

지상기준점측량 적용을 위한 Network-RTK 측량 정확도 평가 Evaluation of Network-RTK Survey Accuracy for Applying to Ground Control Points Survey

김광배* · 이창경** · 안 성***

Kim, Kwang Bae · Lee, Chang Kyung · An, Seong

요 旨

본 연구는 2007년 이래 국토지리정보원에서 제공하고 있는 Network-RTK(VRS) 측량을 항공사진도화에 필요한 지상기준점측량에 적용하기 위하여 그 정확도를 검증하는데 목적이 있다. 세계측지계(ITRF2000)에 근거하여 국가기준점을 고정된 상대측위방식 Static GNSS 측량으로 지상기준점(GCP)을 측정하여 이를 정확값으로 간주하였다. 2종의 Network-RTK 수신기를 이용하여 동일 지상기준점의 위치를 구한 후, 좌표변환과 지오이드 모델을 적용하여 세계측지계 좌표로 변환하였다. Static GNSS 측량과 2종의 Network-RTK 측량에 의한 측정값을 비교한 결과, GCP 위치좌표의 평균제곱근오차는 평면에서 ± 2.0 cm, 표고에서 ± 7.0 cm 이었다. 즉, 지상기준점측량에서 GPS 수신기 1세트로 짧은 시간 관측할 수 있는 Network-RTK 측량은 GNSS 수신기 2세트 이상을 필요로 하는 RTK 측량이나 GNSS 수신기 2세트 이상으로 장시간의 관측이 필요한 Static GNSS 측량의 실용적인 대안임을 알 수 있었다.

핵심용어 : 지상기준점, Network-RTK(VRS), Static GNSS, 지오이드 모델, 표고, 좌표변환

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the accuracy of Network-RTK(VRS) survey for applying to Ground Control Points(GCPs) survey required for mapping aerial photographs. Network-RTK has been serviced by National Geographic Information Institute since 2007. On the basis of the global coordinates system(ITRF2000), the coordinates of GCPs determined by Static GNSS survey with relative positioning techniques were regarded as accurate values. The coordinates of GCPs were also determined by Network-RTK survey using two kinds of receivers, and then they were converted into the global coordinates system(ITRF2000) by applying suitable geoid model and coordinate transformation. These coordinates of GCPs were compared with those from Static GNSS survey. The root mean squares error (RMSE) of coordinate differences between Network-RTK and Static GNSS was ± 2.0 cm in plane and ± 7.0 cm in height. Therefore, Network-RTK survey that enables single GNSS receiver to measure positions in short time is a practical alternative in positioning GCPs to either RTK survey that uses more than two sets of GNSS receivers or Static GNSS survey that requires longer observation time.

Keywords : Ground Control Point, Network-RTK(VRS), Static GNSS, Geoid Model, Orthometric Height, Coordinate Transformation

1. 서 론

GNSS(Global Navigation Satellite System) 측량은 관측소요시간에 따라 정지(static) 또는 이동(kinematic) 측량, 기준점을 이용한 오차보정에 따라 단독측위와 상

대측위, 관측자료처리 시점에 따라 후처리방식 또는 실시간처리방식으로 구분할 수 있다. 이동측량, 상대측위와 실시간처리방식의 조합인 RTK(Real Time Kinematic) 측량은 기준국(reference station)에서 반송파 위상에 대한 보정값을 실시간으로 이동국(rover)에 송신하고,

Received: 2014.11.04, accepted: 2014.12.16

* 정회원 · 군산대학교 토목공학과 박사과정(Member, Department of Civil Engineering, Kunsan National University, kbkim@kunsan.ac.kr)

** 교신저자 · 정회원 · 군산대학교 토목공학과 교수(Corresponding Author, Member, Department of Civil Engineering, Kunsan National University, leeck@kunsan.ac.kr)

*** 군산대학교 토목공학과 박사과정(Department of Civil Engineering, Kunsan National University, radianc@ekr.or.kr)

이동국에서 관측값과 기준국의 보정값을 조합하여 실시간에 cm 수준의 정확도로 위치를 결정한다. 그러나 기준국과 이동국의 기선길이가 길어질수록 대기효과로 인해 정오차의 상관관계가 저하되기 때문에 기선길이를 10~15km로 제한하고 있다(Landau et al., 2002; Wanninger, 2003). 이러한 제약을 극복하기 위하여 도입된 Network-RTK(VRS) 측량(이하 Network-RTK 측량)은 임의의 이동국 주변(통상 100m 이내)에 가상기준점을 생성하고, GNSS 상시관측소(CORS: Continuously Operating Reference Station) 네트워크를 이용하여 계산된 보정값으로부터 가상기준점의 위치를 계산하고, 이 가상기준점과 이동국의 상대측위를 통하여 이동국의 정확한 위치를 결정하는 방식이다(NGII, 2003a). 우리나라 국토지리정보원에서는 현재 53개 GNSS 상시관측소를 node로 하여 1,000명이 동시 이용할 수 있는 'Network RTK 실시간 정밀 GNSS 측량 서비스' 서버(vrs3.ngii.go.kr)를 운영하고 있다.

