

네트워크 RTK 측량의 사이트 캘리브레이션 방안에 관한 연구

A Study on the Site Calibration of Network RTK Surveying

최한준¹⁾ · 이병길²⁾ · 연상호³⁾

Han Jun Choi · Byoungkil Lee · Sang Ho Yeon

Abstract

With the expansion of the development and use of surveying equipment recently, by the establishment of infrastructure for network RTK surveying of the NGII, network RTK surveying has been widely used in surveying industry. Currently, in public surveying regulations, site calibration with minimum 5 evenly spaced bench marks is needed for using network RTK surveying results as leveling. But the range between and the number of bench marks for site calibration can be varied according to the geoid undulation. In this study, in order to verify this, Incheon area having regular geoid undulation and Taebaek area having irregular geoid undulation are selected as study area and network RTK surveying have been done. Then the accuracy of site calibration by range between and the number of bench marks have been compared.

As a result of this study, in order to meet a tolerance of vertical precision (0.1m) that has been set in public surveying regulations, there is a necessity for improving the regulations so that the range and number of bench marks, to be used for site calibration of network RTK surveying, can be applied complementarily.

Keywords : Network RTK Surveying, Site Calibration, Public Surveying Regulations, Range between Bench Marks

초 록

최근 측량장비의 발달 및 사용확대와 더불어 국토지리정보원의 네트워크 RTK 측량 기반조성으로 인하여 네트워크 RTK 측량이 측량산업 전반에 많이 활용되고 있다. 현재 공공측량작업규정에는 네트워크 RTK 측량 성과를 수준측량에 적용하기 위해서는 작업지역에 균등하게 분포한 5점 이상의 수준점을 사용하여 사이트 캘리브레이션을 한다고 되어있다. 그러나 지오이드의 기복에 따라 사이트 캘리브레이션이 가능한 수준점 간의 거리와 필요한 점의 수가 다를 수 있다. 본 연구에서는 이를 검증하기 위해 지오이드 기복이 완만한 인천지역과 지오이드 기복이 큰 태백지역을 대상으로 네트워크 RTK 측량을 수행하고 사이트 캘리브레이션에 사용되는 기준점 간의 거리별, 기준점 개수별로 정확도를 비교하였다.

본 연구의 결과 공공측량 규정에서 정한 수직정밀도(0.1m) 허용범위에 들기 위해서는 네트워크 RTK 측량의 사이트 캘리브레이션에 사용되는 기준점의 수와 점간 거리를 상호보완적으로 적용할 수 있는 공공측량작업규정의 개선이 필요함을 알 수 있었다.

핵심어 : 네트워크 RTK 측량, 사이트 캘리브레이션, 공공측량 작업규정, 기준점 간 거리

1. 서론

인공위성을 이용한 위치결정 시스템인 GPS는 정지측량(static)과 같이 후처리에 의한 방법과 실시간으로 관측데이터를 처리하여 미지점의 위치를 결정하는 방법인 RTK(Real

Time Kinematic) 측량 방법이 있다. 이 중 RTK 방식은 현장에서 곧바로 원하는 위치를 정밀하게 결정할 수 있어 각종 측량분야, GIS, 항공기나 선박, 자동차등의 항법장치 등에 응용되어 여러 방면에서 다양하게 활용되고 있다.

하지만 기존 RTK 또는 DGPS 방식은 기준국(reference

1) 대한측량협회 · 경기대학교 산업대학원(E-mail : lsh6338@korea.com)

2) 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 부교수(E-mail : basil@kgu.ac.kr)

3) 세명대학교 토목공학과 교수(E-mail : yshsmu@semyung.ac.kr)

station)에 수신기를 운영하여야 하며, 기준국과 사용자 수신기의 거리가 증가함에 따라 정확도가 떨어지는, 주로 대류권 지연 및 전리층지연에 영향을 받는 거리의존오차(distance dependent error)를 가지고 있다. 이런 문제점을 극복할 수 있는 방안으로 네트워크 RTK 기법이 도입되었으며, 일반적으로 가상기준국 방식(VRS)을 적용한 네트워크 RTK 기법은 거리의존 오차를 보정하여 오차를 모델링하고 광범위한 지역에서도 정밀한 위치를 결정할 수 있다. 이미 미국, 유럽, 일본, 중국 등 여러 나라에서는 단독기준국 RTK(single RTK) 시 발생하는 거리의존 오차와 무선모뎀의 통신 한계를 극복하고 정밀도를 향상시키기 위해 각 국에 설치된 GPS상시관측소를 이용하여 네트워크를 구성하고 보정데이터를 실시간으로 제공하고 있다.

