

강원도 한계령 지역의 정규고 보정에 대한 연구

최광선* · 이정모**

*부산대학교 지구과학교육과, **경북대학교 지질학과

A Study on the Orthometric Height Correction in Mt. Hangye Area

Kwang-Sun Choi* and Jeong-Mo Lee**

*Department of Earth Science, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

**Department of Geology, Kyongbuk National University, Taegu 702-701, Korea

Abstract: Gravity surveys with accompanying spirit levelings were carried out in Mt. Hangye area. From these survey results, orthometric height correctioins were calculated. The correction reaches 5 cm when the height difference is 900 m in this area. The corrections were also calculated using an available Bouguer anomaly map, and they are little different from the previous results. In conclusion, orthometric height corrections are necessary in precise spirit leveling, specially in higher lands, and they can be easily calculated from an available Bouguer anomaly map without laborious gravity surveys.

Keywords: orthometric height, gravity potential, dynamic height, gravity anomaly, geoid

요 약: 강원도 한계령 일원에서 수준 측량을 수반한 중력 측정을 하고, 이 자료를 이용하여 이 지역의 정규고 보정치를 계산하였다. 정규고 보정치는 900 m 높이 차이에 5 cm에 이르고 있으며, 정밀 수준 측량에 정규고 보정이 필수적임을 시사하고 있다. 또한 중력 측정을 하지 않은 경우의 수준 측량을 고려하여 부우계 이상도에서 계산한 중력치를 이용하여 정규고 보정치를 계산하여 보았으며, 이 경우 계산 결과가 거의 일치하고 있어 중력이상도와 측정좌표가 주어지면 중력 측정을 하지 않아도 거의 정확하게 정규고 보정을 할 수 있음을 나타내고 있다.

주요어: 정규고, 중력포텐셜, 역학고, 중력이상, 지오이드

서 론

지형의 요철이나 지하 물질의 불균질에 의해 중력 포텐셜면에 기복이 야기되고 있으며, 특히 산악 지역에서의 기복의 변화는 크게 나타나고 있다. 이 때문에 지역에 따라 각 등중력포텐셜면 사이의 높이 차이가 달라지게 되며 결과적으로 높이 차이가 일정한 표척의 높이 차의 누적에 의한 수준 측량의 높이 차이와 포텐셜면의 높이 차이가 다르게 나타난다(Fig. 1). 그러므로 지역이 다른 두 지점의 수준 측량 높이가 같다고 할지라도 중력포텐셜 값이 달라지게 되며, 이러한 측량의 결과는 물리적으로 무의미 한 것이 되고 만다. 정규고(orthometric height)는 지오이드면에서 측량 지점까지의 포텐셜차이를 기준으로 한 높이이며, 측량의 결과는 정규고 보정에 의해 포텐셜차이로 환산되어야 만이 비로소 물리적 의미를 갖게 된다 (Heiskanen and Moritz, 1987; Vanicek and Krakiwsky, 1982).

Fig. 1에서 지오이드면상의 O점에서 A점까지 수준

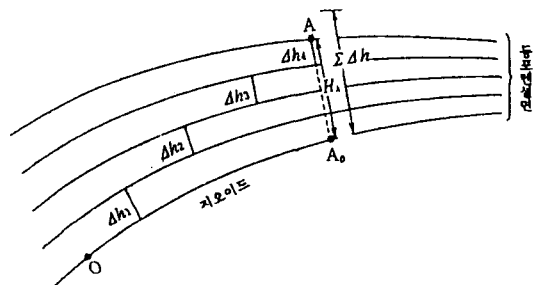


Fig. 1. Orthometric height and spirit leveling height.

측량을 하는 경우 등중력포텐셜면의 기복으로 인하여 A점에서의 정규고 H_a 와 수준 측량 높이 $\sum \Delta h$ 가 달라지게 되며 이를 보정하는 것이 정규고 보정이다.

