

우리나라 산악지에서의 정밀표고 결정*

Precise Height Determination in Mountainous Areas of South Korea

이석배** · 어수창***
Lee, Suk-Bae · Auh, Su-Chang

Abstract

The purpose of this study is to determine the precise height in mountainous areas of South Korea and Jiri mountain area was selected as a test bed for the study. Gravity observation and GNSS surveying were performed for 44 BM(Benchmark) points in the test bed and calculate the height and the height correction. In the calculation, the dynamic correction amount, the orthometric correction amount and the normal correction amount were calculated, and the dynamic height and orthometric height and the normal height were calculated considering each correction amount. The results showed that the difference between normal gravity and observed gravity and also the difference between orthometric correction and the normal correction. In addition, the results of the comparison of the present official BM height and the computed orthometric height in this study show that Korean height system should be shifted from the normal orthometric height system to the orthometric height system. Because the difference between the orthometric correction and the normal correction within the test bed indicated a distribution of at a minimum of -234.41 mm up to 196.925 mm, and the difference between the present official BM height and the calculated orthometric height were distributed from -0.121m to 0.011 m .

Keywords: Orthometric height, Normal height, Orthometric correction, Normal correction, Benchmark

* 이 논문은 2017년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

** 경남과학기술대학교 토목공학과 교수 Department of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology (First author, corresponding author: sblee@gntech.ac.kr)

*** 경남과학기술대학교 토목공학과 박사과정 Graduate School of Gyeongnam National University of Science and Technology (pig9456@naver.co.kr)

1. 서 론

표고는 전통적으로 수준측량(spirit leveling)에 의하여 결정되어 왔다. 그러나 지구상의 두 점 사이의 수준측량을 정밀하게 수행한다 하여도 두 점간의 표고차는 수준측량의 결과와 일치하지 않는다. 왜냐하면 수준측량이 수행된 각 지점의 수평면이 서로 평행을 이루지 않기 때문이며 또 지오이드면과도 정확한 평행을 이루지 않기 때문이다. 이는 각 지점에서의 중력의 차이에 따른 것으로 정확한 표고결정을 위해서는 중력의 차이에 따른 영향을 고려해 주어야 한다.

표고는 역학고(dynamic height)와 정표고(orthometric height) 그리고 정규고(normal height)로 나뉘어지며(Van Hees, 1992), 1955년 Florence에서 열린 IAG(International Association of Geodesy)총회에서 지오폠펜셜(geopotential) 개념이 도입되기 전까지는 역학고를 표고로 사용하여 왔다. 그러나 지오폐텐셜 개념이 도입된 이후에는 정규중력을 사용한 정규고가 표고로서 사용되어 오다가 중력측정이 보편화된 이후로는 실측중력값으로 계산한 정표고를 사용하게 되었다.

우리나라의 경우 1987년 이후로 정규중력에 의하여 정사보정량을 계산하는 정규고(정규정표고) 체계를 유지하여 오고 있다. 물론 대부분의 수준점에서 중력측량을 수행하였기 때문에 정표고 체계로의 전환을 기대할 수 있으나 현재까지 고시된 수준점의 표고성과는 정규고에 기반하고 있다. 따라서 본 연구에서는 표고성과에 가끔씩 문제가 발생하는 산악지에서 정밀한 표고를 결정하는 것을 목적으로 하고 있다. 정밀한 표고의 결정을 위하여 직접 중력측정을 실시하였으며 중력측정 및 계산결과를 바탕으로 역학보정량(dynamic correction), 정사보정량(orthometric correction)과 정규보정량(normal correction)과 역학고, 정표고, 정규고를 계산하였다. 테스트베드는 표고차가 많이 발생하는 지리산 일대를 대상으로 하였으며, 실측중

력에 의한 정사보정량과 정규중력에 의한 정규보정량을 비교·분석하여 산악지에서의 정밀 표고결정을 위한 토대를 마련하였다.

