

# Least Square Collocation에 의한 GPS/Leveling의 정확도 개선 Accuracy Improvement of GPS/Levelling using Least Square Collocation

윤홍식<sup>1)</sup> · 이동하<sup>2)</sup>

Yun, Hong Sic · Lee, Dong Ha

## Abstract

This paper describes an accuracy analysis of newly developed gravimetric geoid and an improvement of developed geoid using GPS/Levelling data. We developed the KGEOID05 model corrected with the correction term. The correction term is modelled using the difference between GPS/Levelling derived geoidal heights and gravimetric geoidal heights. The stochastic model used in the calculation of correction term is the least squares collocation technique based on second-order Markov covariance function. 373 GPS stations were used to model the correction term. The standard deviation of KGEOID05 is about 11 cm and it indicates that we can be determined accurate heights (2~3 cm) when we made precise modelling using KGEOID05 and a few GPS measurements for the local area.

Keywords : KGEOID05, GPS/Levelling, Least Square Collocation, Geoid Model

## 요 지

본 논문에서는 중력데이터를 사용하여 중력지오이드모델을 개발하고, GPS/Leveling 데이터를 사용하여 개선한 KGEOID05 모델을 계산하였으며, 그 정밀도를 분석하였다. KGEOID05는 중력지오이드모델에 보정항을 더하여 계산하였으며, 보정항은 GPS/Levelling에 의하여 구한 지오이드고와 중력지오이드고의 차이를 사용하여 모델링 하였다. 모델링을 위한 통계학적 함수는 Markov 2차공분산 함수에 기초한 least squares collocation 방법을 사용하였다. 총 373점의 GPS 관측점을 보정항 모델링에 사용하였으며, 정밀도 분석결과 KGEOID05의 정밀도는 11cm로 계산되었다. 2~3점의 수준점에 대한 GPS 관측데이터를 사용하여 지역적으로 KGEOID05 모델에 대한 fitting을 실시할 경우에 GPS 관측에 의한 2~3cm 정밀도의 표고측정이 가능하다.

핵심용어 : KGEOID05, GPS/Levelling, Least Square Collocation, 지오이드모델

## 1. 서 론

GPS/Levelling에 의한 정표고는 GPS 관측으로부터 얻어지는 타원체고로부터 지역적으로 정밀하게 모델링된 중력학적 지오이드모델로부터 얻은 지오이드고를 빼어 측정하게 된다. 이러한 정표고의 평가는 일반적으로 정밀수준측량을 통하여 측정된 정표고와 GPS/Levelling에 의하여 얻은 기하학적인 정표고간의 차이를 비교하여 실시하

게 되는데 중력지오이드고의 정밀도와 정밀수준측량결과 의 정확도로 인하여 정표고간의 차이가 정확하게 부합하지 않고 편차가 발생하게 된다. 따라서 이러한 편차를 모델링함으로써 보다 정확한 정표고를 결정할 수 있게 되어 이에 대한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 편기에 대한 모델링은 단순히 평균값을 빼는 것에서부터 1차원에서 다차원의 다항식으로 fitting하는 방법 등 다양한 방법들이 적용되어 오고 있으나 최근에는 Least Square Collocation에

1) 연결저자 · 정회원 · 성균관대학교 토목환경공학과 부교수(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)

2) 정회원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail:dhlee@geo.skku.ac.kr)

의한 모델링 방법이 적용되고 있다(Arabelos and Tscherning, 1998; Tscherning, 1994).

본 연구에서는 1996년부터 2003년까지 200점의 수준점에서 측정한 GPS관측데이터를 처리하여 Least Square Collocation방법(Tscherning, 1994)에 의한 모델링을 적용하고, GPS/Levelling에 의한 정표고 결정의 정확도를 평가하고자 하였다. 기본적인 GPS/Levelling의 개념은 그림 1에 표시한 바와 같다.

그림 1에 표시한 바와 같이 GPS측량에 의하여 P, Q점의 타원체고  $h(P)$ 와  $h(Q)$ 가 측정되는데 실질적으로 표고값으로 사용하는 정표고는 각각  $H(P)$ 와  $H(Q)$ 이므로 GPS측량에 의하여 결정되는 타원체고는 정표고로 변환하여야 한다. 만약 Q점의 정표고  $H(Q)$ 를 기지점으로 고정하고, P와 Q점간의 지오이드고  $N(P)$ 와  $N(Q)$ 를 알면 P점의 정표고는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$H(P) = H(Q) + (\Delta h_{PQ} - \Delta N_{PQ}) \quad (1)$$

여기서,

$$\Delta h_{PQ} = h(P) - h(Q)$$

$$\Delta N_{PQ} = N(P) - N(Q)$$

이다.

