

正射補正에 의한 正標高의 精密計算

Calculation of Precision Orthometric Height by Orthometric Correction

윤홍식¹⁾ · 조재명²⁾

Yun, Hong Sic · Cho, Jae Myoung

Abstract

This paper describes the orthometric correction for determining the orthometric height obtained from height difference by precise leveling or GPS leveling. Five formulas are used to calculate the orthometric correction for two level lines as an examples. Based on the comparison results Strang van Hees' formula that use the surface gravity is better than the others to compute the orthometric corrections on spirit leveling and GPS/Leveling in an area where mean height is high and terrain relief show high variability. Further research is necessary to improve the results of this study using Mader method, etc..

Keywords : Orthometric height, Orthometric correction, Gravity correction

요 지

본 논문은 수준측량 결과에 대한 중력에 의한 영향인 정사보정량을 계산하기 위한 다양한 공식들을 조사하여 수치해석을 통한 정사보정량의 크기와 공식별 계산결과를 비교하였으며, 수치해석을 위하여 2개의 수준노선을 선정하여 수준측량 결과와 중력데이터를 이용하였다. 공식별 비교결과, 우리나라와 같이 평균표고가 높고, 지형의 기복변화가 심한 지역에서는 실측 중력값을 고려하여 정사보정량을 계산하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 정표고, 정사보정, 중력보정

1. 서 론

정표고(Orthometric Height)는 정밀수준측량이나 GPS 수준측량에 의하여 결정되는데 이러한 수준측량에서 측정되는 표고차를 사용하여 정표고를 결정하기 위해서는 정사보정(Orthometric Correction; OC)을 실시하여 평행하지 않은 등포텐셜면에 대한 보정을 하여야만 한다(Heiskanen and Moritz, 1982). 정사보정에 대한 최근의 연구는 Strang van Hees(1992), Kao 등(2000) 및 Allister와 Featherstone(2001)의 연구가 있으며, Dennis와 Featherstone(2003)은 다양한 표고체계에 대하여 설명하고, 실무적인 측면에서 각 표고시스템의 장점과 단점에 대하여 설명한 바 있다. 엄밀한 정사보정량의 계산은 수준노선을 따라서 수준점

상에서 중력값을 관측하여야 하기 때문에 매우 비경제적이며, 또한 기존의 개념에서는 정사보정량이 작다는 개념에 의거하여 특히 저지대의 경우에는 매우 작기 때문에 대부분의 경우에 무시하여 왔다.

Heiskanen과 Moritz(1967)가 언급한 바와 같이 여러 가지 정사보정 방법에 따라서 다양한 형태의 정표고를 얻게 되며, 그 차이는 수 센티미터에 달한다. 이것은 수준측량에 의하여 측정된 정표고가 정사보정 계산을 정확하게 하지 않은 경우에는 실제 정표고와 비교하여 수 센티미터의 차이가 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 차이는 수준측량으로부터 결정된 '정표고'와 GPS측량으로부터 결정된 타원체고간의 차이로부터 계산된 '기하학적인 지오이드고'와 중력데이터를 사용한 지오이드 모델링에 의해 계

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

2) 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정 수료(E-mail:jmcho@geo.skku.ac.kr)

산된 지오이드고 간의 비교를 통하여 중력지오이드 모델의 정밀도를 평가할 때에 쉽게 알 수 있다.

이러한 정사보정량의 영향은 우리나라와 같이 지형의 기복이 심하고, 산악지로 구성되어 있으며, 남-북 방향으로 뻗어있는 산맥을 가로지르는 수준노선이 있는 경우에 무시할 수 없음에도 불구하고 현재까지 정사보정을 실시하지 않아 실질적인 정표고를 산출하지 못한 상태에서 사용하고 있는 실정이다. 또한, 수준측량의 작업규정에서조차도 정사보정에 대한 규정이 누락되어 있다.

본 연구에서는 다양한 정사보정량 계산공식을 사용하여 수준노선에 대한 정사보정량을 계산하고, 각 계산공식별 계산결과와의 비교·분석과 관련 논문의 연구결과를 토대로 최적합한 정사보정량 계산식을 결정하여 제시하며, 우리나라 지역에서의 정사보정량의 크기를 보여줌으로써 수준측량에서 정사보정량의 중요성에 대하여 설명하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

정표고는 곡선 형태의 수직재선 상에서 측정된 지오이드면으로부터 지표면상의 임의 수준점까지의 길이로서 정의된다. 수준측량은 두 수준점간의 기하학적인 표고차를 측정하고 여기에 정사보정을 실시하여 정표고간의 차이를 구하게 되므로 정사보정은 수준측량에 의하여 정표고를 결정하는 데 있어서 매우 중요한 역할을 한다.