관련 연구로는 Choi and Lee(1997)가 한계령 지역의 정표고 보정에 관한 결과를 발표한 이후로 Yoon and Cho(2004)가 기존 중력자료를 통하여 정사보정을 실시하고 정표고를 계산한 결과를 발표하였으며, Lee et al.(2008)이 1등 수준망조정을 통하여 표고를 결정한 결과를 발표하였고 Kim and Lee(2011)가 수준노선에서 실측중력에 의한 정사보정량 계산결과를 발표하였다. 국외 연구사례로는 Nassar(1997)가 중력값에 따른 표고결정 연구결과를 발표한 이후로 Hwang and Hsiao(2003)가 정사보정량을 적용한 표고계산 결과를 발표하였고, Dennis and Featherstone(2007)은 표고 계산결과에 따라 표고시스템을 비교하는 연구결과를 발표한 바 있다. 그동안의 국내 연구는 대부분이 정규중력과 실측중력에 따른 정사보정량의 차이나 정규고와 정표고의 비교에 국한되었다. 그러나 본 연구에서는 역학고를 처음으로 계산하여 역학고와 정규고와 정표고를 비교하였다는 점에서 의미가 있으며, 또 높이차가 1,000m가 넘는 테스트베드를 선정하여 직접 중력을 측정하고 보정계산을 하였으며 실측중력에 기반하여 세 가지 표고를 계산하고 비교하였다는 점에서 의미가 크다고 할 수 있다.

2. 표고 결정 이론

2.1 표고의 종류

Figure 1에서 보는 바와 같이 지오이드면상의 A_0 점과 A_0 점의 수직선상에 있는 지표상의 A점 사이에 지오폐텐셜값(geopotential number) C는 다음 식에 따라 결정된다.

하고 있다(Heiskan and Moritz, 1967).

$$\gamma = 978032.7 (1 + 0.0053024 \sin^2\phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi) (mGal)$$

여기서, ϕ 는 계산지점의 위도를 의미한다.

실측중력이란 중력계를 가지고 원하는 지점에서 직접 중력을 측정된 값을 의미하며 상대중력계를 이용하는 경우 중력기준점과의 상대적인 중력차를 측정하여 망조정을 거쳐서 절대중력값을 결정하게 된다.

3. 중력의 측정과 표고의 계산

3.1 중력의 측정

중력측정을 통한 정밀표고 결정을 위하여 테스트베드를 선정하였다. 테스트베드는 수준점이 고루 분포되어 있으면서 표고차가 큰 지역을 대상으로 하였으며 지리산 일대의 1등 및 2등 수준점 44점을 대상으로 하였다. 중력측정은 경남과학기술대학교에서 수행한 GNTECH 2015 GNSS Campaign의 일환으로 이루어졌으며(Lee and Auh, 2015), CG5디지털중력계를 이용하여 거창, 여수와 광주의 중력기준점을 기준으로 44점의 수준점에 대하여 총 342회의 상대중력측정을 실시하고 Figure 2와 같은 절차에 의하여 중력이상과 절대중력값을 결정하였다. 중력관측값에서 조석보정과 중력계 높이보정, 드리프트보정을 거친 후 중력망 조정계산을 통하여 중력이상값과 중력값을 결정하였다.

아울러 수준점의 정규중력을 계산하기 위하여 모든 수준점에서 GNSS관측을 실시하였다.

중력값의 계산결과 관측데이터에 과대오차는 없는 것으로 파악되었으며 최종적으로 얻은 지리산 일대 44점 수준점에서의 중력값은 979,572.315mGal에서 979,758.499mGal의 분포를 보이는 것을 알 수 있었다(Lee and Auh, 2015).

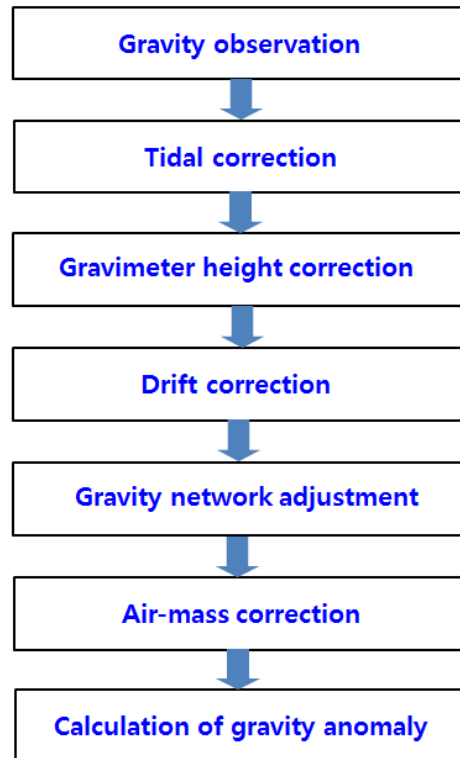


Figure 2. Process of gravity determination

3.2 표고 및 표고보정의 계산

표고는 역학고와 정표고 그리고 정규고를 계산하기 위해 역학보정량과 정사보정량 그리고 정규보정량을 계산하였으며, 계산한 결과는 Table 1과 같다. Table 1에서 보는 바와 같이 역학보정량(DC)은 최소 -774.782mm에서 최대 911.386mm의 분포를 보였으며, 정사보정량(OC)은 최소 -10.886mm에서 최대 121.321mm의 분포를 보였고, 정규보정량(NC)은 최소 -104.071mm에서 최대 232.382mm의 분포를 보였다.

