상대중력계를 이용한 중력의 측정과 처리

Gravity Measurement and Data Processing using Relative Gravimeter

김철영[1)] · 김기원[2)] · 이석배[3)]
Kim, Cheol Young · Kim, Gi Won · Lee, Suk Bae

[1)] 정회원 · 진주산업대학교 토목공학과 석사과정(E-mail:fired2@daum.net)
[2)] 진주산업대학교 토목공학과 석사과정(E-mail:E-mail:ff-boy@hanmail.net)
[3)] 정회원 · 진주산업대학교 토목공학과 부교수(E-mail:sblee@jinju.ac.kr)

Abstract

In this study, point gravity was measured to achieve terrestrid gravity data and the gravity is important element in precise geoid modelling. Surveys the relative gravity of 56 stations on 1st level route. In addition, it calculates gravity values, analysis gravity survey results using tidal correction, drift correction, datum-free adjustment. These point gravity data could be contribute in development of precise geoid model

초 록

본 연구에서는 현재 활발한 연구가 진행되고 있는 고정밀 지오이드 모델 개발에 있어서 중요한 요소 중 하나인 지상중력자료를 획득하기 위해 상대중력계를 이용하여 중력을 측정하였다. 1등 수준노선 총 58점의 수준점에 대하여 상대중력측량을 실시하였고 이렇게 얻어진 중력값으로부터 지구조석보정 및 기계고 보정 후 자유망조정 방법을 이용하여 중력성과를 계산하였다. 이와 같은 방법을 통해 얻어지는 지상중력자료들은 고정밀 지오이드 모델 개발에 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

핵심어 : 상대중력계, G-899, 지구조석보정, 망조정, 고정밀 지오이드 모델

1. 서 론

지상중력측량은 삼각측량, 수준측량과 함께 측량의 기초가 되는 기본적인 측량으로서 국토의 중력분포를 파악하고 수직기준 정립에 중요한 역할을 할뿐만 아니라 고정밀 지오이드 모델의 단파장을 결정하는 자료로 활용된다. 최근 국토지리정보원에서는 삼각점, 수준점, 중력점 등 다양한 기준점을 통합하여 사용할 수 있게 하고 있는데, 이러한 통합기준점 등에서의 상대중력관측 및 성과의 결정은 고정밀 지오이드 모델의 개발에 큰 도움이 될 것 이라 판단된다.

2. 상대중력측량 및 계산

2.1 상대중력측량

본 연구에서 사용한 G-899, 상대중력계는 캐나다 Scintrex사에서 개발한 상대중력계로서 관측범위는 7,000mGal이고 관측 해상도는 0.04mGal이다. 대구 경북대에 위치한 중력보조점을 시점 및 종점으로 하는 총 58점의 1등 수준점에서 환폐합 중력측량을 실시하였고, 일별 관측은 수정된 Ladder 형식의 왕복측량을 실시하였다.

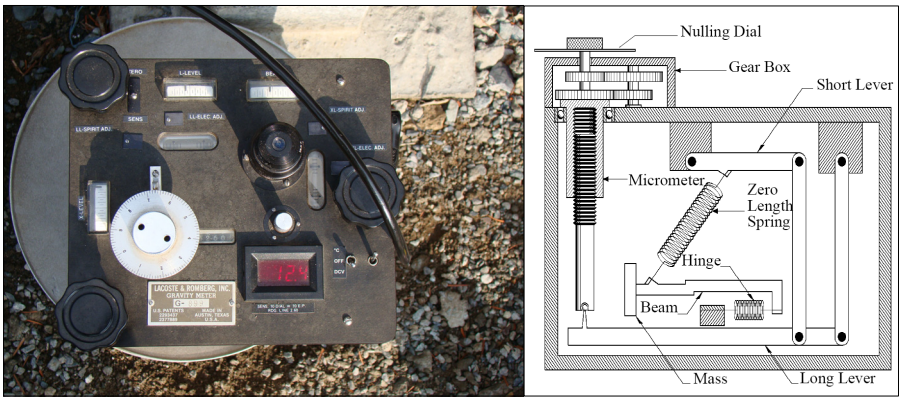


그림 1. G-899 상대중력계(좌)와 내부구조(우)

그림 2. 수준점에서의 상대중력측량 모습

2.2 중력보정

상대중력측량의 정밀도는 중력망의 설계, 중력계의 계기보정과 밀접히 관련되어 있을 뿐만 아니라 지구조석, 해양조석, 극이동(polar motion) 및 기압, 지하수, 토양습도 등 요인으로 인해 노이즈가 발생하게 된다.(Torge, 1989) 따라서 관측한 중력값에 대해 다음과 같은 처리과정을 거치게 된다.

2.2.1 지구조석보정

달과 태양의 인력 때문에 지구에 변형을 일으키게 하는 일을 지구조석이라 말한다. 달의 인력은 지구의 모든 곳에 작용하고 이 힘이 지표상의 바닷물에도 작용하여 밀물과 썰물의 현상이 생기는데 이와 같이 조석현상을 일으키는 힘을 기조력이라고 한다.

