

GPS/leveling 데이터에 의한 기하학적 지오이드고의 산출 Calaulation of Geometric Geoidal Heights Using GPS/leveling Data in Study Area

이석배¹⁾ · 황용진²⁾ · 이재원³⁾

Lee, Suk Bae · Hwang, Yong Jin · Lee, Jae One

Abstract

It can be classified in various methods to get the geoidal heights. It can be achieved geometric geoidal heights if we do GPS surveying in leveling point. The aims of this paper are calculation of geometric geoidal heights using GPS/leveling data in study area and evaluation of the global and local geoid models in and around Korean peninsula. For this study, study area was selected in the leveling line from Kunsan to Chonju city and GPS surveying was accomplished in the leveling line. And, also spherical harmonic analysis was made on the three global geopotential models, OSU91A, EGM96, EGM96m under same condition. Then the differences were calculated between geometric geoidal heights and geoidal heights of 3 geopotential models, KOGD2002 which was Korean gravimetric geoid model. The results shows that EGM96m is the best model because the differences between geoidal heights of EGM96m and geometric geoidal heights of GPS/Leveling data appear the smallest value among them.

Keywords : Geoidal heights, GPS/Leveling, Bench Mark, Global geopotential model

요 지

지오이드고를 얻는 방법은 여러 가지가 있으며, 수준점에서 GPS측량을 실시한다면 기하학적 지오이드고를 얻을 수 있다. 본 연구의 목적은 시험지역에서 GPS/leveling 데이터를 이용하여 기하학적 지오이드고를 산출한 후 이것으로 한반도 일원에서의 지구중력장모델과 지역모델을 평가하고자 하는 것이다. 본 연구를 위하여 군산에서 전주까지의 수준노선에 대하여 GPS측량을 실시하였으며, 한반도 일원에 대하여 OSU91A, EGM96, EGM96m의 지구중력장 모델에 대하여 똑같은 조건으로 구면조화분석에 의한 지오이드고를 산출하였다 그리고 이 지오이드고와 기하학적 지오이드고의 편차를 구하였으며 또 KOGD2002 중력지오이드 모델에서 추출해 낸 지오이드고와의 편차도 계산하였다. 계산결과 기하학적 지오이드고와의 편차는 EGM96m 모델이 최소로 나타났다.

핵심용어 : 지오이드고, GPS/Leveling, 수준점, 지구중력장모델

1. 서 론

지구의 물리적인 표면위에서 얻어진 중력측정치들을 통하여 물리측지학의 문제들을 해결하고자 할 때에는 일반적으로 지오이드와 같은 지구 중력장의 등포텐셜면에서 이루어지게 되며, 중력관측치로부터 지오이드고를 결정하는 측지학적 경계치의 문제는 잘 알려진 고전적인 Stokes 이론이나 현대적인 Molodensky 이론을 이용하여 그 해를

구할 수 있다.

또 지오이드고를 산출하는 방법은 어떤 데이터를 사용하여 어떻게 계산했느냐에 따라 여러 가지 방법으로 분류될 수 있다. 보통 중력지오이드고를 산출하고자 할 때에는 중력측정 데이터를 기반으로 위성고도 데이터 등을 합성하여 중력이상과 지오이드고를 산출하게 된다. 지구중력장모델을 사용할 때에는 대상지역을 선정하고 차수(degree and order)에 따라 구면조화분석을 실시하여 지오이드고

1) 연결저자 · 정회원 · 진주산업대학교 토목공학과 조교수(E-mail:sblee@jinju.ac.kr)

2) 진주산업대학교 토목공학과 교수(E-mail:yjin@jinju.ac.kr)

3) 정회원 · 대한측량협회 측량정보기술연구원(E-mail:jolee@kasm.or.kr)

를 계산할 수 있다. 천문측지 지오이드고를 산출하고자 할 때에는 천문측량 데이터를 활용하여 연직선편차와 거리의 함수로 천문측지 지오이드고를 산출하게 된다. 또 수준점에서 GPS 측량을 실시하게 되면 GPS/leveling 데이터에 의하여 기하학적 지오이드고를 산출할 수 있다.