평지에서는 지오이드가 매우 완만하게 변화하므로 정규고 보정량이 작아 통상 이를 무시하고 있으나, 정밀 수준 측량이나 측량 거리가 긴 경우 또는 산악 지역에서의 측량의 경우는 중력 변화의 영향이 상대적으로 크게 나타나므로 정규고 보정을 하여야 할 것이다.

그러나 수준 측량의 모든 측정에서 중력을 측정하는 것도 문제이며, 수준 측량 작업에 중력 측정을 수반하는 자체가 현실적으로 거의 불가능하다고 할 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 한계령 일원에서 수준 측량과 병행한 중력 측정 자료를 이용하여 정규고 보정치를 계산하여 보고, 중력 측정이 수반되지 않는 일반 수준 측량에서 기존 중력 자료를 이용하여 이를 효과적으로 보정하여 주는 방안을 연구하여 보았다.

이론적 배경

Geopotential Number 와 역학고(Dynamic Height)

Fig. 1에서 O점을 지오이드면상의 점이라 하고, A 점을 O점과 연결된 수준 측량선 상의 한 점이라고 하면 수준 측량과 중력 측정을 병행함으로써 A와 O점 사이의 포텐셜 차를 결정할 수 있다.

$$\int_0^A g dh = W_0 - W_A = C \quad (1)$$

지오이드면의 포텐셜 W_0 와 A점의 포텐셜 W_A 의 차이 C를 A점의 geopotential number라고 하며, 이는 측량의 경로에 무관한 양이다(Heiskanen and Moritz, 1987; Bomford, 1977; 友田好文 등, 1985).

Geopotential number는 g.p.u. 단위로 측정되며

$$1 \text{ g.p.u.} = 1 \text{ kGal meter} = 1000 \text{ Gal meter} \quad (2)$$

지표면에서의 중력치는 대략 $g \approx 0.98 \text{ kGal}$ 이므로,

$$C \approx gH \approx 0.98H \quad (3)$$

g.p.u. 단위의 geopotential number는 meter 단위의 해발고도와 거의 같다.

역학고 H_d 는

$$H_d = \frac{C}{\gamma} \quad (4)$$

γ : 정규중력. 통상 위도 45° 의 정규중력을 이용함

와 같으며, 역학고는 geopotential number를 단순히 길이 단위로 환산한 것에 불과하다. 그러므로 geopotential number는 포텐셜과 관련하여 물리적인 의미를 갖고 있지만, 역학고는 물리적으로 무의미한 양이다.

역학고 보정(Dynamic correction)

수준 측량에 의한 높이 차를 역학고의 차로 변환하기 위해서는 역학고 보정이 필요하다.

식(4)에 의해, A, B 두 지점의 역학고의 차 ΔH_d 는

$$\Delta H_d = H_d^B - H_d^A = \frac{1}{\gamma} \int_A^B g dh = \int_A^B dh + \int_A^B \frac{g - \gamma}{\gamma} dh \quad (5)$$

와 같다. 식(5)에서 우변의 첫째 항은 수준 측량에 의한 높이 차이이며, 두 번째 항이 역학고 보정이 된다. 그러므로, A, B 두 지점 사이의 수준 측량 결과를 역학고의 차이로 환산하고자 하는 경우

$$DC_{AB} = \int_A^B \frac{g - \gamma}{\gamma} dh = \sum_A^B \frac{g - \gamma}{\gamma} \Delta h \quad (6)$$

와 같은 역학고 보정 DC_{AB} 를 보정을 해 주어야 한다(Heiskanen and Moritz, 1987; Vanicek and Krakiwsky, 1982; 友田好文 등, 1985).

