

1, 2등 수준노선에서 GPS 측량에 의한 기하학적 지오이드고의 계산 Calculation of Geometric Geoidal Height by GPS Surveying on 1st and 2nd order Benchmark Line

이석배¹⁾ · 김진수²⁾ · 김철영³⁾ · 권재현⁴⁾

Lee, Suk Bae · Kim, Jin Soo · Kim, Cheol Young · Kwon, Jay Hyoun

Abstract

In geoid modelling field, it is very important the GPS/leveling data because it could be check-out the accuracy of gravimetric geoid and computed the hybrid geoid. In this study, GPS surveying was accomplished in the test area including mountainous area to improve the GPS/leveling data density in Korea. And the geometric geoidal heights was calculated using the GPS/leveling data in the test area and the accuracy of the geoidal heights was analyzed. For this study, GPS surveying was accomplished on the 211 1st and 2nd order benchmarks in Gyeongbuk province and 198 GPS/leveling data were achieved after both baseline analysis and network adjustment. Geometric geoidal heights were calculated using these 198 GPS/leveling data and the accuracy analysis was done by comparison with the geoidal heights from EGM2008 geopotential model. The results showed that the bias and standard deviation computed from 190 GPS/leveling data after gross removal was $-0.185 \pm 0.079\text{m}$. And also, the accuracy analyses according to the benchmark order, baseline length, and altitude were accomplished.

Keywords : GPS/leveling, Geometric geoidal height, EGM2008, Benchmark

초 록

지오이드 모델개발에 있어서 GPS/leveling 자료는 중력지오이드의 검증이나 합성지오이드의 계산에 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 우리나라 GPS/leveling 자료의 배점밀도를 개선하기 위하여 산악지역을 포함하는 연구대상지역에서 직접 GPS측량을 실시하고, 이를 처리하여 산정된 기하학적 지오이드고의 정확도를 분석하였다. 이를 위해 경북지역 내의 1등 및 2등 수준노선을 대상으로 총 211개소의 GPS/leveling 자료를 취득하고, 기선해석 및 망조정을 통해 198개소의 GPS/leveling 자료를 결정하였다. 이 198개소의 자료에 의한 기하학적 지오이드고는 EGM2008 모델에 의한 지오이드고와의 교차분석을 통해 그 정확도를 분석하였다. 그 결과 정규분포에 따른 과대오차 소거 후 190개소 자료에 대한 정확도는 $-0.185 \pm 0.079\text{m}$ 로 나타났고, 이를 이용하여 수준점 등급, 기선길이, 그리고 표고에 따른 정확도를 분석하였다.

핵심어 : GPS/leveling, 기하학적 지오이드고, EGM2008, 수준점

1. 서 론

최근 GPS 기술의 발달과 더불어 이를 이용한 측지학 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 GPS 측량에 의해 기존의 측량방법으로는 측정이 어려웠던 타원체고

(h)의 결정이 가능해짐으로 인해 기존 수준점에서의 GPS 측량을 통한 기하학적 지오이드고(N) 결정을 가능하게 하였다. 이는 주로 중력이상 자료를 이용하여 지오이드 기복(geoid undulation) 등을 연구하던 물리학적 측지학의 전통적 방법과 대비된다. 오늘날과 같이 GPS 측

1) 정희원 · 진주산업대학교 토목공학과 부교수(E-mail : sblee@jinju.ac.kr)
2) 교신저자 · 정희원 · 부경대학교 건설공학부 공학박사(E-mail : pksurveying@pknu.ac.kr)
3) 정희원 · 진주산업대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : fired2@hanmail.net)
4) 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수(E-mail : jkwon@uos.ac.kr)

량이 활성화되고 있는 시점에서 GPS/leveling 자료를 이용한 정밀 지오이드의 결정과 검증에 관한 연구가 측지학 분야에서 활발히 이루어지고 있다.

GPS에 의하여 결정되는 높이는 WGS84 타원체를 기준한 높이이며, 정표고(H)는 등중력포텐셜면의 하나인 지오이드를 기준한 것이다. 즉 각 지역의 정확한 지오이드는 정표고의 결정에 있어서 GPS 기술을 효과적으로 운용할 수 있게 한다. GPS 측량에 의한 타원체고의 측정 정밀도는 수 cm 이하의 고정밀도에 달하는 반면(Leick, 1995), 정표고 결정에 필요한 지오이드의 계산은 이상적으로는 전 지구상에 걸친 중력 자료로부터 계산되어야 하는 어려움이 있다(원지훈, 2004). 따라서 많은 국가들이 수 cm 정확도의 정밀 지오이드 모델을 개발하기 위해 각 나라의 중력측정자료와 인공위성 자료들을 합성한 지구중력장 모델을 개발해 오고 있다. 최근에는 초고차항 정밀 지구중력장 모델인 EGM2008 모델이 소개된 바 있다(Pavlis 등, 2008).

