

보간방법에 의한 WGS84 지오이드고 결정에 관한 연구 A Study on the Determination of WGS84 Geoidal Height by the Interpolation Methods

강준목* · 김홍진**

Kang, Joon-Mook · Kim, Hong-Jin

요 旨

본 연구에서는 수준점에 대한 GPS 관측결과로부터 WGS84 지오이드고 모델을 구성하고 Bi-linear 방법, 회귀다항식 방법 및 삼각보간법을 사용하여 check points로 선정된 수준점에 대한 지오이드고를 산출함으로써 보간방법에 따른 보간정확도를 비교,분석하였다. 또한 삼각점의 GPS 관측성으로부터 도출한 좌표변환계수를 적용하여 수준점의 Bessel 경 위도좌표를 구하고 수준점의 표고성과와 조합하여 수준점의 표고변환의 정확도를 검토하였다. 그 결과, 수준점의 WGS84 지오이드고 및 정표고를 평균 20 cm의 편차로 결정할 수 있었다.

ABSTRACT

In this study, we made WGS84 geoidal height model from GPS measurements for bench marks and calculated geoidal height of B.Ms which were selected check points using the bi-linear, trend surface fitting and triangulation interpolation method. From these, the interpolation accuracy was studied. Also, we tried to study accuracy of height transformation by making up orthometric height with latitude and longitude on Bessel ellipsoid for bench marks which were calculated by applying transformation parameters that were got GPS measurements for precise primary control stations. As a result of this study, the WGS84 geoidal height and orthometric height could be determined as a deviation value of 20 cm.

1. 서 론

GPS 관측성적을 국내에서 측지학적 목적으로 사용하기 위해서는 WGS 84 타원체와 Bessel 타원체간의 좌표변환이 필수적이다. 좌표변환을 위해서는 타원체고가 요구되며, 지오이드고가 타원체고 계산의 기초가 된다. WGS 84 타원체고는 GPS 관측으로부터 획득할 수 있으나 Bessel 타원체고는 별도의 산정이 필요하다.

본 연구에서는 천문관측이 수행된 삼각점을 대상으로 GPS 관측을 실시하고, 각 측정으로부터 WGS 84와 Bessel 타원체에 대한 연직선 편차를 산출한 다음, 곡면다항식의 최소제곱해법에 의해 두 타원체간의 높이차 ΔH 를 산정하여 GPS/leveling으로 산출한 WGS 84 지오이드고(N_w)를 감하므로써 Bessel 지오이드고(N_b)를

산정하여 측지기준계간의 좌표변환을 수행한다.^{1,3,13-14)}

미지점에서 GPS 측량으로 평균해수면상의 높이인 정표고를 산정할 경우, 정표고가 알려진 기지점의 GPS 관측으로 구축된 지오이드고 모델로부터 보간하여 산정하게 되는데^{6,9,11)}, 이러한 방식에서 획득 가능한 표고결정 정확도를 검토하기 위하여 수준점에 대한 GPS 관측으로 WGS84 지오이드고 모델을 구축하고 일반적으로 사용하고 있는 삼각보간법, 곡면다항식 보간법 및 Bi-Linear 보간법을 이용하여 미지점의 WGS 84 지오이드고를 보간 산출한 다음, 실제 관측된 성과와 비교하므로써 보간방법별 지오이드고 산정 정확도를 검토하고자 한다. 그리고 3가지 보간법을 적용하여 수준점의 표고성으로부터 삼각점의 표고성과를 산출한 후, 좌표변환의 정확도를 분석한다. 이로부터 가장 '향호한 것'의 변환계수를 적용하여 수준점의 WGS 84 좌표를 변환, 정표고를 산출하고 기존의 정표고와 비교한