그러나 Kearsley(1998)는 정밀을 요하는 GPS/Levelling에서는  $\Delta h$ 의 정밀도가  $\Delta H$ 의 정밀도를 제한할 수 있으므로  $\Delta N$ 의 요구 정밀도에 대하여 고려하여야 한다는 것

을 주장하였다. 정표고와 타원체고 및 지오이드고의 정확도에는 많은 요인들이 영향을 주지만 표고들에 대한 이러한 요인들의 영향은 일반적으로 매우 근접한 점들에 대하여는 거의 동일하다. 따라서 비교적 좁은 지역에서 점들간의 표고차를 결정하는 것은 각 점에서 절대적인 표고를 결정하는 것 보다는 불확실성이 덜 포함되며, 이러한 개념은 GPS측량에 의한 정확한 정표고를 결정하고자 하는 경우에는 중요하다(Henning et al., 1998; Zilkoski, 2001).

정밀수준측량의 경우에  $\pm 2\text{cm}$ 의 표고차는 불충분한 정확도(Tscherning et al, 2001)이므로 미국의 NGS에서는 타원체고의 결정을 위한 작업규정을 제시하고 있다. 이 작업규정은 관측에 관한 작업규정과 데이터처리규정(vector processing)으로 구성되어 있으며, 전 미국의 High Accuracy Reference Network(HARN)과 GPS Continuously Operating Reference Stations(CORS)가 완전하게 구축되는 것을 가정하여 작성되었다. 수준측량에 사용되는 수준점은 'A' 등급 (한국의 1등에 해당)의 정표고를 가지는 수준점이어야 하며, 정확한 지오이드고차  $\Delta N$ 을 결정하기 위하여는 정확한 수평좌표를 필요로 한다는 것을 규정하고 있다. 또한 10km 이상의 기선을 관측하는 경우에는 2주파 수신기를 사용하고, 안테나도 동일한 것을 사용하도록 하고 있으며, 측량은 관측지역에서 최소한 3점 이상의 'A' 및 'B'등급의 수준점을 안정된 관측망으로 구성하여 3일간 5시간 세션으로 연속적으로 GPS관측을 실시하도록 규정하고 있다. GPS관측은 VDOP이 각 관측세션당 6이하가 최소한 90%이상 이 되도록 하고 있고, 데이터 수신간격은 15초, 고도각은 10°이상, 온도, 상대습도 및 기압을 각 측정마다 측정하도록 하였는데 세션이 2시간 이상이 되는 경우에는 기상데이터를 세션의 초기와 중간 그리고 종료 전에 측정하도록 규정하였다.

데이터처리 규정은 NGS의 OMNI소프트웨어나 동일한 결과를 얻을 수 있는 소프트웨어로써 정밀력을 사용하여 처리하도록 하고 있으며, 대류권이 영향을 보정하도록 하고 있고, 측정된 기상데이터들은 표준모델들을 사용하여 모든 장비들을 적절하게 보정하도록 규정하고 있다.

현재 우리나라의 측량작업 규정에는 GPS/Levelling에 관한 명확한 작업규정이 규정되어 있지 않으며, GPS/Levelling의 실용화를 위한 기초적인 연구가 수행되어 오고 있으나 표준화된 방법이나 규정들에 대한 연구가 미흡한 상태이다. 본 연구에서는 GPS/Levelling의 실용화를 위한 연구로서 중력지오이드의 계산과 정확도 평가 및 Least Square

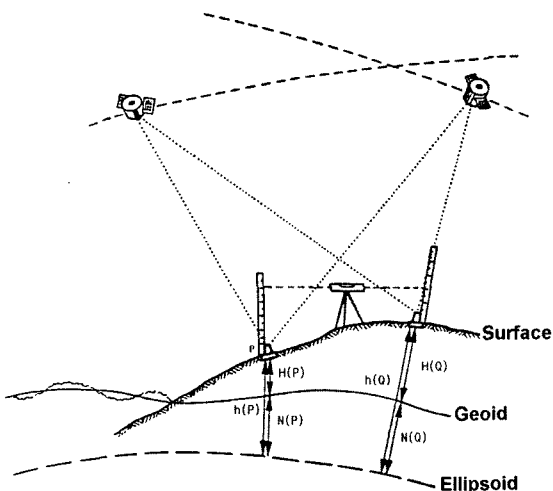
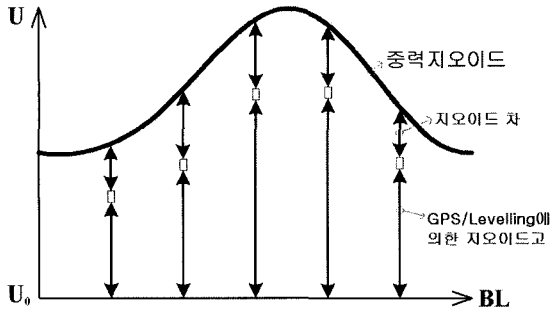
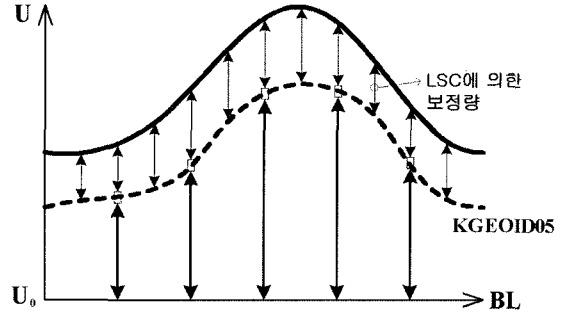