이러한 지구중력장 모델과 연구 지역 일원의 중력 자료 등을 복합적으로 사용하여 정밀 지오이드를 계산할 수 있으며, 이는 GPS/leveling에 의한 기하학적 지오이드에 의해 검증된다(Featherstone, 2001; Kuroishi, 2001). 뿐만 아니라, 고정밀 지오이드 모델 결정에 있어서 GPS/leveling 자료는 최적 지구중력장 모델의 검증, 계산된 중력지오이드의 정확도 분석, 그리고 지역적 수직기준으로의 적합(fitting)을 통한 합성 지오이드(hybrid geoid) 계산 등에 다각적으로 활용 가능한 매우 중요한 요소이다.

국내외적으로 GPS/leveling 자료의 활용에 관련한 연구는 광역 지오이드와 중력 지오이드의 정확도 분석 등에 관련해서 중점적으로 이루어졌다.

Choi and Lee(1997)와 이석배 등(2004)은 수준점에서의 GPS 관측을 통한 기하학적 지오이드고를 산출하고 광역 및 지역 지오이드 모델의 정확도를 평가하였고, 윤희식 등(2005)은 중력지오이드와 GPS/leveling에 의한 기하학적 지오이드간의 보정항을 LSC 기법을 이용하여 계산하고, 이를 적용하여 지오이드 모델의 정확도를 개선하였다. 이석배 등(2008)은 2008년 NGA에 의해 소개된 바 있는 고정밀 지구중력장 모델인 EGM2008 모델의 우리나라에의 적합성을 기존의 지구중력장 모델과 비교하는 연구를 수행하였고, 이 때 약 516개소의 GPS/leveling 자료에 의한 기하학적 지오이드간와의 교차분석을 수행하여 결과를 도출하였다. 그러나 지금까지 국내에서 활용

된 바 있는 GPS/leveling 자료는 직접관측에 의하여 획득한 것이 아니고, 국토지리정보원과 민간기업 등에서 과거에 수행했던 GPS측량자료를 수집한 것이었다 따라서 원시자료까지 확보된 것이 아니어서 원시자료의 재처리에 의한 GPS/leveling 자료의 정확도 검증이 불가능하고 측정기관에 따른 미소한 편차를 보정하기 어려운 점이 있었다. 또한 기준에 수집된 대부분의 자료가 평지에 분포하고 있어서 배점밀도를 분석해 보면 경북 및 강원지역과 같은 산악지의 GPS/leveling 자료가 매우 부족한 실정이었다. 따라서 정밀 지오이드고 모델 개발에 있어서 GPS/leveling자료의 효용성을 높이기 위해서는 원시자료와 배점밀도의 균질성 확보 차원에서 산악지역의 GPS/leveling 자료의 취득이 꼭 필요하다는 것을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 GPS/leveling자료의 원시자료의 확보와 배점밀도의 개선을 위하여 경북지역을 중심으로

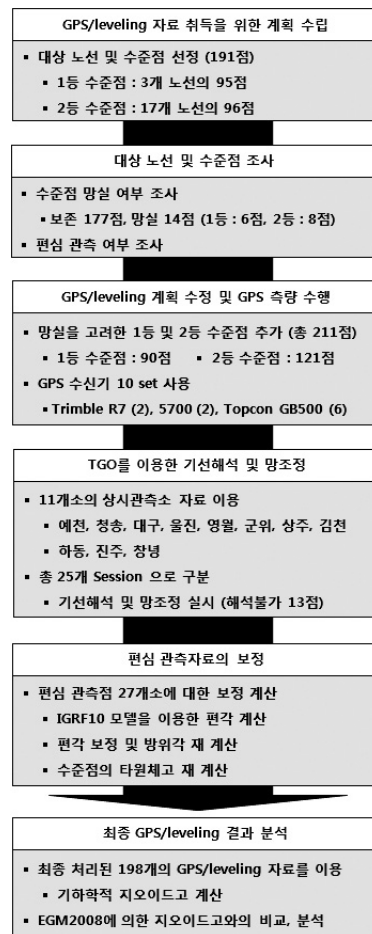


그림 1. 연구 흐름도

산악지역을 포함하는 연구대상지역을 설정하고, 연구대상지역 내의 1, 2등 수준점을 대상으로 GPS측량을 실시하였다. 아울러 측량한 결과를 처리하여 197의 GPS/leveling자료를 취득할 수 있었으며, 이에 의한 기하학적 지오이드고의 계산과 표고에 따른 기하학적 지오이드고의 정확도의 차이를 분석할 수 있었다. 본 연구에서 수행된 연구과정을 흐름도로 나타내면 그림 1과 같다.

2. 기본이론

2.1 높이 체계

지표면의 높이 결정은 그림 2와 같이 측점간의 높이차 δH_{AB} 를 결정하는 것이다(Hofmann and Moritz, 2005). 그러나 어느 폐합 수준노선을 따라 수준측량을 실시하였을 경우 아무리 정밀한 관측을 실시하여도 높이에 관련한 모든 관측값의 대수합은 0이 되지 않는다.