현재 우리나라에서도 약 90여개의 상시관측소가 운영 중에 있으며 구 행정자치부에서 관리하던 30개소와 국토지리정보원에서 관리하던 15개를 합하여 총45개의 상시관측소를 위성측지기준점으로 통합관리하고 있으며 전국에 걸친 네트워크 RTK 측량을 위한 보정 데이터 서비스를 하고 있다. 그리고 2010년 6월 공공측량 작업규정 개정으로 인하여 공공측량에도 네트워크 RTK 측량이 적용되었으며 측량장비의 급속한 발달과 보편화로 측량산업 전반에 많이 활용되고 있다(NGII, 2007; NGII, 2008).

네트워크 RTK 정확도를 분석하기 위한 연구가 Jung(2008), Han(2010) 및 Lee et al. (2012)에 의하여 시도되었다. 하지만 지금까지의 연구들은 평면 위치에 대한 정확도를 평가하기 위한 연구로 네트워크 RTK 측량의 성과를 수준측량에 활용하기 위한 정확도를 평가한 연구는 미흡했다. 한편, 현재 공공측량 작업규정(NGII, 2010)에는 네트워크 RTK의 사이트 캘리브레이션에는 작업지역에 균등하게 분포한 5점 이상의 수준점을 이용하여 내삽한 지오이드고를 이용하여 타원체고를 표고로 환산하도록 정의되어 있다. 그러나 우리나라의 경우 서쪽 평야지대의 지오이드 기복과 산악지대의 지오이드 기복의 차이가 커 단순히 사이트 캘리브레이션을 위한 수준점의 수만 규정이 되어 있는 경우 캘리브레이션에 사용되는 수준점의 거리에 따라 상당한 오차가 발생할 수 있다.

이에 본 연구에서는 지역별로 사이트 캘리브레이션을 위한 수준점 간의 거리와 사용된 수준점의 수에 따른 정확도의 변화를 연구하여 검증결과를 토대로 공공측량 작업규정에 적용방안을 제시하고자 하였다. 이를 위해 성과고시를 획득한 실험지역 인근의 도시기준점 및 국가수준점, 통합기준점 성과를 확보하였으며 각 기준점이 갖는 표고를 이용하여 사이트 캘리브레이션을 수행하였다. 또 네트워크 RTK 측량에는

장비별 특성과 측량솔루션의 특성을 고려하여 2개 회사의 장비와 측량솔루션을 사용하였다. 사이트 캘리브레이션을 위한 기준점간 거리를 약 5km, 10km, 20km, 50km가 되도록 하고, 각 경우에 대해 외곽에 4점의 기준점을 사용하는 경우와 중심부에 1점을 더한 5점의 기준점을 사용하는 경우로 나누어 사이트 캘리브레이션을 수행하고 정확도를 검증하였다.

2. VRS 방식에 의한 GPS 측량

현재까지 개발된 네트워크 RTK의 종류는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 그 중 하나가 가상기준점(virtual reference station) 방식으로 알려진 Trimble사의 VRS와 독일의 GEO++사와 Leica사가 공동으로 개발한 GNSMART/GEO++가 있으며 이는 초기 모델로 현재는 Leica사가 초기버전을 독자적으로 보완하여 개발한 Spider Net이 있다(Leica Geosystems, 2005). 그 외 캐나다의 Calgary 대학교와 미국의 오하이오 주립대학교 등에서 네트워크를 이용한 RTK측량에 관한 연구를 수행하고 있다.

또 가상기준점 방식에는 가상관측값 방식(VRS)과 FKP(면보정계수) 방식, 그리고 격자보정계수 방식이 있으며 현재 상용화된 VRS, FKP 두 방법의 경우 어떠한 방식이 더 우세하다는 결론은 내리기가 어려우며, 구축하고자 하는 지역의 인프라에 따라 선택하여야 한다. 본 연구에서는 VRS 방식의 네트워크 RTK 측량을 이용하여 연구를 수행하였다.

VRS 방식에서는 Fig. 1과 같이 이동국에 인접한 지점에 가상의 기준국을 설정하고 이에 대한 관측값과 보정값을 생성하여 전송함으로써 가상의 기준국과 이동국 사이에 RTK를 통하여 이동국의 정확한 위치를 결정하는 방식이다. 이 방식에서는 가상기준점의 위치를 선정하기 위하여 이동국의 근사 위치를 전송하여야 하므로 양방향 통신이 필수적이다.