정규고(Orthometric height)

C를 점 p의 geopotential number라고 하고, H를 점 p의 정규고라고 하면 C와 H의 관계는

$$C = \int_0^H g dH \quad (7)$$

과 같이 되며, 이를 정규고 H에 대하여 표현하면

$$H = \int_0^H \frac{dC}{g} \quad (8)$$

가 된다. 이를 이용하면 식(7)은

$$C = \int_0^H g dH = H \cdot \frac{1}{H} \int_0^H g dH \quad (9)$$

가 되며, 지오이드와 p점 사이의 평균 중력을 \bar{g} 라고 하면

$$\bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g dH \quad (10)$$

식(9)는 다음과 같이 된다.

$$C = \bar{g}H \quad (11)$$

그러므로 정규고 H는

$$H = \frac{C}{\bar{g}} \quad (12)$$

가 되며, 평균 중력 \bar{g} 와 geopotential number를 알면 정규고 H를 계산할 수 있다. 그러나 지오이드면과 H 사이의 지하의 중력을 측정하기는 거의 불가능하다. 반면에 평균 중력 \bar{g} 는 H와 거의 무관하며, 이론적으로 거의 정확하게 평균 중력 \bar{g} 를 계산할 수 있으므로 통상 이론치를 이용하고 있다.

식(10)을 다시 쓰면,

$$\bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g(z) dz \quad (13)$$

이 된다. 중력 g 의 구배 $\frac{\partial g}{\partial h}$ 는 표준 중력의 구배 $\frac{\partial \gamma}{\partial h}$ 와 지오이드면과 H사이의 물질의 영향으로 나타낼 수 있으며,

$$\frac{\partial g}{\partial h} = \frac{\partial \gamma}{\partial h} + 4\pi G\rho \quad (14)$$

G: 만유인력상수

ρ : 평균밀도

여기서 $\frac{\partial \gamma}{\partial h} = 0.3086 \text{ mGal/m}$, $\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$ 로 하면

$$\frac{\partial g}{\partial h} = -0.3086 + 0.2238 = -0.0848 \text{ (Gal/km)} \quad (15)$$

가 된다. 그러므로 지오이드면과 높이 H사이의 평균 중력 \bar{g} 는

$$\bar{g} = g + 0.0424H \text{ (Gal/km)} \quad (16)$$

g: H 높이의 중력

이 된다. 그러므로 p점의 정규고 H는 식(12)에 의해

$$H = \frac{C}{g + 0.424H} \quad (17)$$

와 같이 된다(Heiskanen and Moritz, 1987; Vanicek and Krakiwsky, 1982; 友田好文 등, 1985).

정규고 보정

정규고 보정은 측량에 의한 높이를 정규고로 환산하기 위하여 측량 결과에 보정하여 주어야 할 양이다.

A, B 두 지점을 지나는 수준 측량선에서 A, B 두 지점의 정규고 차이 ΔH_{AB} 는

$$\begin{aligned} \Delta H_{AB} &= H_B - H_A \\ &= H_B - H_A - H_d^B + A_d^A + (H_d^B - H_d^A) \\ &= \Delta H_d + (H_B - H_d^B) - (H_A - H_d^A) \end{aligned} \quad (18)$$

와 같이 각 지점의 역학고와 정규고로 나타난다. 그러므로 A, B 두 지점 사이의 정규고 보정 OC_{AB} 는

$$OC_{AB} = DC_{AB} + DC_{OA} - DC_{OB} \quad (19)$$

와 같이 정리할 수 있으며, 식(6)에 의한 식(19)의 각각의 역학고는

$$DC_{AB} = \int_A^B \frac{g - \gamma}{\gamma} dh = \sum_A^B \frac{g - \gamma}{\gamma} dh$$

$$DC_{OA} = \int_A^B \frac{g - \gamma}{\gamma} dh = \frac{\bar{g}_A - \gamma}{\gamma} H_A$$

$$DC_{OB} = \int_0^B \frac{g - \gamma}{\gamma} dh = \frac{\bar{g}_B - \gamma}{\gamma} H_B \quad (20)$$

와 같이 나타낼 수 있으므로 A, B 두 지점 사이의 측량에 의한 높이 차이에 적용하여야 할 정규고 보정은 다음과 같이 된다(Heiskanen and Moritz, 1987; Pick et. al., 1973; 友田好文 등, 1985).

$$\begin{aligned} OC_{AB} &= \sum_A^B \frac{g - \gamma}{\gamma} dh \\ &+ \frac{\bar{g}_A - \gamma}{\gamma} H_A - \frac{\bar{g}_B - \gamma}{\gamma} H_B \end{aligned} \quad (21)$$

그러므로 식(21)에 의해 수준 측량과 병행한 중력 측정 자료를 이용하여 수준 측량 결과를 정규고 높이로 환산하기 위한 정규고 보정치를 계산할 수 있다.