*충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

**충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정

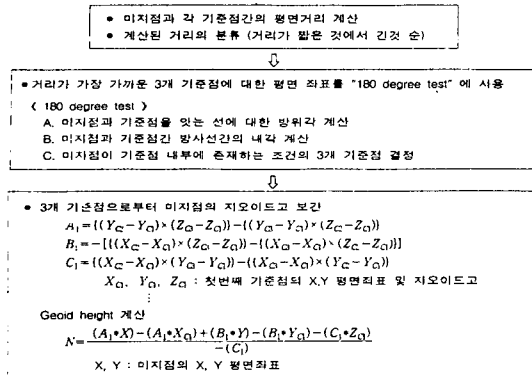


그림 1. 삼각보간법에 의한 미지점의 지오이드고 결정 과정

다. 또한, 삼각점으로부터 도출된 좌표변환계수를 적용하여 수준점의 Bessel 경 위도 성과만을 산출하고, 높이 성과는 수준점 자체의 정표고를 사용, 좌표변환계수를 산출하고 변환정확도를 분석한다. 그러므로써 보간방법 및 좌표변환을 통하여 수준점의 정표고를 결정할 경우, 현재 우리나라 일부지역에서 수준점 배치조건하에 획득 가능한 정확도를 검출하고자 한다.

2. 지오이드고 보간 방법

2.1 삼각보간법

삼각보간법은 비정규삼각망도를 사용하는 곡면 fitting 방법으로 기지의 지오이드고를 가진 대상지역 기준점 모두에 대한 단일 평면을 구성하는 것 대신에 미지점 주위에서 가장 가까운 3개 기준점간 평면을 형성하고 평면방정식에 의해 미지점의 지오이드고를 계산하는 방법이다.¹²⁾ 본 연구에서 구성한 삼각보간법의 보간과정을 흐름도로 나타내면 그림 1과 같다.

2.2 Bi-Linear 보간법

불규칙하게 분포되어 있는 지오이드고값으로부터 격자상의 값을 구성하고 식(2-1)에 의해 미지점의 지오이드고를 계산하는 방법으로 본 연구에서는 36개 수준점에 대한 GPS/leveling으로 WGS 84 지오이드고를 산출하고 이를 최적으로 fitting할 수 있는 격자를 구성한 후 미지점에 대한 보간을 실시하였다.^{10,15)}

$$N_p(\phi, \lambda) = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY$$

$$a_0 = N_1, \quad a_1 = N_2 - N_1,$$

$$a_2 = N_4 - N_1, \quad a_3 = N_1 + N_3 - N_2 - N_4$$

$$X = (\lambda - \lambda_1) / (\lambda_2 - \lambda_1)$$

$$Y = (\phi - \phi_1) / (\phi_2 - \phi_1) \quad (2-1)$$

N_1, N_2, N_3, N_4 : 보간에 사용된 격자점의 지오이드고

2.3 곡면다항식 보간법

곡면다항식을 식(2-2)와 같이 구성하여 차수별 정확도를 비교하여 최적의 차수와 이에 따른 다항식 계수를 산출하고, 이 계수를 사용하여 미지점의 지오이드고를 산출하는 방법이다.¹⁵⁾

$$N = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2 + b_6 X_1^3 + b_7 X_2^3 + b_8 X_1^2 X_2 + b_9 X_1 X_2^2 + \dots$$

b_0, b_1, b_2, \dots : 다항식 계수,

X_1, X_2 : 측정점의 수평위치

(2-2)

이상의 3가지 보간방법에 대한 program을 구성하고, GPS/leveling방법에 의해 36개 기지점의 WGS 84 지오이드고 모델을 구축하였다. 약 30 km 간격으로 분포되어 있는 측정점으로 구축된 모델로부터 각각의 보간방법을 적용하여 12개 미지점에 대한 지오이드고를 산출하고 기존의 값과 비교, 분석하여 보간방법에 따른 지오이드고 산정의 정확도를 검토하였다.

3. 관측 및 자료처리

연구대상 지역으로는 중부지역 위도 35°~36°, 경도 126°~129.5°범위를 설정하고, 사전답사를 통하여 이 지역에 분포되어 있는 거의 모든 수준점을 관측대상으로 선정하였다. GPS 관측은 현재 국제 GPS 관측망에 가입되어 있으며 국내의 GPS 원점으로 잠정 사용하고 있는 대덕연구단지내 과거대의 GPS 기준점을 고정으로 상대측위방법에 의해 삼각점 13점과 수준점 48점에 대하여 실시하였다.⁴⁾ 관측지점의 배치도는 그림 2와 같다.

고정점으로부터 약 150 km 범위 이내의 측점에 대해서는 2시간, 그 이상의 범위에 대해서는 3시간을 session time으로 결정하였고, Trimble 4000 SST와 SSE 수신기를 이용하여 L1/L2 dual-frequency 수신을 하였다.