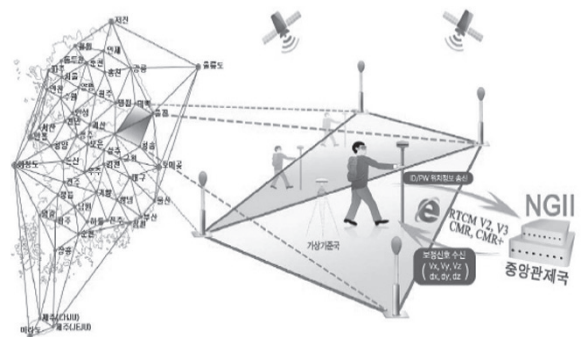


Fig. 1. Principles of VRS (NGII, 2007)

3. 측량 및 사이트 캘리브레이션

3.1 실험개요

VRS 방식 네트워크 RTK 측량의 사이트 캘리브레이션 방안을 검토하기 위해 한반도의 지오이드 모델(Fig. 2)을 고려하여 지오이드 기복이 규칙적인 인천지역(경도 126°E~127°E 및 위도 37°N~38°N 일원)과 지오이드 기복이 불규칙한 태백지역(경도 128°E~130°E 및 위도 36°N~38°N 일원)을 연구대상 지역으로 선정하였다. 연구대상지역에 대해 통합기준점 및 수준점, 도시기준점의 고시성과를 확보하고 일부는 사이트 캘리브레이션을 위한 높이값을 갖는 기준점으로 사용하고, 일부는 캘리브레이션의 정확도 평가를 위한 검사점으로 사용하였다.

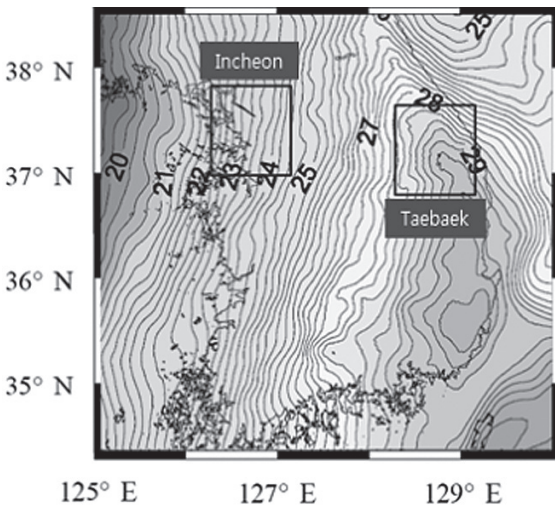


Fig. 2. EGM2008 geoid model (Lee et al., 2008) and study areas

3.2 사용장비 및 관측

네트워크 RTK 측량 시, 사이트 캘리브레이션에서는 보간법을 이용하며, IDW 보간 기법이 많이 사용되고 있는 것으로 추측되지만 측량장비 회사별 측량 솔루션의 특성상 공개하지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 LEICA(GPS 1200)과 TOPCON(HIPer-II) 두가지 장비를 사용하여 각 장비에 대해 사이트 캘리브레이션을 수행하고 성과를 비교·검증하였다.

LEICA(GPS 1200) 장비에서는 휴대폰을 연결하여 측정하였고, TOPCON(HIPer-II) 장비에서는 FC-250과 M3컨트롤러를 이용하여 실시하였다. FC-250컨트롤러의 경우 스마트

폰 테더링 기능을 이용해 국토지리 정보원 서버에 접속하였다(NGII, 2007). 네트워크 RTK 측량 후 사이트 캘리브레이션을 위한 프로그램은 LGO(LEICA), TopconLink, U-surveying 등의 프로그램을 사용하였다. 측량장비의 구성과 사용 솔루션은 Table 1, Table 2와 같다.

Table 1. Equipments (Incheon)

	A Set	B set
Antenna	TOPCON Hiper-II	LEICA ATX
Controller	M3	LEICA GPS 1200
Program	U-surveying	Leica Geo Office

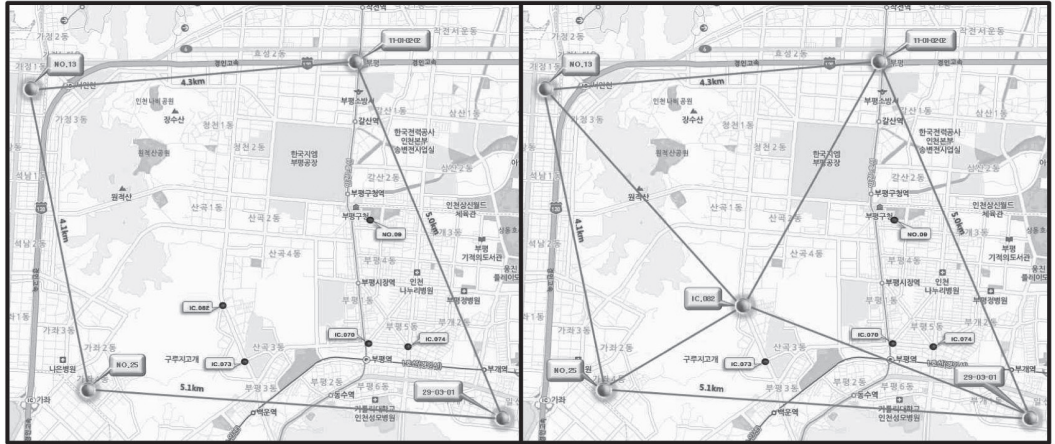
Table 2. Equipments (Taebaek)