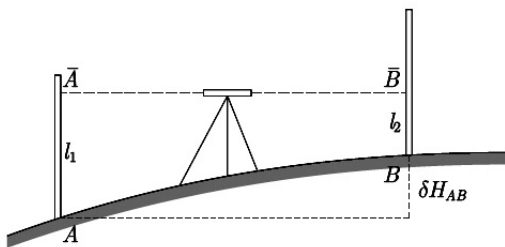


그림 2. 수준의에 의한 직접 수준측량

높이의 결정은 각 측점간의 높이 차이만을 고려하는 간단한 문제가 아니라, 그림 3과 같은 기하학적 원리로 설명될 수 있다(Hofmann and Moritz, 2005). 그림 3에서 점 A와 B가 멀리 위치한 경우 두 점 사이에서 관측된 고저차의 합은 점 A와 B에서의 정표고(orthometric height)인 H_A 와 H_B 간의 차이와 동일하지 않다. 이는 수준면의 비평형(nonparallelism)으로 인해 높이차의 증가량(δn)이 H_B 에 대응하는 증가량(δH_B)와 차이를 보이기 때문

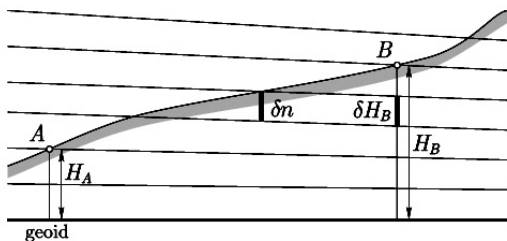


그림 3. 수준측량과 정표고의 관계

이다.

점 A와 B에서 중력을 측정할 경우, 두 점간의 포텐셜의 증가량(δW)을 결정할 수 있고, 이로 인해 식 (1)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$W_B - W_A = - \sum_A^B g \delta n \quad (1)$$

이상과 같이 수준면의 비평형으로 인해 발생하는 고저차의 증가량(δn)은 중력측량에 의한 포텐셜 차이에 의해 계산될 수 있으며, 이러한 증가량을 보정함으로써 정확한 정표고를 산정할 수 있다.

우리나라 수준점의 경우 수준점에의 실측에 의한 중력이 아닌 계산된 정규중력에 의한 보정량을 보정한 정규정표고(normal orthometric height)를 사용해 왔다.

2.2 GPS/leveling

GPS는 최근 사용의 편의성과 고정밀도의 장점으로 인해 다양한 분야에서 응용되고 있다. 특히 높이 결정에 있어서 직접 수준측량을 대신할 수 있는 기술로의 발전을 도모하고 있으며, 이를 위해 각 국가별로 고정밀 지오이드 모델을 개발하고 있는 실정이다.

이러한 기본적 개념은 그림 4에 나타난 것과 같이 직접 수준측량에 의하여 정표고(H)가 결정된 수준점에서 GPS 측량을 통하여 매우 정확한 타원체고(h)를 결정하고, 식 (2)에 의해 지오이드고(N)를 산정하는 것이다.

$$H = h - N \quad (2)$$

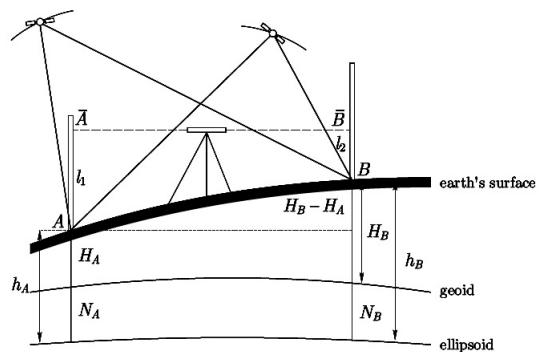


그림 4. GPS/leveling 개요도

또한 신뢰할 수 있는 지오이드 모델이 존재하는 지역 내 임의의 한 점에서 GPS 측량에 의한 타원체고(h)를 결

것이고, 가시위성의 확보가 어려워 대상 수준점 정위치에서의 GPS 측량이 불가능하여 해당 수준점 주위의 편심위치에서 GPS 측량을 수행하는 모습은 그림 7과 같다.



그림 6. 수준점에서의 GPS 측량 모습



그림 7. 편심위치에서 GPS 측량 모습

표 1. 본 연구에 사용된 GPS 장비 제원

Receiver	Accuracy (static surveying)	Antenna type
Trimble	R7H : $\pm(5\text{mm}+0.5\text{ppm}*\text{L})$	Zephyr
	V : $\pm(5\text{mm}+1.0\text{ppm}*\text{L})$	Zephyr Geodetic
Trimble 5700	H : $\pm(5\text{mm}+0.5\text{ppm}*\text{L})$	Zephyr Geodetic
	V : $\pm(5\text{mm}+1.0\text{ppm}*\text{L})$	
Topcon GB500	H : $\pm(3\text{mm}+0.5\text{ppm}*\text{L})$	TPSPG_A1
	V : $\pm(5\text{mm}+0.5\text{ppm}*\text{L})$	

본 연구에서 GPS 측량을 위한 장비로는 Trimble사에서 제조한 R7 수신기 2대, 5700 수신기 2대, 그리고 Topcon사에서 제조한 GB500 수신기 6대로 총 10대를 사

용하였으며, 각 수신기의 제원은 표 4와 같다. 또한 편심 관측점의 위치를 보정하기 위한 장비로는 Sokkia사의 SET330R 토탈스테이션을 사용하였다.