정규고 보정량의 계산과 고찰

1996년 8월 6일부터 8월 26일까지 강원도 중부지방에서 수준 측량을 병행한 중력 측정을 실시하였으며, 측량 거리는 총연장 300 km이다. 이중 강원도 양양읍-한계령-강원도 인제군 북면에 이르는 측선은 측선이 거의 직선이고 길이가 비교적 길며 표고 차이도 크므로 이 측선을 따라서 정규고 보정치를 계산하여 보았다.

측량은 강원도 양양읍 보건소 내의 국립지리원 매설 1등수준점 35-15(표고=12.661 m)를 시점으로 하여 강원도 인제군 북면 원통리의 국립지리원 매설 1등수준점 34-37(표고=240.780 m)까지 총 측선 거리 41.05 km에서 수준 측량을 실시하였다. 이용한 측량 기기는 일본 Nikon사의 DTM-A5LG total station (serial no.=850366, 1초독)이며, 측량 결과 수준점의 표고에 의한 폐함오차는 11.7 cm로 시준 거리에 따라 배분하여 보정하였다. 측량지점중 최대 표고는 한계령의 913.16 m이다(Fig. 2).

중력 측정은 측량선을 따라 평균 약 520 m 간격으로 79개 지점에서 중력을 측정하였다. 사용한 중력계는 부산대학교 소장의 LaCoste and Romberg 중력계 (serial no.=G899)를 이용하였으며, 모든 중력치는 국립지리원이 매설한 부산대학교 중력기점(중력치=979,759.931 mGals)의 중력치를 기준으로 계산하였다. 본 측선중 관측중력치는 강원도 양양읍 보건소에서 최대 980,017.08 mGals이며, 한계령에서 최저 979,800.76 mGals로 약 200 mGals의 중력 차이가 나

고 있다(Fig. 2).

식(21)과 본 측선의 중력 및 표고 차이를 고려하여 보면 비교적 큰 양의 정규모 보정을 예상할 수 있으며, 본 연구에서는 식(21)을 이용하여 상기의 측량 측선의 모든 중력 측정 지점에 대한 정규모 보정량을 계산하여 보았다.

정규모 보정량은 양양읍 보건소의 1등수준점 35-15를 기준으로 상대적으로 계산하였으며, 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2의 중축은 35-15 수준점을 기준으로 34-37 수준점까지의 측량 거리이다. 하단의 그림은 각 중력측점의 수준 측량 높이이며, 중간 그림은 각 중력측점의 관측중력치이다. 관측 중력과 표고는 서로 역상관의 관계가 있는 양으로 그림에서도 이러한 관계가 잘 나타나고 있다. 상단의 그림은 측정중력치와 수준 측량에 의한 높이를 이용하여 계산한 상대적인 정규모 보정량이다. 각 측점과 지오이드면 사이의 평균 중력 \bar{g} 를 계산하기 위한 표준 중력 γ_0 는 GRS1980 중력공식에서 위도 45도의 값을 사용하였으며, 지오이드와 지표사이의 물질의 평균 밀도는 2.67 g/cm^3 으로 하였다. 이상의 결과 보정량의 최대치는 5.2 cm로 측량 높이가 913.16 m인 한계령에서 나타나고 있다.