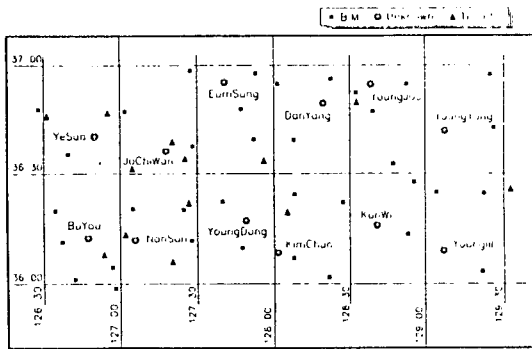


그림 2. GPS 관측지역과 측점의 배치도

관측된 자료는 GPSurvey s/w를 이용, autobatch processing 방법으로 처리하고 Trimnet s/w에 의한 3차원 망조정을 실시하므로써 WGS84 좌표를 경 위도, 고도에서 ± 2 cm의 정밀도로 결정하였다. 삼각점 13점과 수준점 48점에 대한 GPS 측량성과와 기존성과는 표 1, 2와 같으며, 표 1의 삼각점에 대한 Bessel 경도성과는 + 10.405초가 보정된 성과이다.

4. 결과의 비교 분석

4.1 WGS 84 지오이드고 경향

GPS 관측이 수행된 수준점을 대상으로 GPS/leveling 방법에 의해 WGS 84 지오이드고를 산출하고 지구중력장 모델인 OSU91A 모델로 획득한 WGS 84

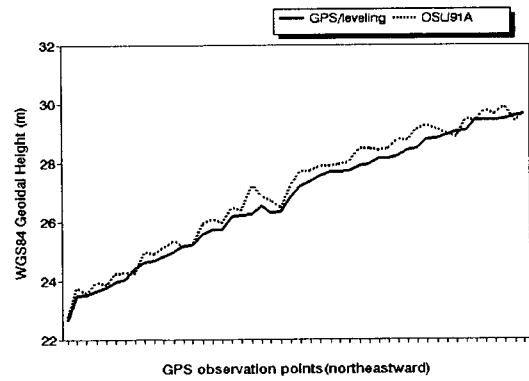


그림 3 GPS/leveling과 OSU91A geopotential model에 의한 WGS 84 지오이드고

지오이드고를 비교 도시한 것은 그림 3과 같다. 또한 보간법을 적용하여 도시한 등고선도와 3차원 경향도는 그림 4, 그림 5와 같다. 연구대상지역으로 선정한 위도 $35^{\circ}\sim 36^{\circ}$, 경도 $126^{\circ}\sim 129.5^{\circ}$ 지역에 대한 WGS 84 지오이드고의 분포는 약 22~30 m의 크기로 남서쪽에서 북동쪽으로 증가하는 경향을 나타낸다.

4.2 보간방법에 따른 WGS 84 지오이드고 산정 정확도

GPS관측으로 WGS 84 좌표를 획득한 48개 수준점 중 12개 측점을 미지점으로 선정하고 3가지 보간방법을 적용, WGS 84 지오이드고(N_w)를 산출하여 GPS/

표 1. 삼각점에 대한 GPS 관측 성과(13점)

측점	WGS84			Bessel		위도
	경도	타원체고	위도	경도	표고	
아산26	36 46 50.658108	126 55 35.449258	208.0831	36 46 40.253	126 55 42.947	184.200
청주11	36 34 57.795059	127 25 09.522325	317.2846	36 34 47.300	127 25 17.193	291.300
한산11	36 11 42.241946	126 52 53.799266	239.0794	36 11 31.594	126 53 01.291	214.710
서산27	36 45 25.927303	126 29 52.218282	132.0085	36 45 15.496	126 29 59.593	109.430
상주23	36 21 19.036853	128 06 37.722451	119.9939	36 21 08.424	128 06 45.629	92.550
영주23	36 53 08.837589	128 32 44.273274	404.6733	36 52 58.451	128 32 52.303	376.720
금산24	36 07 28.525290	127 19 13.679710	904.3224	36 07 17.843	127 19 21.309	878.930
조치23	36 36 51.201800	127 18 38.339530	83.9780	36 36 40.718	127 18 45.971	58.480
공주22	36 29 06.867530	127 07 05.615200	217.7770	36 28 56.332	127 07 13.183	192.750
대전12	36 22 57.861430	127 27 09.740420	424.7580	36 22 47.283	127 27 17.417	399.470
논산21	36 13 17.262690	127 03 09.410340	72.4680	36 13 06.621	127 03 16.956	47.870
속리11	36 32 35.502120	127 52 14.933620	1084.9000	36 32 25.031	127 52 22.748	1058.440
의성25	36 19 07.758111	128 36 16.281842	320.1690	36 18 57.131	128 36 13.916	291.900