수준점을 대상으로 취득된 GPS 원시자료는 각 수신기 제조사의 프로그램을 이용하여 RINEX 파일로 변환한 후, TGO(Trimble Geomatics Office) 프로그램을 이용하여 모든 GPS 자료에 대한 기선해석 및 망조정을 실시하였다.

기선해석 및 망조정은 대상 수준점 주변의 11개소의 상시관측소 자료를 기준으로 총 25개 세션으로 구분하여 해석하였고, 표 5와 같이 각 세션별로 가장 근접한 상시관측소 3개소 자료를 기준으로 해석하였다. 또한 기선 해석에 있어서 IGS에서 제공하는 정밀궤도력(precise ephemeris)을 모든 세션에 적용하여 처리하였다.

표 5. 자료처리를 위한 각 세션별 해당 상시관측소

구분	세션 수	해당 상시관측소
1	3	예천, 청송, 대구
2	4	울진, 청송, 예천
3	5	울진, 예천, 영월
4	4	군위, 예천, 영월
5	4	군위, 상주, 영월
6	4	김천, 군위, 대구
7	1	하동, 진주, 창녕
계	25	-

취득된 GPS 자료 중 하나 세션의 기선처리 및 망조정 결과는 그림 8과 같고, 취득된 총 211개소의 자료 중 해석이 불가능한 13개소의 자료를 제외한 최종 198개소의 해석이 완료되었다. 해석이 불가능한 13개소 자료는 해석 당시 Ratio, 분산, RMS 등의 초과, 수신 상태의 불량, 가시 위성수의 부족, 관측 시 측량자의 부주의 등에 기인한 것으로 분석되었다.

3.3 편심관측 자료의 보정

자료처리 단계를 거쳐 취득된 최종 GPS 측량 성과는 정위치 171개소, 편심관측 위치 27개소로 구분된다. 즉 대상 수준점 상에서 관측된 자료의 경우 망조정에 의한 성과를 그대로 사용할 수 있지만, 편심관측 위치에서 관측된 자료는 그림 9와 같이 정위치와 편심위치 간의 기

표 3. 211점의 GPS측량점 현황

환 노선		수량	정위치 관측점	편심 관측점
1등	14노선	37점	교 BM07, 14-01-00, 14-01-01, 14-03-00, 14-05-00, 14-06-00, 14-07-00, 14-08-00, 14-09-00, 14-11-00, 14-12-00, 14-13-00, 14-14-00, 14-15-00, 14-16-00, 14-17-00, 14-18-00, 14-19-00, 14-20-00, 14-21-00, 14-22-00, 14-23-00, 14-26-00, 14-27-00, 14-28-00, 14-30-00, 14-31-00, 14-32-00, 14-33-00, 14-34-00, 14-35-00, 교 BM10	14-00-00 14-02-00 14-04-00 14-10-00 14-25-00
	18, 12노선	30점	18-01-00, 18-02-00, 18-03-00, 18-05-00, 18-06-00, 18-07-00, 18-09-00, 18-10-00, 18-11-00, 18-12-00, 18-13-00, 18-14-00, 18-15-00, 18-16-00, 18-18-00, 18-19-00, 18-20-00, 18-21-00, 18-22-00, 18-23-00, 18-25-00, 18-26-00, 18-27-00, 18-30-00, 18-31-00, 12-40-00	18-17-00 18-24-00 18-29-00 교 BM11
	19노선	23점	19-01-00, 19-05-00, 19-06-00, 19-08-00, 19-09-00, 19-10-00, 19-11-00, 19-12-00, 19-13-00, 19-14-00, 19-15-00, 19-17-00, 19-18-00, 19-19-00, 19-20-00, 19-21-00, 19-22-00, 19-23-00.	19-02-00 19-03-00 19-07-00 19-16-00 교 BM12
2등	4환 57, 17, 21노선	32점	04-02-05-03, 04-02-05-08, 04-02-05-11, 04-02-05-14, 04-02-05-16, 04-02-05-20, 04-02-05-22, 04-02-07-01, 04-02-07-07, 04-02-07-08, 04-02-07-11, 04-09-00-00, 04-09-17-02, 04-09-17-03, 04-09-17-05, 04-09-17-08, 04-09-17-09, 04-09-17-12, 04-09-17-13, 04-09-17-14, 04-09-17-15, 04-09-17-16, 04-09-17-19, 04-09-17-20, 04-09-17-21, 04-09-21-01, 04-09-21-02, 04-09-21-03	04-02-05-02 04-02-05-06 04-02-05-12 04-02-07-03
	5환 9, 11, 12, 13, 19, 20, 22, 24, 26노선	66점	05-12-24-09, 05-12-24-07, 05-12-24-06, 05-12-24-05, 05-12-24-03, 05-12-24-02, 05-12-26-01, 05-12-26-04, 05-12-26-05, 05-12-26-07, 05-12-26-08, 05-12-26-09, 05-12-26-14, 05-12-26-22, 05-12-26-23, 05-09-19-06, 05-09-19-05, 05-09-19-04, 05-09-19-03, 05-09-19-02, 05-09-19-01, 05-09-00-00, 05-10-20-13, 05-10-20-10, 05-10-20-08, 05-10-20-05, 05-10-20-04, 05-10-20-02, 05-10-20-01, 05-03-13-10, 05-03-13-08, 05-03-13-03, 05-03-13-01, 05-03-00-00, 05-01-00-00, 05-01-09-01, 05-01-11-02, 05-01-11-03, 05-01-11-05, 05-01-11-06, 05-01-11-07, 05-01-11-08, 05-01-11-13, 05-02-00-00, 05-02-12-02, 05-02-12-05, 05-02-12-07, 05-02-12-11, 05-02-12-13, 05-02-12-14, 05-02-12-15, 05-11-22-14, 05-11-22-15, 05-11-22-17, 05-11-22-23, 05-11-22-25, 05-11-22-27, 05-11-22-28	05-12-26-10 05-10-20-12 05-10-20-06 05-01-11-01 05-01-11-10 05-02-12-09 05-11-22-18 05-11-22-19
	7환 6, 8, 19, 23노선	19점	07-03-08-01, 07-03-08-03, 07-03-08-05, 07-03-08-07, 07-03-08-09, 07-03-08-11, 07-03-08-13, 07-10-00-00, 07-10-19-02, 07-10-19-04, 07-20-00-00, 07-20-23-02, 07-20-23-04, 07-20-23-06, 07-20-23-08, 07-20-23-12, 07-20-23-13	07-03-06-02 07-20-23-10
	15환 4노선	4점	15-02-04-17, 15-02-04-24, 15-02-04-27, 15-02-04-31	-
총계	211점	183점	28점	

