

# 우리나라 수준노선에서 실측중력에 의한 정사보정량 계산 Calculation of orthometric correction by observed gravity at Korean benchmark line

김철영<sup>1)</sup> · 이석배<sup>2)</sup>

Kim, Cheol Young · Lee, Suk Bae

## Abstract

It has been used not orthometric height but normal orthometric height for the official height in Korean benchmark because it has been used not observed gravity but normal gravity for the computation of orthometric correction. The purpose of this study is to propose height renewal method of Korean benchmark. For this purpose, we observed gravity by CG5 digital gravimeter in both the first benchmark line between Sokcho and Gangneung area and the second benchmark line between Soksa and Inje area. We calculated relative gravity value and orthometric correction in all benchmarks. So, the maximum orthometric correction shows -0.349mm in the first benchmark line, and the maximum orthometric correction shows -44.060mm in the second benchmark line. In conclusion, we can confirm that the orthometric correction based on observed gravity is necessary for more accurate official height computation in the Korean benchmark.

Keywords : Benchmark, orthometric height, gravity, orthometric correction

## 초 록

우리나라의 수준점은 성과계산에 있어서 실측중력에 의한 정사보정량 계산을 실시하지 않고 정규중력을 이용한 정사보정량 계산을 함으로써 정확한 정표고가 아닌 정규정표고를 사용하여 왔다. 본 연구에서는 우리나라 1,2 등 수준노선을 대상으로 직접 중력을 관측하고 정사보정량을 계산하였으며, 그 결과에 따라 우리나라 수준점 체계개선방안을 제시하고자 하였다. 연구를 위하여 강원도 지역의 속초-강릉구간의 1등수준노선과 속사-인제구간의 2등 수준노선을 대상으로 CG5 디지털중력계를 이용하여 직접 중력관측을 실시하고 상대중력성고를 계산하였으며, 중력성고에 기초하여 정사보정량을 계산한 결과 1등 수준노선에서 최대 -0.349mm, 2등 수준노선에서는 최대 -44.060mm의 값을 보였다. 따라서 우리나라에서 보다 정확한 수준점 체계로 개선하기 위해서는 실측중력에 의한 정사보정량의 계산과 정사보정량을 고려한 정표고 산정이 필요한 것으로 확인되었다.

핵심어 : 수준점, 정표고, 중력, 정사보정량

## 1. 서 론

오늘날 중력은 지오이드를 결정하기 위한 기초자료뿐만 아니라 수준점 성과를 정밀하게 산정하기 위한 중요한 자료로서 그 필요성이 날로 증가하고 있다. 아울러 절대중력계 및 디지털상대중력계의 보급에 힘입어 중력측정의 수월성은 제고되는 반면 측정정밀도는 향상되고 있

다. 우리나라의 수준점 성과는 현재 실측중력이 아닌 정규중력에 의하여 정사보정량을 계산하고 이에 근거하여 정표고 성과를 결정하여 왔다.

표고는 중력의 함수로 어떤 중력값을 사용하느냐에 따라 역학고(dynamic height), 정규고(normal height)와 정표고(orthometric height)로 구분된다(Strang, 1992). 우리나라는 지금까지 수준점 성과계산에 있어서 실측중력에 의한 정

1) 정희원 · 경남과학기술대학교 토목공학과 공학석사(E-mail: fired2@hanmail.net)

2) 교신저자 · 정희원 · 경남과학기술대학교 토목공학과 부교수(E-mail: sblee@gntech.ac.kr)

사보정량을 계산하지 않고 정규중력에 의한 정표고를 계산하여 정확한 정표고가 아닌 정규정표고(이창경 등, 2008)의 형태를 유지하여 왔다. 따라서 성과계산에 있어서 기하학적인 표고의 영향만이 고려되었으며, 지하밀도의 급격한 변화에 따른 중력의 변화가 고려되지 않아 일부구간에서 아무리 정밀하게 수준측량을 반복하여도 여전히 차이가 발생하는 문제점을 내포하고 있다.