	A Set	B set
Antenna	TOPCON Hiper-II	TOPCON Hiper-II
Controller	M3	TOPCON FC-250
Program	U-surveying	컨트롤러 내부

3.4 사이트 캘리브레이션

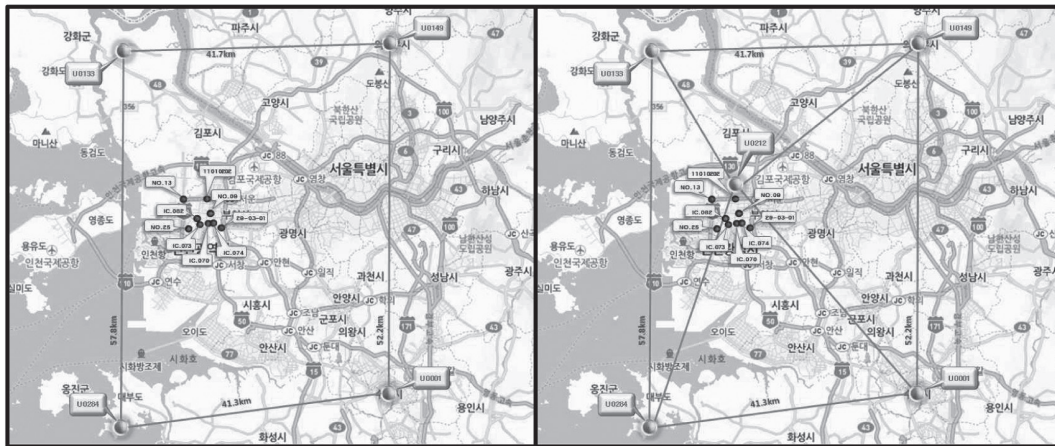
본 연구에서는 획득된 사이트 캘리브레이션에 사용되는 기준점(수준점)의 수와 기준점 간의 거리가 캘리브레이션 결과에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이 중 사이트 캘리브레이션에 사용되는 기준점 간의 거리는 도서지역이 많은 서해안과 같은 경우 30km~60km 정도의 원거리 기준점을 이용한 캘리브레이션을 수행할 가능성도 있기 때문에 5km, 10km와 같은 단거리 망에서 20k, 50km의 원거리 망까지 4가지 크기의 망에 대해 캘리브레이션을 적용하였다. 캘리브레이션에 사용되는 기준점의 수는 공공측량작업규정에 5점 이상으로 제시되어 있다. 기준점의 수가 캘리브레이션 결과에 어떤 영향을 주는지 분석하기 위해 작업규정보다 작은 4점의 기준점을 사용한 캘리브레이션을 수행하였다.

연구에서 수행된 인천지역에 대한 사이트 캘리브레이션은 Fig. 3과 같이 검사점 주위의 기준점을 사용하여 수행되었고, 기준점을 5점으로 사용한 경우 5km와 10km의 근거리 망에서는 검사점 중 하나를 기준점으로 추가 사용하였다. 태백지역 역시 인천지역과 유사한 방법으로 캘리브레이션 망을 조성하여 사이트 캘리브레이션을 수행하였다.



(a)

(b)



(c)

(d)

Fig. 3. Site calibration network in Incheon

((a) range: 5km, 4 points; (b) range: 5km, 5 points; (c) range: 50km, 4 points; (d) range: 50km, 5 points)

4. 정확도 평가 및 분석

4.1 인천지역

(1) 고시성과와 장비별 성과비교

인천지역의 검사점 분포는 Fig. 4와 같으며 네트워크 RTK 측량의 성과는 Table 3과 같다. 두 장비의 평면좌표 표준편차는 A장비의 경우 ($\Delta x=0.012m$, $\Delta y=0.014m$), B장비의 경우 ($\Delta x=0.015m$, $\Delta y=0.009m$)로 공공측량 작업규정(GPS에 의한 공공기준점 측량)의 수평정밀도(0.05m) 이내 이며 Table 3에서 보는 바와 같이 두 장비의 높이 차이도 공공측량 작업 규정의 수직정밀도(0.10m) 이내로 실험에 사용하기 적정함을 알 수 있었다.