Table 1. Statistics of the three correction calculation (unit: mm)

Division	dynamic correction	orthometric correction	normal correction
Maximum	911.386	121.321	232.382
Minimum	-774.782	-10.886	-104.071
Mean	5.008	5.462	5.459
Standard deviation	232.748	23.959	43.490

Table 2. Statistics of the normal gravity and observed gravity (unit: mGal)

Division	normal gravity	observed gravity	differences
Maximum	979778.055	979763.115	9.298
Minimum	979739.716	979528.440	-231.347
Mean	979758.547	979709.110	-1.053
Standard deviation	11.345	58.527	233.709

4. 결과비교 및 분석

4.1. 정규중력과 실측중력의 비교

각 수준점에서의 정규중력은 식 (1)의 국제중력식을 이용하여 계산하였으며, 이 때 필요한 위도는 GNSS관측을 통하여 얻은 위도값을 이용하였다. 실측중력은 CG5 디지털중력계로 측정한 상대중력을 Figure 2와 같은 계산을 통하여 얻어진 중력값이다. 각 수준점에서 두 중력값을 비교한 결과를 Table 2에 정리하였다. Table 2에서 보는 것과 같이 정규중력(normal gravity)은 979,739.716 mGal~979,778.055 mGal의 분포를 보이고 있는 반면 실측중력(observed gravity)은 979,528.440 mGal~979,763.115 mGal의 분포를 보이고 있어 실측중력의 분포범위가 넓은 것을 알 수 있다. 따라서 표준편차 또한 정규중력의 11.345 mGal에 비하여 실측중력은 58.527 mGal로 커지는 것을 알 수 있다. 이는 정사보정량의 크기가 정규보정량과는 매우 다르게 나타날 것을 의미하는 것이다. 실측중력과 정규중력의 차이는 -231.347 mGal~9.298 mGal의 분포를 보이고 있으며 평균적으로 -1.053 mGal의 차이를 보이고 있다.

이를 그래프로 표현하면 Figure 3과 같다. Figure 3에서 보는 것과 같이 10번점(수준점 01-00-30-08)과 35번점에서 중력값의 차이가 크게 벌어지는 것을

알 수 있다. 이를 살펴보면 10번점에서 앞 점(9번점, 수준점 01-00-30-01)과의 표고차가 583.376m, 뒷 점(11번점, 수준점 01-00-30-12)과의 표고차가 -811.775m 발생하고 있으며, 35번점(수준점 01-00-04-14)의 경우 앞점(34번점, 수준점 01-00-04-13)과의 표고차가 857.806m, 뒷 점(36번점, 수준점 01-00-30-11)과의 표고차가 -153.674m가 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한 지리산은 화강암과 화강편마암이 넓게 분포하고 있기 때문에 이러한 암석들의 밀도가 제대로 반영된 실측중력의 암석들의 밀도가 제대로 반영되지 못하고 위도의 함수로 계산된 정규중력이 표고차가 큰 지역에서 상당한 차이가 발생하고 있음을 알 수 있다.

4.2. 표고보정량의 비교

역하고, 정표고 및 정규고 계산에 앞서 역학보정량(DC), 정사보정량(OO)과 정규보정량(NO)을 먼저 계산하였다. 역학보정량은 그 값이 너무 크게 나오기 때문에 1955년 이후로는 사용되지 않는 표고개념이지만 우리나라에서 한 번도 계산된 적이 없기 때문에 그 크기를 보기 위하여 계산하여 보았다. 정사보정량 계산에는 실측중력을 이용하였고, 정규보정량 계산에는 정규중력을 이용하였다. 따라서 세가지 보정량 계산 결과의 차이를 Table 3에 정리하였는데, 역학보정량