표 2. 수준점에 대한 WGS 84 좌표와 정표고 성과 (48 B.Ms)

측점명		위도	경도	타원체고	표고
1. 영덕	BM	36 24 45.054658	129 22 08.543327	40.5937	11.0330
2. 울진	BM	36 57 45.354530	129 23 39.759356	34.9153	5.8730
3. 충주	BM	36 57 44.484428	127 53 53.353392	97.9516	71.6110
4. 영주	BM	36 49 43.140702	128 37 33.307976	177.0088	148.6060
5. 홍성	BM	36 36 04.514291	126 39 37.025810	52.8912	29.3620
6. 이리	BM	35 57 06.784507	126 57 19.049495	44.3239	19.7280
7. 조치원	BM	36 36 14.381246	127 17 56.077015	50.5961	25.6160
8. 화북	BM	36 13 41.860377	128 53 51.668414	389.5290	360.1050
9. 포항	BM	36 04 33.915573	129 20 37.935745	54.2557	24.8333
10. 대전	BM	36 19 34.506301	127 25 18.398822	80.8628	55.1556
11. 김천	BM	36 07 10.403471	128 07 09.838733	103.0145	75.3387
12. 서천	BM	36 11 57.545489	126 37 58.513536	52.6041	28.9598
13. 추부	BM	36 11 27.279096	127 28 12.423360	216.1319	189.8975
14. 보은	BM	36 23 40.249901	127 39 44.054293	111.8802	85.5757
15. 청주	BM	36 38 05.753037	127 29 29.424159	71.0468	45.4842
16. 공주	BM	36 21 40.660796	127 08 30.354182	86.5019	61.3240
17. 논산	BM	36 11 58.416642	127 05 14.281899	43.0699	18.2412
18. 영동	BM	36 10 21.207627	127 46 42.809882	153.8864	127.6392
19. 부여	BM	36 13 03.776020	126 45 46.960715	52.1400	28.1650
20. 대천	BM	36 21 06.450800	126 35 50.339447	30.5350	7.0740
21. 음성	BM	36 56 01.078300	127 41 27.352175	170.2960	144.5670
22. 익산	BM	36 04 40.547227	126 58 01.363998	44.5320	19.8520
23. 장항	BM	36 00 37.802030	126 42 01.753348	28.3910	4.3480
24. 진천	BM	36 59 53.706834	127 26 29.804991	122.1490	96.9500
25. 온양	BM	36 46 58.482668	127 00 18.732386	45.7840	21.3670
26. 서산	BM	36 47 03.755169	126 27 03.054659	59.6440	36.9950
27. 예산	BM	36 40 58.881640	126 49 58.491040	49.4570	25.7070
28. 평해	BM	36 42 48.797834	129 26 34.340653	38.8878	9.9843
29. 김천01	BM	36 09 33.264345	128 01 10.735590	135.2341	108.0288
30. 구미	BM	36 02 48.453392	128 20 35.335821	82.8793	55.0020
31. 영주01	BM	36 47 19.485860	128 38 14.825870	159.8042	131.5851
32. 봉화	BM	36 54 38.847418	128 52 37.347867	392.7747	364.0104
33. 충주01	BM	36 54 16.474750	128 00 48.585199	181.5548	153.8857
34. 풍기	BM	36 52 15.188935	128 31 28.631905	239.8887	211.9443
35. 단양	BM	36 55 08.977680	128 22 18.482409	231.2677	203.5625
36. 군위	BM	36 15 17.934117	128 41 01.068370	126.8761	98.4140
37. 영일	BM	36 09 37.477954	129 05 44.251959	239.3229	209.8690
38. 청송	BM	36 24 59.990727	129 03 23.068947	228.6264	198.9960
39. 안동03	BM	36 27 39.955924	128 55 11.112361	254.834	225.7810
40. 안동02	BM	36 32 58.969538	128 46 27.738854	128.4816	99.6830
41. 영양	BM	36 42 02.991611	129 07 35.263489	297.1657	267.7520
42. 점촌	BM	36 40 29.737980	128 07 32.491442	142.7368	114.5990
43. 의성	BM	36 22 13.674939	128 27 33.778910	79.0612	50.9270
44. 단양01	BM	36 49 14.737871	128 19 00.149223	482.0998	454.5520
45. 상주	BM	36 24 54.796801	128 08 19.808963	89.6836	62.3460
46. 속리	BM	36 40 16.942595	127 51 46.971415	251.2344	224.6940
47. 영동 01	BM	36 16 30.628317	127 49 13.485399	185.2557	158.4440
48. 괴산	BM	36 47 47.480235	127 47 02.176292	144.6573	118.5090