한 점에서의 정표고는 다음과 같이 정의된다(Heiskanen and Moritz, 1982).

$$H = \frac{C}{g} \quad (1)$$

여기서,

C : 중력포텐셜 수

\bar{g} : 점과 지오이드간의 수직재선 상의 평균 중력값

지표면상의 임의 두 점 A, B에 대하여 중력포텐셜의 차이는 Differential Leveling과 중력데이터로부터 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$C_B - C_A = \int_A^B g \, dH \quad (2)$$

또한 기본적인 정사보정량은 다음과 같이 표시된다(Heiskanen and Moritz, 1982).

$$OC_{AB} = (H_B - H_A) - \sum \Delta H_i \quad (3)$$

여기서,

H_A, H_B : 점 A와 B의 정표고

$\sum \Delta H_i$: A와 B간의 표고차의 합

식 (3)으로부터 다양한 형태의 정사보정식이 유도되어 제시되었는데, OC_{AB} 는 A와 B간의 정사보정량으로써, 다음과 같이 표시할 수 있다(Heiskanen and Moritz, 1982).

$$OC_{AB} = \frac{1}{\gamma_0} \int_A^B g \, dH - \sum \Delta H_i + H_A \left(\frac{\bar{g}_A - \gamma_0}{\gamma_0} \right) - H_B \left(\frac{\bar{g}_B - \gamma_0}{\gamma_0} \right) \quad (4)$$

또는

$$OC_{AB} = \gamma_0^{-1} \{ \sum (g_i - \gamma_0) \Delta H_i + H_A (\bar{g}_A - \gamma_0) - H_B (\bar{g}_B - \gamma_0) \} \quad (5)$$

여기서,

γ_0 : 임의의 정규중력값

g_i : 수준노선상의 중력값

\bar{g}_A, \bar{g}_B : 지오이드상에 투영한 점들에 대한 각 수직재선들상의 A와 B점의 평균중력값

본 연구에서는 이미 발표된 5개의 식을 사용하여 정사보정량을 계산하였고, 모든 정규중력값은 GRS80을 기준으로 하였다. 본 연구에서는 Dong(1992)이 제시한 식을 사용하여 계산한 결과를 OC_1 으로 표시하고, Heiskanen and Moritz(1982)이 유도한 식을 사용하여 계산한 결과를 OC_2 로 표시하였다. 또한, Chen (1994a)이 제시한 식을 이용하여 계산한 결과를 OC_3 , Chen (1994b)이 제시한 식을 사용하여 계산한 결과를 OC_4 로 표시하였다. 최종적으로 Strang van Hees(1992)가 제시한 아래의 식에 의한 계산 결과를 OC_5 로 표시하였다. 본 논문에서는 이들 5개의 공식에 대한 유도과정을 제시하지 않으므로 보다 자세한 사항은 참고문헌을 참고할 수 있다.

$$OC_5 = 0.114 \cdot 10^{-3} \cdot H_m \cdot \Delta H_{AB} - 1.02 \cdot 10^{-3} (\Delta g_B^B - \Delta g_A^A) \cdot H_m - 0.83 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 2\phi_m \cdot S \cdot H_m \quad (6)$$

여기서,

$\Delta g_A^B, \Delta g_B^B$: A점과 B점의 Bouguer 이상

H_m : 평균표고

S : 두 점간의 동서방향거리

ΔH_{AB} : 두 점간의 표고차

Kao 등(2000)의 연구에서는 식 (6)을 사용하여 대만의 중위도($\phi_m \approx 23^\circ$)지역에서 언덕과 산악지 및 고산지를 통과하는 수준노선($S \approx 2$ km)을 실험한 결과, 언덕지역에서 평균표고(H_m)가 500m이고, 두 수준점간의 표고차(ΔH_{AB})가 200m인 경우에 정사보정량(OC)은 +10.80mm로 계산되었고, 산악지역에서 평균표고가 800m이고, 표고

차가 300m인 경우에 정사보정량은 26.40mm로 계산되었다. 또한, 고산지역에서 평균표고가 1500m인 지점에서 표고차가 500m인 경우에 대하여는 OC가 83.71mm로 계산되었다는 것을 발표하였다.

3. 수치해석

본 연구에서는 앞에서 언급한 5개의 공식을 사용하여 실제 우리 나라 지역의 수준측량 결과에 대하여 적용하였다. 수치해석을 위하여 유복모 등(1987)의 예와 국립지리원이 측정한 수준점에 대한 중력측정결과(1986)를 사용하였다. 표 2는 유복모 등(1987)이 제시한 데이터(표 1)를 사용하

표 1. 수치해석을 위하여 선정된 수준노선상의 위도와 표고 및 중력값(유복모 등, 1987)

점번호	위도(도)	표고(m)	측정중력값(mGal)	정규중력값(mGal)
0	35.21361111	11.909	979769.78	979751.08
1	35.22888889	52.567	979759.93	979752.35
2	35.26083333	56.175	979765.01	979755.10
3	35.31000000	65.909	979762.32	979759.29
4	35.39638889	23.363	979778.07	979766.66
5	35.48638889	118.460	979768.02	979774.34
6	35.56222222	41.480	979786.05	979780.83
7	35.58750000	97.161	979782.54	979783.01
8	35.61500000	113.351	979783.72	979785.36
9	35.63194444	111.568	979785.58	979786.81
10	35.66277778	138.135	979785.12	979789.45
11	35.75500000	56.063	979814.27	979797.35
12	35.77027778	52.688	979815.73	979798.66
13	35.80472222	45.234	979817.83	979801.59
14	35.83916667	45.888	979816.75	979804.55