Fig. 4. Check points (Incheon)

Table 3. Comparison between equipment A and B (Incheon)

Unit:(Ellipsoid Heights, m)

Control points	Observation		Reference	Differences		
	A	B	CP	A-CP	B-CP	A-B
IC70	43.793	43.820	43.819	-0.026	0.001	-0.027
IC73	57.192	57.158	57.197	-0.005	-0.039	0.034
IC74	38.673	38.652	38.724	-0.051	-0.072	0.021
IC82	43.167	43.192	43.257	-0.090	-0.065	-0.025
NO09	33.408	33.367	33.464	-0.056	-0.097	0.041
NO13	34.074	34.095	34.130	-0.056	-0.035	-0.021
NO25	29.409	29.389	29.482	-0.073	-0.093	0.020
11-01-02-02	43.015	43.010	43.059	-0.044	-0.049	0.005
29-03-01	41.401	41.378	41.388	0.013	-0.010	0.023

(2) 사이트 캘리브레이션 결과

인천지역에서 사이트 캘리브레이션을 수행한 결과 Table 4, Table 5와 같이 잔차가 계산되었다. 4점을 이용한 캘리브레이션에서는 B장비가 A장비에 비해 평균잔차가 작게 나타났으며 최소 0.019m, 최대 0.077m의 평균 오차량이 산출되었다 (Table 6). 반면 5점을 이용한 캘리브레이션에서는 A장비가

B장비에 비해 평균잔차가 작게 나타났으며 최소 0.004m에서 최대 0.038m의 평균잔차가 산출되었다(Table 6). Table 6와 Fig. 5에서 보는 것과 같이 인천지역에서는 사용된 기준점의 수 및 기준점 가 거리와 무관하게 공공측량에서 정한 수직정밀도를 만족하고 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Results of site calibration (4 points, Incheon)

	CP	Reference (H)	Calibration Results (h)				Residuals (H-h)			
			5km	10km	20km	50km	5km	10km	20km	50km
A	IC070	20.988	21.005	20.948	21.005	20.956	-0.017	0.040	-0.017	0.032
	IC073	34.395	34.419	34.386	34.447	34.533	-0.024	0.009	-0.052	-0.138
	IC074	15.855	15.877	15.814	15.87	15.821	-0.022	0.041	-0.015	0.034
	IC082	20.452	20.414	20.372	20.43	20.515	0.038	0.080	0.022	-0.063
	NO09	9.473	9.483	9.397	9.448	9.555	-0.010	0.076	0.025	-0.082
	NO13	11.422		11.334	11.404	11.362		0.088	0.018	0.060
	NO25	6.785		6.652	6.717	6.663		0.133	0.068	0.122
	11010202	20.299		20.179	20.226	20.189		0.120	0.073	0.110
	290301	18.571		18.509	18.566	18.515		0.062	0.005	0.056
B	IC070	20.988	21.042	21.027	21.035	20.992	-0.054	-0.039	-0.047	-0.004
	IC073	34.395	34.386	34.409	34.413	34.368	0.009	-0.013	-0.018	0.027
	IC074	15.855	15.870	15.846	15.854	15.812	-0.015	0.009	0.001	0.043
	IC082	20.452	20.440	20.455	20.460	20.418	0.012	-0.003	-0.008	0.034
	NO09	9.473	9.470	9.424	9.434	9.398	0.003	0.049	0.039	0.075
	NO13	11.422		11.421	11.424	11.392		0.001	-0.002	0.030
	NO25	6.785		6.703	6.700	6.652		0.082	0.085	0.133
	11010202	20.299		20.214	20.227	20.198		0.085	0.072	0.101
	290301	18.571		18.543	18.551	18.506		0.028	0.020	0.065

Table 5. Results of site calibration (5 points, Incheon)

