25.869	25.118	22.260	31.860	31.950
21	DS05	25.159	25.937	25.179	22.290	31.900	31.980
22	BK22	28.393	29.619	29.165	25.990	35.540	34.580
23	HB11	28.553	29.803	29.191	25.230	34.670	33.900
24	SJ23	27.174	27.700	26.928	23.690	33.150	32.810
25	WJ22	32.085	28.813	28.138	26.080	34.490	33.450
26	WK21	27.868	28.550	27.959	24.050	33.880	33.420
27	YD23	29.765	29.391	29.142	25.990	35.060	34.090
28	YJ23	27.953	28.528	27.611	24.550	33.290	32.680
29	UJ25	26.431	29.237	28.273	25.200	33.660	32.850

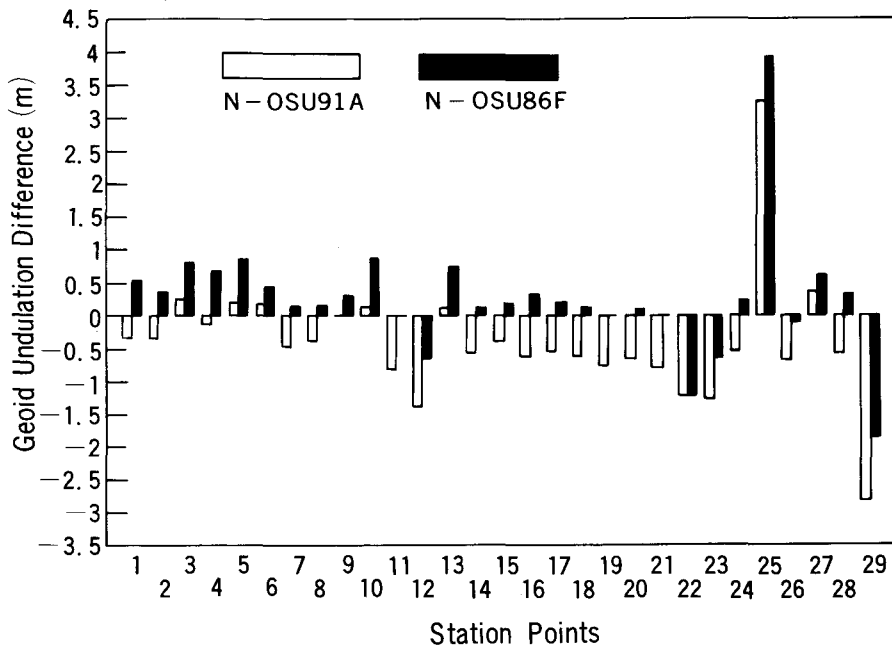


그림 2. Geoid undulation 편차

표 2. 각 경우별 Geoid undulation의 평균편차
(unit: ±cm)

Case	1	2	3	4
측 점 수	29	24	9	12
h-H-OSU91A(360)	69.9	43.1	25.5	28.0
h-H-OSU86F(360)	57.4	34.9	47.7	49.2
OSU91A-OSU86F	65.1	66.1	59.8	62.7

5. 2 GPS/Leveling에 의한 Geoid Undulation Modeling

GPS/Leveling에 의한 Geoid Undulation를 기본값으로 trend 해석을 실시하여 다항식의 계수를 산출하고 歸無假說에 의한 F-test로 계수들에 대한 회귀성

표 3. K 차 회귀 다항식의 분산분석(ANOVA)

K Degree (계수갯수)	F MS _R /MS _D	F _c α=0.05%	Goodness of fit	상 관 계 수	평균편차 (± m)
2(6)	32.037	2.64	0.874	0.935	0.412
3(7)	41.079	2.55	0.918	0.958	0.410
3(8)	33.698	2.49	0.918	0.958	0.410
3(9)	40.214	2.45	0.942	0.970	0.358
3(10)	18.588	2.42	1.128	1.062	0.677
4(15)	-8.431	2.46	1.135	1.065	0.676
5(21)	7.887	3.15	0.952	0.976	0.351
6(28)	0.785	249.05	0.955	0.977	0.277

검정도 병행하였다. 29개 측점을 활용한 K차 회귀 다항식의 분산분석과 각 차수별 평균편차는 표 3과 같다.