최근에 포텐셜 계수로부터 지오이드고를 계산하는 문제는 포텐셜 계수모델의 정확도가 높아지고 최대차수가 확장되면서 중요한 문제로 부각되었다. 이와 관련하여 Rapp R.H.는 지오폠�텐셜 계수로부터 지오이드고를 계산하는 방법을 오랜 기간 연구하였고, 실제 이를 활용하여 여러 가지 지구중력장모델을 개발하기도 하였다. 또 1990년에는 '구면조화분석을 통한 지오폠�텐셜 계수모델의 개발과 평가'라는 논문을 통하여 OSU91A 모델을 발표하여, 오늘날 전세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 EGM96 지오폠�텐셜 모델의 모태가 되기도 하였다. EGM96 모델은 NASA GSFC 및 NIMA가 주도하고 세계의 여러 측지기관들이 협력하여 만든 전세계 지오폠�텐셜 계수모델이다. 또한 그는 포텐셜 계수모델을 이용하여 지오이드고를 계산함에 있어서 표고이상(height anomaly)을 고려하여 지오이드 계산의 정확도를 향상시킨 연구결과를 발표함으로써 Sjoberg의 주장을 뒷받침하기도 하였다.

국내에서도 최광선에 의하여 지오이드에 대한 연구결과가 발표된 이래 조규전, 이영진, 이석배 등에 의하여 천문측지 지오이드가 계산된 바 있으며, 윤홍식, 이석배 등에 의하여 국토지리정보원 연구사업에 의하여 KGEOID98이라는 우리나라의 지오이드 모델이 만들어 진 바 있다. 그 후 윤홍식에 의하여 KGEOID98을 개량한 KGEOID2000과, 이석배에 의하여 KOGD2002모델 등이 만들어진 바 있다. 또 지심타원체 기준이 아닌 우리나라의 지역타원체를 기반으로 하는 베셀타원체 기준의 KOBGDM33이라는 베셀지오이드모델이 만들어 발표된 바 있다. GPS/leveling에 의한 기하학적 지오이드고의 산출과 이에 대한 연구는 윤홍식, 조진동 등에 의하여 시도된 바 있다.

본 논문은 GPS 측량의 활성화와 더불어 GPS/leveling 데이터에 의하여 특정지역의 기하학적 지오이드고를 산출하고자 한 연구이다. 연구를 위하여 군산-전주간 약 53km의 수준노선에 대하여 수준점을 조사하고 관리상태가 양호한 수준점에 대하여 GPS 측량을 실시하였으며 그 결과를 해석하여 기하학적 지오이드고를 계산하였다. 또한 본 연구에 앞서 EGM96 수정계수모델(EGM96m)을 기반으로 KOGD2002라는 우리나라의 중력지오이드모델을 개발하였다. 따라서 본 연구에서는 GPS/leveling 데이터에 의한

기하학적 지오이드고와 KOGD2002 모델에서 추출해 낸 중력지오이드고를 비교하였으며, 아울러 전세계 지구중력장모델중에서 가장 많이 활용되어 온 OSU91A, EGM96, EGM96m의 세 지구중력장모델에 대하여 구면조화분석을 통하여 얻은 지오이드고와도 비교하여 지구중력장 모델간의 변화량과 차이도 파악하고자 하였다. 또 수준점 조사과정에서 얻은 수준점 관리실태도 정리하여 추후 국가기준점 관리의 참고자료로 활용토록 하였다.

2. 기본이론

지구중력장모델을 해석하여 지오이드고와 중력이상을 구하고자 할 때에는 구면조화분석을 이용한다. 따라서 중력포텐셜을 구면조화함수로 확장하고 포텐셜 이상을 구하여 Bruns의 식에 대입하면 식 (1), (2)와 같은 지오이드고 N_{GM} 과 중력이상 Δg_{GM} 을 각각 얻을 수 있다.

$$N_{GM} = -\frac{GM}{\gamma r} \left(\sum_{l=2}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{a}{r}\right)^l \right) (C_{lm} \cos m\lambda + S_{lm} \sin m\lambda) P_{lm}(\cos \theta) \quad (1)$$

$$\Delta g_{GM} = \frac{GM}{r^2} \left(\sum_{l=2}^{\infty} \sum_{m=0}^l (l-1) \left(\frac{a}{r}\right)^l \right) (C_{lm} \cos m\lambda + S_{lm} \sin m\lambda) P_{lm}(\cos \theta) \quad (2)$$

여기서, r 는 지심거리(geocentric distance)를, θ 는 극거리(polar distance)를, λ 는 경도(longitude), a 는 지구장반경을, GM 은 지심인력상수를 의미하며 C_{lm} 과 S_{lm} 은 정규화된 포텐셜 계수들(fully normalized potential coefficients), P_{lm} 은 정규화된 르장드르 함수를 의미한다. l 과 m 은 degree and order를 의미한다. 그리고 γ 는 정규중력을 의미한다.