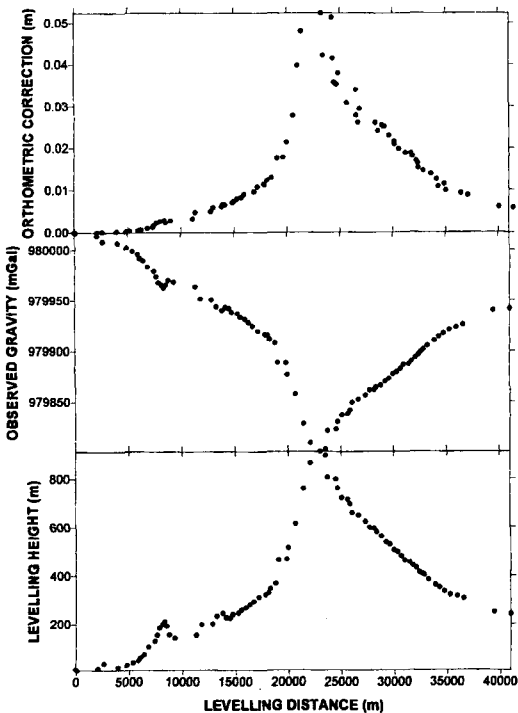


Fig. 2. Spirit levelling height, observed gravity and orthometric correction values of the studied area.

정규모 보정량의 변화를 중력과 측량 높이의 변화와 비교하여 보면 정규모 보정치는 지형의 변화에 민감하여 지형과 거의 완전한 정상관을 이루며(Fig. 2, 3), 중력의 변화에는 역으로 거의 완전한 역상관을 이루고 있음을 잘 알 수 있다(Fig. 2).

Fig. 3은 수준 측량 높이와 정규모 보정량의 관계를 나타낸 것으로 전반적으로 표고 높이에 비례하여 정규모 보정량도 커지고 있으며, 표고가 커질수록 정규모 보정량의 구배도 증가함을 알 수 있다. 이는 표고의 증가에 따른 관측중력치의 변화구배의 영향으로, 본 연구의 결과가 타당함을 잘 시사해 주고 있다.

본 연구의 결과에 의하면, 표고 높이에 따라 정규모 보정량의 구배가 달라지지만 한계령 지역에서는 약 900 m의 높이 차이에 약 5 cm 정도의 정규모 보정이 필요하다. 한편 Mader(1954)에 의하면 알프스 산맥의 754 m에서 2505 m 사이의 높이에서의 정규모 보정량은 1000 m 높이 차이에 약 15 cm이라고 한다(Heiskanen and Moritz, 1987). Fig. 3에 지리산 지역의 정규모 보정량의 변화를 나타내었다(최광선 등, 1997). 지리산의 경우 1,000 m 이하에서는 한계령과 거의 같은 변화를 보이지만 1,000 m 이상 1,430 m까지의 430 m 구간에서는 약 6.5 cm의 변화를 보이고 있다. 이로 미루어 보아 우리나라에서도 1000 m 이상의 지역에서는 1000 m 높이 차이에 약 15 cm의 보정량이 나타남을 알 수 있다.

또한 측량의 종점인 수준점 34-37의 보정량은 0.6 cm로 시점인 수준점 34-35와의 높이 차이가 228.12 m이고 본 측량선의 길이가 41.05 km인 점을 고려하

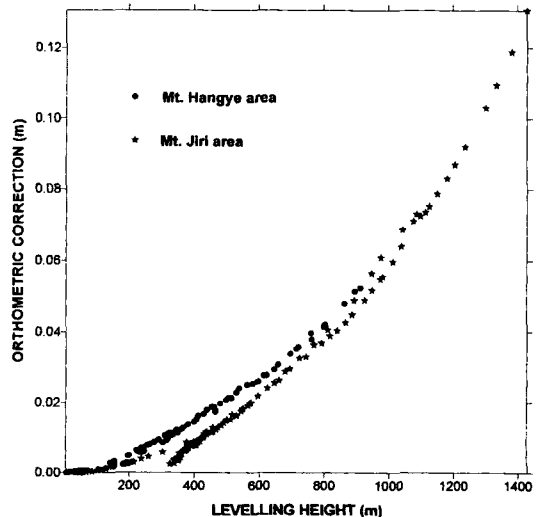


Fig. 3. Spirit levelling height and orthometric correction values of the Mt. Hangye and Mt. Jiri area.