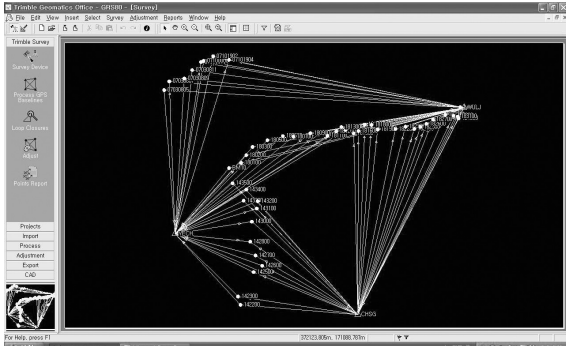


그림 8. TGO에 의한 GPS 망조정 결과 모습

하학적 위치관계를 계산하여 이를 고려해야만 한다.

이를 위하여 먼저 토탈스테이션 측량에 의해 편심 관측된 수준점의 자북방위각(W_{BM}), 수평거리(l_{BM})와 편심 위치의 GPS 관측점의 자북방위각(W_{GPS}), 수평거리(l_{GPS})를 이용하여 수준점과 GPS 관측점간의 거리와 자북방위각을 결정하게 된다. 그리고 GPS 관측점에서의 편각(D)을 계산하게 되면, GPS 관측점과 수준점을 연결하는 측선의 진북방위각을 결정할 수 있고, 수준점의 최종 수평위치 및 타원체고를 결정할 수 있게 된다.

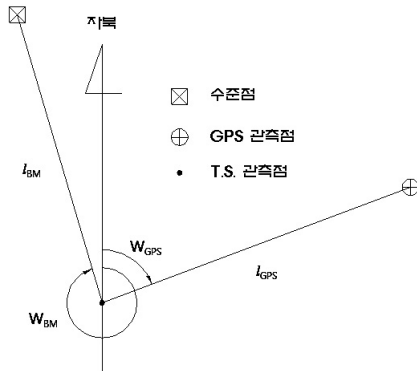


그림 9. 편심관측 개요도

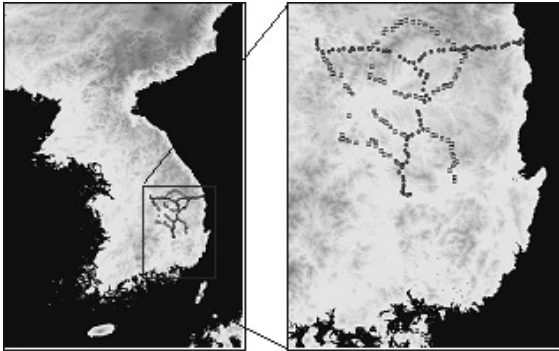
본 연구에서는 주어진 위치와 시간에서의 지구자기장의 편각, 복각 등을 계산할 수 있는 수학적 모델인 IGRF(International Geomagnetic Reference Field) 모델 중 2005년에 발표된 10세대 IGRF 모델인 IGRF10을 이용하여 구면조화분석을 실시하고, 편심 관측된 위치에서의 편각을 결정하였다. IGRF10은 최대차수 10 또는 그 이하였던 이전의 모델에 비해 최대차수 13의 모델이며, IGRF10 모델과 처리 및 분석에 관련한 것은 NGDC(National Geophysical Data Center)에 의해 제공되