그러나 보통은 중력측정값을 활용하여 임의점의 중력이상값을 계산하게 된다. 실제 어떤 점 $P(x_p, y_p)$ 에서 측정된 중력이상값을 이용하여 격자로 구성된 임의 격자점(x, y)의 지오이드고는 다음 식 (3)에 의하여 계산할 수 있다.

$$N(x, y) = \frac{1}{2\pi\gamma} \iint \frac{1}{\sqrt{(x-x_p)^2 + (y-y_p)^2}} \Delta g(x_p, y_p) dx dy \quad (3)$$

여기서, Δg 는 점 $P(x_p, y_p)$ 에서 측정하여 계산된 중력이상(point gravity anomalies)을 의미하며, \mathcal{I} 는 정규중력(normal gravity)을 의미한다.

식 (3)을 고속후리에변환(fast Fourier transform)을 이용하면 식 (4)와 같이 변환할 수 있다.

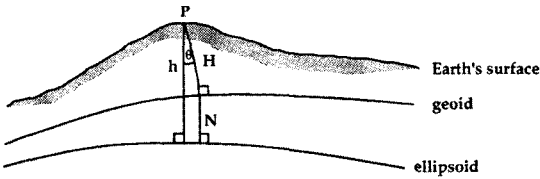


그림 1. 타원체고 및 지오이드고, 정표고의 관계

$$N = \frac{1}{2\pi\gamma} F^{-1} \left[\frac{1}{u^2 + v^2} \Delta G(u, v) \right] \quad (4)$$

여기서,

$$\frac{1}{u^2 + v^2} = F \left[\frac{1}{\sqrt{(x-x_p)^2 + (y-y_p)^2}} \right]$$

$$\Delta G(u, v) = F[\Delta g(x_p, y_p)]$$

이다.

또 GPS 측량을 실시하여 기하학적 지오이드고를 산출하고자 할 때에는 식 (5)에 의하여 구할 수 있다.

$$N = h_{GPS} - H_{Leveling} \quad (5)$$

여기서, h_{GPS} 는 GPS 측량을 통하여 얻은 타원체고(ellipsoidal heights)이고, $H_{Leveling}$ 은 수준측량을 통해 결정된 정

표고(orthometric heights) 성과이다. 이들의 관계는 그림 1과 같다.

3. 연구지역의 GPS 측량

3.1 수준점 조사

GPS 측량을 실시하기 위하여 먼저 연구지역을 선정하였다. 연구지역은 전라북도 내의 1, 2등 수준노선망에서 선정하였는데 군산에서 전주까지의 약 53km의 노선을 연구지역으로 선정하였다. 그림 2는 GPS 측량을 실시하기 위하여 선정한 연구대상지역을 보여주고 있다.

연구지역내에는 익산-군산간 수준노선중에서 익산시의 교BM2에서부터 군산시의 서쪽 경계에 위치한 수준점 37-6-1까지와 익산-남원간 수준노선중에서 익산시의 교BM2에서부터 전주시 동쪽 경계에 위치한 수준점 4-6에 이르기까지 총 22점의 수준점을 대상으로 하였다. 아울러 GPS 측량에 앞서 국토지리정보원으로부터 수준점 및 수준점 주변 삼각점 성과를 발급받아 기준점 조사를 실시하였으며 조사결과는 표 1에서 보는 바와 같다. 기준점 조사는 2002년 11월 8일부터 11월 12일에 걸쳐 실시되었으며 최초 조사에서 망실로 보고된 점들은 다른 조사팀을 투입하여 재조사하여 재차 망실로 보고된 점에 한하여 망실처리하였다.