그러나 이제 우리나라가 우주측지 강국으로 발돋움해 가는데 있어서 측지기술의 발전과 국가예산의 확대로 수준점에서의 중력관측이 가능한 시기가 되었다. 따라서 본 연구에서는 보다 정확한 수준점 체계로 개선해가기 위한 첫걸음으로 정사보정량을 계산한 수준점 성과갱신을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 강원도 지역의 속초-강릉 구간의 1등 수준노선과 속사-인제구간의 2등 수준노선을 연구대상지역으로 선정하였으며, GPS관측에 의한 위치 해석 및 CG5 디지털중력계에 의한 중력관측을 실시하고 조석보정, 기계교보정, 드리프트보정 및 망조정을 실시하여 최종 중력성과를 계산하였다. 또한 최종 중력성과를 이용하여 정사보정량을 계산하고 현재 고시되어 있는 수준점 성과와 비교하여 그 차이를 분석함으로써 수준점 체계개선방안을 제시하고자 하였다. 정사보정량 계산은 전통적인 Nassar의 정사보정량 계산식을 활용하였다.

정사보정량 계산과 관련한 연구로는 Nassar가 Canada에서의 중력장을 고려한 수준측량 표고결정을 한 바 있으며 (Nassar, 1977), Hwang과 Hsiao에 의하여 대만에서 정사보정량을 계산한 사례가 발표되었으며(Hwang and Hsiao, 2003), Dennis와 Featherstone는 정표고를 계산하고 표고 체계를 비교하는 연구결과를 발표하였다.(Dennis and Featherstone) 국내에서는 최광선 등에 의하여 강원도 한계령 지역의 정표고 보정이 발표된 바 있으며(최광선 등, 1997), 윤홍식 등에 의하여 정사보정에 의한 정표고의 정밀계산이 발표된 바 있다. 그러나 중력관측을 실시하지 않고 다른 보고서의 중력값을 인용하여 연구가 이루어졌다(윤홍식 등, 2004).

## 2. 정규중력, 정표고와 정사보정량

### 2.1 정규중력(Normal gravity)

정규중력( $\gamma$ )이란 모든 지점에서 동일한 포텐셜을 가지는 기준타원체면에서 위도변화에 따른 이론적인 중력값으로 1907년에 미국의 USC & GS(United States Coast and Geodetic Survey)에서 정규중력을 계산하기 위해 식 (1)을

채택한 바 있으며, 이후 캐나다의 GSC(Geodetic Survey of Canada)에서도 정규중력에 대한 식으로 식 (1)을 채택하였다(Nassar, 1977).

위도  $\phi_A$ 를 갖는 타원체상의 임의점 A에서의 정규중력  $\gamma_A$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma_A = \gamma_{45} \cdot (1 - c_1 \cos 2\phi_A + c_2 \cos^2 2\phi_A) \quad (1)$$

여기서,  $\gamma_{45}$ 는 위도  $45^\circ$  일때의 정규중력(980624mGal)을 의미하며,  $c_1$ 과  $c_2$ 는 계수값으로 각각 0.002644와 0.000007을 의미한다.

이후 Moritz는 GRS80 타원체면에서 정규중력을 계산하기 위한 간편식을 식 (2)와 같이 제안하였고, 다시 식 (2)에 적도에서의 정규중력  $\gamma_E = 978032.7(mGal)$ 과  $f_4 = 0.0000232$ 을 적용한 식 (3)이 1980년에 결정된 국제중력식이다(Moritz, 2000). 국제중력식은 Chebyshev의 근사식으로 널리 쓰이기도 한다.

$$\gamma_A = \gamma_E (1 + f^* \sin^2 \phi_A - \frac{1}{4} f_4 \sin^2 2\phi_A) \quad (2)$$

여기서,  $f_4 = \frac{1}{2} f^2 + \frac{5}{2} f m$  인데, 다시 여기서  $f$ 는 편평도(flattening, 0.00335281068118)를,  $m$ 은  $m = \frac{\omega^2 a^2 b}{GM} = 0.00344978600308$ 이다.  $\omega$ 는 각속도( $7292115 \times 10^{-11} rad/s$ )를 의미하며,  $a$ 와  $b$ 는 GRS80 타원체의 장축반경과 단축반경을 의미하고,  $GM$ 은 지심인력 상수( $3986005 \times 10^6 m^3/s^2$ )이다.  $f^* = \frac{\gamma_P - \gamma_E}{\gamma_E} = \frac{g_P - g_E}{g_E} = 0.005302440112$ 이고,  $\gamma_P$ 는 극에서의 정규중력을,  $\gamma_E$ 는 적도에서의 정규중력을 의미한다.