국내의 Network-RTK 측량관련 주요 연구는 다음과 같다. Kim et al.(2008)은 국토지리정보원에서 구축한 VRS RTK 시스템을 이용하여 VRS 기준점망 내부에 위치한 3등 기준점을 대상으로 기선길이와 측위오차의 상관성 분석을 통해 기준국에서 이동국이 멀어질수록 오차가 증가함을 밝혔다. Han et al.(2010)은 다양한 환경과 여러 종류의 VRS 측량장비로부터 취득한 데이터를 분석하여 공공기준점측량의 평면위치 정확도를 분석하였다. Kim and Park(2013)은 Network-RTK 측량을 이용하여 위성 수신환경과 기선 길이 변화에 따른 측위 정확도의 영향을 평가하였고, 최근 Lee(2013)는 공공수준점측량에서 Network-RTK 기반 VRS 측량 적용 가능성을 판단하기 위해 1, 2등 수준노선에서 국토지리정보원 수준점 성과와 비교하여 표고 정확도를 분석하였다. No et al.(2012)는 Network-RTK 측량이 정밀한 위치 정확도가 요구되는 실시간 매핑이나 항법 등에 적합한지 조사하기 위한 연구를 수행하였다. Choi and Kim(2012)은 지적기준점에서 VRS GNSS 측량 성과를 기존 성과와 비교하여 지적기준점의 정확도를 분석하였는데 향후 기준점 측량 성과 검증에 활용이 가능하다고 판단하였다. 이와 같이 Network-RTK 측량관련 연구는 주로 공공기준점, 실시간 이동체 측위, 지적기준점에서 평면좌표와 수준점에서 표고 정확도 분석에 집중되었다. 즉, 국가기준점(통합기준점, 삼각점, 수준점 등), 공공기준점, 지적기준점 등과 같이 고시성과가 있는 측점에서 Network-RTK 측량 정확도를 평가하였다. 또한, Network-RTK 수신기에 내재된 지역좌표계 변환법(코릴라이제이션)을 통해 한국측지계(Bessel

타원체) 좌표를 구하여 정확도를 평가하였다.

한 모델의 항공사진도화에는 3차원 위치좌표가 정해진 지상기준점(Ground Control Point: GCP) 3점 이상이 필요하며, TS 측량, Static GNSS 측량 또는 RTK 측량이 주로 이용되어 왔다. Static GNSS 측량은 신속정지 측량방식을 취하더라도 최소한 2대 이상의 GNSS 수신기와 기선이 길어짐에 따라 측점 당 최소 5분 이상의 관측이 필요하다. 관측소요시간을 획기적으로 단축한 RTK 측량은 수신기 2대로, 관측시간 1~30초 이내에 측점의 3차원 위치를 결정할 수 있으나, 측점 부근에 기준국을 설치해야 하는 불편이 있다. Network-RTK 측량은 GNSS 수신기 1대로 짧은 관측시간에 측점의 3차원 위치를 결정할 수 있으므로, 그 위치 정확도가 GCP 측량 허용오차규정을 만족한다면, GCP 측량에 소요되는 장비, 인원, 시간을 크게 절감할 수 있다.

본 연구는 과거 여러 시기에 촬영한 항공사진을 이용한 해안선(충청남도 태안군 안면도 백사장 해수욕장) 변화조사의 일환이다. Static GNSS 측량과 Network-RTK 측량으로 GCP의 평면좌표 및 표고를 구하여 Network-RTK 측량의 정확도를 분석하고, 이로부터 Network-RTK 측량의 항공사진 지상기준점 측량 적용성을 평가하는데 목적이 있다.

2. 연구방법

본 연구는 해안지역의 항공사진도화용 GCP의 위치를 필요한 정확도로 측량할 수 있는지 검증하기 위해 먼저 선점한 GCP에서 TOPCON사와 KOSECO사 두 종류의 Network-RTK 수신기를 사용하여 Network-RTK 측량을 수행하고, 이 중에 선별한 14점과 고정점으로 사용하지 않은 수준점 1점에서 Static GNSS 측량을 20분씩 수행하였다.