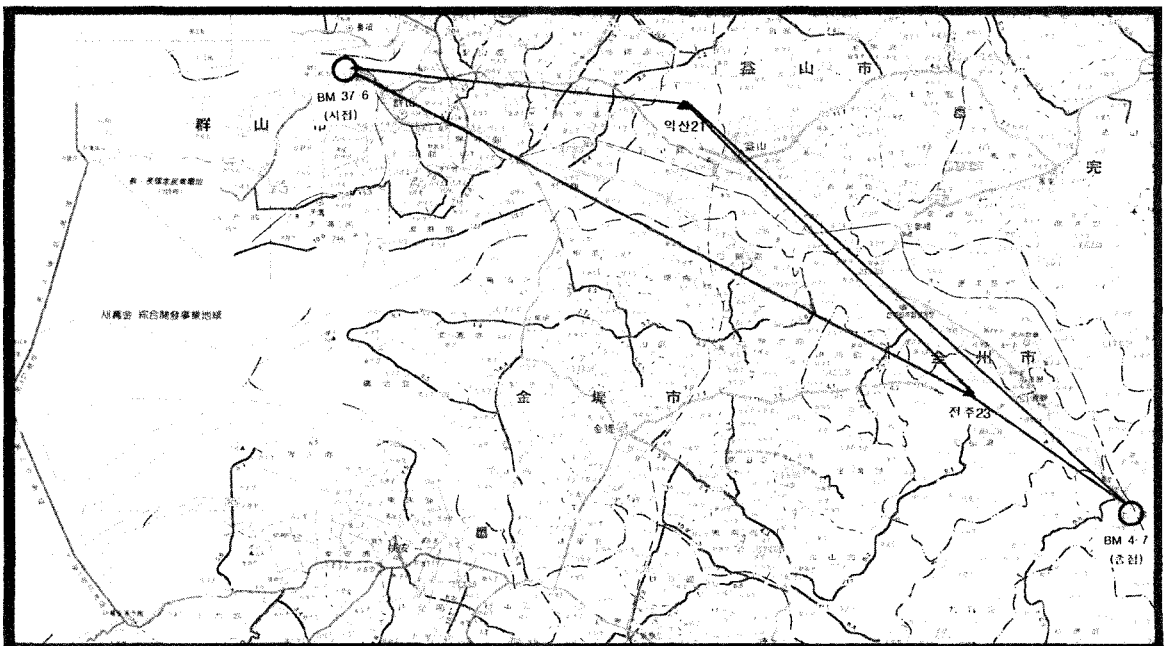


그림 2. GPS 측량 연구대상지역

표 1. 연구지역 수준점 조사결과

도엽번호	수준점 번호	위치	관리상태	망실이유	GPS관측여부
NI52-1-03	37-6-1	군산 구암초등학교	양호		○
NI52-1-03	37-6	군산시청	망실	시청신축	×
NI52-1-03	37-5-1	조촌동 시민공원	양호		○
NI52-1-04	37-4	개정 발산초등학교	양호		○
NI52-1-04	37-3	대야면사무소	양호		○
NI52-1-04	37-2	대야명 관교리(제방)	망실	제방유실복구	×
NI52-1-04	37-1	오산남초등학교	양호		○
NI52-1-04	교BM2	익산 만향2교	양호		○
NI52-1-04	4-0	백구면 구정리	양호		○
NI52-1-04	4-1	백구면 반월리	양호		○
NI52-1-04	4-1-1	백구면 마산리(화단)	망실	화단공사	×
NI52-1-05	4-2	백구면 영산리(특종교)	망실	도로공사	×
NI52-1-05	4-2-1	전주 덕성동	망실	토지용도변경	×
NI52-1-05	4-3	구 전주IC 공원	양호		○
NI52-1-05	4-3-1	덕진구 동산동	망실	토지용도변경	×
NI52-1-05	4-4	덕진구 덕진동(전주대교)	양호		○
NI52-1-05	4-4-1	전주 금암초등학교	양호		○
NI52-1-05	4-5	전북도청내	양호		○
NI52-1-05	4-5-1	완산구 동서학동(약수터)	망실	약수터 폐쇄	×
NI52-1-05	4-6	완산구 색장동	망실	옹벽공사(추정)	×
NI52-1-05	4-6-1	완산구 색장동	양호		○
NI52-1-05	4-7	상관면 신리	양호		○
소계	22점		양호 14점 망실 8점		관측 14점

표 1에서 보는 바와 같이 연구지역내에 있는 22점의 수준점에 대한 조사결과 14점은 그 관리상태가 양호하였고 8점은 망실된 것으로 나타났다. 망실점의 망실이유에 대한 규칙성을 찾기는 어려웠으나 시청신축으로 망실된 군산시청 수준점을 제외하고는 주로 초등학교 등 공공기관에 위치한 점들과 도로변에서 약간 멀게 설치된 수준점들은 관리상태가 양호하였고 사유지 주변과 도로변에 인접하여 설치된 점들의 망실률이 높게 나타났다. 이는 도시의 발전 과정에서 사유지의 용도변경이 많이 일어났고 또 도로확포장이나 교량신개축 공사 등이 빈번하게 발생되었던 이유 때문으로 분석된다.