$$\gamma_A = 978032.7(1 + 0.0053024 \sin^2 \phi_A - 0.0000058 \sin^2 2\phi_A)(mGal) \quad (3)$$

### 2.2 정표고(Orthometric height)

정표고는 해수면 다시 말하자면, 지오이드에서부터 임의점까지의 높이, 또는 지오이드에 대한 연직선상의 지표 한 지점과 지오이드간의 거리로 정의된다. 여기서 연직선(plumb line)이란 지구중력장에 의한 모든 등포텐셜면에 수직으로 교차하는 선이다(Heiskanen et al., 1967).

그럼 1.에서 A점의 정표고는 지점 A에서 지오이드상의 지점  $A_0$ 까지의 연직선분의 길이를 말하며, A점의 지오포텐셜 수치  $C_A$ 는 중력에 대한 적분식으로 다음과 같이 표현된다. 여기서  $g$ 는 A점에서의 중력값이다.

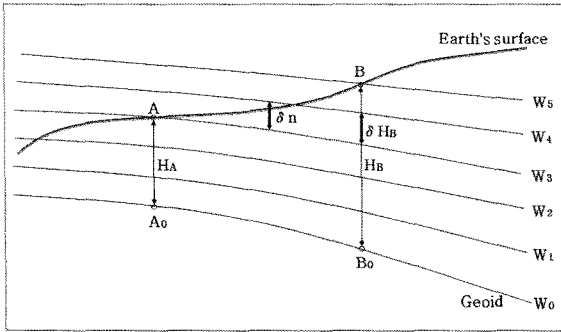


그림 1. 점 A, B에서의 정표고(Hofmann et al., 2005)

$$C_A = \int_0^{H_A} g dH \quad (4)$$

그러므로 지점 A에서의 정표고를  $H$ 라고 할 때,  $H$ 는 다음 식과 같이 표현된다

$$H = \frac{C}{g + 0.424H} \quad (5)$$

### 2.3 정사보정량(Orthometric correction)

그림 2는 두 점 A, B 사이의 표고차와 수준측량의 관계를 보여주고 있다. 식 (6)에서 보는 바와 같이 두 점간의 표고차  $\Delta H_{AB}$ 는 물리적인 높이차( $H_B - H_A$ )를 의미하나 이것이 꼭 수준측량에 의한 표고차( $\Delta n_{AB}$ )와 일치하는 것은 아니다. 따라서 두 점간의 정확한 표고차를 구하기 위해서는 두 점간의 정사보정량( $OC_{AB}$ ) 계산이 필요하다.

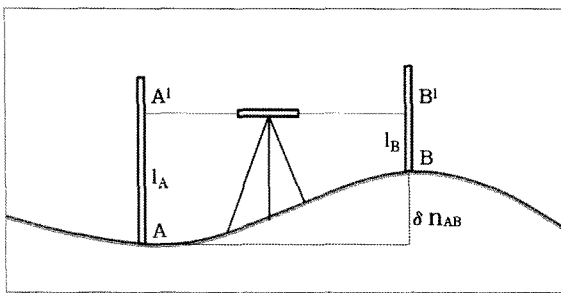


그림 2. 수준측량과 점 A, B의 표고차

$$OC_{AB} + \Delta n_{AB} = (H_B - H_A) = \Delta H_{AB} \quad (6)$$

두 점 A, B를 지나는 수준측량 노선에서 두 점 A, B의 표고차  $\Delta H_{AB}$ 는 식 (7)과 같이 역하고( $H_d$ )와 정표고( $H$ )의 조합으로 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta H_{AB} &= H_B - H_A \\ &= H_B^B - H_A^A - H_d^B + H_d^A + (H_d^B - H_d^A) \\ &= \Delta H_d + (H_B^B - H_d^B) - (H_A^A - H_d^A) \end{aligned} \quad (7)$$