지구조석에 의한 중력의 크기변화 δ는 지구표면 상 한 점에서의 단위질량이 받는 태양과

달의 기조력의 수직성분 g_m 및 g_s 합으로 표현된다.(Longman, 1959)

$$\delta g_t = g_m + g_s = \frac{\mu Mr}{d^3}(3\cos^2\theta - 1) + \frac{3}{2}\frac{\mu Mr^2}{d^4}(5\cos^3\theta - 3\cos\theta) + \frac{\mu Sr}{D^3}(3\cos^2\varphi - 1) \qquad (1)$$

2.2.2 기계고 보정

기계고의 보정은 중력관측점의 높이와 중력관측을 실시한 측점의 높이가 항상 일치하는 것은 아니기 때문에 유의해야 한다. 기계고(H_{Red})는 측량점에서 연직으로 중력계 상단까지의 높이를 측정하면 되며 이때, 0.01mGal의 정밀도를 갖는 중력이상을 위해서는 3cm의 정밀도로 측정해야 한다.

그리고 측정된 기계고는 다음 식(2)를 이용하여 기계고의 보정값 δg_h을 계산하게 된다.

$$\delta g_h = 0.3086 mGal/m \times H_{Red} \qquad (2)$$

2.2.3 계기보정

중력계의 드리프트는 운송 드리프트(transportation drift)와 정적 드리프트(stationary drift)로 구분된다. 운송 드리프트는 이동시의 흔들림과 급격한 온도변화 때문에, 정적 드리프트는 스프링의 노화와 기압변화의 영향에 따른 것이다. 중력계의 드리프트로 인하여 관측되는 중력관측 값이 시간의 흐름에 따라 일정하게 변하므로 중력관측값에 대한 계기보정이 반드시 필요하다. 보정되는 중력계 드리프트의 값은 일반적으로 다음과 같은 저차 다항식으로 모델링된다(Torge, 2001).

$$D(t) = z(t_0) + d_1(t - t_0) + d_2(t - t_0) + \cdots \qquad (3)$$

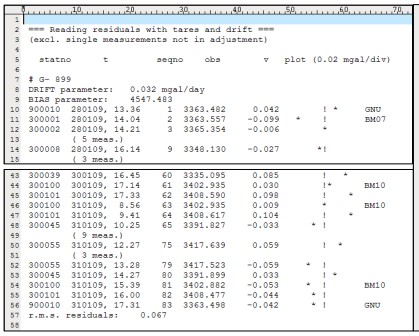
2.3 망조정

상대중력측량에 있어서 기본적인 관측 값은 인접된 두 관측점 사이의 중력차 이지만 주변의 환경변화 및 계통오차의 영향이 포함되므로 조정이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 자유망조정 방법을 사용하여 중력관측 성과를 계산하였다.

3. 결과 분석

앞선 2절에서의 중력보정과 망조정을 계산하기 위해 대구 경북대의 중력보조점을 시점 및 종점으로 사용하였다. 대구 보조점의 절대중력성과는 1981년 11월에 관측된 값으로 979832.444mGal±0.001mGal이고 중력계산에 필요한 좌표는 수준점에서 1시간동안 관측하여 정밀궤도력으로 해석한 좌표를 사용하였으며 표고성과는 국토지리정보원에서 발급한 최신의 성과를 사용하였다.

지구조석보정 후의 드리프트 값(Grav.+Tide corr.)은 0.032mGal/day로 결정되었고, RMS 값은 0.067mGal, 망조정 후 SIGMA값은 0.085mGal로 신뢰도가 매우 높은 것으로 나타났다.

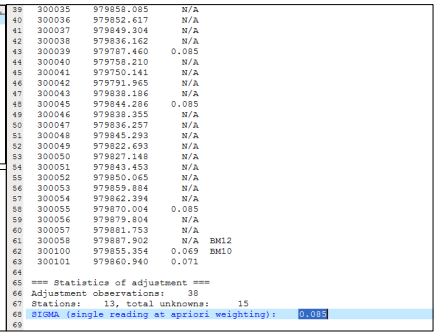


```
=== Reading residuals with tares and drift ===
(excl. single measurements not in adjustment)

  statno      t          seqno    obs        v   plot (0.02 mgal/div)

# G- 899
DRIFT parameter:   0.032 mgal/day
BIAS parameter:    4547.483
900010  280109, 13.36     1  3363.482     0.042        ! *     GNU
300001  280109, 14.04     2  3363.557    -0.099   *    !       BM07
300002  280109, 14.21     3  3365.354    -0.006        *
         ( 5 meas.)
300008  280109, 16.14     9  3348.130    -0.027       *!
         ( 3 meas.)
300039  300109, 16.45    60  3335.095     0.085        !   *
300100  300109, 17.14    61  3402.935     0.030        !*      BM10
300101  300109, 17.33    62  3408.590     0.098        !    *
300100  310109,  8.56    63  3402.935     0.009        *       BM10
300101  310109,  9.41    64  3408.617     0.104        !    *
300045  310109, 10.25    65  3391.827    -0.033      * !
         ( 9 meas.)
300055  310109, 12.27    75  3417.639     0.059        !  *
         ( 3 meas.)
300055  310109, 13.28    79  3417.523    -0.059     * !
300045  310109, 14.27    80  3391.899     0.033        ! *
300100  310109, 15.39    81  3402.882    -0.053     * !       BM10
300101  310109, 16.00    82  3408.477    -0.044      * !
900010  310109, 17.31    83  3363.498    -0.042      * !       GNU
r.m.s. residuals:    0.067
```