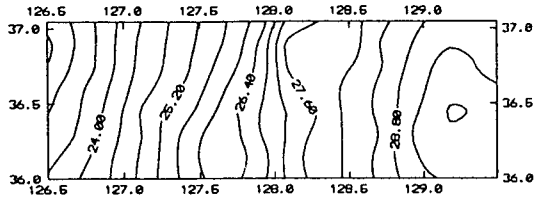


그림 4. WGS 84 지오이드고의 등고선도

leveling으로 직접 구한 N_w 값과 비교하므로써 보간방법별 지오이드고의 산정 정확도를 검토하였다.

삼각보간법에 의한 지오이드고의 산정은 각 기지점과 미지점들의 경·위도 좌표를 중부와 동부 도원점을 기준으로 한 평면직교좌표로 환산하고 2절의 보간과정에 따라 12개 미지점에 대한 WGS84 지오이드고를 산출하였다. Bi-linear 방법에서는 불규칙하게 분포된 측점들의 N_w 값을 fitting 정확도가 가장 양호한 격자로

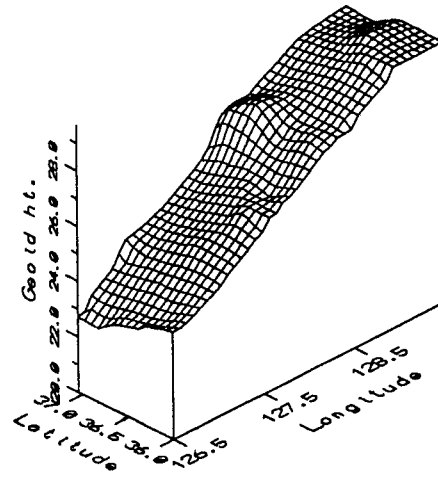


그림 5. WGS 84 지오이드고의 3D-map

재구성하여 미지점의 지오이드고를 산출하였다. 곡면

표 3. 3차 곡면다항식의 계수

Order of Coefficient : 3

b0	.9017809563D+00	b1	-.2154506669D+02	b2	-.1068181747D+03
b3	-.1083009918D+02	b4	.7956420113D+02	b5	-.1359767385D+03
b6	.2067901595D-01	b7	.6985734330D-01	b8	-.1333734036D+01
b9	.2793718239D+01	goodness of fit=0.983	correlation coefficient=0.992		

$$N = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2 + b_6 X_1^3 + b_7 X_2^3 + b_8 X_1^2 X_2 + b_9 X_1 X_2^2 + \dots$$

표 4. GPS/leveling과 보간방법별 WGS 84 지오이드고 산정결과(미지점) (단위: m)

측점	GPS/leveling①	Bi-Linear②	삼각보간③	곡면다항식④	①-②	①-③	①-④
1. 영주BM	28.403	28.213	28.187	28.165	0.190	0.216	0.238
2. 조치원BM	24.980	24.693	25.213	25.287	0.287	-0.233	-0.307
3. 논산BM	24.799	24.427	24.983	25.030	0.372	-0.184	-0.232
4. 부여BM	23.975	23.887	24.013	24.031	0.088	-0.038	-0.056
5. 음성BM	25.729	25.747	25.846	26.170	-0.018	-0.117	-0.441
6. 예산BM	23.750	23.749	23.978	23.840	0.001	-0.228	-0.090
7. 김천BM	27.205	27.624	27.224	27.374	-0.419	-0.019	-0.160
8. 군위BM	28.462	28.729	28.804	28.720	-0.267	-0.342	-0.258
9.영일BM	29.454	29.441	29.264	29.284	0.013	-0.190	0.170
10. 영양BM	29.414	29.104	29.057	29.203	0.310	0.357	0.211
11. 단양BM	27.548	27.688	27.914	27.572	-0.141	-0.366	-0.025
12. 영동BM	26.812	26.644	26.66	26.932	0.168	0.147	0.121
평균					0.189	0.203	0.193
표준편차					±0.145	±0.144	±0.116