표 2. 수준노선상의 정사보정량 계산결과 I

시점	종점	평균표고(m)	표고차(m)	OC ₁ (mm)	OC ₂ (mm)	OC ₃ (mm)	OC ₄ (mm)	OC ₅ (mm)
0	1	32.238	40.658	-0.0429	-0.0428	-0.0418	0.2105	0.1072
1	2	54.371	3.608	-0.1514	-0.1509	-0.1525	-0.2986	-0.1289
2	3	61.042	9.734	-0.2618	-0.2608	-0.2608	0.1161	-0.1930
3	4	44.636	-42.546	-0.3367	-0.3354	-0.3355	-0.5527	-0.5533
4	5	70.912	95.097	-0.5578	-0.5557	-0.5554	0.1436	0.2148
5	6	79.970	-76.980	-0.5306	-0.5286	-0.5293	-0.9380	-1.2336
6	7	69.321	55.681	-0.1534	-0.1528	-0.1541	-0.0857	0.2882
7	8	105.256	16.190	-0.2535	-0.2525	-0.2522	-0.2740	-0.0582
8	9	112.460	-1.783	-0.1669	-0.1663	-0.1663	-0.1960	-0.1895
9	10	124.852	26.567	-0.3373	-0.3360	-0.3361	-0.2283	0.0426
10	11	97.099	-82.072	-0.7851	-0.7822	-0.7822	-2.1972	-1.6960
11	12	54.376	-3.375	-0.0729	-0.0726	-0.0726	-0.0651	-0.0937
12	13	48.961	-7.454	-0.1480	-0.1474	-0.1463	-0.0733	-0.1894
13	14	45.561	0.654	-0.1378	-0.1373	-0.1375	0.0476	-0.1339
합				-3.9361	-3.9213	-3.9220	-4.3911	-3.8167

여 5개의 공식을 이용하여 계산한 정사보정량의 결과이다.

표 2의 정사보정량 결과에 사용된 데이터의 경우, 동래에서 경주에 이르는 수준노선으로써 평균표고가 약 68m로 완만한 지형이며, 최소와 최대 표고차도 약 126m로 표

고차가 크지 않아 정사보정량이 작게 계산되었으나 종점에서 누적된 정사보정량은 약 4mm를 나타내고 있다. 표 3과 그림 1은 각 수준점의 표고와 각 공식별로 계산된 정사보정량의 누적량을 표시한 것이다.

표 3. 수준노선상의 누적 정사보정량 계산결과 I

시점	종점	OC ₁ (mm)	OC ₂ (mm)	OC ₃ (mm)	OC ₄ (mm)	OC ₅ (mm)
0	1	-0.0429	-0.0428	-0.0428	0.2105	0.1072
1	2	-0.1943	-0.1937	-0.1937	-0.0881	-0.0217
2	3	-0.4561	-0.4545	-0.4546	0.0280	-0.2147
3	4	-0.7928	-0.7899	-0.7900	-0.5247	-0.7680
4	5	-1.3506	-1.3456	-1.3458	-0.3811	-0.5532
5	6	-1.8812	-1.8742	-1.8745	-1.3191	-1.7868
6	7	-2.0346	-2.0270	-2.0273	-1.4048	-1.4986
7	8	-2.2881	-2.2795	-2.2799	-1.6788	-1.5568
8	9	-2.4550	-2.4458	-2.4462	-1.8748	-1.7463
9	10	-2.7923	-2.7818	-2.7823	-2.1031	-1.7037
10	11	-3.5774	-3.5640	-3.5646	-4.3003	-3.3997
11	12	-3.6503	-3.6366	-3.6372	-4.3654	-3.4934
12	13	-3.7983	-3.7840	-3.7847	-4.4387	-3.6828
13	14	-3.9361	-3.9213	-3.9220	-4.3911	-3.8167

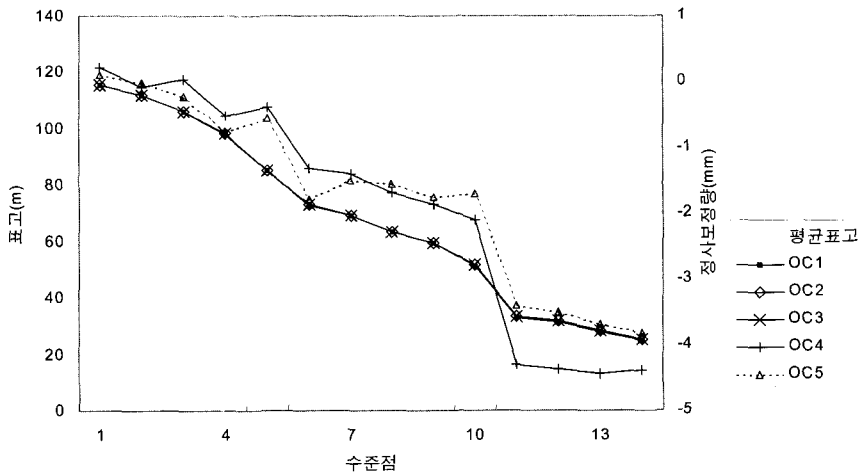


그림 1. 각 공식별 누적 정사보정량 I

표 4. 정사보정 공식별 통계값 I

	OC ₁ (mm)	OC ₂ (mm)	OC ₃ (mm)	OC ₄ (mm)	OC ₅ (mm)
평균	-0.2812	-0.2801	-0.2801	-0.3137	-0.2726
표준편차	0.2121	0.2113	0.2113	0.6194	0.5521
최대	-0.0429	-0.0428	-0.0428	0.2105	0.2882
최소	-0.7851	-0.7822	-0.7823	-2.1972	-1.6960