따라서 관리상태가 양호한 14점에 대하여 GPS 관측계획을 세웠으며, 이 중 1점은 가로수 등으로 둘러싸여 GPS 관측 임계각 15° 내에 많은 장애물이 있었기에 관측데이터 취득이 어려울 것으로 예상되었다.

3.2 GPS측량의 실시

연구가 진행된 전체의 흐름을 흐름도로 나타내면 그림 3과 같다. 연구지역의 선정과 수준점 조사가 이루어진 후 GPS측량의 실시와 결과 해석, 세가지 지구중력장 모델의 구면조화분석에 의한 한반도 일원에서의 지오이드고 산정, KOGD2002모델을 포함한 지오이드고의 교차계산, 계산 결과의 정리와 분석의 순으로 연구가 진행되었다.

GPS측량은 연구지역내의 수준점 관리상태가 양호한 14점을 대상으로 2002년 11월 12일~11월 14일에 걸쳐 실시되었다. 수준점의 측지좌표를 얻기 위하여 GPS 성과가 양호한 인근 2등 삼각점과 연결하여 4세선으로 나누어 한 세선당 한시간씩 관측하였다. 관측에 사용한 장비는 Trimble 5700 모델 2대와 Topcon Legacy 모델 4대이며, 관측된 각 수신기의 원시데이터(raw data)는 TRIMBLE사의 Trimble Geomatics Office(TGO)와 TOPCON사의 Pinnacle 프로그램

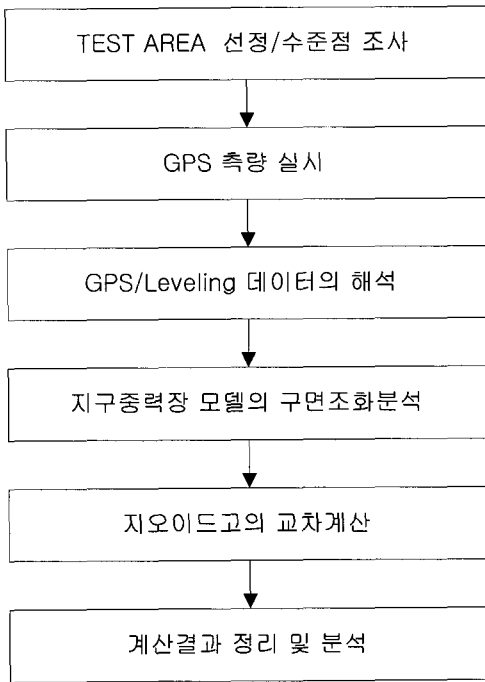


그림 3. 연구흐름도

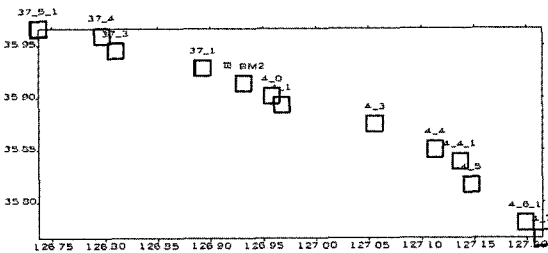


그림 4. GPS 측량점의 위치도

램을 이용하여 RINEX 파일로 변환한 뒤 이를 조합하여 기선해석을 실시하였다. 또 관측 및 기선해석은 건설교통부 국토지리정보원이 규정하는 ‘GPS에 의한 정밀1,2차 기준점측량 작업규정’에 의거하여 실시하였다. GPS측량을 실시하여 관측데이터를 취득한 측정점의 위치도를 경위도 지도상에 표시하면 그림 4와 같다.