면 평지에서의 일반적인 수준 측량에서의 정규고 보정은 무시할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 수준망 연결 등과 같은 정밀 수준 측량에서는 이러한 정규고 보정량도 매우 큰 양으로 정밀 수준 측량에서는 정규고 보정이 필수적으로 적용되어야 함을 나타낸다.

한편, 일반적인 수준 측량에서 중력 측정을 병행하는 것은 현실적으로 매우 어려운 일이며, 실제로 중력 측정은 국립지리원이 매설한 1등 또는 2등 수준점 정도에 국한되고 있다. 이러한 현실적인 상황을 고려하여 측점 좌표와 측량 높이만 주어지는 경우 기존 중력 자료를 이용한 정규고 보정량을 계산하여 보고, 이를 본 연구의 결과와 비교하여 보았다.

측점 좌표와 측량 높이만으로 정규고 보정을 하기 위해서는 우선 측점의 관측 중력을 계산하여야 한다. 중력 자료가 전무할 경우 정규중력공식을 이용하여 측점의 중력을 계산할 수 있으나 이 경우 우리나라에서는 중력이상치가 80 mGals 이상 차이가 나며, 80 mGals의 오차는 측점 높이 차이가 1000 m인 경우 약 8 cm의 보정 오차를 유발시킨다. 반면에 중력이상도가 주어지면 측점위치의 관측 중력을 거의 정확하게 계산할 수 있다. 고도 이상은 지형의 변화에 민감하여 중력측점 밀도가 높아도 실용적인 고도 이상도의 작성에 어려움이 있다. 반면에 부우계 이상은 지하의 밀도 분포의 영향을 나타내는 것으로 고도 이상에 비해 매우 완만히 변화하므로 측점밀도가 비교적 작아도 부우계 이상도를

효과적으로 작성할 수 있다. 우리나라에서의 중력측점 밀도는 산술적으로 20 km²에 1측점 정도이나 대부분 저지대에 집중되어 있어 아직까지 실용적인 고도 이상도의 작성에는 많은 문제가 있다. 반면에 부우계 이상도는 비교적 훌륭하게 작성되고 있어 우리나라에서 측점 좌표를 이용하여 관측 중력을 계산하는 경우 부우계 이상도의 이용이 바람직하다.

부우계 이상은 다음과 같이 관측중력치에 여러 가지 보정을 함으로써 계산하는 것으로,

$$\text{부우계이상} = \text{관측중력} + \text{고도보정} - \text{부우계보정} + \text{지형보정} + \text{대기보정} - \text{표준중력}$$

이를 이용하여 다음과 같이 부우계 이상에서 측점 좌표의 관측 중력을 계산할 수 있다.

$$\text{관측중력} = \text{부우계이상} + \text{표준중력} - \text{대기보정} - \text{지형보정} + \text{부우계보정} - \text{고도보정} \quad (22)$$

측점 좌표와 측량 높이만으로 측점의 정규고 보정치를 계산하기 위하여, 측점 좌표와 측량 높이는 앞에서 사용한 자료를 이용하였다. 관측 중력은 강원도 일원의 부우계 이상도를 이용하여 식(22)에 의해 계산하였으며, 정규고 보정치 계산 간격은 실제의 측량 및 중력 측정 간격이 평균 520 m이지만 국립지리원의 수준점 매설 간격을 고려하여 2 km 간격으로 계산하였다.

Table 1은 측점 좌표와 측량 높이만으로 계산한 관

Table 1. Orthometric correction values with measured and calculated observed gravity