표 5. 수치해석을 위하여 선정한 수준노선상의 위도와 표고 및 중력값(중력측정에 관한 연구, 국립지리원, 1986)

점번호	위도(도)	표고(m)	측정중력값(mGal)
0	37.58000000	12.2100	979943.00
107121	36.43500000	20.5000	979858.84
20118	36.16500000	20.6000	979828.69
1071210	36.27666667	25.7000	979834.99
106212	36.50000000	27.8000	979863.00
20113	36.08333333	42.2000	979819.96
21210	36.12500000	44.3000	979804.29
105135	36.43833333	46.9000	979854.11
5011	36.61333333	49.8400	979858.46
50119	36.41666667	49.8600	979842.09
50110	36.48333333	50.7000	979847.95
107125	36.35666667	61.1000	979832.02
5024	36.56333333	62.3500	979856.93
55411	36.34666667	69.1200	979836.77
281615	36.08833333	69.6200	979796.83
511222	36.60333333	70.8900	979862.98
510214	36.60500000	72.4700	979861.36
5084	36.17666667	75.6400	979816.18
5026	36.57333333	80.0000	979867.78
5547	36.39166667	83.2300	3979841.55
510211	36.60500000	84.8000	979858.10
5016	36.56166667	88.5000	979849.60
510204	36.63666667	98.7600	979859.75
28169	36.03000000	111.7200	979781.04
55511	36.34166667	111.9600	979815.37
58171	36.81333333	117.1700	979871.03
57168	36.74500000	118.4200	979868.43
58175	36.85000000	125.0000	979857.99
1325	36.17166667	127.6000	979802.51
5555	36.40000000	132.0000	979810.72
2700	36.09500000	139.8000	979826.51
58179	36.90833333	141.2600	979858.80
5469	36.43166667	142.8400	979816.53
5552	36.45000000	147.4600	979818.48
55517	36.25666667	148.4000	979807.38
5500	36.48000000	153.1900	979822.23
7389	37.06666667	163.3100	979860.77
510201	36.73500000	173.0400	979830.17
710174	37.13000000	182.6200	979863.93
2600	36.00500000	188.4000	979762.31
58189	36.77500000	189.8000	979829.54
5700	36.70500000	195.0500	979842.10
50211	36.60000000	196.3100	979835.40
5536	36.53666667	210.4000	979825.71
77163	37.19166667	213.1100	979866.01
55312	36.61000000	218.2500	979836.14
56144	36.67833333	221.9300	979835.07
5600	36.63333333	234.0600	979830.72
75121	37.18833333	235.1800	979862.61
57163	36.75333333	250.9900	979835.58
54154	36.47666667	253.1300	979795.57
541510	36.58333333	260.0000	979795.06
541514	36.62666667	267.3700	979804.54
71300	37.14166667	281.3500	979841.35
26159	36.00500000	289.1500	979744.51
5462	36.44333333	294.0100	979795.05
71200	37.19500000	356.0200	979833.80
714253	37.12166667	449.9100	979793.60
3410	38.03500000	456.3300	979892.85
5102016	36.74833333	530.6100	979758.56
2822	37.58666667	532.4700	979827.80
2828	37.64833333	536.9900	979836.73
7162922	37.45000000	537.7000	979831.69
7162915	37.37666667	582.0500	979817.70
71700	37.16333333	668.5400	979783.16
716298	37.30333333	699.0700	979788.53
2833	37.62666667	734.4200	979807.51