다항식 계수의 회귀성은 대립가설이 채택된 K = 2, 3, 5 차수에서 나타났고 GPS/Leveling에 의한 Geoid Undulation과의 평균편차는 K = 3(9)차에서 ±35.8 cm로서 OSU91A, OSU86F 중력장 모델의 fitting 정도보다도 양호한 분포를 보였다. 특히, K=6(28)차의 다항식은 평균편차가 ±27.7 cm로 fitting의 상관성은 높지만 F검정에서 귀무가설이 채택되므로 기복의 일반식으로는 부적합하며 Data 만의 fitting에 최적한 결과로 사료된다.

K = 3(9)차의 다항식 계수는 표 4와 같다.

표 4. K=3(9)차 회귀다항식 계수 (29개 측정)

회귀항	C0	C1	C2	C3	C4
계수값	-54.700	30.457	-227.277	2550.198	1058.748
회귀항	C5	C6	C7	C8	
계수값	-100.272	-4310.228	-343.318	400.550	

그림 3, 4는 각각 29개 측점에 대한 GPS/Leveling 기법과 Trend해석에 따라 보간·산출된 k=3(9)차의 다항식 model에 의한 geoid undulation 분포를 contour mapping화하여 나타낸 것이다.

편차가 크게 나타난 5개 측점을 제외하고 도출한 K차 회귀다항식의 분산분석과 각 차수별 평균편차는 표 5와 같다.

다항식 계수의 회귀성은 K = 2,3,4,5 차 다항식 모두에서 나타났고 GPS/Leveling에 의한 Geoid Undulation과의 평균편차는 K=5(21)차에서 ±16.0 cm로 29개측점의 경우보다는 쏠 차수에서 2배이상의 향상된 fitting 분포를 보였다. 특히, K=6(28)차 다항식은 평균편차가 ±27.7 cm로 fitting의 상관성은 높지만 F검정에서 귀무가설이 채택되므로 기복 Data 만의 fitting에 최적한 결과를 보였다.

표 5. K 차 회귀 다항식의 분산분석(ANOVA)

K Degree (계수갯수)	F MS _R /MS _D	F _c α=0.05%	Goodness of fit	상 관 계 수	평균편차 (± m)
2(6)	170.505	2.77	0.979	0.990	0.204
3(10)	141.163	2.65	0.989	0.995	0.174
4(24)	54.326	3.01	0.988	0.994	0.172
5(21)	18.584	8.66	0.992	0.996	0.160

그림 5, 6는 각각 24개 측점에 대한 GPS/Leveling 기법과 Trend해석에 따라 보간·산출된 k=3(9)차의 다항식 model에 의한 geoid undulation 분포를 contour mapping화하여 나타낸 것이다.

5. 3 중력장 Model에 의한 geoid undulation

그림 7은 중력장 Model들의 계수를 이용하여 29개 측정들의 Geoid undulation을 산정하고 각 model 별로 Plotting한 것이다. GPS/Leveling을 기준으로 할 때 위성레도해석, 지표면중력자료 및 Altimeter자료를 조합하여 해석한 OSU91A(n=m=360), 86F (n=m=360) model들의 harmonic 진폭과 위상은 GPS/Leveling에

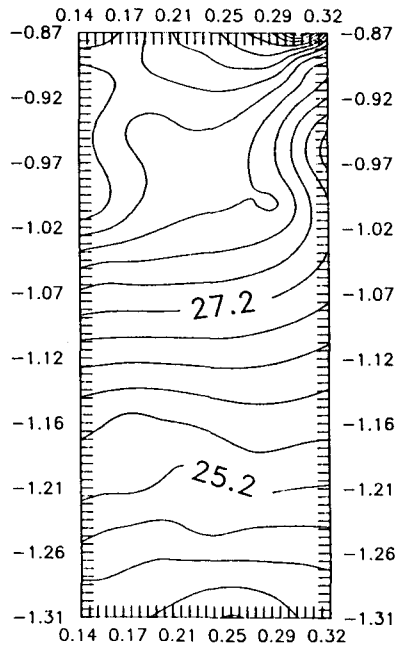


그림 3. GPS/Leveling기법에 의한 Geoid Map (29개 측정)