따라서 두 지점 A, B 사이의 정사보정량은 다음 식(8)과 같이 표현된다(Heiskanen et al., 1967).

$$OC_{AB} = \sum_A^B \frac{g - \gamma_0}{\gamma_0} dH + \frac{\bar{g}_A - \gamma_0}{\gamma_0} H_A - \frac{\bar{g}_B - \gamma_0}{\gamma_0} H_B \quad (8)$$

Nassar는 두 점 A, B의 실측중력( $g_A, g_B$ )을 이용하여 정규중력을 계산하는 수식을 식 (9)와 같이 발표하였다. 본 연구에서는 모든 수준점에서 중력관측을 실시하였기 때문에 전통적인 Nassar 수식을 이용하여 정사보정량을 계산하였다.

$$OC_{AB} = \frac{1}{\gamma_{AB}} [n_A(\bar{g}_A - \bar{g}_B) + \Delta n_{AB}(\bar{g}_{AB} - \bar{g}_B)] \quad (9)$$

여기서,  $\bar{g}_A$ 와  $\bar{g}_B$ 는 수준점 A와 B에서의 연직선 평균 중력을,  $n_A$ 는 A점의 표고를  $\Delta n_{AB}$ 는 수준측량에 의한 A, B 두 점사이의 표고차를 의미한다. 그리고  $\bar{g}_{AB}$ 는 A, B 두 점의 평균 실측중력을 의미한다.

## 3. 중력관측 및 처리

### 3.1 중력관측 및 GPS측량

정사보정량 계산 연구를 위하여 강원도 지역을 연구대상 지역으로 선정하였다. 또한 수준노선에 따른 정사보정량의 차이를 알아보기 위하여 연구대상지역 내에 약 100km에 이르는 1등 수준노선과 약 48km에 이르는 2등 수준노선을 각각 선정하였다. 1등 수준노선은 해안가를 따

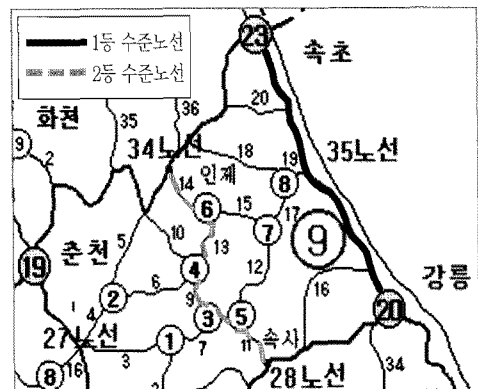


그림 3. 강원도 지역의 연구대상 수준노선

라 비교적 관측이 용이한 9환의 35노선인 속초-강릉노선을 택하였고, 2등 수준노선은 최고 표고가 1,000m이상인 수준점을 포함하는 인제-속사노선을 선택하였다. 평균변장이 4km인 1등 수준노선에는 30점의 수준점이 포함되었고, 2km의 평균변장을 갖는 2등 수준노선에는 24점이 포함되었다. 그림 3.은 중력측정과 GPS관측이 이루어진 연구대상지역의 수준노선을 보여주고 있다.

GPS 측량은 연구대상 수준점의 위치결정과 정보보정량 계산에 필요한 평면거리를 산출할 목적으로 실시되었으며 Trimble R7 수신기 및 Topcon Legacy 수신기로 세션당 한시간씩 관측하였다. 중력측정은 Scintrex사의 CG-5 디지털 상대중력계(그림 4)를 이용하여 연구대상지역의 상대중력을 측정하였다.(김기원 등, 2011) CG-5 상대중력계의 분해능(reading resolution)은  $1\mu Gal$  이고 표준현장반복율(standard field repeatability)는  $5\mu Gal$  이하다.