표 6. 수준노선상의 정사보정량 계산결과 II

시 점	종 점	평균표고(m)	표고차(m)	OC ₁ (mm)	OC ₂ (mm)	OC ₃ (mm)	OC ₄ (mm)	OC ₅ (mm)
0	107121	16.355	8.29	1.6653	1.6590	1.6595	1.3919	1.6772
107121	20118	20.550	0.10	0.4898	0.4879	0.4881	0.6316	0.4892
20118	1071210	23.150	5.10	-0.2280	-0.2271	-0.2272	-0.1589	-0.214
1071210	106212	26.750	2.10	-0.5278	-0.5259	-0.5260	-0.7689	-0.5207
106212	20113	35.000	14.40	1.2871	1.2823	1.2826	1.4926	1.3425
20113	21210	43.250	2.10	-0.1587	-0.1581	-0.1582	0.6833	-0.1472
21210	105135	45.600	2.60	-1.2609	-1.2562	-1.2565	-2.3269	-1.2461
105135	5011	48.370	2.94	-0.7490	-0.7462	-0.7464	-0.2269	-0.7308
5011	50119	49.850	0.02	0.8674	0.8641	0.8644	0.8321	0.8658
50119	50110	50.280	0.84	-0.2964	-0.2952	-0.2953	-0.3041	-0.291
50110	107125	55.900	10.40	0.6258	0.6235	0.6236	0.8578	0.6913
107125	5024	61.725	1.25	-1.1280	-1.1237	-1.1240	-1.5746	-1.1175
5024	55411	65.735	6.77	1.2593	1.2546	1.2549	1.3129	1.3078
55411	281615	69.370	0.50	1.5804	1.5745	1.5749	2.8224	1.5826
281615	511222	70.255	1.27	-3.1953	-3.1833	-3.1841	-4.7469	-3.1806
511222	510214	71.680	1.58	-0.0106	-0.0105	-0.0105	0.1086	0.0025
510214	5084	74.055	3.17	2.8027	2.7921	2.7929	3.3916	2.8248
5084	5026	77.820	4.36	-2.7270	-2.7167	-2.7175	-4.1242	-2.6844
5026	5547	81.615	3.23	1.3113	1.3064	1.3068	2.1603	1.3398
5547	510211	84.015	1.57	-1.5855	-1.5795	-1.5800	-1.4293	-1.5672
510211	5016	86.650	3.70	0.3324	0.3312	0.3313	0.7234	0.3689
5016	510204	93.630	10.26	-0.6218	-0.6195	-0.6197	-1.0522	-0.5113
510204	28169	105.240	12.96	5.6377	5.6164	5.6179	8.3292	5.7855
28169	55511	111.840	0.24	-3.0729	-3.0614	-3.0621	-3.9177	-3.0649
55511	58171	114.565	5.21	-4.7840	-4.7660	-4.7675	-6.5543	-4.7085
58171	57168	117.795	1.25	0.7141	0.7114	0.7117	0.2996	0.7292
57168	58175	121.710	6.58	-1.1340	-1.1297	-1.1301	1.2265	-1.038
58175	1325	126.300	2.60	7.5796	7.5510	7.5532	7.1172	7.6022
1325	5555	129.800	4.40	-2.6157	-2.6058	-2.6066	-1.1361	-2.544
5555	2700	135.900	7.80	3.6566	3.6428	3.6438	-2.2799	3.7649
2700	58179	140.530	1.46	-10.1110	-10.0729	-10.0757	-4.6451	-10.0627
58179	5469	142.050	1.58	6.0005	5.9779	5.9798	6.1037	6.0149
5469	5552	145.150	4.62	-0.2353	-0.2344	-0.2344	-0.3466	-0.1583
5552	55517	147.930	0.94	2.5260	2.5164	2.5172	1.6624	2.5362
55517	5500	150.795	4.79	-2.9749	-2.9637	-2.9646	-2.346	-2.8861
5500	7389	158.250	10.12	-8.2363	-8.2052	-8.2079	-6.358	-8.0357
7389	510201	168.175	9.73	4.9548	4.9361	4.9379	5.1064	5.1326
510201	710174	177.830	9.58	-6.2417	-6.2182	-6.2204	-6.2695	-6.0352
710174	2600	185.510	5.78	18.4748	18.4053	18.4099	19.1314	18.5621
2600	58189	189.100	1.40	-12.8653	-12.8168	-12.8201	-12.9873	-12.8105
58189	5700	192.425	5.25	1.1946	1.1901	1.1905	-2.552	1.304
5700	50211	195.680	1.26	1.8205	1.8136	1.8142	1.3156	1.8447
50211	5536	203.355	14.09	1.1401	1.1358	1.1362	1.7617	1.4661
5536	77163	211.755	2.71	-12.3161	-12.2697	-12.2739	-8.752	-12.2235
77163	55312	215.680	5.14	11.1441	11.1021	11.1060	6.4738	11.245
55312	56144	220.090	3.68	-1.3324	-1.3274	-1.3278	0.1701	-1.2358
56144	5600	227.995	12.13	0.9091	0.9057	0.9060	0.7722	1.2233
5600	75121	234.620	1.12	-11.5681	-11.5245	-11.5286	-7.6526	-11.5122
75121	57163	243.085	15.81	9.3997	9.3643	9.3677	6.3681	9.8182
57163	54154	252.060	2.14	6.1765	6.1532	6.1551	10.2376	6.2305
54154	541510	256.565	6.87	-2.4217	-2.4125	-2.4133	-0.019	-2.2132
541510	541514	263.685	7.37	-1.0119	-1.0081	-1.0084	-2.7172	-0.7896
541514	71300	274.360	13.98	-12.5492	-12.5019	-12.5063	-10.6305	-12.085
71300	26159	285.250	7.80	28.7043	28.5962	28.6033	27.9771	28.9019
26159	5462	291.580	4.86	-11.2723	-11.2298	-11.2327	-15.1502	-11.0928
5462	71200	325.015	62.01	-21.6834	-21.6018	-21.6087	-14.5861	-19.3312
71200	714253	402.965	93.89	2.6318	2.6218	2.6229	13.2476	6.962
714253	3410	453.120	6.42	-37.0046	-36.8652	-36.8808	-46.1125	-36.61
3410	5102016	493.470	74.28	56.6736	56.4601	56.4800	64.4080	60.7596
5102016	2822	531.540	1.86	-39.6888	-39.5393	-39.5538	-37.6167	-39.4975
2822	2828	534.730	4.52	-2.9495	-2.9384	-2.9398	-5.0785	-2.6699
2828	7162922	537.345	0.71	9.5268	9.4909	9.4952	2.7287	9.5456
7162922	7162915	559.875	44.35	3.6655	3.6517	3.6533	5.8402	6.499
7162915	71700	625.295	86.49	11.8930	11.8482	11.8531	17.3478	18.0577
71700	716298	683.805	30.53	-8.5321	-8.4999	-8.5034	-5.5499	-6.1267
716298	2833	716.745	35.35	-20.7000	-20.6220	-20.6311	-16.0637	-17.7601
합				-41.145	-40.9899	-41.0095	-12.0009	-10.2246