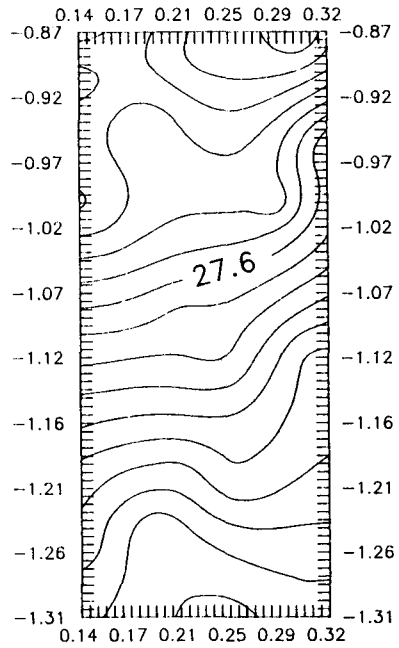


그림 4. 보간 Geoid map (29개 측정)

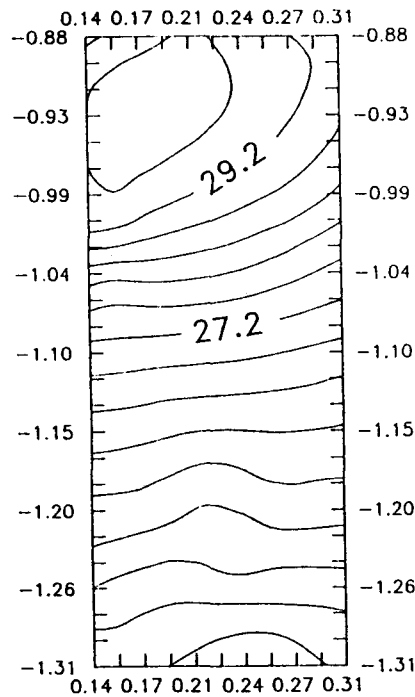


그림 5. GPS/Leveling기법에 의한 Geoid Map (24개 측정)

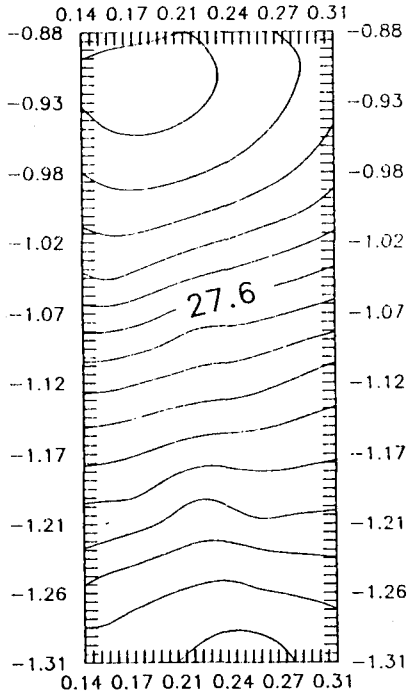


그림 6. 보간 Geoid map (24개 측정)