Latitude (degree)	Longitude (degree)	Height (m)	Observed Gravity (mGal)			Ortho. Corr. (m)		
			Measured	Calculated	Diff	Measur	Calcul	Diff
38.0728	128.6208	12.66	980017.08	980017.23	-.15	.000	.000	.000
38.0711	128.6156	6.38	980016.34	980016.47	-.17	.000	.000	.000
38.0706	128.5975	33.58	980008.19	980008.35	-.16	.000	.000	.000
38.0564	128.5700	48.18	979995.73	979995.10	.63	.001	.001	.000
38.0600	128.5547	183.47	979967.53	979967.70	-.17	.002	.003	-.001
38.0756	128.5269	142.98	979967.91	979967.70	.21	.003	.003	.000
38.0731	128.5114	198.50	979951.70	979951.40	.30	.005	.005	.000
38.0756	128.4986	245.88	979939.88	979939.61	.27	.007	.007	.000
38.0708	128.4789	257.56	979933.22	979933.19	.03	.008	.008	.000
38.0736	128.4581	322.05	979916.93	979916.60	.33	.011	.012	-.001
38.0833	128.4350	517.04	979877.41	979877.31	.10	.021	.021	.000
38.0914	128.4183	760.27	979828.56	979828.85	-.29	.040	.040	.000
38.0947	128.4075	913.16	979800.76	979800.52	.24	.052	.053	-.001
38.1006	128.3869	715.42	979838.16	979838.90	-.74	.035	.035	.000
38.1092	128.3672	598.65	979861.55	979861.01	.54	.026	.026	.000
38.1156	128.3500	507.00	979877.82	979878.09	-.27	.021	.021	.000
38.1169	128.3331	441.78	979890.26	979889.89	.37	.018	.018	.000
38.1186	128.3189	382.76	979905.42	979905.21	.21	.014	.014	.000
38.1256	128.2975	322.11	979921.23	979920.76	.48	.010	.010	.000
38.1275	128.2836	306.15	979926.14	979926.00	.14	.009	.009	.000
38.1344	128.2367	240.78	979941.69	979941.60	.09	.006	.006	.000

측 중력과 정규고 보정치를 나타낸 것이며, 실측 중력과 이로 계산한 정규고 보정치와 비교하였다. 측점 좌표를 이용하여 부우계 이상도에서 계산한 관측 중력과 실측에 의한 관측 중력을 비교하여 보면 그 차이는 -0.74 mGal에서 $+0.63$ mGal 사이이며, RMS 오차가 0.33 mGal로 부우계 이상도와 측점 좌표가 정확한 경우 비교적 정확하게 관측 중력을 계산할 수 있음을 나타내고 있다. 그러므로 식(22)에 의한 계산 관측 중력의 정밀도는 거의 부우계 이상도의 정밀도에 좌우된다고 할 수 있다.

실측한 관측 중력에 의한 정규고 보정치와 계산한 관측 중력에 의해 계산한 정규고 보정치를 비교하여 보면, 이들의 차이가 모두 0.1 cm 미만으로 매우 좋은 결과를 나타내고 있다. 더구나 실측 관측 중력에 의한 정규고 보정은 평균 520 m 간격으로 매 측량 지점에서 중력을 측정하고 이를 이용하여 정규고 보정치를 계산한 반면, 기존 중력이상도에서의 계산치를 이용한 경우 2 km 간격의 계산 중력치로 정규고 보정치를 계산하였음을 고려하면 측점 좌표와 중력이상도가 정확한 경우 계산 중력치로 정규고 보정을 하여도 거의 정확함을 알 수 있다. 또한 본 연구 지역이 우리나라에서는 비교적 지형의 기복이 큰 지역에 속하며, 측량 높이차가 900 m에 이르고 중력 차이도 200 mGal에 이르고 있음을 고려하면 우리나라 내에서는 측량 지점의 좌표만으로 중력이상도에서 관측 중력을 계산하고 이를 이용하여 매우 정밀하게 정규고 보정을 할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 한계령 일원에서 수준 측량을 병행한 중력 측정을 실시하여 이들 자료를 이용하여 이 지역에서의 정규고 보정량을 계산하여 보았으며, 정규고 보정량은 약 900 m의 높이 차이에 약 5 cm에 이르고 있다. 이러한 보정량은 수준망 확립 등을 위한 정밀 수준 측량에 등에서는 매우 큰 양으로, 정밀 수준 측량에서는 정규고 보정을 필수적으로 하여야 함을 시사하고 있다. 또한 중력 측정이 수반되지 않는 수준 측량의 경우를 고려하여 중력이상도를 이용하여 중력치를 계산하고 이를 이용한 정규고 보정치와 실측 중력치에 의한 계산 결과와 비교하였으며, 이들이 거의 일치하고 있음을 알아보았다. 이 경우 중력 자료의 정밀도에 의해 정규고 보정치의 정밀도가 좌우되므로 우리나라에서 지속적인 중력 측정과 함께 정밀한 중력이상도의 작성이 필요하다.