	CP	Reference (H)	Calibration Results (h)				Residuals (H-h)			
			5km	10km	20km	50km	5km	10km	20km	50km
A	IC070	20.988	20.982	21.003	21.019	21.008	0.006	-0.015	-0.031	-0.020
	IC073	34.395	34.397	34.457	34.459	34.433	-0.002	-0.062	-0.064	-0.038
	IC074	15.855	15.863	15.862	15.884	15.873	-0.008	-0.007	-0.029	-0.018
	IC082	20.452			20.445	20.431			0.007	0.021
	NO09	9.473	9.472	9.456	9.468	9.460	0.001	0.017	0.005	0.013
	NO13	11.422		11.405	11.417	11.402		0.017	0.005	0.020
	NO25	6.785		6.729	6.727	6.707		0.056	0.058	0.078
	11010202	20.299		20.235	20.251	20.247		0.064	0.048	0.052
B	290301	18.571		18.539	18.578	18.565		0.032	-0.007	0.006
	IC070	20.988	21.046	21.027	21.044	21.020	-0.058	-0.039	-0.056	-0.032
	IC073	34.395	34.406	34.409	34.422	34.395	-0.011	-0.014	-0.027	0.000
	IC074	15.855	15.870	15.846	15.864	15.840	-0.015	0.009	-0.009	0.015
	IC082	20.452			20.470	20.447			-0.018	0.005
	NO09	9.473	9.454	9.424	9.447	9.430	0.019	0.049	0.026	0.043
	NO13	11.422		11.421	11.434	11.421		0.001	-0.012	0.001
	NO25	6.785		6.703	6.707	6.677		0.082	0.078	0.108
11010202	20.299		20.214	20.244	20.236		0.085	0.055	0.063	
290301	18.571		18.543	18.559	18.532		0.028	0.012	0.039	

Table 6. Summary of site calibration (Incheon)

Unit:(m)

Range of Calibration Network	A Set				B set			
	5km	10km	20km	50km	5km	10km	20km	50km
Mean Residual (4 points)	0.022	0.072	0.033	0.077	0.019	0.034	0.032	0.057
Mean Residual (5 points)	0.004	0.034	0.028	0.030	0.026	0.038	0.033	0.034

4.2 태백지역 성과

(1) 고시성과와 장비별 성과비교

태백의 검사점 분포는 Fig. 6과 같으며 인천 지역에서와 마찬가지로 네트워크 RTK 측량을 수행한 성과는 Table 7과 같다. 두 장비의 평면좌표 표준편차는 A장비의 경우 ($\Delta x=0.033m$, $\Delta y=0.023m$), B장비의 경우 ($\Delta x=0.030m$, $\Delta y=0.025m$)로 공공측량 작업규정(GPS에 의한 공공기준점 측량)의 수평정밀도(0.05m) 이내 이며 Table 6에서 보는 바와 같이 두 장비의 높이 차이도 공공측량 작업규정의 수직정밀도(0.10m) 이내로 실험에 사용하기 적정함을 알 수 있었다.

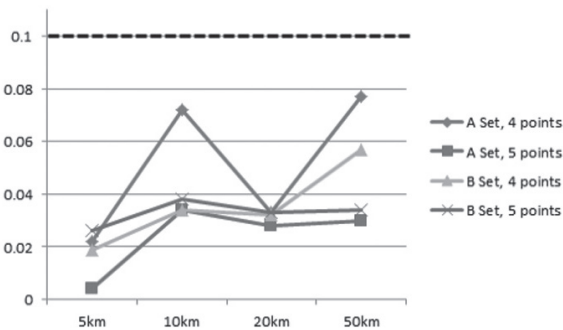


Fig. 5. Mean residuals of site calibration (Incheon)



Fig. 6. Check points (Taebaek)

Table 7. Comparison between equipment A and B (Taebaek)

Unit:(Ellipsoid Heights, m)

Control points	Observation		Reference	Differences		
	A	B	CP	A-CP	B-CP	A-B
NO.1137	794.735	794.658	794.673	0.062	-0.015	0.077
NO.1177	830.262	830.177	830.233	0.029	-0.056	0.085
NO.1190	872.160	872.124	872.181	-0.021	-0.057	0.036
NO.145	895.779	895.770	895.809	-0.030	-0.039	0.009
NO.153	832.167	832.128	832.146	0.021	-0.018	0.039
NO.160	836.258	836.223	836.244	0.014	-0.021	0.035
NO.166	790.588	790.534	790.562	0.026	-0.028	0.054
NO.168	799.510	799.466	799.499	0.011	-0.033	0.044
07-16-29-04	815.932	815.864	815.894	0.038	-0.030	0.068

(2) 사이트 캘리브레이션 결과

태백지역에서 사이트 캘리브레이션을 수행한 결과 Table 8, Table 9와 같이 잔차가 계산되었다. 4점을 이용한 캘리브레이션에서는 B장비가 A장비에 비해 평균잔차가 작게 나타났으며 최소 0.022m, 최대 0.973m의 평균 오차량이 산출되었다(Table 10). 반면 5점을 이용한 캘리브레이션에서는 A장비가 B장비에 비해 평균잔차가 작게 나타났으며 최소

0.014m에서 최대 0.496m의 평균잔차가 산출되었다(Table 10). Table 10과 Fig. 7에서 보는 것과 같이 태백지역에서는 5점을 사용한 A 장비의 경우를 제외하면 사이트 캘리브레이션 범위가 10km를 넘어서면 공공측량에서 정한 수직정밀도(0.10m)를 초과하는 것으로 나타났다. 5점을 사용했을 때 A 장비와 B장비의 차이는 캘리브레이션을 수행하는 소프트웨어의 차이로 생각된다.