그림 1. GPS/Levelling의 의한 표고측정 개념도



(a) 중력 지오이드와 GPS/Levelling 지오이드와의 차이



(b) Least Square Collocation에 의한 모델링

그림 2. 합성 지오이드모델 개발을 위한 개념도

Collocation기법을 기반으로 한 GPS/Levelling점의 Surface fitting을 실시하여 GPS/Levelling의 실용성을 분석하고자 하였다. 본 연구에서는 기상자료의 획득이 어려운 관계로 장비의 조정을 고려하지 않았다.

그림 2는 본 연구의 기본적인 개념을 설명하기 위한 것으로서 (a) 그림은 중력지오이드와 GPS/Levelling에 의하여 구한 지오이드간의 차이를 구하여 (b) 그림에 표시한 바와 같이 Least Squares Collocation에 의한 모델링을 실시하여 보정량을 계산한 후에 중력지오이드모델에 이들 보정량을 보정함으로써 정밀지오이드모델인 KGEIOD05를 계산하는 과정을 표시한 것이다.

## 2. 중력지오이드모델의 개발과 정확도 분석

정밀중력지오이드모델은 전 지구 중력장모델을 기준면으로 하여 중력계로서 측정된 중력측정값의 영향 및 DEM을 사용한 지형의 영향을 고려하여 Remove-Restore기법에 의하여 계산한다. 정밀 중력지오이드모델링의 일반적인 과정은 식 (2)에 표시한 바와 같다.

$$\zeta_F = \zeta_{GM} + \zeta_{\Delta g} + \zeta_{TC} \quad (2)$$

여기서  $\zeta_F$ 는 최종 지오이드고이고,  $\zeta_{GM}$ 은 지구중력장 모델로부터 계산되는 지오이드고,  $\zeta_{\Delta g}$ 는 지구중력장 모델로부터 계산되는 Free-air 중력이상과 실측 Free-air중력이상에 지형효과를 더한 중력이상간의 차이인 잔여중력의 영향이며,  $\zeta_{TC}$ 는 지형의 영향을 표시한 것이다(Yun, 1994).

$\zeta_{GM}$ 은 OSU91, EGM96, PGM2000A 및 GPM98 등의 중력장모델과 같은 수많은 모델들로부터 계산되나 일반

적으로 EGM96이 많이 사용되어 왔다. EGM96모델은 1996년에 발표된 모델의 일정량의 Bias로 인하여 이후에 보정모델이 제공되고 있으나 지역별로 모델개발시에 포함된 중력자료와 지형자료에 따라서 정확도가 좌우되어 왔다(Yun, 1999).

본 연구에서는 최근에 독일의 GFZ가 2003년 2월~5월, 7월~9월 및 2004년 2월~7월 동안에 CHAMP위성으로부터 관측한 중력값과 전 지구의 표면중력값 및 표고자료 등을 합성하여 개발한 EIGEN0-CG03C 중력장모델을 사용하여 중력지오이드를 개발하였다. EIGEN-CG03C 모델은 최대차수 360까지 구면조화전개하여 개발한 전 지구 중력장모델로서 지오이드고의 정밀도는  $\pm 30\text{cm}$ , 중력이상의 정밀도는  $\pm 8\text{mGal}$ 로 발표되었다(Förste et al., 2005). 중력지오이드는 EIGEN-CG03C 중력장모델을 기준하여 육상중력값과 DEM자료를 Remove-Restore기법을 적용하여 개발하였다.

중과장 효과를 계산하기 위하여 육상중력 측정자료와 해상중력 측정자료 20,501점에 대한 중력이상(프리에어 이상)을 구하고, EIGEN0-CG03C 중력장모델로부터 구한 중력이상과의 차이인 잔여중력이상을 계산하여 FFT기법에 의한 Stokes적분을 적용하였다(최재화 등, 1996).