4. 기하학적 지오이드고의 산출 및 비교

4.1 지구중력장 모델의 구면조화분석

오늘날 가장 많이 쓰이는 전세계 지구중력장 모델은 단연 EGM96 모델이다. 그러나 EGM96이 개발되기 전까지

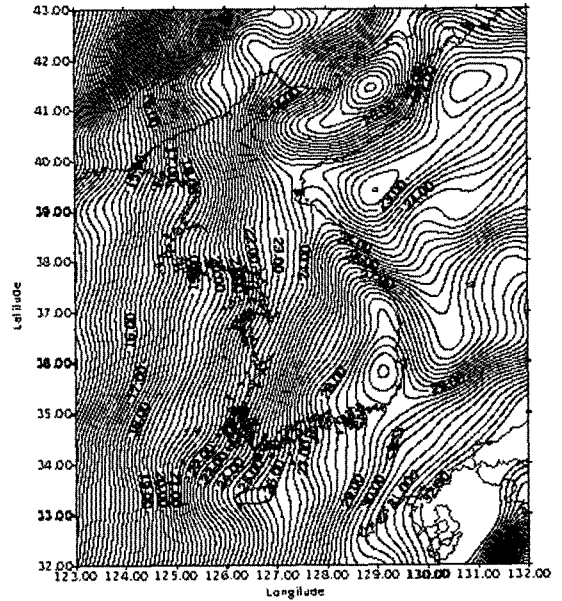


그림 5. EGM96에 의한 한반도 일원의 지오이드고

는 미국의 오하이오 주립대학(Ohio State University)에서 만들어 낸 OSU91A모델이 가장 많이 활용되었다. 그런데 오늘날에는 EGM96의 문제점을 보완한 EGM96 수정계수 모델(이하 EGM96m)이 만들어져 활용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 OSU91A, EGM96, EGM96m의 세가지 지구중력장 모델에 대하여 한반도 지역에 대하여 최대차수 360°로 구면조화분석을 실시하였다. 그리고 그 결과를 가지고 GPS 측량을 실시한 점의 지오이드고를 추출하여 기하학적 지오이드고와 비교하였다. EGM96 수정계수모델의 구면조화분석 결과를 등고선도로 나타내면 그림 5와 같다.

4.2 KOGD2002 지오이드 모델

또한 GPS측량에 앞서 중력학적 방법에 의하여 KOGD2002라는 한반도 일원의 지오이드모델이 개발되었다. 현재까지의 국내 지오이드모델의 대부분이 OSU91A나 EGM96을 기반으로 사용되어 왔으나 KOGD2002는 EGM96m을 기반으로 하고 있다. 또 중력측정자료와 위성고도자료의 합성을 통한 중파장효과의 계산과 우리나라의 수치표고 모델(KODEM33)을 이용하여 단파장효과를 계산한 후 Remove and restore 기법에 의하여 수치해석이 실시되었다. KOGD2002 지오이드모델을 등고선도로 나타내면 그림 6과 같다.

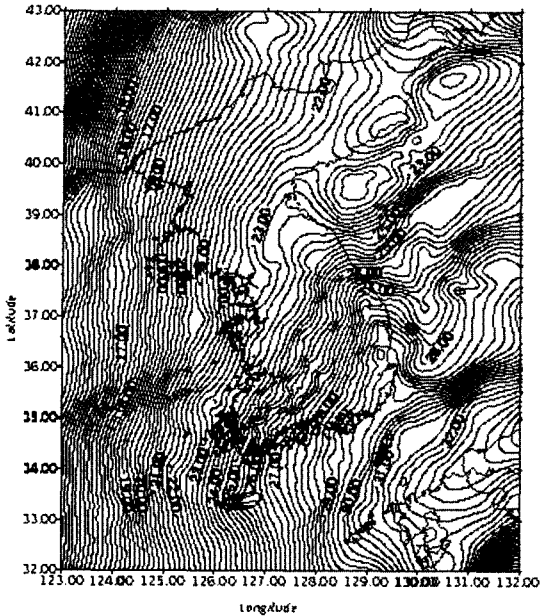


그림 6. KOGD2002에 의한 한반도 일원의 지오이드고

4.3 GPS/leveling 데이터에 의한 기하학적 지오이드 고의 산출

GPS 측량결과를 해석하여 각 수준점의 측지좌표와 타원체고를 취득하였으며, 또한 국립지리원의 수준점 정표고 성과를 발급받아 GPS/leveling에 의한 기하학적 지오이드고를 결정하였다. 관측시 장애물을 제거하지 못했던 1점의

수준점은 수신된 데이터의 양이 부족하여 계산에서 제외되었으며 13점의 수준점에 대한 GPS측량결과를 정리하면 표 2와 같다.

표 2에서 NO.는 기준점 순서를, BM NO는 수준점 번호를 의미하며 경도, 위도, 타원체고, 정표고, 기하지오이드고의 순서로 정리하였다.