먼저, TOPCON사 Network-RTK 수신기를 사용하여 1초 간격으로 10초 동안 관측한 결과를 1회 관측으로 설정하였고, 1회 관측 후 Network-RTK 수신기를 측점으로부터 30m 근방으로 이동 후 위성신호를 초기화 한 후 다시 측점에서 관측을 실시하였다. 최종 Network-RTK 측량 성과는 3번 반복 관측한 결과를 산술평균하여 ITRF2000(GRS80 타원체) 기준 평면직각좌표와 타원체고를 획득하였으며, 타원체고에서 지오이드고(지오이드 모델, KNGeoid13 기준)를 감하여 표고를 계산하였다.

한편, KOSECO Network-RTK 수신기를 사용하여 1초 간격으로 측량하여 구한 위치좌표는 우리나라에서 2009년 12월 31일까지 사용된 측지기준계인 한국측

지계 기준 평면직각좌표와 지오이드모델(EGM96)을 적용한 표고이었다. 따라서 KOSECO사 Network-RTK 수신기에 의해 구한 한국측지계(Bessel 타원체) TM좌표는 국토교통부 국토지리정보원(<http://www.ngii.go.kr>)의 좌표변환 S/W NGI Pro(Version 2.54)을 이용하여 ITRF2000 TM좌표로 변환하였다.

측지기준계의 좌표변환은 Bursa-Wolf모델, Veis모델, Molodensky-Badekas모델 등이 적용되고 있으나, 본 연구에서 사용한 NGI Pro(Version 2.54)는 이중 Molodensky-Badekas 모델(Badekas, 1969)을 적용하였다(NGII, 2003b).

Static GNSS 측량 관측 자료는 Leica Geo Office (LGO) S/W에 의해 기선해석, 망조정, 좌표변환되어 측점들의 ITRF2000 기준 평면직각좌표와 표고를 계산하였다. GCP에서 Network-RTK 측량과 Static GNSS 측량으로 구한 평면직각좌표 및 표고 오차로부터 Network-RTK 측량의 지상기준점 측량 적용성을 검토하였다.

3. GNSS 측량 및 자료처리

3.1 Static GNSS 측량

Static GNSS 측량은 사용할 수 있는 GNSS 수신기 수량, 국가기준점 수량 및 배치, 측점의 수량 및 배치, 측량예정일시에 따라 최선의 결과를 얻을 수 있는 관측 계획을 수립하여야 한다. 본 연구에서 Static GNSS 측량은 GNSS 수신기(Leica) 3세트를 이용하여 2일간(2013년 8월 13일~14일) 수행되었다.

GNSS 기준좌표계(WGS84)로부터 우리나라 측지좌표계(ITRF2000)로 좌표변환을 위해서는 최소한 3점의 기준점이 필요하다. 본 연구의 대상지역인 태안군 안면도 백사장 해수욕장 주위에 위치한 통합기준점 3점 중 1점(U0446: 충남 태안군 안면읍 승언리, 안면고등학교 소재)는 주변에 철망이 설치되어 GNSS 관측 환경이 좋지 않아 부득이 선행 연구(Lee et al., 2012)에서 Static GNSS 측량으로 평면위치를 구한 수준점(12-00-30-06)을 기준점(평면좌표 및 표고)으로 대용하였다. 즉, 측지계 변환을 위한 기준점 측량은 통합기준점 2점과 수준점 1점에 GNSS 수신기 1세트씩을 설치하고 2시간 동안 관측하였다.

측점(신점)에 대한 Static GNSS 측량은 가용 GNSS 수신기가 총 3세트이었으므로, 2세트는 기준국, 1세트는 이동국으로 활용하였다. 이때에 기준국으로 활용될 국가기준점이 측량지역 한쪽에 배치될 경우, GNSS 측량의 정확도가 낮아질 우려가 있다. 즉, 측점은 해안을

따라 남북으로 길게 배치되어 있는데 반해, 통합기준점(U0442와 U0443)은 측량지역 북부에 위치하므로, 통합기준점 1점(U0443)과 선행연구에서 수평위치가 정해진 수준점 1점(12-00-30-06)을 기준국으로 선정하였다. 이들 국가기준점 2점에 GNSS 수신기 1세트(System 300, Leica)씩을 각각 설치하여 계속 관측하고, GNSS 수신기 1세트(System 500, Leica)는 측점(GCP 14점과 수준점 1점)에 차례로 설치하여 약 20분씩 관측하였다. Table 1은 Static GNSS 측량에 사용된 국가기준점과 사용된 좌표의 출처이며, Fig. 1은 GNSS 측량에서 관측한 국가기준점과 GCP의 위치도이다.