Table 8. Results of site calibration (4 points, Taebaek)

	CP	Reference (H)	Calibration Results (h)				Residuals (H-h)			
			5km	10km	20km	50km	5km	10km	20km	50km
A	NO.1137	765.472	765.568	765.581	765.668	766.589	-0.096	-0.109	-0.196	-1.117
	NO.1177	801.026	801.052	801.069	801.159	801.785	-0.026	-0.043	-0.133	-0.759
	NO.1190	842.919		842.872	843.02	843.668		0.047	-0.101	-0.749
	NO.145	866.578		866.552	866.650	867.728		0.026	-0.072	-1.150
	NO.153	802.926	802.943	802.953	803.054	803.791	-0.018	-0.027	-0.128	-0.865
	NO.160	807.034		807.071	807.167	807.774		-0.037	-0.133	-0.740
	NO.166	761.360	761.422	761.435	761.522	762.326	-0.062	-0.075	-0.162	-0.966
	NO.168	770.385		770.389	770.483	771.592		-0.004	-0.098	-1.207
	07162904	786.688	786.737	786.749	786.834	787.891	-0.049	-0.061	-0.146	-1.203
B	NO.1137	765.472	765.492	765.494	765.658	766.142	-0.020	-0.022	-0.186	-0.670
	NO.1177	801.026	800.977	800.983	801.155	801.653	0.049	0.043	-0.129	-0.627
	NO.1190	842.919		842.866	843.055	843.582		0.053	-0.136	-0.663
	NO.145	866.578		866.569	866.719	867.220		0.009	-0.141	-0.642
	NO.153	802.926	802.911	802.921	803.095	803.598	0.014	0.005	-0.169	-0.672
	NO.160	807.034		807.024	807.213	807.713		0.010	-0.179	-0.679
	NO.166	761.360	761.370	761.372	761.535	762.018	-0.010	-0.012	-0.175	-0.658
	NO.168	770.385		770.342	770.489	770.956		0.043	-0.104	-0.571
	07162904	786.688	786.673	786.683	786.841	787.333	0.015	0.005	-0.153	-0.645

Table 9. Results of site calibration (5 points, Taebaek)

	CP	Reference (H)	Calibration Results (h)				Residuals (H-h)			
			5km	10km	20km	50km	5km	10km	20km	50km
A	NO.1137	765.472	765.569	765.56	765.629	765.667	-0.097	-0.088	-0.157	-0.195
	NO.1177	801.026			801.117	801.153			-0.091	-0.127
	NO.1190	842.919		842.869	842.935	842.967		0.050	-0.016	-0.048
	NO.145	866.578		866.548	866.582	866.606		0.030	-0.004	-0.028
	NO.153	802.926	802.948	802.941	803.004	803.038	-0.023	-0.015	-0.078	-0.112
	NO.160	807.034		807.060	807.136	807.179		-0.026	-0.102	-0.145
	NO.166	761.360	761.424	761.414	761.483	761.52	-0.064	-0.054	-0.123	-0.160
	NO.168	770.385		770.378	770.443	770.480		0.007	-0.058	-0.095
	07162904	786.688	786.738	786.738	786.786	786.817	-0.050	-0.050	-0.098	-0.129
B	NO.1137	765.472	765.490	765.491	765.622	765.992	-0.018	-0.019	-0.150	-0.520
	NO.1177	801.026			801.118	801.501			-0.092	-0.475
	NO.1190	842.919		842.863	843.071	843.428		0.056	-0.152	-0.509
	NO.145	866.578		866.566	866.717	867.066		0.012	-0.139	-0.488
	NO.153	802.926	802.91	802.918	803.056	803.446	0.015	0.008	-0.130	-0.520
	NO.160	807.034		807.021	807.170	807.562		0.013	-0.136	-0.528
	NO.166	761.360	761.368	761.369	761.499	761.868	-0.008	-0.009	-0.139	-0.508
	NO.168	770.385		770.340	770.413	770.807		0.045	-0.028	-0.422
	07162904	786.688	786.672	786.681	786.802	787.181	0.016	0.007	-0.114	-0.493

Table 10. Summary of site calibration (Taebaek)

Unit:(m)