표 1. 중력원점 현황

위 치	수원 국토지리정보원
위도	37° 16' 21.576"
경도	127° 03' 21.979"
표고	56.5273m
고시중력값	979918.775 ± 0.0001mGal

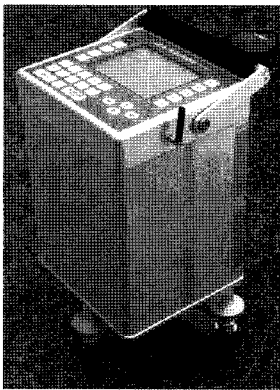


그림 4. CG-5 상대중력계 (Scintrex)

중력측정에 사용된 중력원점은 중력측정의 정확도를 높이고자 표 1.과 같이 고시된 국토지리정보원의 수원중력원점을 사용하였다.

### 3.2 중력보정

상대중력 측정의 정밀도는 중력망의 설계 및 중력계의 계기보정과 밀접하게 관련되어 있으며 지구조석, 해양조석, 극이동 및 기후변화 등으로 인하여 노이즈가 발생하게 된다.

조석(Tide)보정은 태양과 달의 인력에 의한 기초력의 변화에 따른 중력의 변화를 보정하는 것으로, 임의의 고정지점에서 시간변화에 따른 달과 태양의 궤도자료를 사용하여 계산하게 된다. 또한 중력관측시 관측장비를 관측장소에 정확하게 설치할 수 없는 문제 때문에 기계고 보정이 필요하다. 기계고 보정을 위해서는 중력의 수직변화량이 필요하고, 대부분의 경우에서 대기에서의 실질적인 중력경사( $\partial g/\partial H$ )는 이론적인 정규 중력경사( $\partial \gamma/\partial h$ )로 대체되며  $0.3086mGal/m$ 의 값을 사용한다. 드리프트(drift) 보정이란 스프링을 이용하는 상대중력계의 특성상 스프링에 작용하는 지속하중, 온도변화 등과 같이 여러 가지 요인에 의하여 시간의 경과에 따라 스프링의 길이가 일정하지 않게 된다. 이러한 변화를 보정하기 위하여 각 지점에 대한 중력을 반복 측정하여 중력의 차이를 시간변화에 따른 선형적인 변화로 가정하여 기울기를 구해 보정하고, 차이가 급변하는 중력은 제거되어 지는데 이를 드리프트 보정이라 한다. 조석보정, 계기보정 및 드리프트 보정은 Gravsoft 프로그램으로 계산하였다(Forsberg, 2003).

속초-강릉구간의 1등수준노선에서 중력측정을 통하여 얻어진 조석보정량은 최소  $-0.090mGal$ 에서 최대  $0.095mGal$ 의 분포를 보였으며, 기계고보정량은 최소  $0.154mGal$ 에서 최대  $0.249mGal$ 의 분포를 보였다. 또한 드리프트보정량은 최소  $-0.430mGal$ 에서 최대  $0.321mGal$ 의 분포를 보였다. 이러한 보정과정을 통하여 얻어진 각 수준점의 상대중력값을 정리하면 표 2.와 같다.

표 2. 중력데이터 처리결과

구 분	표 고(m)		상대중력값(mGal)		프리에어이상(mGal)	
	최 소	최 대	최 소	최 대	최 소	최 대
1등 수준노선	1.9	67.2	979,976.62	980,043.63	11.85	29.25
2등 수준노선	221.3	1086.6	979,727.84	979,940.36	8.43	95.73

표 2.에서 보는 바와 같이 1등 수준노선에서 각 수준점의 표고는 최저 1.9m에서부터 최고 67.2m를 보이고 있어 그다지 표고 변화가 크지 않은 평탄한 지역임을 알 수 있으며, 결정된 상대중력값은 979,976.62mGal~980,043.63mGal의 분포를 보였고 프리에어 이상은 11.86mGal~29.25mGal의 분포를 보였다. 2등 수준노선에서는 최저표고가 221.3m이고 최고표고가 1086.6m로 상당한 폭의 표고변화를 보여주고 있다. 2등 수준노선에서 결정된 상대중력값은 979,727.84mGal~980,940.36mGal의 분포를 보였고, 프리에어 이상값은 8.43mGal~95.73mGal의 분포를 보였다.