Static GNSS 측량 관측자료 처리는 LGO S/W에 의해서 국가기준점 3점(통합기준점 2점, 수준점 1점)을 차례로 기준점으로 선정하고 측점(GCP 14점 및 수준

Table 1. National Control Points used in Static GNSS survey

Classification	Point ID	Coordinates
Unified control point	U0442	E, N, and H in OCR*
	U0443	E, N, and H in OCR
Benchmark	12-00-30-06	E and N by Static GNSS H in OCR
	12-00-30-01	H in OCR

* OCR is Official Coordinate Record of NGII

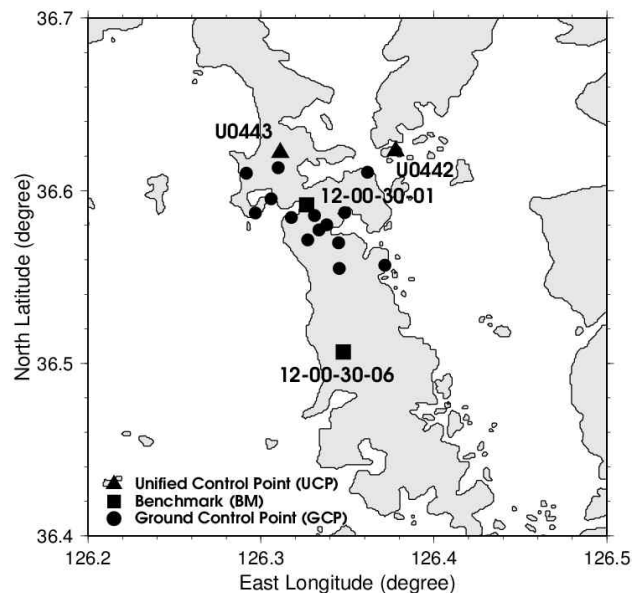


Figure 1. Location map of national control points(triangles & squares) and GCPs(dots)

점 1점)을 이동국으로 선정하여 기선해석을 하고, 이후에 측점을 차례로 기준점으로 선정하고 나머지 점들을 이동국으로 선정하여 기선해석을 하였다.

기선해석으로 얻은 기선벡터는 WGS84 좌표계 기준의 기준국과 이동국간 좌표차이이며, 이 좌표차를 결합하여 망조정을 통해 WGS84 기준 측점의 좌표가 결정된다.

GNSS 측량 망조정을 통해 얻은 측점의 좌표는 WGS84 기준이므로 한국측지좌표계(ITRF2000)에 기준한 평면직각좌표와 표고를 산출하기 위해서 좌표변환이 필요하다. 좌표변환은 기준점 3점의 3차원 위치좌표를 이용한 one step 방식, 투영변환은 중부원점의 평면직각좌표(E=200,000m, N=600,000m)와 축척계수로 1.0, 그리고 ITRF2000좌표계의 기준타원체로 GRS80 타원체를 적용하였다.

3.2 Network-VRS 측량

3.2.1 HiPer II(TOPCON) 수신기를 이용한 관측 및 자료처리

TOPCON의 Network-RTK 장비(HiPer II 수신기와 TopSURV V8.2.3을 장착한 FC-250 컨트롤러)를 이용하여 2013년 9월 26일에 국가기준점 및 GCP를 포함한 총 17점(GCP No. 7504는 망실되어 제외)에서 ITRF2000 기준 평면직각좌표와 타원체고(ellipsoidal height)를 획득하였다. 이때에 평면직각좌표는 Static GNSS 측량 성과와 동일한 측지좌표계이므로 좌표변환은 필요하지 않으나, 높이는 타원체고이기 때문에, 동일 측점의 Network-RTK 측량 성과와 Static GNSS 측량 성과를 비교하기 위해서는 표고(orthometric height)로 환산하여야 한다. 표고 H는 Network-RTK 측량으로 얻은 타원체고(ellipsoidal height) h에서 지오이드 모델에 측점의 경위도 좌표를 적용하여 계산된 지오이드고(geoidal height) N을 뺀 값이다.

우리나라 국토지리정보원에서 국가 수직기준을 마련하기 위해 2001년부터 지오이드 모델을 구축하여 왔으며, 2013년 국가 지오이드 모델 연구 사업으로 육상(통합기준점, 수준점, 삼각점에서 취득)중력, 선상중력, 항공중력 자료를 기반으로 개발된 국가 지오이드 모델 KNGeoid13은 우리나라 전역에서 약 3.077cm의 정밀도를 보였다(NGII, 2013a).