표 5. 보간방법에 따른 삼각점의 WGS 84 지오이드(N_w)와 Bessel 지오이드(N_B)

(단위: m)

측점명	GPS/leveling			삼각보간법		곡면다항식보간		Bi-linear보간	
	ΔH	N_w	N_B	N_w	N_B	N_w	N_B	N_w	N_B
1. 아산 26	-86.074	23.883	-62.191	24.1631	-61.9009	24.1064	-61.9676	24.7409	-61.3331
2. 청주 11	-83.659	25.985	-57.674	25.3929	-58.2661	25.6397	-58.0193	25.1461	-58.5129
3. 한산 11	-82.872	24.369	-58.502	24.2995	-58.5725	24.4161	-58.4559	24.5055	-58.3665
4. 서산 27	-87.048	22.579	-64.469	22.8163	-64.2317	22.7338	-64.3142	23.4328	-63.6152
5. 상주 23	-80.483	27.444	-53.040	27.3085	-53.1745	27.5633	-52.9197	27.4526	-53.0304
6. 영주 23	-82.308	27.953	-54.355	28.0153	-54.2927	27.9596	-54.3484	25.8680	-54.4400
7. 금산 24	-81.302	25.392	-55.909	25.7558	-55.5462	25.6914	-55.6106	26.1049	-55.1971
8. 조치원	-84.127	25.498	-58.629	25.0275	-59.0995	25.3089	-58.8181	25.3010	-58.8260
9. 공주 22	-83.905	25.027	-58.878	24.8430	-59.0620	24.8724	-59.0326	25.2290	-58.6760
10. 대전 12	-82.430	25.288	-57.142	25.7196	-56.7104	25.9250	-56.5050	25.3298	-57.1002
11. 논산 21	-82.572	24.598	-57.974	24.7397	-57.8323	24.9142	-57.6578	24.5145	-58.0575
12. 속리산	-82.217	26.460	-55.757	26.6529	-55.5641	26.8459	-55.3711	26.8492	-55.3678
13. 의성 25	-78.897	28.244	-50.653	28.5238	-50.3732	28.5852	-50.3118	28.9316	-49.9654

표 6. 보간방법별 좌표변환 정확도

지오이드고 산정방법	위도(초)	경도(초)	고도(m)
GPS/leveling	± 0.014121	± 0.006949	± 0.005875
Bi-linear 보간법	± 0.014119	± 0.006952	± 0.464820
삼각보간법	± 0.014101	± 0.006950	± 0.301178
곡면다항식 보간법	± 0.014087	± 0.006950	± 0.242760

다항식방법의 경우는 곡면다항식을 구성, 차수별 정확도를 비교하므로써 최적의 차수를 결정하고 이에 따른 다항식계수를 산출하여 지오이드고를 산정하였다. 3차의 경우가 적합도 0.98, 상관계수 0.99로 가장 양호하였으며, 곡면다항식 계수는 표 3과 같이 획득되었다.

보간에 사용된 기준점과 미지점간의 평균간격은 약 20 km이며, 보간결과는 표 4와 같이 3가지 보간방법 모두 평균 20 cm 정도로 GPS/leveling 결과와 차이를 나타냈다.