4.4 지오이드고의 비교

각각의 지오이드모델의 지오이드고에서 GPS/leveling에 의한 기하학적 지오이드고와의 교차를 계산하여 구한 통계값을 정리하면 표 3과 같다.

교차의 평균값은 OSU91A가 -0.7804m의 상당히 큰 값을 나타내었고, EGM96 역시 -0.5318m의 비교적 큰 차이를 보여주었다. 반면에 EGM96m은 0.0094m의 매우 작은 값을 보여주었고 본 연구에서 개발된 KOGD2002 지오이드모델은 0.0776m의 비교적 양호한 결과를 보여주었다. 또 교차의 RMS값으로 비교할 때에는 OSU91A, EGM96, EGM96m, KOGD2002가 각각 0.0452m, 0.0413m, 0.0334m, 0.0961m의 값을 보여주었으며 역시 EGM96m이 제일 좋은 정도를 보여주었다. KOGD2002의 RMS값이 EGM96m의 RMS값보다 크게 나타난 이유는 앞으로 자세한 분석이 필요한 부분이나 우리나라 중력자료에 대한 검토가 필요한 부분이라 할 수 있다. 따라서 현재 절밀중력측정 위성인 GRACE 위성의 중력측정자료를 NASA 등에서 제공받아 해석한다면 우리나라 중력측정자료의 균질성과 정확도를 평가해

표 2. GPS/leveling 데이터에 의하여 계산된 기하학적 지오이드고

NO.	BM NO	Longitude(°)	Latitude(°)	Ellipsoidal height(m)	Orthometric height(m)	Geometric geoid(m)
1	37_5_1	126.736930E	35.966176N	28.883	5.2257	23.6573
2	37_4	126.796758E	35.959321N	33.690	9.8972	23.7928
3	37_3	126.809901E	35.944910N	32.610	8.8152	23.7948
4	37_1	126.892364E	35.928256N	29.402	5.2508	24.1512
5	교BM2	126.931213E	35.913427N	33.788	9.5953	24.1927
6	4_0	126.958376E	35.901275N	32.567	8.3367	24.2303
7	4_1	126.967062E	35.893142N	33.866	9.5708	24.2952
8	4_3	127.055345E	35.874599N	49.760	25.1717	24.5883
9	4_4	127.112949E	35.850054N	47.835	23.0391	24.7959
10	4_4_1	127.136536E	35.838107N	61.446	36.5331	24.9129
11	4_5	127.146569E	35.815982N	65.915	40.9558	24.9592
12	4_6_1	127.198336E	35.779824N	101.555	76.3489	25.2061
13	4_7	127.214016E	35.765394N	117.843	92.5718	25.2712

표 3. 지오이드고의 비교결과

of Differences	OSU91A	EGM96	EGM96m	KOGD2002
Minium value	-0.8295	-0.5819	-0.0288	-0.0871
Maximum value	-0.6683	-0.4330	0.1065	0.2296
Mean value	-0.7804	-0.5318	0.0094	0.0776
RMS	0.0452	0.0413	0.0334	0.0961

볼 수 있을 것이라고 사료된다.

아울러 중력측정자료에 의하여 개발된 중력지오이드모델에 GPS/leveling 데이터에 의하여 얻은 기하학적 지오이드고를 합성하여 지역적인 지오이드모델을 만든다면 훨씬 더 정도가 향상된 지오이드모델을 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 이 때 지역적인 배점밀도를 고려하여 균등하게 GPS/leveling 데이터가 포함되도록 고려하여야 할 것이다.

5. 결 론

본 논문은 우리나라의 일부 수준노선에 GPS측량을 실시하고 정표고 성과와 결합하여 GPS/leveling 데이터에 의한 기하학적 지오이드고를 산출하였으며, 그 결과를 여러 가지 지오이드모델에서 계산한 중력지오이드고와 비교한 연구이다. 아울러 GPS 측량을 실시하는 과정에서 수준점 조사가 이루어져 수준점 관리상황을 점검해 볼 수 있었다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 군산-전주간 수준노선에서 수준점을 조사한 결과 망실율이 36.4%로 나타났다. 망실된 점들은 1992년도에 관측과 점검이 이루어졌으며 1994년도와 1998년도에 성과가 재고시된 점들도 있어서 불과 10여년 사이에 수준점의 1/3 이상이 망실되고 있는 것으로 나타나 우리나라의 수준점 관리에 대한 보다 개선된 대책이 필요함을 알 수 있었다.