그림 3. 계기보정 결과



```
300035    979858.085      N/A
300036    979852.617      N/A
300037    979849.304      N/A
300038    979836.162      N/A
300039    979787.460    0.085
300040    979758.210      N/A
300041    979750.141      N/A
300042    979791.965      N/A
300043    979838.186      N/A
300045    979844.286    0.085
300046    979838.355      N/A
300047    979836.257      N/A
300048    979845.293      N/A
300049    979822.693      N/A
300050    979827.148      N/A
300051    979843.453      N/A
300052    979850.065      N/A
300053    979859.884      N/A
300054    979862.394      N/A
300055    979870.004    0.085
300056    979879.804      N/A
300057    979881.753      N/A
300058    979887.902      N/A  BM12
300100    979855.354    0.069  BM10
300101    979860.940    0.071

=== Statistics of adjustment ===
Adjustment observations:    38
Stations:    13, total unknowns:     15
SIGMA (single reading at apriori weighting):    0.085
```

그림 4. 망조정 결과

표 1은 계산이 완료된 수준점의 중력성과와 F/A이상을 나타낸 것이다.

표 1. 도출된 중력성과와 F/A이상

B.M.	Lat.	Long.	기계값 (CU)	기계보정 (G-899)	Tide 보정량	기계고 보정	중력성과 (mgal)	F/A이상	Bouguer 이상
140000	35.88555	128.58224	3318.75	3365.276	0.013	3365.354	979817.876	27.26	20.46
140100	35.89381	128.55231	3319.22	3365.753	0.008	3365.888	979818.404	25.95	19.56
140101	35.90355	128.54495	3319.75	3366.291	0.005	3366.453	979818.969	25.69	19.30
140200	35.92129	128.54886	3320.95	3367.509	-0.006	3367.568	979820.083	26.02	19.36
140300	35.94882	128.55191	3318.82	3365.347	-0.013	3365.448	979817.963	26.70	18.17
140400	35.98369	128.55356	3314.26	3360.717	-0.019	3360.855	979813.369	27.58	15.97
140500	36.01413	128.54994	3301.85	3348.118	-0.031	3348.130	979800.671	28.30	10.88
140600	36.04653	128.5203	3285.62	3331.642	-0.038	3331.693	979784.207	34.47	7.83
140700	36.07988	128.53956	3310.20	3356.595	-0.046	3356.691	979809.204	29.61	12.76
140800	36.10397	128.54894	3315.38	3361.854	-0.051	3361.979	979814.492	28.88	13.46

4. 결 론

본 연구는 대구~영주~충주를 연결하는 1등 수준노선을 연구대상지역으로 선정하여 G-899 상대중력계를 사용하여 총 56점의 수준점에 대한 상대중력측량을 실시하였다. 중력보정으로는 지구조석보정, 기계고보정, 계기보정을 통한 보정을 거친 후 자유망조정 방법을 거쳐서 최종 중력값을 산출하였다.

연구대상지역의 중력이상값(F/A이상)은 최소 -3.17mGal에서 최대 78.72mGal로 분포하는 것으로 나타났다.

감사의 글

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

참고문헌

윤홍식, 이동하 (2005), "Least square collocation에 의한 GPS/leveling의 정확도 개선", 한국측량학회지, 한국측량학회, 제23권, 제4호, pp.385-392.

이석배, 최재화 (1997), EGM96과 OSU91A 지오포텐셜 모델에 의한 한반도 일원에서의 지오이드 비교분석, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제15권, 제1호, pp.131-139.

Forsberg, R., Tscherning, C.C., and Knudsen, P., 2003, An Overview Manual of the GRAVSOFT, Kort & Matrikelstyrelse.

Longman, I.M.(1959), Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun, Journal of Geophysical Research, Vol. 64, No. 12, pp.2351-2355.

Torge, W.(2001), Geodesy, 3rd Edition, Walter de Guyter, Berlin, New York, pp.178-184.

Torge, W.(1989), Gravimetry, Walter de Gruyter, Berlin, New York, pp.431-456.