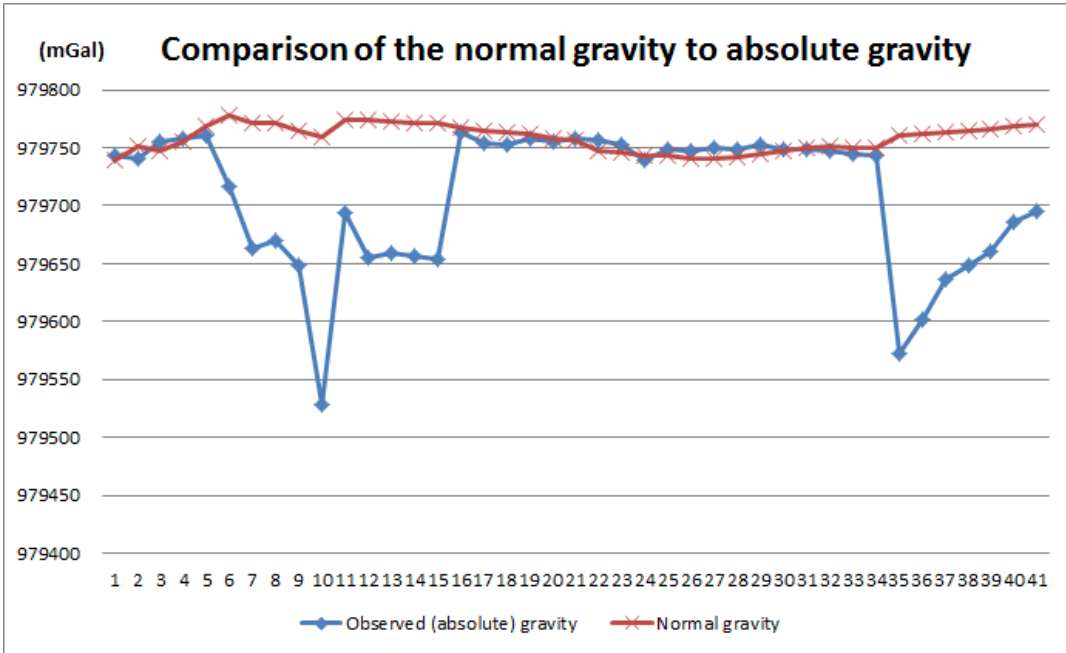


Figure 3. Comparison of the normal gravity and observed absolute gravity

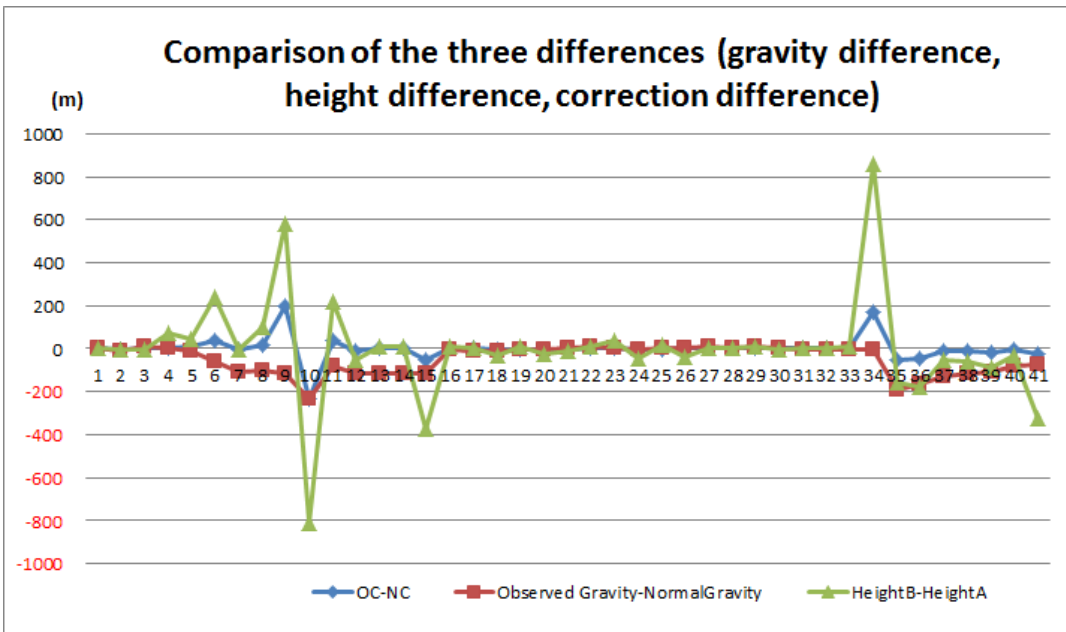


Figure 4. Comparison of the three differences (gravity difference, height difference, correction difference)