#### 4. 정사보정량 계산

정사보정량 계산은 3. 중력관측 및 처리에서 계산된 실

측중력을 이용하여 식 (9)에서 제시된 전통적인 Nassar 수식에 따라 계산되었다. 정사보정량 계산결과 표고변화가 65m로 그 차이가 적은 1등 수준노선에서는 절대값 기준으로 최소가 0.003mm, 최대가 0.320mm의 값을 보였으며, 구간별 누적 정사보정량 값은 -0.066mm에서 시작하여 -0.349mm의 적은 값을 보였다. 표고변화가 865m를 넘는 2등 수준노선에서는 절대값 기준으로 최소가 0.386mm, 최대가 39.879mm의 값을 보였으며, 구간별 누적 정사보정량 값은 1.923mm에서 시작하여 -44.060mm의 큰 값을 보였다.

표 3. 정사보정량 계산결과

구 분	구간별 정사보정량(mm)		구간별 누적 정사보정(mm)	
	최소	최대	시작구간	마지막구간
1등 수준노선	0.003	0.320	-0.066	-0.349
2등 수준노선	0.386	39.879	1.923	-44.060

표 4. 속사-인제구간 2등수준노선 정사보정량 및 제안수준성과

ID	위 도	경 도	표 고(m)	상대중력값 (mGal)	구간누적 정사보정량 (mm)	수준점 성과(m)	제안수준 성과(m)
9051101	37.66000	128.48131	667.6	979807.47	0	667.600	667.600
9051102	37.67172	128.46400	695.9	979802.31	1.923	695.900	695.902
9051103	37.69733	128.46167	784.1	979786.80	7.999	784.100	784.108
9051104	37.70783	128.44394	1086.6	979727.84	39.851	1086.600	1086.640
9051105	37.71947	128.42494	731.6	979800.85	-0.028	731.600	731.600
9051106	37.73072	128.40244	659.6	979816.91	-7.109	659.600	659.593
9050801	37.74147	128.36739	635.5	979822.93	-9.743	635.500	635.490
9050802	37.74275	128.34494	816.3	979786.98	5.565	816.300	816.306
9030000	37.74975	128.30681	645.4	979821.54	-9.434	645.400	645.391
9030901	37.77081	128.29631	608.2	979831.38	-13.716	608.200	608.186
9030902	37.78619	128.27819	562.0	979839.47	-16.213	562.000	561.984
9030903	37.80714	128.26228	515.7	979850.47	-20.110	515.700	515.680
9030905	37.84756	128.25531	530.0	979853.99	-22.638	530.000	529.977
9040000	37.87233	128.26153	390.1	979886.86	-32.520	390.100	390.067
9041301	37.89514	128.26936	333.7	979896.95	-34.485	333.700	333.666
9041302	37.91050	128.28556	333.2	979900.85	-35.800	333.200	333.164
9041303	37.92725	128.29261	309.9	979906.07	-36.864	309.900	309.863
9060000	37.94600	128.31325	290.8	979911.28	-37.967	290.800	290.762
9061401	37.96697	128.29747	287.2	979916.43	-39.398	287.200	287.161
9061402	37.98931	128.29206	264.7	979923.62	-40.888	264.700	264.659
9061403	38.01119	128.26689	255.7	979925.83	-41.274	255.700	255.659
9061404	38.02356	128.22467	243.6	979930.25	-42.139	243.600	243.558
9061405	38.04375	128.20136	225.2	979935.75	-43.081	225.200	225.157
9061406	38.06800	128.18900	221.3	979940.36	-44.060	221.300	221.256

표고변화가 커서 정사보정량 계산이 꼭 필요한 것으로 나타난 속사-인제구간의 2등 수준노선에서의 상대중력값과 정사보정량, 현재 수준점 성과와 본 연구를 통하여 제시하고자 하는 수준점 성과를 나타내면 표 4.와 같다. 아울러 1등 수준노선에서의 수준점 표고와 정사보정량, 실측중력과의 관계를 그림 5.에, 2등 수준노선에서 나타난 수준점 표고와 정사보정량, 실측중력과의 관계를 그림 6.에 표시하였다.