4.3 지오이드고에 따른 좌표변환의 정확도 분석

지오이드고의 정확도가 경 위도의 좌표변환에 미치는 영향을 살펴보기 하여 표 5와 같이 수준점의 WGS 84 지오이드고로부터 삼각점의 N_w 값을 보간방법별로 산출하고 천문점의 연직선 편차에 대한 곡면다항식의 최소제곱 해법으로 구한 타원체간 높이차(ΔH)를 고려하여 Bessel 지오이드고(N_B)를 계산, 7-매개변환 기법에

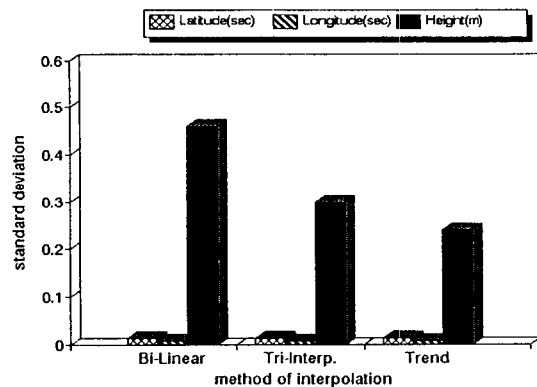


그림 6. 보간방법에 따른 좌표변환의 정확도 비교

의한 좌표변환을 수행하였다.⁹⁾

그 결과 고도에 대한 변환정확도는 표 6, 그림 6과 같이 곡면다항식 보간법, 삼각보간법, Bi-linear 보간법의 순으로 결정된 반면, 경 위도에 있어서는 3가지 보간방법 모두 동일한 정확도로 변환되어 경 위도의 변환정확도가 고도성과의 정확도에 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있었다.

4.4 좌표변환에 의한 수준점의 정표고 분석

천문관측이 수행된 삼각점 13점의 Bessel과 WGS 84 경 위도 및 고도 성과를 이용하여 7-매개변환기법에 의해 산출된 좌표변환계수와 변환정확도는 표 7과 같다.

표 7. 삼각점에 대한 GPS 측량성가로 도출된 좌표변환계수와 변환정확도 (WGS84 to Bessel)

ΔX	ΔY	ΔZ	ω	ϕ	κ	S
122.580	-475.204	-678.272	-2.377	-2.896	1.592	0.999994816
<변환정확도> 위도:±0.041" 경도:±0.00695" 고도:±0.006 m						

표 8. 12개 미지점에 대한 좌표변환 결과와 기존의 정표고성과 간의 편차 (단위: m)

측점명	변화된 정표고	기존성과	편차
영주 BM	149.1010	148.60606	0.495
조치원 BM	25.4649	25.6160	0.151
논산 BM	18.4722	18.2412	0.231
부여 BM	28.2226	28.1650	0.058
음성 BM	144.5606	144.5670	0.006
예산 BM	25.3502	25.7070	0.357
김천 BM	108.5773	108.0288	0.549
군위 BM	98.6300	98.4140	0.216
영일 BM	210.0988	209.8690	0.230
영양 BM	267.9788	267.7520	0.227
단양 BM	454.8873	454.5520	0.335
영동 BM	159.0102	158.4440	0.566
평균			0.285

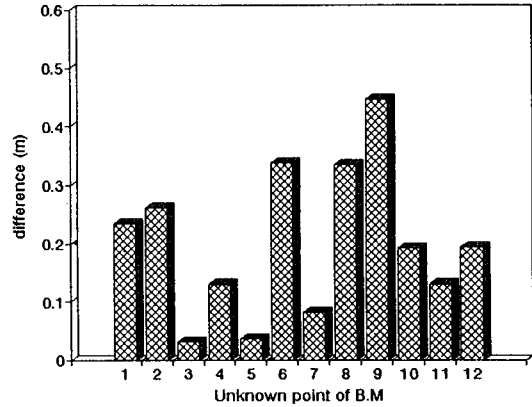


그림 7. 수준점에서 도출한 7 매개변수를 적용하여 산정한 정표고와 기존성과의 비교 결과

가져왔다. 표 10과 그림 7은 이를 나타낸 것이다.

5. 결 론

보간방법에 따른 WGS 84 지오이드고를 산출하고 이를 좌표변환에 적용하여 변환정확도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 적용한 보간방법으로 측점 간격 약 20 km에서 WGS 84 지오이드고를 평균 20 cm의 편차로 보간할 수 있었다.