지형효과인 단과장 효과를 계산하기 위하여 DTM데이터를 이용하여 지오이드상의 지형효과를 계산하였다. 각각  $30'' \times 30''$  간격과  $2' \times 2'$  간격으로 재구성된 DEM 데이터를 사용하고, RTM 보정방법(Omang et al., 2000)을 적용하여 지형효과를 계산하였다. 최종적으로 해석된 단과장, 중과장 및 단과장효과를 합성하여 중력지오이드를 계산하였다.

중력지오이드의 정확도 분석은 1등 및 2등 수준점에서

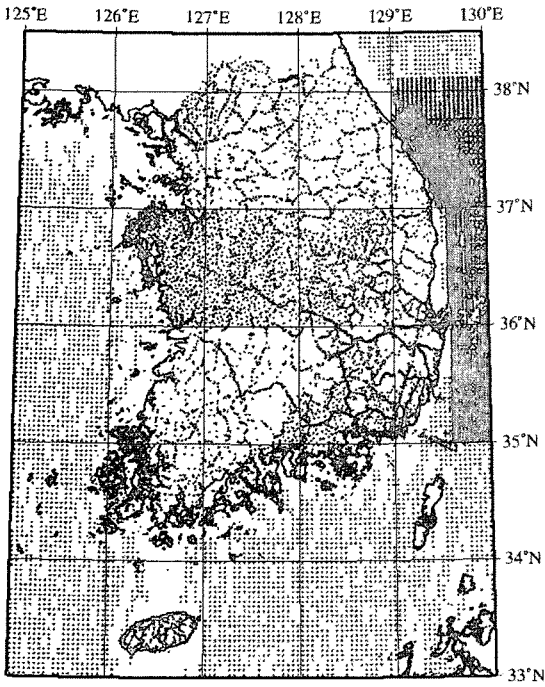


그림 3. 중력측정데이터의 분포도

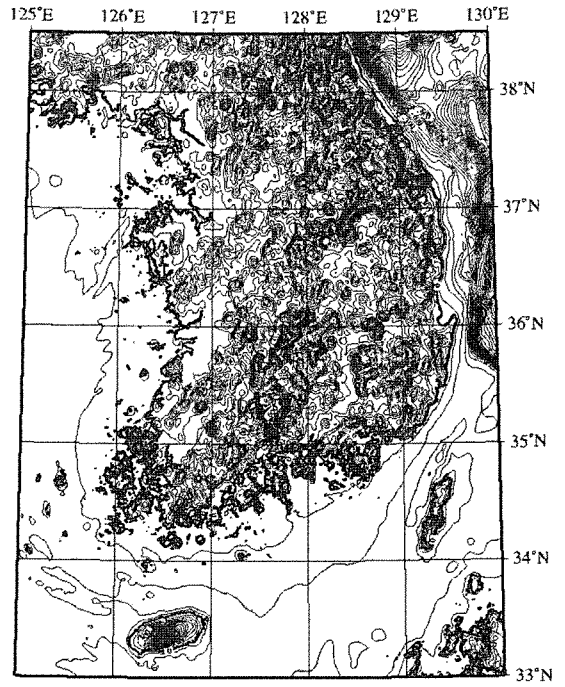


그림 4. 육상DEM과 해상수심자료를 합성한 표고데이터

실시한 GPS 관측자료를 정밀처리하여 그림 1에 제시한 개념에 따라서 기하학적인 지오이드고를 계산하고, 개선된 중력지오이드(KGEOID05)로부터 구한 지오이드고와의 차이를 구하여 분석하였다. 그림 3은 중력지오이드모델 개발을 위하여 사용된 중력데이터를 표시한 것이고, 그림 4는 DEM 데이터와 수심 데이터를 합성하여 구성한 연구대상지역의 표고데이터를 표시한 것이다.

육상중력측정데이터는 부산대학교 최광선교수, 한국지질자원연구원 및 BGI 데이터를 사용하였으며, 해상데이터는 Topex/Poseidon과 Geosat 데이터를 처리하여 구한 중력이상데이터 및 해양조사원에서 측정한 선상중력데이터를 사용하였다. 국토지리정보원의 중력측정데이터는 측정오차로 인하여 약 -11.0mGal의 편기(bias)가 발생한 것으로 분석되어 사용하지 않았다.

그림 5는 Remove-Restore 기법에 의하여 계산한 중력지오이드모델을 표시한 것으로서 연구대상지역이 남한지역에서 인천 약 22m에서 포항 약 30m로 NE-SW 방향으로 분포하는 것으로 나타났으며, 제주도과 지리산 및 태백산 지역의 산악지역에서는 지형적인 효과가 잘 나타나는 것을 알 수 있다.