표고가 클수록 중력이 작게 나타나고 있음을, 그리고 표고변화와 정사보정량 변화가 거의 비슷한 경향을 나타내고 있음을 분명하게 보여주고 있다. 또한 표 4.에서 보는 바와 같이 현재 수준점 성과와 정사보정량을 고려하여 제안된 수준점 성과 사이에는 표고변화가 865m 정도인 구간에서 최대 4.4cm 차이를 보이고 있어 정확한 수준점 성과로의 체계개선을 위하여는 정사보정량 계산이 반드시 필요한 과정임을 알 수 있었다.

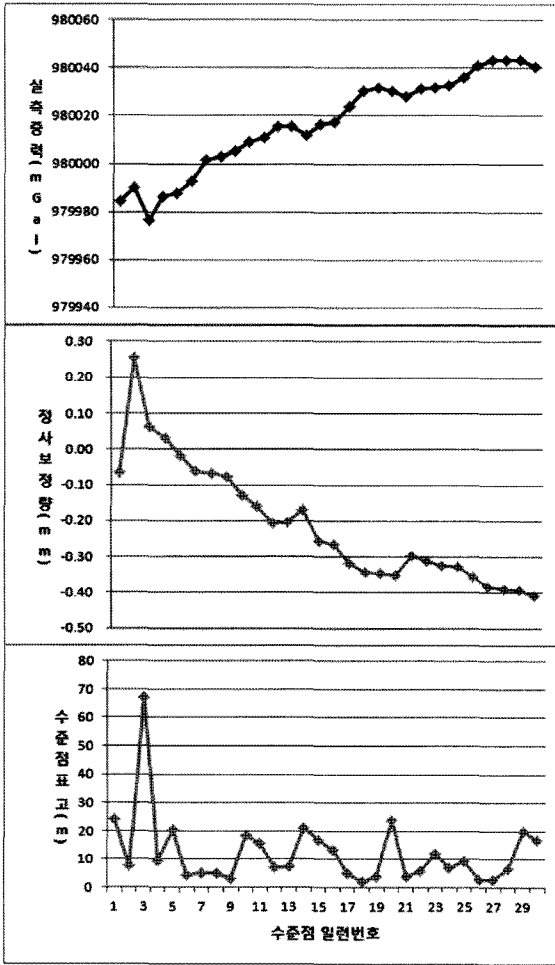


그림 5. 1등 수준노선에서의 중력, 정사보정량 및 표고의 변화

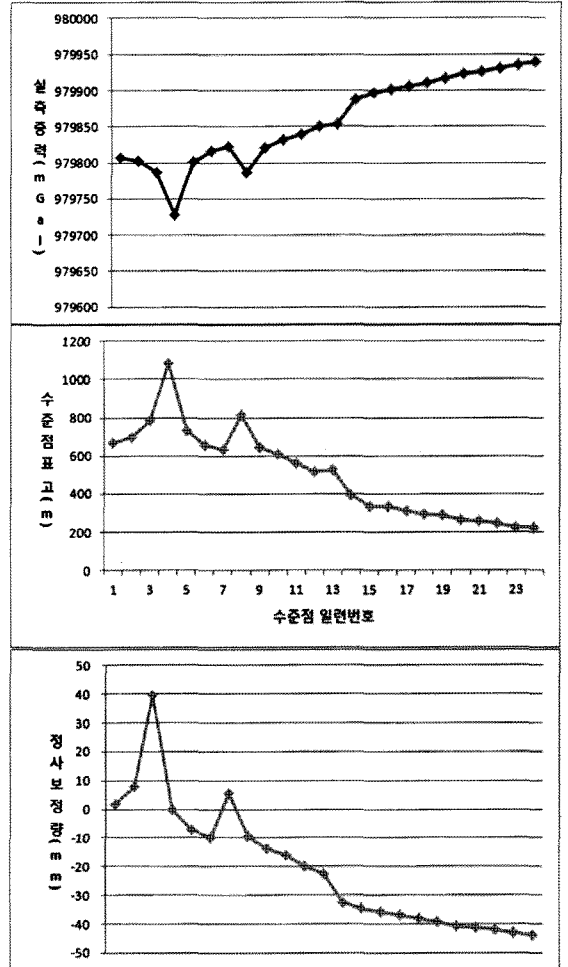


그림 6. 2등 수준노선에서의 중력, 정사보정량 및 표고의 변화

그림 5.는 동해안의 속초-강릉구간의 1등수준노선에서의 실측중력과 정사보정량 그리고 표고의 관계를 보여주고 있다. 그러나 표고변화가 매우 작고 해안가인 관계로 변화의 추이를 개략적으로 보여주고 있다. 그러나 내륙 지방이면서 표고의 변화가 크게 나타나는 산악지역인 속사-인제구간의 2등수준노선의 결과를 보여주는 그림 6.은