우리나라의 중위권 지역에서 보간방법별로 산출한 지오이드고를 좌표변환에 적용한 결과, 고도 변환의 정확도에는 다소 차이가 있었으나 경 위도의 변환정확도는 동일하게 나타나므로써 고도성과의 정확도가 경 위도의 좌표변환에 큰 영향을 미치지 않음을 입증할 수 있었다. 이러한 사실에 근거하여 삼각점에 대한 GPS 측량결과

표 9. 수준점 성과로부터 7-매개변환기법에 의해 산출된 좌표변환계수와 변환정확도

ΔX	ΔY	ΔZ	ω	ϕ	κ	S
143.664	-479.581	-655.971	-2.741	-2.135	2.135	0.999994774
<변환정확도> 위도:±0.000056" 경도:±0.000062" 고도:±0.169 m						

표 10. 수준점의 표고를 조합하여 재도출한 변환계수에 의한 변환결과와 기존성과간 편차

측점명	변화된 정표고	기존성과	편차
영주 BM	148.8397	148.6060	0.234
조치원 BM	25.3545	25.6160	0.262
논산 BM	18.2096	18.2412	0.032
부여 BM	28.0338	28.1650	0.131
음성 BM	144.5315	144.5670	0.036
예산 BM	25.3705	25.7070	0.337
김천 BM	108.1103	108.0288	0.082
군위 BM	98.0799	98.4140	0.334
영일 BM	209.4233	209.8690	0.446
영양 BM	267.5596	267.7520	0.192
단양 BM	454.6819	454.5520	0.130
영동 BM	158.6383	158.4440	0.194
평균			0.190

로부터 도출된 변환계수를 적용, 수준점의 Bessel 경 위도를 산출하고 수준점의 표고 성과와 조합하여 좌표변환을 수행하므로써 수준점의 정표고 결정 정확도를 향상시킬 수 있었다. 앞으로 우리나라 전역을 대상으로 하는 지오이드고 모델의 구축과 정확도 향상방안의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 : 93-08-00-05)의 일부로써 연구수행에 도움을 주신 한국과학재단에 깊이 감사드립니다.

参考文献

- 강준목, 박운용, 김홍진, 최종현, "GPS/leveling 기법과 연직선편차를 이용한 Bessel 지오이드고 산정에 관한 연구", 대한토목학회논문집, 제15권, 제4호, 1995, pp. 945-952.
- 신봉호, 강준목, 김홍진, 최종현, "좌표변환의 정확도 향상을 위한 Bessel 지오이드고에 관한 연구", 한국지형공간학회논문집, 제2권, 제2호, 1994, pp.143-151.
- 강준목, 이용창, 박필호, "GPS에 의한 정밀 3차원 지형 정보 획득", 한국측지학회지, 제11권, 제2호, 1993, pp. 27-34.
- 박필호, 한인우, 김천휘, 강준목, "GPS 측지기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권, 제1호, 1991, pp.37-45.
- Alfred Leick, "GPS SATELLITE SURVEYING", 1995, 476-485.
- A H Dodson, "The status of GPS for height determination", International Federation of Surveyors, XX congress, Commission 5, 1994, pp.TS 501.1/1-505.1/13.
- W.E. Featherstone and K. Alexander, "An analysis of GPS heighting in western Australia", International Federation of Surveyors, XX congress, Commission 5, 1994, pp.SGS 552.4/1-552.4/10.
- Jerome Fiedler, "Orthometric heights from Global Positioning System", Journal of Surveying and Mapping, Vol.118, No.3, 1992, pp.70-79.
- Costel Costineanu, "The combination of GPS-measurements and terrestrial measurements with regard to the height problem", M.S, 1991, pp.60-95.
- Defense Mapping Agency, "Department of Defense World Geodetic System 1984", 1991.
- Takao Tabei, "Geoid undulation differences in Shikoku region, southwest Japan, determined by GPS measurement and leveling", Journal of Geophysical Research, Vol.95, No. B13, 1990, pp.21,885-21,911.
- Liddle, Donn Aaron, "Testing a Global Positioning System orthometric height determination algorithm", M.S, 1989, pp.44-53.
- Soler, T. Carison, Jr., A.E., and Evans, A.G., "Determination of Vertical Deflections Using the Global Positioning System and Geodetic Leveling", Journal of Geophysical Letter, Vol.16, No.7, 1989, pp.695-698.
- P.Vanicsek and C.L.Merry, "Determination of geoid from deflections of the vertical using a least-squares surface fitting technique", Journal of Bulletin Geodesique, No. 109, 1973, pp.261-279.
- John C. Davis, "Statistics and Data Analysis in Geology", 1973, pp.298-430.