표 7. 수준노선상의 누적 정사보정량 계산결과 II

시 점	종 점	OC ₁ (mm)	OC ₂ (mm)	OC ₃ (mm)	OC ₄ (mm)	OC ₅ (mm)
0	107121	1.6653	1.6590	1.6595	1.3919	1.6772
107121	20118	2.1551	2.1469	2.1476	2.0235	2.1664
20118	1071210	1.9271	1.9198	1.9204	1.8646	1.9524
1071210	106212	1.3993	1.3939	1.3944	1.0957	1.4317
106212	20113	2.6864	2.6762	2.6770	2.5883	2.7742
20113	21210	2.5277	2.5181	2.5188	3.2716	2.6270
21210	105135	1.2668	1.2619	1.2623	0.9447	1.3809
105135	5011	0.5178	0.5157	0.5159	0.7178	0.6501
5011	50119	1.3852	1.3798	1.3803	1.5499	1.5159
50119	50110	1.0888	1.0846	1.0850	1.2458	1.2249
50110	107125	1.7146	1.7081	1.7086	2.1036	1.9162
107125	5024	0.5866	0.5844	0.5846	0.529	0.7987
5024	55411	1.8459	1.8390	1.8395	1.8419	2.1065
55411	281615	3.4263	3.4135	3.4144	4.6643	3.6891
281615	511222	0.2310	0.2302	0.2303	-0.0826	0.5085
511222	510214	0.2204	0.2197	0.2198	0.0260	0.5110
510214	5084	3.0231	3.0118	3.0127	3.4176	3.3358
5084	5026	0.2961	0.2951	0.2952	-0.7066	0.6514
5026	5547	1.6074	1.6015	1.6020	1.4537	1.9912
5547	510211	0.0219	0.0220	0.0220	0.0244	0.4240
510211	5016	0.3543	0.3532	0.3533	0.7478	0.7929
5016	510204	-0.2675	-0.2663	-0.2664	-0.3044	0.2816
510204	28169	5.3702	5.3501	5.3515	8.0248	6.0671
28169	55511	2.2973	2.2887	2.2894	4.1071	3.0022
55511	58171	-2.4867	-2.4773	-2.4781	-2.4472	-1.7063
58171	57168	-1.7726	-1.7659	-1.7664	-2.1476	-0.9771
57168	58175	-2.9066	-2.8956	-2.8965	-0.9211	-2.0151
58175	1325	4.6730	4.6554	4.6567	6.1961	5.5871
1325	5555	2.0573	2.0496	2.0501	5.0600	3.0431
5555	2700	5.7139	5.6924	5.6939	2.7801	6.8080
2700	58179	-4.3971	-4.3805	-4.3818	-1.865	-3.2547
58179	5469	1.6034	1.5974	1.5980	4.2387	2.7602
5469	5552	1.3681	1.3630	1.3636	3.8921	2.6019
5552	55517	3.8941	3.8794	3.8808	5.5545	5.1381
55517	5500	0.9192	0.9157	0.9162	3.2085	2.2520
5500	7389	-7.3171	-7.2895	-7.2917	-3.1495	-5.7837
7389	510201	-2.3623	-2.3534	-2.3538	1.9569	-0.6511
510201	710174	-8.604	-8.5716	-8.5742	-4.3126	-6.6863
710174	2600	9.8708	9.8337	9.8357	14.8188	11.8758
2600	58189	-2.9945	-2.9831	-2.9844	1.8315	-0.9347
58189	5700	-1.7999	-1.7930	-1.7939	-0.7205	0.3693
5700	50211	0.0206	0.0206	0.0203	0.5951	2.2140
50211	5536	1.1607	1.1564	1.1565	2.3568	3.6801
5536	77163	-11.1554	-11.1133	-11.1174	-6.3952	-8.5434
77163	55312	-0.0113	-0.0112	-0.0114	0.0786	2.7016
55312	56144	-1.3437	-1.3386	-1.3392	0.2487	1.4658
56144	5600	-0.4346	-0.4329	-0.4332	1.0209	2.6891
5600	75121	-12.0027	-11.9574	-11.9618	-6.6317	-8.8231
75121	57163	-2.6030	-2.5931	-2.5941	-0.2636	0.9951
57163	54154	3.5735	3.5601	3.5610	9.9740	7.2256
54154	541510	1.1518	1.1476	1.1477	9.9550	5.0124
541510	541514	0.1399	0.1395	0.1393	7.2378	4.2228
541514	71300	-12.4093	-12.3624	-12.367	-3.3927	-7.8622
71300	26159	16.2950	16.2338	16.2363	24.5844	21.0397
26159	5462	5.0227	5.0040	5.0036	9.4342	9.9469
5462	71200	-16.6607	-16.5978	-16.6051	-5.1519	-9.3843
71200	714253	-14.0289	-13.9760	-13.9822	8.0957	-2.4223
714253	3410	-51.0335	-50.8412	-50.863	-38.0168	-39.0323
3410	5102016	5.6401	5.6189	5.6170	26.3912	21.7273
5102016	2822	-34.0487	-33.9204	-33.9368	-11.2255	-17.7702
2822	2828	-36.9982	-36.8588	-36.8766	-16.3040	-20.4401
2828	7162922	-27.4714	-27.3679	-27.3814	-13.5753	-10.8945
7162922	7162915	-23.8059	-23.7162	-23.7281	-7.7351	-4.3955
7162915	71700	-11.9129	-11.8680	-11.8750	9.6127	13.6622
71700	716298	-20.4450	-20.3679	-20.3784	4.0628	7.5355
716298	2833	-41.1450	-40.9899	-41.0095	-12.0009	-10.2246