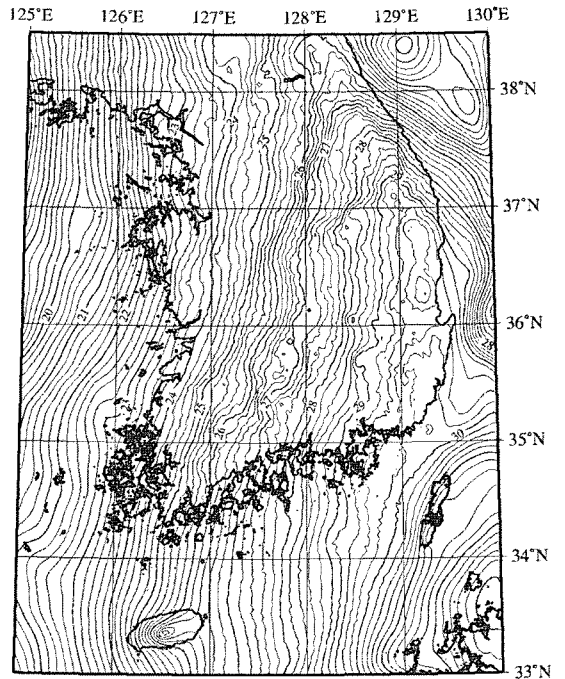


그림 5. Remove-Restore 기법에 의하여 중력학적으로 결정된 지오이드모델 등고선도(등고선 간격 : 20cm)

### 3. 중력지오이드의 정밀도 분석

중력지오이드모델의 정밀도를 평가하기 위하여 GPS/Levelling 데이터로부터 구한 기하학적 지오이드고를 계산하여 중력지오이드고와 비교함으로써 정밀도를 분석하였다. 기하학적인 지오이드고의 계산에 관한 기본적인 개념은 그림 1에 표시하였으며, 식 (1)에 의하여 계산된다. GPS/Levelling 데이터는 3종류로 분류하여 비교·분석을 실시하였다. 식 (1)에 의하여 관측점의 GPS/Leveling 지오이드고( $\zeta_{GPS-Lev}$ )를 타원체고 (h)에서 정표고( $H^{ort}$ )를 빼어서 결정하였다.

본 연구에서는 삼각점과 수준점에서 GPS관측을 실시한 349점의 GPS관측데이터와 수준점 11점의 GPS/Levelling 데이터 및 국토지리정보원에서 운영하는 13점의 상시관

측소 성과를 사용하여 비교·분석을 수행하였다. 중력지오이드모델로부터 구한 지오이드고와 GPS/Levelling에 의하여 구한 기하학적인 지오이드고간의 차이가 매우 큰 데이터나 데이터처리 도중에 실수가 있었다고 판단되는 데이터들을 제거하였으며, 정밀도 분석결과에 대한 통계 값은 표 1과 같다. 그림 6은 총 373점의 GPS관측점의 위치를 표시한 것이다.

표 1의 결과는 EIGEN-CG03C모델로부터 계산되는 지오이드고의 정밀도가  $\pm 30\text{cm}$ (Förste et al., 2005)로 분석되어  $\pm 30\text{cm}$  이상의 값들을 제거한 후의 분석결과이다. 각 데이터 그룹 중 삼각점 및 수준점의 경우 분석을 위하여 초기에 획득한 총 440점의 GPS/Levelling 데이터 중에서 중력지오이드와 기하학적 지오이드간에  $\pm 30\text{cm}$  이상의 차이가 나는 91점을 제거한 총 349점에 대하여 평균값 4.3cm와 표준편차  $\pm 15\text{cm}$ 가 나타났으며, 수준점의 경우는 총 14점의 데이터 중에서 3점을 제거한 11점에 대하여 평균 11cm와 표준편차  $\pm 7\text{cm}$ 를 나타냈다. 상시관측소의 경우에는 총 14점 중에서 1점을 제거한 후에 총 13점에 대하여 평균 -1.8cm와 표준편차  $\pm 14\text{cm}$ 의 결과를 얻었다. 이러한 결과로 3그룹의 데이터에 대하여 평균값이 일관적이지 않다는 것을 알 수 있으며, 표준편차의 경우에는 수준점의 경우  $\pm 7\text{cm}$ 로 다른 2그룹의 데이터의 표준편차( $\pm 14 \sim 15\text{cm}$ )에 비하여 정밀도가 2배로 계산되었다. 이와 같이 데이터 그룹간의 평균 및 표준편차의 차이는 그림 3에 표시한 바와 같이 중력데이터의 분포와 GPS/Levelling 데이터의 정확도에 따라서 발생하는 것으로 분석되었다. 특히, 중력데이터가 적은 지리산 지역과 태백산지역에서의 GPS관측데이터에 대한 정밀도가 떨어지는 것으로 분석되어 이들 지역에 대한 중력데이터의 측정이 필요하다. 본 연구에서 계산한 중력지오이드의 정밀도는 KGEOID98의 정밀도 20cm에 비하여 약 5cm 이상의 정밀도가 개선된 것으로 분석되었으며, 평균(bias) 또한, 약 20cm 이상 개선된 것으로 분석되었다.