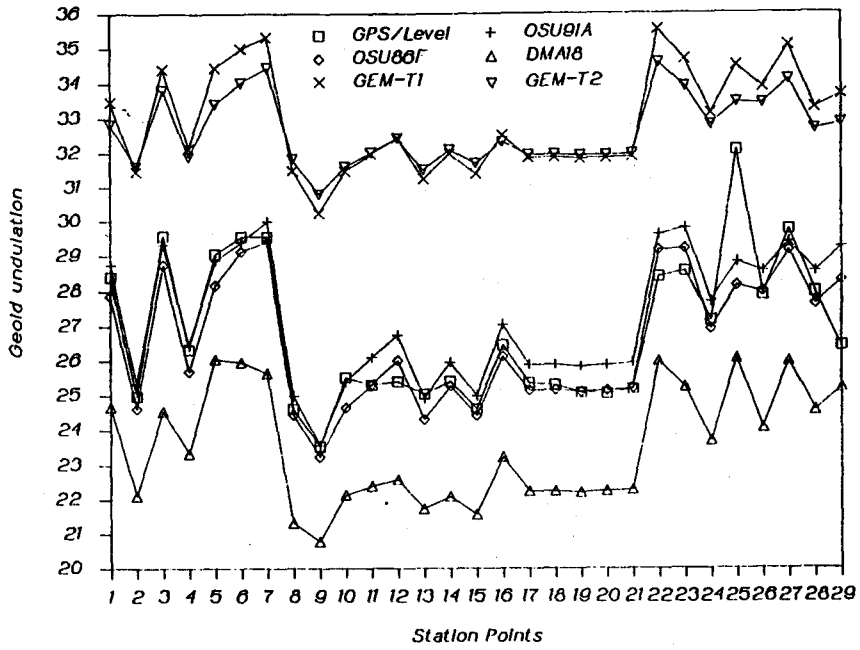


그림 7. 지구중력장 Model에 의한 Geoid undulation

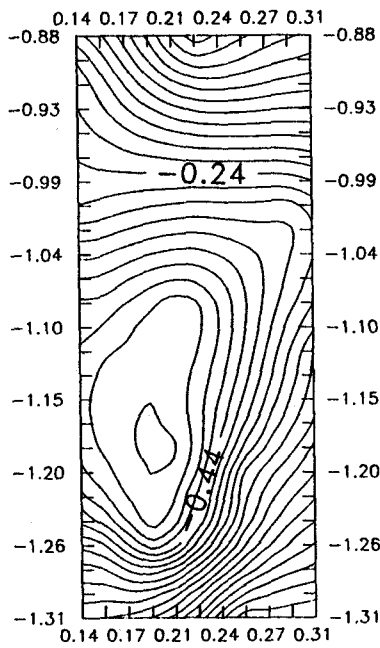


그림 8. δV 의 Geoid map(OSU91A)

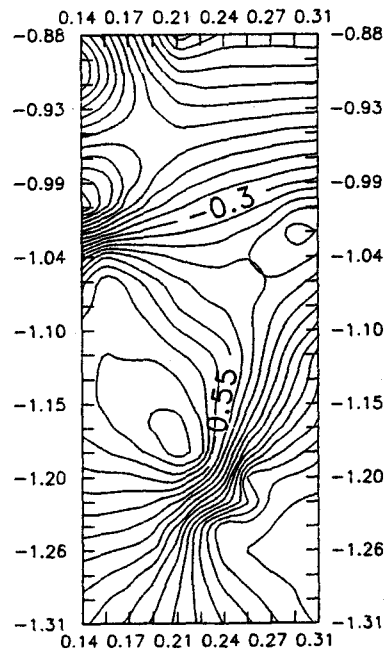


그림 9. 보간 Geoid map(OSU91A)

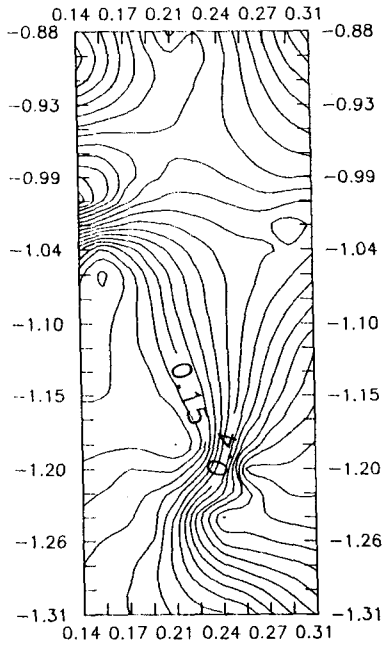


그림 10. δV 의 Geoid map(OSU86F)

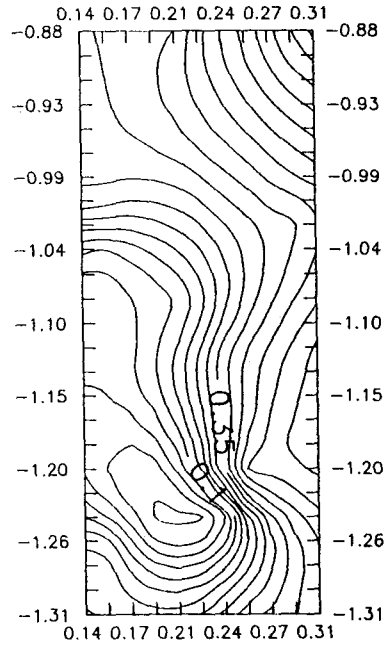


그림 11. 보간 Geoid map(OSU86F)