표 2, 3과 그림 1로부터 OC_1 , OC_2 및 OC_3 의 결과는 차이가 없는 것을 알 수 있으나 OC_4 와 OC_5 의 결과는 OC_1 , OC_2 및 OC_3 과 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 표 4는 각 공식별로 계산된 정사보정량의 통계값을 표시한 것으로써 OC_1 , OC_2 , OC_3 는 평균, 표준편차, 최대 및 최소값이 거의 동일하지만 OC_4 의 경우에는 최대, 최소값 및 표준편차가 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. OC_5 의 경우에도 OC_1 , OC_2 , OC_3 에 비하여 표준편차, 최대, 최소값이 큰 차이를 보였으나 OC_4 와 비교하여 최소값만이 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 5는 국립지리원이 발간한 중력측정에 관한 연구(1986)로부터 서에서 동으로 향하는 수준노선을 발취하여 구성한 수준점의 표고와 표고차 및 중력값을 표시한 것이다. 따라서, 표 5의 표고값과 중력값은 실제 수준측량을 수행한 수준노선이 아니라 표고차에 따른 정사보정량의 변화를 위하여 우리 나라의 서쪽에서 동쪽으로 수준노선을 구성한 것으로써 최소 표고값과 최대 표고값은 각각 12.21m와 734.42m이고, 평균표고는 203.37m이다.

표 2에서와 같이 5개의 공식을 사용하여 정사보정량을 계산하였으며, 사용된 데이터와 계산 결과는 표 6, 7에 각각 표시하였다. 표 6, 7의 결과를 비교 및 분석이 용이하도록 그림 2와 같이 표시하였다.

표 6, 7과 그림 2로부터 정사보정량은 표고차가 적은 지역에서는 큰 변화가 없으나 표고차가 클수록 크게 변화하는 것을 알 수 있다.

이전 결과에서 설명한 바와 같이 표 6의 결과로부터 OC_1 , OC_2 및 OC_3 의 결과는 거의 동일한 결과를 나타내고 있으나 OC_4 , OC_5 의 경우에는 평균, 최대 및 최소값에 있어서 다소 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 OC_1 , OC_2 및 OC_3 의 계산 공식에 사용되는 변수가 표고와 위도 및 타원체상의 이론 중력값이 사용되는 반면, OC_4 , OC_5 의 경우에는 표고와 표고차 및 실제 중력값이 사용되어 표고차에 따른 중력 이상의 효과가 정사보정에 영향을 주었기 때문이다.

Kao(2000) 및 Strang(1992)의 연구에 의하면 식 (6)이 정사보정량을 계산하는 데에 가장 적합하다고 제시하고

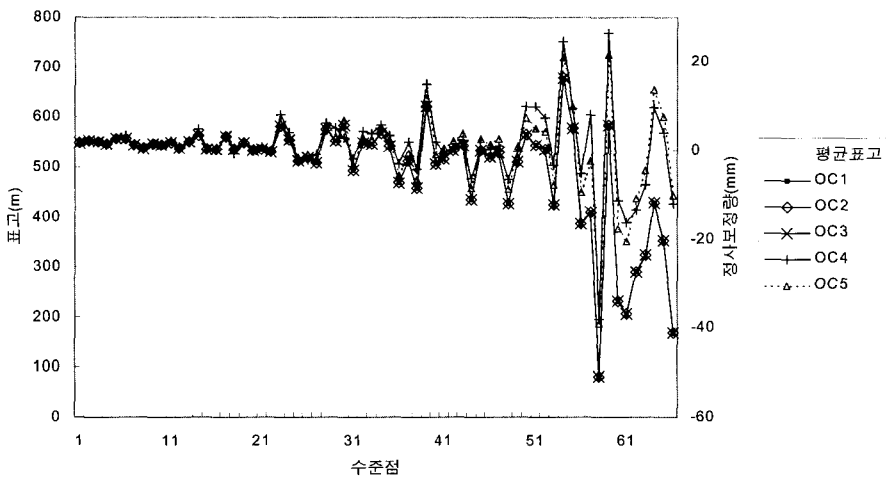


그림 2. 각 공식별 누적 정사보정량 II

표 8. 정사보정 공식별 통계값 II

	OC_1 (mm)	OC_2 (mm)	OC_3 (mm)	OC_4 (mm)	OC_5 (mm)
평균	-0.6234	-0.6211	-0.6214	-0.1818	-0.1549
표준편차	12.4053	12.3586	12.3629	13.1139	12.6936
최대	56.6736	56.4601	56.4800	64.4080	60.7596
최소	-39.6888	-39.5393	-39.5538	-46.1125	-39.4975

있으나 최근의 Hwang과 Hsiao(2003)의 연구에서는 1954년에 Mader가 제시한 방법을 수정한 새로운 방법을 제시하고 있다. 본 연구에서는 수정된 Mader 방법을 적용하는데 있어 자료 이용성의 어려움으로 적용하지 못하였다.