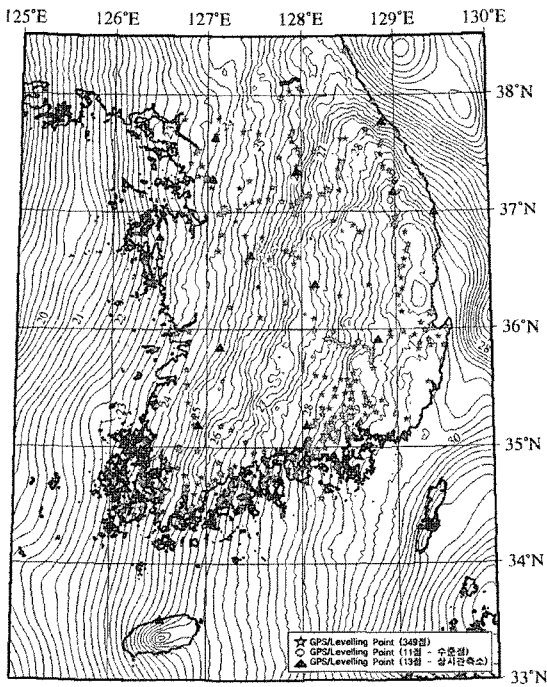


그림 6. 중력지오이드모델과 정밀도 분석을 위하여 사용된 GPS관측점의 분포도

표 1. 중력지오이드의 정밀도 분석 결과

(단위 : m)

구 분	Max.	Min.	Mean	Std.	RMS
삼각점 및 수준점(349점)	0.297	-0.299	0.043	$\pm 0.147$	$\pm 0.153$
수준점(11점)	0.220	-0.023	0.111	$\pm 0.071$	$\pm 0.130$
상시관측소(13점)	0.230	-0.235	-0.018	$\pm 0.141$	$\pm 0.148$

#### 4. Least Square Collocation에 의한 지오이드 모델링

373점의 GPS관측데이터를 사용하여 계산된 중력지오이드모델의 개선을 수행하고자 Least Square Collocation (LSC)방법에 의한 모델링을 실시하였다. LSC방법을 적용하기 위해서 가장 중요한 것은 데이터를 중심화하여야 하는데 데이터의 중심화는 데이터의 평균이 0이 되도록 원시 데이터로부터 경향성을 소거하는 것이다. 이러한 경향성을 소거하는 과정은 평균값의 소거, 1차 다항식 fitting, 2차 다항식 fitting 등을 사용하여 원시 데이터에 대한 여러 가지 경향성 모델을 적용하여 얻어질 수 있다.

경향성을 제거하기 위하여 식 (3)에 표시한 바와 같이 4 파라미터모델(Heiskanen and Moritz, 1967)을 사용하여 중력지오이드모델로부터 구한 지오이드고와 GPS/Levelling 으로부터 결정된 지오이드고간의 차이에 대한 경향성과 Stochastic signal  $\epsilon'$ 을 모델링하였다.

$$\epsilon = a_1 \cos \psi \cos \lambda + a_2 \cos \psi \sin \lambda + a_3 \sin \psi + a_4 + \epsilon' \quad (3)$$

여기서  $a_1 \sim a_4$ 는 경험적인 파라미터들이고,  $\epsilon'$ 는 Least

Square Collocation 으로부터 모델링되는 Stochastic Signal 란으로서 식 (4)를 사용하여 추정할 수 있다.

$$\hat{\epsilon}' = C_{ss}^{-1} C_{sc}(\epsilon') \quad (4)$$

Least Square Collocation.을 위한 해석적인 공분산함수는 2차 Markov공분산함수를 사용하였으며, Markov공분산함수의 파라미터( $s, \alpha$ )는 경험적인 공분산값들이다.

$$C_{\epsilon\epsilon} = C_o(1 + \alpha s)e^{-\alpha s} \quad (5)$$

여기서 파라미터  $s$ 는 거리이고,  $\alpha$ 는 상관거리(correlation length)를 결정하는 파라미터이다. 분산  $C_o$ 는 자동적으로 결정되거나 상관거리  $\alpha$ 는 사용자가 경험적으로 결정하여야 한다(Tscherning, 1994).

본 연구에서는 LSC방법에 의한 중력지오이드의 fitting을 위하여 GRAVSOFT(Forsberg et al, 2003)내의 GPFIT, GEOIP, GEOGRID 및 GCOMB 프로그램을 사용하였다. 상관거리  $\alpha$ 는 GPS/Levelling에 의한 지오이드개선에서는 약 30km~50km를 사용하나 관측점의 분포에 따라 다르다. 본 연구에서는 상관거리 30km, Noise수준 0.02를 사용하였다.