### 5. 결 론

본 연구는 우리나라 수준점 체계가 갖고 있는 정표고 성과의 정확성을 알아보기 위하여 수준노선에서 직접 중력측정을 실시하고, 이를 바탕으로 정사보정량을 계산한

연구이다. 연구를 위하여 강원도 지역의 속초-강릉구간의 1등수준노선과 속사-인제구간의 2등 수준노선을 대상으로 직접 GPS 관측 및 중력관측을 실시하고 수평위치와 상대중력성과를 계산하였다. 연구결과 표고변화가 65m로 그 차이가 적은 1등 수준노선에서는 구간누적 정사보정량 값은 -0.066mm에서 시작하여 -0.349mm로 끝나는 비교적 적은 값을 보였으며, 표고변화가 865m를 넘는 2등 수준노선에서는 1.923mm에서 시작하여 -44.060mm로 끝나는 상당히 큰 값을 보였다. 따라서 우리나라에서 보다 정확한 수준점 체계로 개선하기 위해서는 실측중력에 의한 정사보정량의 계산과 정사보정량을 고려한 정표고 산정이 필요한 것으로 확인되었다.

아울러 본 연구는 우리나라 남북방향에서의 평탄지와 산악지의 수준노선을 대상으로 연구가 진행되었으며, 향후 우리나라 동서방향으로의 연구도 추가하여 방향성에 따른 정사보정량의 변화추이도 분석해 본다면 의미있는 일이 될 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서 계산된 Nassar의 전통적인 수식 이외에도 Hwang의 수식이나 Strang Van Hees의 수식을 포함하여 보다 많은 정사보정량 계산식을 검토하여 우리나라에 적합한 정사보정량 계산 수식을 확인하거나 개발할 필요가 있는 것으로 사료되는 바이다.

### 감사의글

본 연구는 진주산업대학교 2009년 교원해외중기연수 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

김기원, 김철영, 이석배 (2011) 중력관측에 의한 속초-강릉구간의 부계이상 결정, 춘계학술대회 논문집, 지형공간정보학회, pp. 285-288.

김철영 (2010) 우리나라 수준점에서의 정사보정량을 고려한 정표고 산정, 석사학위논문, 경남과학기술대학교  
 윤희식, 조재명 (2004) 정사보정에 의한 정표고의 정밀계산, 한국측량학회지, 제22권 제2호, pp. 117-125.  
 이창경, 서용철, 전부남, 송창현 (2008) 우리나라 1등 수준망 조정, 한국측량학회지, 제26권 제1호, pp. 17-26.  
 최광선, 이정모 (1997) 강원도 한계령 지역의 정구고 보정에 대한 연구, 한국지구과학학회지, 제18권 제6호, pp. 522-528.  
 Forsberg, R., Tscherning, C.C., and Knudsen, P. (2003) *An Overview Manual of the GRAVSOF*T, Kort & Matrikelstyrelse.  
 Heiskanen, W.A. and Moritz, H. (1967) *Physical Geodesy*, Freeman and Company, pp. 160-172.  
 Hwang, C. and Hsiao Y.S. (2003) Orthometric Corrections from Leveling, Gravity, Density and Elevation data : a Case Study in Taiwan, *Journal of Geodesy*, No.77, pp. 279-291.  
 M.L. Dennis, W.E. Featherstone (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,  
 Nassar, M.M. (1977) Gravity Field and Levelled Heights in Canada, *Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report*, No.41, pp. 54-72.  
 Strang van Hees, G.L. (1992) Practical Formulas for The Computation of The Orthometric, Dynamic and Normal Heights, *Zeitschrift fur Vermessungswesen*, pp. 727-734.