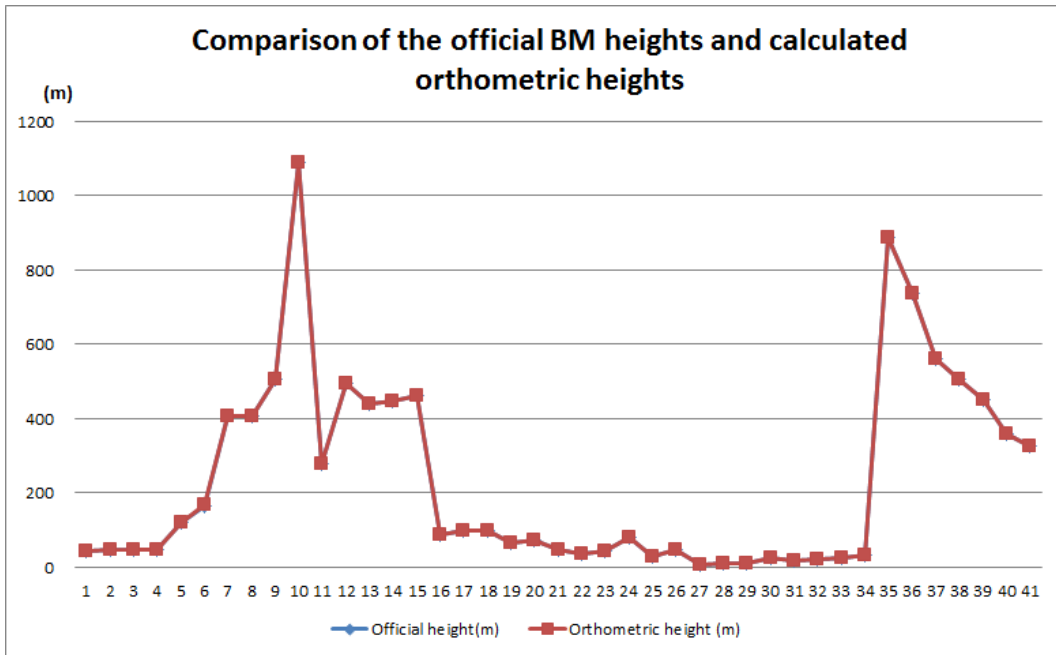


Figure 5. Comparison the official BM heights to calculated orthometric height

과 정사보정량의 차이를 ($DC-OC$) 열(column)에 역학보정량과 정규보정량의 차이를 ($DC-NC$) 열에 그리고 정사보정량과 정규보정량의 차이를 ($OC-NC$) 열에 정리하였다. 예상대로 역학보정량의 값이 매우 크기 때문에 ($DC-OC$)나 ($DC-NC$)가 역시 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 중요한 것은 정사보정량과 정규보정량의 차이($OC-NC$)인데 그 평균이 0.003 mm로 매우 작게 나타났으나, 최대값이 196.925 mm, 최소값이 -234.41 mm로 나타나 산악지에서는 그 차이가 지역에 따라 심하게 발생하는 지점이 있다는 것을 알 수 있으며 이는 수준점 성과계산에 있어서 정규보정량이 아닌 정사보정량을 채택하여야 하는 이유를 설명하여 주고 있는 것이다.

Table 3에서 가장 중요한 항목은 정사보정량과 정규보정량의 차이($OC-NC$)이다. 따라서 이 차이를 각 측정점별로 Figure 4에 그래프로 그려보았다. 또한 정사보정량과 정규보정량의 차이가 보정량을 계산한 앞

Table 3. Statistics of the each correction differences (unit: mm)

Division	$DC-OC$	$DC-NC$	$OC-NC$
Maximum	910.414	676.005	196.925
Minimum	-896.103	-724.834	-234.410
Mean	-0.454	-0.451	0.003
Standard deviation	250.472	194.247	58.154