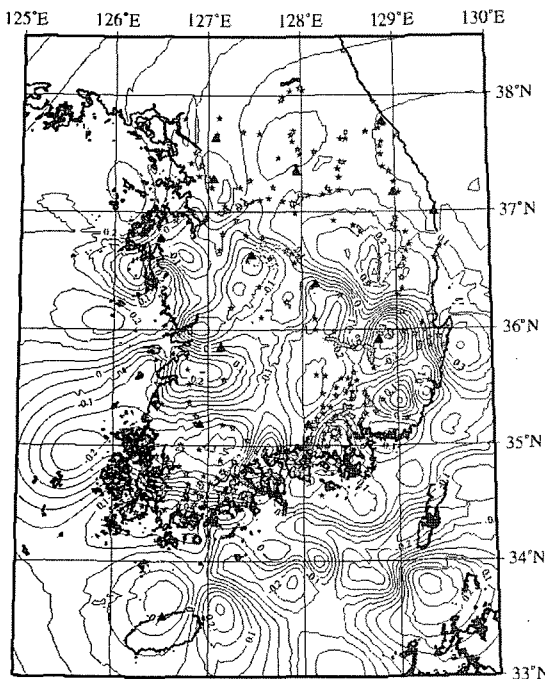


그림 7. LSC fitting후의 Stochastic signal량의 분포(등고선간격 : 10 cm)

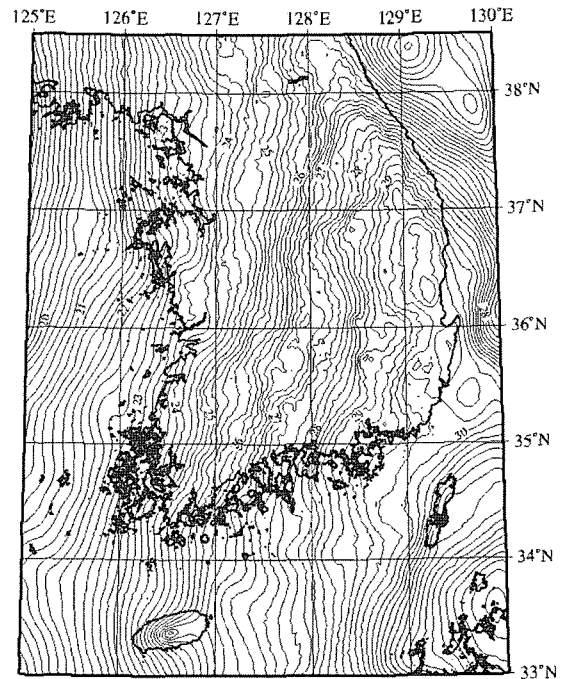


그림 8. 최종지오이드모델인 KGEIOD05(등고선 간격 : 20cm)

표 2. KGEOID05의 정밀도 분석 결과

(단위 : m)

구 분	Max.	Min.	Mean	Std.	RMS
삼각점 및 수준점(349점)	0.295	-0.274	0.022	±0.111	±0.131
수준점(11점)	0.068	-0.121	0.007	±0.061	±0.118
상시관측소(13점)	0.216	-0.199	-0.018	±0.113	±0.124

그림 7은 상관거리 30km를 사용하여 LSC방법으로 추정 한 GPS/Levelling데이터의 Stochastic signal량을 표시한 것이며, 그림 8은 그림 7의 Stochastic signal량과 경향성을 중력지 오이드에 더하여 결정된 최종 정밀지오이드인 KGEOID05를 표시한 것이다.

표 2는 GPS/Levelling데이터를 사용한 중력지오이드의 LSC fitting 결과인 KGEOID05모델의 fitting 정확도를 표시한 것이다. 표 1의 결과와 비교하면 LSC fitting후의 3 그룹의 GPS관측데이터들에 대한 평균은 1~2cm로 계산 되었으며, 표준편차는 각각 11cm와 6cm로 개선되었음을 알 수 있다. 따라서 KGEOID05모델은 bias가 약 2cm, 표준편차 11cm내의 정밀한 지오이드로 계산되었음을 알 수 있다.

이러한 결과는 앞에서 언급한 지역에 대한 중력관측데이터의 확보와 정밀 수준점에서의 GPS/Levelling데이터를 사용하면 보다 더 정밀한 지오이드모델의 계산이 이루어 질 수 있을 것으로 분석되며, 지역적으로 GPS/Levelling 데이터를 사용하여 KGEOID05를 개선하면 공공측량에서 요구하는 정확도의 GPS/Levelling을 실시할 수 있을 것이다.