2. OSU91A, EGM96, EGM96m의 세 개의 지구중력장 모델에 대한 구면조화분석 결과를 GPS/leveling 데이터에 의한 기하학적 지오이드고와 비교한 결과 EGM96m의 정도가 가장 좋은 것으로 나타났다.

3. 우리나라의 KOGD2002라는 중력지오이드모델과 GPS/leveling 데이터에 의한 기하학적 지오이드고와 비교한 결과 교차의 평균값이 0.0776m, 교차의 RMS값이 0.0961m로 나타나 양호한 결과를 보여주었다. 그러나 KOGD2002의 교차가 EGM96m과의 교차보다 큰 것은 우리나라 중력

측정자료의 균질성에 대한 검토와 아울러 앞으로 규명하여야 할 과제로 남게 되었다.

4. 우리나라의 수준점에서 GPS 측량을 확대하고 이들 점들의 기하학적 지오이드고를 우리나라의 중력지오이드모델에 지역밀도를 고려하여 합성한다면 보다 정도가 개선된 지오이드모델을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 또한 GPS 측량의 활성화와 더불어 우리나라의 정밀지오이드모델을 활용하여 GPS 측량을 실시한 임의점의 정표고를 직접 취득할 수 있는 시스템이 만들어진다면 표고취득이 중요시되는 건설현장에서의 GPS 활용성을 더욱 높일 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 건설교통부 국토지리정보원 (2001), GPS에 의한 기준점측량 작업규정.
- 이석배 (1998), 베셀타원체상에서의 한반도 지오이드 모델의 개발, 한국측지학회지, 한국측지학회, 제 16권, 제 2호, pp. 213-223.
- 이석배 (2000), 중력학적 방법 및 위성측지 방법에 의한 지오이드 모델링에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 18권, 제 4호, pp. 359-367.
- 이석배 (2003), GPS/Leveling 데이터에 의한 기하학적 지오이드고의 산출, 추계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 27-32.
- 최재화, 윤홍식, 이석배, 서용운, 심정민 (1998), GPS/Leveling을 이용한 지오이드 평가에 관한 연구, 국립지리원 보고서.
- Ardalan AA and Grafarend E.W. (2001) Ellipsoidal geoidal undulations(ellipsoidal Bruns formula); case studies, *Journal of Geodesy*, Vol. 75, No. 9-10, pp. 544-552.
- Kwang Bae Kim and Suk Bae Lee (2002), Determination of gravity anomaly using satellite altimeter data in the Great Lakes, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 6, No. 3, pp. 313-320.
- Lemoine F.G., D.E. Smith, R. Smith, L. Kunz, E.C. Pavlis, N.K. Pavlis, S.M. Klosko, D.S. Chinn, M.H. Torrence, R.G. Williamson, C.M. Cox, K.E. Rachlin, Y.M. Wang, S.C. Kenyon, R. Salman, R. Trimmer, R.H. Rapp, R.S. Nerem (1996), The Development of the NASA GSFC and DMA Joint Geopotential Model, *International Symposium on Gravity, Geoid,*

- and Marine Geodesy 1996(GraGeoMar96)*, September 30 - October 5, pp. 146.
- Rapp R. H. (1971), Methods for the Computation of Geoid Undulations from Potential Coefficients, *Bulletin Geodesique*, Vol. 101, pp. 283-297.
- Rapp R. H. (1997), Use of Potential Coefficients Models for the Geoid Undulation Determinations Using a Spherical Harmonic Representation of the Height Anomaly/Geoid Undulation Difference, *Journal of Geodesy*, Vol. 71, pp. 282-289.
- Rapp R. H. and J. Y. Cruz (1986), *Spherical Harmonic Expansions of the Earth's Gravitational Potential to Degree 360 Using 30' Mean Anomalies*, Report No. 376, Dept of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus.
- Rapp R. H. and N. K. Pavlis (1990), The Development and Analysis of Geopotential Coefficient Models to Spherical Harmonic Degree 360, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 95, No. B13, pp. 21885-21911.
- Sjöberg L. (1995), On the Quasigeoid to Geoid Separation, *Manuscripta Geodetica*, 20, pp. 182-192.
-

(접수일 2003. 12. 19, 심사일 2004. 1. 29, 심사완료일 2004. 2. 27)