	A Set				B set			
Range of Calibration Network	5km	10km	20km	50km	5km	10km	20km	50km
Mean Residual (4 points)	0.050	0.048	0.130	0.973	0.022	0.022	0.152	0.647
Mean Residual (5 points)	0.058	0.040	0.081	0.115	0.014	0.021	0.120	0.496

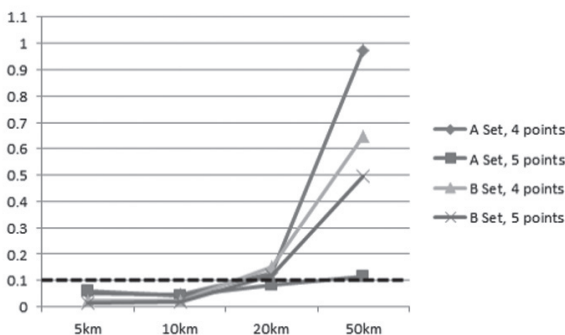


Fig. 7. Mean residuals of site calibration (Taebaek)

5. 결론

본 연구에서는 네트워크 RTK 측량의 결과를 사이트 캘리브레이션하기 위하여 캘리브레이션에 사용되는 기준점의 수와 기준점 간의 거리 별로 높이 오차의 변화를 분석하였다. 지오이드의 기복에 따른 영향을 비교하기 위해 지오이드 기복이 완만한 인천지역과 지오이드 기복이 심한 태백지역을 대상으로 선정하여 각 지역의 도시기준점 및 수준점, 통합기준점을 이용하여 네트워크 RTK 측량을 수행하고 사이트 캘리브레이션을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 지오이드 기복이 심한 지역에서는 사이트 캘리브레이션에 사용되는 기준점 간의 거리가 10km 이상이 될 경우 공

공측량에서 정한 수직정확도(0.10m)를 초과할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

둘째, 지오이드 기복이 완만한 지역에서는 사이트 캘리브레이션에 4점의 기준점만 사용해도 50km의 대형 망까지 공공측량에서 정한 수직정확도를 만족시킬 수 있음을 알 수 있었다.

셋째, 기준점을 4점을 사용하였을 때 보다 측량대상 지역 내에 검사점 1점을 추가하여 5점으로 사이트 캘리브레이션 망을 형성하였을 때 정확도가 향상되었으며, 5점을 사용할 경우 검사점에 인접한 기준점의 영향은 사용되는 장비와 소프트웨어에 따라 상이하기 때문에 이에 대한 추가적인 검증도 필요함을 확인할 수 있었다.

넷째, 현재 공공측량작업규정에서 사이트 캘리브레이션을 위한 점의 수만을 규정하고 있으나, 본 연구결과를 통해 캘리브레이션의 정확도에는 캘리브레이션에 사용되는 기준점의 수와 기준점 간의 거리 및 지오이드의 기복이 같이 영향을 주고 있기 때문에 이를 반영할 수 있는 작업규정의 보완이 필요함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 인천과 태백지역만을 대상으로 하고 검사점이 좁은 지역에 분포하고 있는 한계가 있어 국토 전반에 대한 각 지역별 사이트 캘리브레이션 기준을 제시하기 위한 연구로는 부족하였다. 향후 전국에 대해 지역별 사이트 캘리브레이션 기준 제시를 위한 연구 또는 지오이드 기복 정도에 따른 사이트 캘리브레이션 방법 제시를 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- Han, J · Kwon, J · Hong, C (2010), Analysis of Network-RTK(VRS) Positioning Accuracy for Surveying Public Control Point, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 18, No. 2, pp. 13-20.
- Jung, B (2008), *A Study on the Application of Network RTK GPS for Public Survey*, Master Thesis, Kyonggi University, Suwon, Korea.
- Lee, J (2012), *A Study on the Determination of the Local Transformation Parameter in Construction Sites using Network-RTK*, Master Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea.
- Lee, S · Kim, J · Kim, C (2008), Evaluation of EGM2008 earth geopotential model using GPS/leveling data, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 16, No. 3, pp. 117-126.
- Leica Geosystems (2005), *Take it to the MAX!-An introduction to the philosophy and technology behind Leica Geosystems' SpiderNET revolutionary Network RTK software and algorithms*, White Paper, Leica Geosystems, St. Gallen, Switzerland.
- NGII (2007), Network RTK Service, URL:<http://vrs.ngii.go.kr>, National Geographic Information Institute, Suwon, Korea (last date accessed: 01 Feb. 2013).
- NGII (2008), GPS Data Download Service, URL: <http://gps.ngii.go.kr>, National Geographic Information Institute, Suwon, Korea (last date accessed: 01 Feb. 2013).
- NGII (2010), *Public Surveying Regulations*, National Geographic Information Institute, Suwon, Korea.