## 5. 결론 및 제안

새로운 지구중력장 모델인 EIGEN-CG03C와 육상 및 해상중력측정자료, DEM데이터를 이용하여 한반도일원의 중력지오이드를 결정하고, 정밀지오이드모델인 KGEOID05를 계산하여 그 정밀도를 분석한 결과, 정밀도는  $0.02m \pm 0.11m$ 로 계산되었다. 따라서 KGEOID05모델과 2~3점의 수준점에 대한 GPS관측데이터를 사용하여 LSC fitting을 실시하면 2~3cm의 정밀도로 지역적인 GPS/Levelling을 실시할 수 있을 것이다.

중력측정 데이터가 부족한 산악지역에 대한 지오이드 모델의 정밀도가 현저하게 떨어지는 것으로 분석되었으므로 중력측정 자료 확보를 위한 방안을 마련하여야 한다. 중력측정방안으로써 최근에 덴마크, 그린랜드, 말레

이시아 및 몽고에서 수행한 Airborne Gravity관측방법을 사용하여 전 육상과 연안지역에 대한 중력관측을 실시하는 것이 신속하고 정확한 관측을 실시할 수 있다. 또한, 2~3cm 정밀도의 지오이드를 결정하기 위하여는 정밀수준점에 대한 GPS관측을 실시하여야 한다.

## 참고문헌

- 최재화, 윤홍식, 이석배 (1996), FFT에 의한 한반도 일원에서의 중력지오이드 결정, 한국측지학회지, 제14권, 제1호, pp. 49-58.
- Arabelos, D. and C. C. Tscherning (1998), The Use of Least Squares Collocation Method in Global Gravity Field Modeling Phys. Chem. Earth, Vol. 23, No. 1, pp. 1-12.
- Benahmed Daho S.A. and S. Kahlouche (1998), The gravimetric geoid in Algeria: First Results. Geodesy on the Move. IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, September 3-9.
- Forsberg R., C. C. Tscherning and P. Knudsen (2003), An Overview Manual of the GRAVSOFT, Kort & Matrikelstyrelsen.
- Forsberg, R. (1985), Gravity field terrain effect computations by FFT, Bull. Geod., 59, pp. 342-360.
- Förste C., F. Flechtner, R. Schmidt, U. Meyer, R. Stubenvoll, F. Barthelmes, R. König, K.H. Neumayer, M. Rothacher, Ch. Reigber, R. Biancale, S. Bruinsma, J.M. and Lemoine, J.C. Raimondo (2005), A New High Resolution Global Gravity Field Model Derived From Combination of GRACE and CHAMP Mission and Altimetry/Gravimetry Surface Gravity Data, EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, pp. 24-29.
- Heiskanen, W.A. and H. Moritz (1967), Physical Geodesy, W.H. Freeman and Co., San Francisco.
- Henning, W. E., E. E. Carlson and D. B. Zilkoski (1998) Baltimore County, Maryland, NAVD 88 GPS-derived Orthometric Height Project, Surv. Land Info. Sys., Vol. 58, No. 2, pp. 97-11.
- Kearsley, A.H.W. (1988), The determination of the geoid-ellipsoid separation for GPS levelling, The Australian Surveyor, 34(1), pp. 11-18.
- Omang, O. C. D. and R. Forsberg (2000), How to handle topography in practical geoid determination: three examples, Bull. Geod., 74, pp. 458-466.
- Tscherning C. C., A. Radwan, A. A. Tealab, S. M. Mahmoud, M. Abd EL-Monum, Ramdan Hassan, I. El-Syad and K.

- Saker (2001), Local geoid determination combining gravity disturbances and GPS/Levelling: a case study in the Lake Nasser area, Aswan, Egypt, *Bull. Geod.*, 75, pp. 343-348.
- Tscherning, C. C. (1994), Gravity field modelling with GRAVSOFTE least-squares collocation. Lecture Notes, International School for the Determination and Use of the Geoid, Milano, Oct. 10-15. International Geoid Service, pp. 101-134.
- Yun, H. S. (1994), Determination of Gravimetric Geoid Solution in South Korea, *Gravity and Geoid*, International Association of Geodesy, Symosia. 113, IUGG and IAG, Springer, Berlin.
- Yun, H. S. (1999), Precision geoid determination by spherical FFT in and around the Korean peninsula, *Earth Planets Space*, 51, pp. 13-18.
- Zilkoski, D. (2001), Vertical Datums. In *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM User Manual*, Published by American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, MAUNE, D. Eds. Bethesda, MD. pp. 35-60.

---

(접수일 2005. 11. 14, 심사일 2005. 12. 8, 심사완료일 2005. 12. 26)