표 6. 편심관측 보정 결과

No.	수준점	위도	경도	타원체고
1	04-02-05-02	36.2481	128.9033	375.236
2	04-02-05-03	36.2245	128.8997	395.597
3	04-02-05-06	36.1776	128.9022	525.656
4	04-02-05-12	36.1083	128.9195	184.061
5	05-01-11-01	36.2855	128.1155	129.842
6	05-01-11-10	36.2437	128.3001	80.524
7	05-02-12-09	36.1656	128.4510	78.400
8	05-10-20-06	36.6599	128.1278	138.685
9	05-10-20-12	36.7457	128.0474	402.845
10	05-11-22-18	36.4061	128.4143	92.100
11	05-11-22-19	36.3959	128.4269	84.837
12	05-12-26-10	36.7399	128.3129	282.801
13	07-03-06-02	36.9495	128.3333	175.579
14	07-20-23-10	36.9846	128.8728	425.269
15	14-00-00	35.8855	128.5822	60.739
16	14-02-00	35.9213	128.5489	59.540
17	14-04-00	35.9837	128.5536	103.697
18	14-10-00	36.1570	128.5872	127.661
19	14-25-00	36.5493	128.7084	120.005
20	18-17-00	36.9466	129.0795	511.778
21	18-29-00	36.9725	129.3493	65.266
22	19-02-00	36.8459	128.5570	199.444
23	19-03-00	36.8710	128.5247	236.528
24	19-07-00	36.9078	128.4314	651.214
25	19-16-00	36.9122	128.1642	295.235
26	교BM11	36.9924	129.4009	39.777
27	교BM12	36.9899	127.9268	115.124

고 있다 (<http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html>).

표 6은 편심관측 위치 27개소에서 편각을 계산하고, 이를 보정한 결과를 나타낸 것이며, 그림 10은 최종적으로 결정된 198개소의 GPS/leveling의 분포를 각 노선별로 표현한 것이다.



● : 1등 수준노선 ■ : 2등 수준노선

그림 10. 최종 190개소의 GPS/leveling 분포도

4. GPS/leveling 자료의 정확도 분석

최종적으로 계산된 GPS/leveling 자료는 기존 수준점의 정표고(H)와 GPS 측량으로 결정된 타원체고(h)를 포함하며, 이로 인해 기하학적 지오이드고(N) 계산이 가능하다.

GPS/leveling 자료의 정확도는 기하학적 지오이드고의 정확도를 의미하며 일반적으로 지구중력장 모델에 의한 지오이드고와 GPS/leveling에 의한 기하학적 지오이드고 간의 교차분석에 의해 수행된다. 본 연구에서는 우리나라에의 적합성이 높은 것으로 소개된 바 있는 초고차항 지구중력장 모델인 EGM2008 모델에 의한 지오이드고와의 교차분석을 통해 취득된 GPS/leveling 자료의 정확도를 분석하였다.

4.1 EGM2008 모델에 의한 구면조화분석

EGM2008은 EGM96을 대체하기 위하여 미국 NGA(National Geospatial-Intelligence Agency)가 개발한 지구중력장모델로서 구면조화차수를 2160차수까지 해석 가능하게 한 초고차항 지구중력장 모델이다(Pavlis 등, 2008).

EGM2008 모델 개발에는 전세계에서 수집된 지상중력자료와 GRACE 위성자료를 이용되었고, 전세계의 GPS/leveling 자료와 천문측량 자료, 5' × 5' 격자간격의 잔여중력이상과 TOPEX 위성고도자료, GRACE KBBR 자료 등으로 정확도 평가를 수행하였다.

EGM2008 모델의 구면조화분석 결과를 등고선도로 나타내면 그림 11과 같다(이석배 등, 2008).

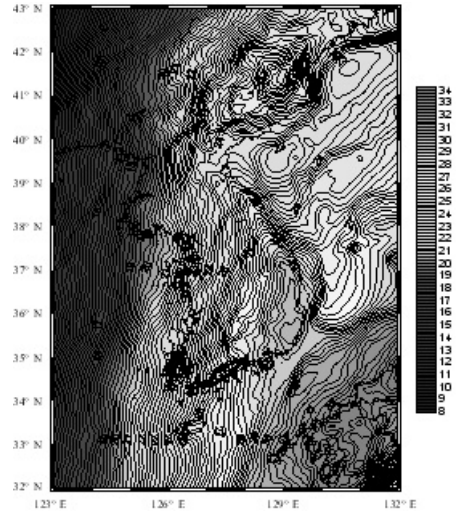


그림 11. EGM2008에 의한 지오이드고 분포

4.2 기하학적 지오이드고의 산정

연구대상지역에서 관측을 통해 결정된 198개소의 GPS/leveling 자료를 이용하여 기하학적 지오이드고를 계산한 결과, 연구대상지역의 지오이드고는 약 26.180m~29.553m의 분포를 나타내었다. 그림 12는 거제도 지역의 4개소를 제외한 194개소의 기하학적 지오이드고를 이용하여 생성시킨 등고선도를 나타낸 것이다. 기하학적 지오이드고 계산에 사용된 수준점 성과는 1등 수준점은 새로 고시된 국토지리정보원의 신성과를 사용하였다.