뒤 측정점의 표고차와의 연관성을 알기 위하여 함께 그래프에 나타내 보았으며, 또한 각 측정점에서의 실측중력과 정규중력과 차이를 함께 도시함으로써 상호간의 연관성을 파악하고자 하였다. Figure 4를 통하여 표고차가 많이 발생하고 있는 지점에서 정규중력 및 실측중력의 차이나 정사보정량 및 정규보정량의 차이가 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4. Statistics of the orthometric heights and official BM heights (unit: m)

Division	official BM heights	orthometric heights	differences
Maximum	1,090.650	1,090.651	0.011
Minimum	8.323	8.323	-0.121
Mean	236.468	236.474	-0.005
Standard deviation	-	-	0.024

4.3. 표고의 비교

역학보정량값이 너무 커 더 이상 역학고가 사용되지 않기 때문에 표고의 비교는 정표고와 정규고의 비교에 국한하였다. 본 연구에서 계산된 정표고와 정규고의 비교는 이미 Table 3에서 그 보정량값의 차이로 비교되었기 때문에, 본 절에서는 국토지리정보원에서 발행한 우리나라의 정표고 성과와 본 연구에서 계산된 최종적인 정표고 성과를 비교하였다. 각 측정별로 그 표고값을 비교하여 Figure 5에 도시하였으나 표고값에 비하여 그 차이가 매우 근사하여 두 표고값이 거의 중복되어 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 두 표고 차이의 통계값을 Table 4에 정리하였다.

Table 4에서 보는 바와 같이 지리산 일대 44점의 수준점 성과에 나타난 표고는 최소 8.323 m에서 최대 1090.65 m로 1000 m가 넘는 표고 분포를 보이고 평균표고는 236.468 m로 나타났다. 또 본 연구에서 실측중력을 활용한 정사보정량을 적용하여 계산한 표고값은 최소 8.323 m에서 최대 1090.651 m의 분포를 보이고 평균표고는 236.474 m로 나타났다. 표고값의 평균 차이는 5 mm로 작은 것으로 나타났으며, 표고차이의 표준편차는 24 mm로 나타났다. 그러나 각 측정별로 계산한 결과를 분석해 보면 수준점 고시성과와 정표고의 차이가 가장 큰 지점은 35번점으로 그 크기는 -121 mm로 나타났다. 35번점은 수준점 01-00-04-14

로 그 표고값이 31.686 m로 그리 높지 않은 지점이나 그 다음 측정점과의 표고차가 857.806 m로 테스트베드내의 수준노선중 그 표고차가 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 정사보정량과 정규보정량의 차이는 두 측정점 사이의 표고차가 가장 클 때 발생한 것으로 나타났다으며 우리나라의 수준점 표고체계도 국토지리정보원에서 수준점의 실측중력에 의한 정사보정량 계산이 이미 이루어진 상태이므로 정규정표고 체계에서 정표고 체계로의 전환을 서두를 때라고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 우리나라 산악지에서의 정밀표고결정을 위하여 지리산 일대를 테스트베드로 선정하여 테스트베드 내의 44점의 수준점에 대하여 중력측정 및 GNSS 관측을 실시하였다. 또한 계산된 중력값을 이용하여 역학보정량, 정사보정량 및 정규보정량을 계산하고 이를 적용한 역학고와 정표고 그리고 정규고를 계산하였으며, 계산 결과를 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 국제중력식에 의하여 계산된 정규중력과 실측중력에 의하여 결정된 수준점들의 절대중력값은 평균적으로는 큰 차이를 보이고 있지 않았으나, 표고차가 큰 지점에서는 -231.347 mGal의 차이를 보였다. 이는 표고차가 큰 지점의 밀도의 차이에 기인하는 것으로 표고계산에 있어서 정규중력이 아닌 실측중력을 사용하여야 하는 이유를 보여주는 것이다.

둘째, 정사보정량과 정규보정량의 값을 비교한 결과 최소 -234.41 mm에서 최대 196.925 mm의 차이를 나타냄으로써 수준점 성과계산에 있어서 정규보정량이 아닌 정사보정량을 채택하여야 함을 보여주었다.

셋째, 정규정표고 체계를 유지하고 있는 현재의 수준점 고시성과와 본 연구에서 계산된 정표고 값을 비교한 결과 표고값의 평균 차이는 5 mm로 작은 것으로

나타났으나 측정점 사이의 표고차가 857.806 m인 지점에서는 표고차이가 -121 mm로 나타났다. 이는 정사보정량과 정규보정량의 큰 차이는 두 측정점 사이의 표고차가 클 때 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 표고차에 따른 지반의 밀도차가 고려되지 않은 것이 원인인 것으로 파악되었다. 따라서 우리나라의 수준점 표고체계도 정규정표고 체계에서 정표고 체계로의 전환을 하여야 함을 보여주고 있다.