표 8. K 차 회귀 다항식의 분산분석(ANOVA)

K Degree (계수갯수)	F MS_A/MS_D	Fc $\alpha=0.05\%$	Goodness of fit	상 관 계 수	평균편차 (\pm m)
2(6)	2.962	2.77	0.451	0.672	0.175
3(10)	2.331	2.65	0.600	0.774	0.174
4(15)	1.414	3.01	0.688	0.829	0.167
5(21)	0.200	8.66	0.572	0.756	0.158

표 9. K = 4(15)차 회귀다항식 계수 (OSU86F)

회귀항	C0	C1	C2	C3	C4
계수값	-28.226	321.289	-101.970	-93.083	738.212
회귀항	C5	C6	C7	C8	C9
계수값	-163.581	-5834.206	-571.046	215.241	6726.877
회귀항	C10	C11	C12	C13	
계수값	1942.236	-1393.141	-429.900	-90.988	

매우 근접한 분포를 나타내었다.

반면, 위성섭동만을 주로 해석하여 도출한 GEM T1(n=m=36) 및 T2(n=m=50) model과 전체 계수의 1/10 만을 사용한 DMA(n=m=18) 조합해석 model의 경우, harmonic 위상은 비교적 동일하였으나 진폭에서 각각 3~4m 의 교차를 보이고 있다. 특히 그림 2에서 비교적 큰 교차를 나타냈던 5개 측정점들의 위상이 공통적으로 GPS/Leveling 분포와 상이한 결과를 나타내는 것이 주목되고 있다. 따라서 harmonic의 진폭을 보정한 model식을 도출한다면 기존의 지구중력장 model을 활용한 효율적인 geoid undulation 산정을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 4 OSU91A 모델의 보정 Modeling

표 6은 OSU91A 중력장 Model에 의한 Geoid Undulation 보정값을 K차 회귀 다항식으로 modeling하여 각 차수별로 분산분석과 평균편차를 산정한 결과이다.

표 6. K 차 회귀 다항식의 분산분석(ANOVA)

K Degree (계수갯수)	F MS _a /MS _b	F _c α=0.05%	Goodness of fit	상 관 계 수	평균편차 (± m)
2(6)	3.219	2.77	0.472	0.687	0.189
3(10)	2.022	2.65	0.565	0.752	0.169
4(15)	1.116	3.01	0.635	0.797	0.187
5(21)	0.388	8.66	0.721	0.849	0.209

표 7. K = 2(9)차 회귀다항식 계수(OSU91A)

회 귀 항	C0	C1	C2	C3	C4	C5
계 수 값	18.977	-17.411	32.272	18.913	-10.881	-10.881

다항식 계수의 회귀성은 K=2 차에서 나타났고 비교적 평균편차가 낮게 나타난 경우는 K=3(10)차로 ±16.9 cm 를 보였다. 특히, K = 3, 4, 5로 차수가 증가됨에 따라 fitting의 상관성은 향상되고 있으나 귀 무가설이 채택되므로 일반 보정식으로는 부적합 것으로 사료된다. K = 2(6)차의 계수는 표 7과 같다.

그림 8은 $\delta V (=dh-dH-dN)$ 에 대한 Geoid Map, 그림 9는 K = 3(10)차의 다항식으로 부터 보간·산출된 중력장 model의 보정값을 contour Mapping 化 한 것이다.

5. 5 OSU86F 모델의 보정 Modeling

OSU86F 중력장 Model에 의한 Geoid Undulation 보정값을 K차 회귀 다항식으로 modeling하여 각 차수별로 분산분석과 평균편차를 산정한 결과는 표 8과 같다.

다항식 계수의 회귀성은 K = 2(6)차에서 나타났고 낮은 평균편차를 보인 경우는 K = 4(15)차로서 ± 16.7 cm 로 나타났다. K = 3(10)차의 회귀다항식 계수는 표 9와 같다.