본 연구의 계산 결과를 통하여 정사보정량을 계산하기 위한 최적합한 정사보정식을 제시하는 것은 어려우나 표고차에 따른 정사보정량의 변화량과 크기를 고려하였을 때, 표고차가 큰 수준측량 결과에 대하여 정사보정을 무시할 수 없다는 것을 알 수 있으며, 표고차와 실측 중력값을 사용한다는 점에서 정사보정량은 OC_4 나 OC_5 의 식으로부터 계산하여 사용하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 또한, 지형데이터, 중력데이터 및 밀도데이터를 사용하는 수정 Mader 방법에 의한 정사보정량 계산에 대한 분석이 필요하다.

이상의 결과로부터 현재 국토지리정보원에서 수행하고 있는 GPS측량에 의한 정표고 결정을 위해서는 정사보정을 실시하여야 하며, 특히, 삼각점과 같은 표고차가 큰 관측점의 정밀 측지성적을 얻기 위해서는 정사보정이 필수적으로 요구된다.

4. 결 론

본 연구에서는 수준측량 결과에 대하여 5개의 정사보정량 계산식과 지역에 따른 정사보정량의 크기를 비교 분석하였다. 2개 지역의 수치해석 예를 통하여 지형의 표고차와 중력측정값 및 위도를 고려한 정사보정이 반드시 필요하다는 것을 알 수 있다. 5개의 정사보정량 계산공식을 비교 분석한 결과, 표고차와 정규중력을 사용하여 계산한 OC_1 , OC_2 , OC_3 의 경우가 표고차와 실측 중력값을 사용하여 계산되는 OC_4 와 OC_5 에 비하여 상대적으로 작게 계산되는데 이러한 이유는 두 점간의 표고차만을 고려하고 중력값에 의하여 표현되는 포텐셜에서의 내부밀도로 인한 영향이 고려되지 않았기 때문이다. 반면, OC_4 와 OC_5 는 실측 중력값이 고려되어 실질적으로 중력장내에서 지형의 변화에 따른 영향이 고려되어졌기 때문에 정사보정량이 크게 계산되었다. 따라서 우리나라와 같이 평균표고가 높고, 지형의 기복변화가 심한 지역에서는 실측 중력값을 고려한 정사보정량의 계산이 절대적으로 필요하다고 판단된다.

이상의 결과를 바탕으로 그 동안 수행한 정밀수준측량과 향후에 실시할 정밀수준측량 및 GPS/Leveling에 의한 수준측량에 대하여 정사보정을 실시하여 정밀수준망 조정을 실시하여야 하며, 본 연구에서는 5개의 공식만을 고려하였으나 Mader 방법과 같은 여러 정사보정 방법의 검토와 수준점에 대한 실측 중력값의 이용을 위한 보간법 등에 대하여 보다 더 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- 국립지리원 (1986), 중력측정에 관한 연구, 건설교통부.
 백은기, 김원익 (1989), 우리나라 측지수준망의 조합조정, 한국측지학회지, 제 7권 제 2호, pp. 1.
 유복도, 양인태, 손택재 (1987), 중력장을 고려한 높이 결정의 특성에 관한 연구, 한국측량학회지, 제 5권 제 1호.
 이석찬, 조규전, 이영진, 이창경 (1988), 우리나라 2등 수준망의 조정, 한국측지학회지, 제 6권 제 2호, pp. 1.
 Chang, C. C. (1994), An Annotation of Normal Height Correction Formula, *Journal of Surveying Engineering of PRC*, Vol. 23, No. 1, pp. 1-5.
 Dennis, M.L. and W.E. Featherstone (2002), Evaluation of Orthometric and Related Height Systems Using a Simulated Mountain Gravity Field, International Gravity and Geoid Commission.
 Heiskanen, W. A. and Moritz, H (1982), Physical Geodesy. W. H. Freeman and Co., San Francisco and London, 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.
 Kao, S. P., Hsu, R. and Ning, F. S. (2000), Results of field test for computing orthometric correction based on measured gravity, *Geomatics Research Australaia*, No. 72, pp. 43-60.
 N. A. Allister and W. E. Featherstone (2001), Estimation of Helmert orthometric heights using digital barcode levelling, observed gravity and topographic mass-density data over part of the Darling Scarp, Western Australia, *Geomatics Research Australasia*, No. 75, pp. 25-52.
 National Geodetic Survey (1986), Geodetic Glossary, NGS, Rockville, MD, p. 100.
 Petr Vanicek and Edward J. Krakiwsky (1982), Geodesy : The Concepts, North-Holland Publishing Company, pp. 362-371.
 Strang van Hees, G. L. (1992), Practical Formulas for The Computation of the Orthometric, Dynamic and Normal Heights, *Zeitschrift fur Vermessungswesen*, 11:727-734.
 Torge, W. (1991), Geodesy, Walter de Gruyter, Berlin, pp. 57.
 (접수일 2004. 3. 11, 심사일 2004. 6. 9, 심사완료일 2004. 6. 24)