참고문헌

References

- 김철영, 이석배. 2011. 우리나라 수준노선에서 실측중력에 의한 정사보정량 계산, *한국측량학회지* 29(3):319-325.
- Kim CY, Lee SB. 2011. Calculation of orthometric correction by observed gravity at Korean benchmark line, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 29(3):319-325.
- 윤홍식, 조재명. 2004. 정사보정에 의한 정표고의 정밀 계산, *한국측량학회지* 22(2):117-125.
- Yun HS, Cho JM. 2004. Calculation of Precision Orthometric Height by Orthometric Correction, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 22(2):117-125.
- 이석배, 어수창. 2015. 지리산 일대의 중력측정에 의한 중력이상의 계산, 2015 대한토목학회 정기학술대회 논문집 2015:41-42
- Lee SB, Auh SC. 2015. Calculation of Gravity Anomaly by measurement of Gravity in and around Jiri-mountain, KSCE(Korean Society of Civil Engineers) 2015 Civil Expo & Conference, 2015:41-42
- 이창경, 서용철, 전부남, 송창현. 2008. 2006 우리나라 1등 수준망 조정, *한국측량학회지* 26(1):17-26.
- Lee CK, Suh YC, Chun BN, Song CH. 2008. Adjustment of 1st order Level Network of Korea in 2006, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 26(1):17-26.
- 최광선, 이정모. 1997. 강원도 한계령 지역의 정규고 보정에 대한 연구, *한국지구과학회지*, 18(6): 522-528.
- Choi KS, Lee JM. 1997. A Study on the Orthometric Height Correction in Mt. Hangye Area, *Journal of the Korean Earth Science Society*, 18(6): 522-528
- Dennis ML, Featherstone WE. 2007. Evaluation of Orthometric and Related Height Systems Using a Simulated Mountain Gravity Field, Western Australian Centre for Geodesy, Curtin University of Technology, GPO Box U1987, Perth, WA 6845,
- Heiskanen WA, Moritz H. 1967. *Physical Geodesy*, Freeman and Company, p.160-172.
- Hwang C, Hsiao YS. 2003. Orthometric Corrections from Leveling, Gravity, Density and Elevation data : a Case Study in Taiwan, *Journal of Geodesy*, 77:279-291.
- Nassar MM. 1977. Gravity Field and Levelled Heights in Canada, *Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report.*, 41: 54-72.
- Van Hees GLS. 1992. Practical Formulas for the Computation of the Orthometric, Dynamic and Normal Heights, *Zeitschrift fur Vermessungswesen*, 11:727-739.

2018년 10월 04일 원고접수(Received)
2018년 10월 08일 1차심사(1st Reviewed)
2018년 10월 29일 2차심사(2st Reviewed)
2018년 11월 22일 게재확정(Accepted)

초 록

본 연구는 우리나라 산악지에서의 정밀표고결정을 목적으로, 지리산 지역을 테스트베드로 선정하고 테스트베드 내의 44점의 수준점에 대하여 중력측정 및 GNSS 관측을 실시하고 측정결과를 바탕으로 표고보정량과 표고를 계산하고 연구한 논문이다. 계산에 있어서는 역학보정량과 정사보정량 및 정규보정량을 계산하였으며 이를 적용한 역학고와 정표고 그리고 정규고를 계산하였다. 연구결과 정규중력과 실측중력의 차이를 규명해 내었고 또 정사보정량과 정규보정량의 차이를 규명할 수 있었다. 또한 정규정표고 체계를 유지하고 있는 현재의 수준점 고시성과와 본 연구에서 계산된 정표고 값을 비교한 결과는 우리나라의 수준점 성과체계가 정규정표고 체계에서 정표고 체계로의 전환하여야 함을 보여주고 있었다. 테스트베드내에서 정사보정량과 정규보정량의 차이는 최소 -234.41 mm에서 최대 196.925 mm의 분포를 나타냈고, 현재의 수준점 고시성과와 본 연구에서 계산된 정표고와의 차이는 -0.121 m에서 0.011 m의 차이를 보여주는 것을 알 수 있었다.

주요어 : 정표고, 정규고, 정사보정량, 정규보정량, 수준점