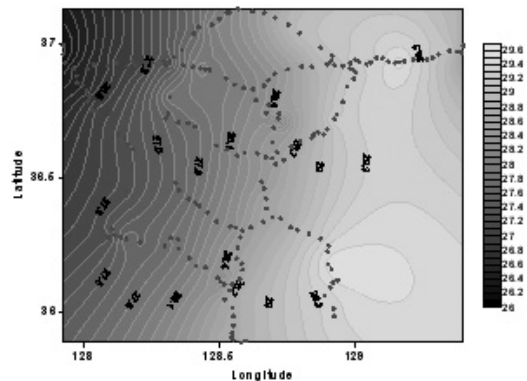


그림 12. 대상 수준노선의 기하학적 지오이드고 분포

4.3 정확도 분석

기하학적 지오이드고의 정확도 분석을 위해 GPS/leveling 자료에 의한 기하학적 지오이드고(N_{GPS})와 EGM2008 모델에 의한 지오이드고($N_{EGM2008}$)간의 교차분석을 실시하였다. 교차분석 결과 $\pm 1.96\sigma$ 를 초과하는 95% 신뢰도를 벗어나는 값을 과대오차(gross error)로 간주하였다.

198개소의 자료를 이용하여 교차분석을 실시한 결과, 최대 0.715m, 최소 -9.915m, 평균 -0.239m, 그리고 표준편차 $\pm 0.702m$ 로 나타났다. 또한 표 8과 같이 198개소의 자료 중 EGM2008 모델로부터 구한 지오이드고와의 차이가 정규분포에 따라 95%신뢰도($\pm 1.96\sigma$) 이상의 값을 나타내는 1개소의 자료는 과대오차로 간주하여 제거하여 최종적으로 197개소의 GPS/leveling 자료를 확보할 수 있었다.

표 8. 198개소 자료 중 과대오차($\pm 1.96\sigma$)를 나타내는 수준점 현황 (단위 : m)

수준점명	타원체고	표고	NGPS	NEGM2008	NGPS-NEGM2008	비고
07-09-17-20	240.701	221.704	18.997	28.912	-9.915	정위치

따라서 최종적으로 얻어진 95% 신뢰도 이내의 데이터 수는 197개이며, 이들의 교차는 최소 -0.931m에서 최대 0.715m까지 분포하는 것으로 나타났으며 평균값과 표준편차는 $-0.190 \pm 0.124m$ 로 나타났다. 표 9는 1개소의 과대오차 제거 전후의 교차분석 통계치를 나타낸 것이다.

표 9. 과대오차 제거 전후의 통계치(단위 : m)

구분	NGPS-NEGM2008			
	Max.	Min.	Mean	Std.Dev.
과대오차 제거 전 (198점)	0.715	-9.915	-0.239	± 0.702
과대오차 제거 후 (197점)	0.715	-0.931	-0.190	± 0.124

그림 13은 197개소의 GPS/leveling 자료에 의한 지오이드고와 EGM2008 모델에 의한 지오이드고간의 상관성을 그래프로 나타낸 것이다.

또한 총 197개소의 자료를 1등, 2등 수준점으로 구분

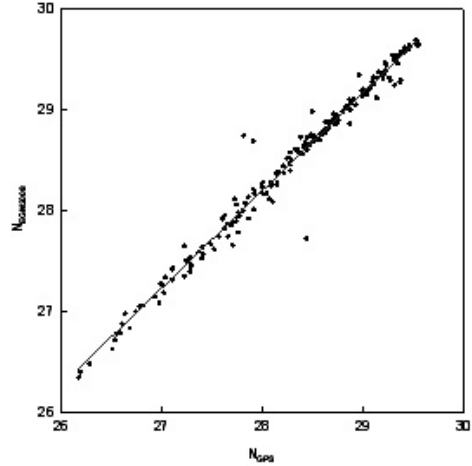


그림 13. NGPS와 NEGM2008간 상관 그래프

하여 교차분석을 실시한 결과, 표 10과 같이 1등 수준점의 경우 $-0.192m \pm 0.144m$, 2등 수준점의 경우 $-0.188m \pm 0.106m$ 로 비슷한 결과를 나타냈으나, 2등 수준점의 교차의 평균값이 0.4cm정도 작게 나타났다.

표 10. 1등, 2등 수준점에서의 교차분석 결과

구분	NGPS-NEGM2008			
	Max.	Min.	Mean	Std.Dev.
1등수준점 (88점)	0.715	-0.931	-0.192	± 0.1442
2등수준점 (109점)	0.094	-0.780	-0.188	± 0.106

그림 14. 기선거리별 NGPS-NEGM2008의 변화 추이

지오이드고 교차분석이 실시된 197점의 교차분석결과를 기선거리에 따른 영향을 살펴보기 위하여 기선거리(X축)에 따른 교차(Y축)를 그림 14에 나타내었다. 그림 14에서 보는 것과 같이 기선거리가 길수록 교차의 크기가 다소 커지고 있는 것으로 나타나 기선거리가 길수록 타원체고 결정의 정확도에 영향을 받는 것으로 확인되었다.

또한 197점에 대한 교차분석 결과를 표고에 따른 영향을 살펴보기 위하여 지오이드고 교차를 표 11과 같이 평탄지와 야산지, 산악지로 구분하여 분석하였다(전인식, 2007).