그림 10은 $\delta V (=dh-dH-dN)$ 에 대한 Geoid Map, 그림 11은 K=5(15)차의 회귀다항식으로 부터 보간·산출된 중력장 model의 보정값을 contour Mapping 化 한 것이다.

6. 결 론

GPS와 수준측량 성과의 조합·해석으로 부터 Geoid Undulation의 다항식 Model과 OSU91A, OSU 86F 지구중력장 Model에 대한 보정 다항식을 유도하여 고찰한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 경도 126° ~ 129°, 위도 36° ~ 37° 지역의 Geoid기복은 GPS/Leveling, OSU91A 및 OSU 86F 모두 약 25 ~ 30 m 의 분포로 나타났다.

2) GPS/Leveling을 기준으로 한 OSU91A, OSU 86F model 기복과의 편차는 1m 이상을 나타낸 5개 측정점을 제외한 경우, 각각 -43cm, +35cm 이내로 수렴되어 중력장 model의 일반적인 fitting 정도에 상응되고 있음을 확인할 수 있었다.

3) GPS/Leveling에 의한 Geoid Undulation를 trend 해석한 결과, OSU91A, OSU86F 중력장 Model 보다 양호한 fitting 분포를 나타낸 k = 3(9)차의 다항식 model을 도출할 수 있었다.

4) OSU91A, OSU86F 중력장 Model의 Geoid Undulation 보정값을 K차 회귀 다항식으로 modeling한 결과, GPS/Leveling에 의한 기복편차를 각각 ± 43 cm에서 ± 16.9 cm로, ±35 cm에서 ± 16.7 cm 로 향상시킬 수 있는 보정 model식을 제시할 수 있었다.

Trend 해석으로 산정된 model식의 fitting 정도는 GPS 측지망 내에 포함된 측점수, 상대적 수평위치, 중력장 model, GPS 관측값 및 정표고의 신뢰성 정도 등과 같은 변수들에 따라 좌우되므로 기본자료의 선정상에 주의를 기울여야 된다. 본 연구에서는 편의상 경도 3° 범위의 국내 일부지역에서 GPS 관측이 수행된 삼각점, 수준점을 조합하여 연구를 진행한 결과이므로 향후, 좌표변환 문제와 병행하여 수준점을 대상으로 한 밀도 있는 폭넓은 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

1. *Supplement to Department of Defense World Geodetic System 1984 DMA Technical Report : Part I, Part II, Part III ; Headquarters, Defense Mapping Agency; Washington, DC; 1, December 1987.*
2. Schwarz, K. P., et al ; Orthometric heights without leveling ; *Journal of Surveying Engineering*, 113(1) ; 1987
3. 최광선 ; 한반도 남부의 중력에 관한 연구 ; 서울대학교 대학원 박사학위 논문 ; 1986.
4. Richard, H. Rapp and Nikolas K. Pavlis ; The Coefficient Models to Spherical harmonic Development and Analysis of Geopotential degree 360. ; *Journal of Geophysical Research*, Vol.95, No.B13, PP.21,885 - 21,911, December 10, 1990
5. 조규전, 이영진 ; 우리나라의 천문측지 지오이드에 관한 연구 ; 한국측지학회지 제9권 2호. 1991. PP. 1 ~ 8.
6. Jerome Fiedler ; Orthometric Heights From Global Positioning System. ; *Journal of Surveying Engineering*, Vol.118, August, 1992
7. A. Mainville, R. Forsberg, M. G. Sideris ; Global Positioning System Testing of Geoids Computed From Geopotential Models and Local Gravity Data : A Case Study; *Journal of Geophysical Research*, Vol.97, No.B7, PP.11,137 - 11,147, July 10, 1992.
8. 강준묵, 이용창, 박필호, 전재홍 ; GPS의 실용화를 위한 3차원 좌표변환에 관한 연구 (II) ; 대한토목학회 학술발표 개요집, pp.383-386 (1992)
9. 강준묵, 김홍진, 송승호, 이형석 ; GPS 을 이용한 Geoid Height 에 관한 연구 ; 대한토목학회 학술발표 개요집, pp.391 - 394 (1992)