본 연구에서 지오이드면과 지표 사이의 평균 중력을 계산하기 위하여 두 지점 사이의 지하 물질의 평균 밀도는 평균 지각 밀도인 2.67 g/cm³를 사용하였다. 높이 차이가 $1,000$ m인 경우 평균 밀도 0.1 g/cm³

차이에 의한 정규고 보정량의 오차는 약 0.4 cm로, 우리나라의 경우 거의 무시할 수 있는 양이다 (Heiskanen and Moritz, 1987). 그러나 중력 측정 자료를 이용하여 중력 측정 지역의 지하 물질의 평균 밀도를 거의 정확하게 계산할 수 있으므로(Rikitake *et al.*, 1965; Parasnis, 1986), 이를 이용하면 더욱 정밀하게 정규고 보정을 할 수 있다.

본 연구에서 수준점 표고에 의한 측량의 폐합오차는 11.7 cm인 반면 두 수준점의 정규고 보정량 차이는 0.6 cm로, 본 연구의 측량 결과로 정규고 보정을 검증하기는 어려운 상황이다. 정규고 보정량을 실제적으로 검증하기 위해서는 여러 측량 경로에 따른 정밀한 수준 측량과 GPS측량 및 정밀한 지오이드의 자료 등이 필요하나, 이를 현실적으로 해결하기에는 매우 어려운 과제라고 할 수 있다.

결 론

강원도 한계령 일원의 측량 자료와 중력 자료를 이용하여 측량 높이의 정규고 보정에 연구하였으며 결론은 다음과 같다.

1) 한계령 일원에서 상대적인 정규고 보정량은 약 900 m 높이 차이에 대해 약 5 cm에 이르고 있으며, 정밀 수준 측량에서는 이를 필수적으로 보정하여야 할 것이다.

2) 중력 측정 자료가 없는 경우 기존 부우계 이상도를 이용하여 관측 중력을 거의 정확하게 계산할 수 있으며, 이를 이용하여 거의 정확하게 정규고 보정을 할 수 있다.

3) 우리나라에서 더욱 정밀한 중력이상도를 작성하기 위해서는 우리나라 일원에서의 지속적인 중력 측정이 이루어져야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 1995년도 특정기초연구(95-0703-01-01-3)의 연구비 지원에 의한 것으로, 한국과학재단에 감사드립니다.

참고문헌

- 최광선, 김정희, 양철수, 1997, 지리산 지역의 정규고 보정에 대한 연구, 대한토목학회논문집, 17(3-1), 63-69.
 友田好文, 鈴木弘道, 土屋淳, 1985, 地球觀測ハンドブック, 東京大學出版會.
 Bomford, G., 1977, Geodesy 3rd ed., Oxford at the Clarendon Press.
 Heiskanen, w. and Moritz, H., 1987, Physical Geodesy, In-

- stitute of Physical Geodesy, Technical Univ, Graz, Austria.
- Rikitake, T., Tajima, H., Izutuya, S., Hagiwara, Y., Kawada, K. and Sasai, Y., 1965, Gravimetric and geomagnetic studies of Onikobe area, Bull. Earthq. Res. Inst., 43, 241-267.
- Parasnis, D. S., 1986, Principles of Applied Geophysics, 4th ed., Chapman and Hall.
- Pick, M., Picha, J. and Vyskocil, V., 1973, Theory of the Earth's Gravity Field, Elsevier Scientific Pub. Co.
- Vanicek, P. and Krakiwsky, E. J., 1982, Geodesy: The Concept, North-Holland Pub. Co.

1997년 10월 18일 원고 접수