표 11. 표고별 교차현황

구 분	NGPS-NEGM2008 (m)				측점 수
	Max.	Min.	Mean	Std.Dev.	
평탄지 (H<100)	0.094	-0.780	-0.199	±0.129	62개
야산지 (100<H<300)	0.715	-0.931	-0.194	±0.137	98개
산악지 (300<H)	-0.049	-0.390	-0.162	±0.067	37개

분석 결과, 산악지의 정확도가 제일 좋지 않을 것이라는 당초의 예상과 달리 교차의 평균값(-0.162m)과 표준편차(±0.067m)가 가장 작게 나타났다. 이는 GPS측량시 타원체고 결정의 정확도가 표고의 영향을 거의 받지 않는다는 것을 의미하나, 추후 보다 많은 GPS 자료에 의해 검증이 필요한 부분이라 할 수 있다. 그림 15는 표고(X축)에 따른 교차(Y축)를 나타낸 것이다.

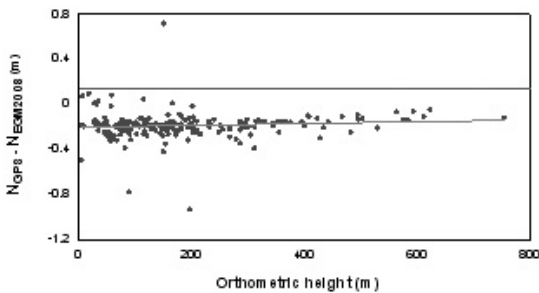


그림 15. 표고에 따른 -의 변화 추이

5. 결 론

본 연구에서는 GPS/leveling자료의 원시자료의 확보와 배점밀도의 개선을 위하여 경북지역을 중심으로 산악지역을 포함하는 연구대상지역을 설정하고, 연구대상지역 내의 1,2등 수준점을 대상으로 GPS측량을 실시하였으며 최종적으로 획득된 198점의 GPS/leveling 자료에 의한 기하학적 지오이드고를 계산하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 95% 신뢰도 이내의 197개소의 자료를 분석한 결과 지오이드고의 교차가 $-0.190 \pm 0.124m$ 로 나타나 전세계적인 EGM2008의 평가결과와 비슷한 것으로 나타났다.

둘째, 최종 197개소의 자료를 1등 및 2등 수준점으로 구분하여 분석한 결과, 서로 비슷한 결과를 나타냈으며, 기선거리의 증가에 따른 차이는 다소 증가하는 양상을 나타내었다. 또한 수준점의 표고에 따른 교차분석을 실시한 결과 표고에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 현재 우리나라의 경우 수준점 표고계산에 있어서 지형의 높이차에 따른 정보보정을 고려하지 않고 있으므로 보다 정확한 GPS/leveling 자료의 취득을 위해서는 수준점에서의 중력측정에 따른 정사보정량을 계산하고, 이를 고려한 정확한 정표고 산정이 필요함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업-지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호 07 국토정보C02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 원지훈 (2005), 중력과 GPS 자료에 의한 한반도 남부 및 인근 해역의 정밀 지오이드 연구, 박사학위논문, 부산대학교 대학원, p. 2.
- 윤홍식, 이동하 (2005), Least square collocation에 의한 GPS/leveling의 정확도 개선, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 23권, 제 4호, pp. 385-392.
- 이석배, 황용진, 이재원 (2004), GPS/leveling 자료에 의한 기하학적 지오이드고의 산출, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 22권, 제 1호, pp. 45-52.

- 이석배, 김진수, 김철영 (2008), GPS/leveling 데이터에 의한 EGM2008 지구중력장모델의 평가, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 16권, 제 3호, pp. 117-126.
- 전인식 (2007), 측량전문품셈, 건설연구사, p. 27.
- Choi, K. S. and Lee, J. M. (1997), GPS/ leveling Geoid of the Southern Korean Peninsula, *Korean Journal of Geophysical Research*, Vol.25, pp. 15-22.
- Featherstone, W. E., Kirby, J. E., Kearsley, A. H. W., Cilliland, J. R., and Johnston, G. M. (2001), The AUSGeoid98 geoid model of Australia : data treatment, computations, and comparisons with GPS-levelling data, *J. of Geodesy*, V.75, pp. 313-330.
- Hofmann-Wellenhof, B., and Moritz, H. (2005), *Physical Geodesy*, SpringerWineNewYork, pp. 157-172.
- Kearsley, A. H. W. (1988), The determination of geoid-ellipsoid separation for GPS levelling, *The Australian Surveyor*, 34(1), pp. 11-18
- Kuroishi, Y. (2001), An improved gravimetric geoid for Japan, JGEOID98, and relationships to marine gravity data, *J. of Geodesy*, Vol.74, pp. 745-755.
- Leick, A. (1995), *GPS Satellite Surveying*, Second edition, John Wiley & Sons, Inc., p. 560.
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., and Factor, J. K. (2008), EGM2008: An Overview of its Development and Evaluation, *An IAG International Symposium on Gravity, Geoid and Earth Observation 2008*, 23-27 June, Chania, Crete, Greece.
- Pavlis, N. K. (2009), EGM2008-WGS 84 Version, *National Geospatial-Intelligence Agency*, [http:// earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html)
- IAGA (2005), International Geomagnetic Reference Field, *The International Association of Geomagnetism and Aeronomy*, <http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/grf.html>

(접수일 2009. 3. 21, 심사일 2009. 4. 7, 심사완료일 2009. 4. 9)