3.2.2 Hi-Target V30(KOSECO) 수신기를 이용한 관측 및 자료처리

KOSECO의 Network-RTK 장비(Hi-Target V30 수신기와 SurveyPro V5.0을 장착한 MB3000-LB 컨트롤러)를 사용하여 3일간(2013년 8월 12일~14일) 국가기준점 및 GCP를 포함한 총 40점에서 한국측지계 기준 평면직각좌표와 지오이드모델(EGM96)에 기반한 표고를 획득하였다. Static GNSS 측량 관측자료를 LGO S/W를 사용하여 후처리한 성과는 ITRF2000 기준 평면직각좌표와 표고이므로 동일 측점의 Network-RTK 측량 성과와 Static GNSS 측량 성과를 비교하기 위해서는 한국측지계 기준 성과를 ITRF2000 성과로 기준면변환이 필요하다.

국토지리정보원의 좌표변환 S/W인 NGI Pro(Version 2.54)를 이용하여 한국측지계 기준 평면직각좌표를 ITRF2000 평면직각좌표로 변환하였다. 그 과정은 Fig. 2와 같으며, 측점의 경위도좌표를 3차원직각좌표로 변환할 때에 측점이 기준타원체면상에 있는 것으로 가정하였고, ITRF2000 경위도좌표를 TM투영하여 평면직각좌표를 계산할 때에는 2009년 12월 14일 이후 우리나라 평면직각좌표계의 원점 좌표가 x=500,000m, y=200,000m에서 x=600,000m, y=200,000m로 변경되었으므로 이를 고려하였다. 한편 표고는 좌표변환에 관계없이 동일한 값을 사용하였다.

Figure 2. Procedure of coordinate transformation from Tokyo Datum to ITRF2000

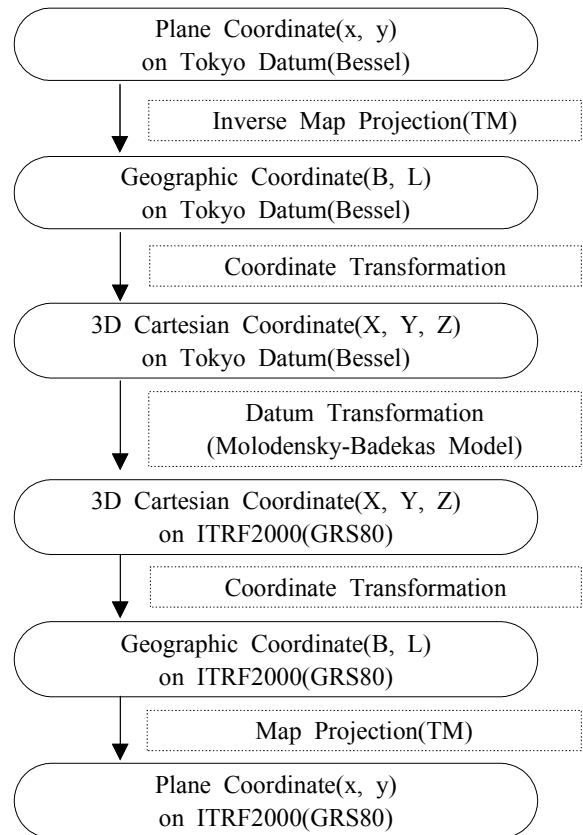


Figure 2. Procedure of coordinate transformation from Tokyo Datum to ITRF2000

4. Network-RTK 측량 정확도 분석

국가기준점과 GCP에서 2종의 Network-RTK 수신기로 측량하여 얻은 위치좌표를 ITRF2000 좌표계로 변환한 성과(평면과 표고)와 기준성과인 Static GNSS 측량 성과와의 오차로부터 Network-RTK 측량 정확도를 분석하였다.

시험지역 Static GNSS 측량에서 고정점으로 채택한 통합기준점 2점과 수준점 1점을 있는 삼각망 내에 위치한 평면위치가 고시된 국가기준점에서 관측을 하지 못해 평면위치 정확도는 알 수 없지만 수준점 1점(12-00-30-01)의 Static GNSS 측량 높이(10.532m)와 국토지리정보원 고시성과(10.517m)의 차이는 0.015m로 양호하였다.

Network-RTK 측량에서 HiPer II(TOPCON) 수신기로 측량하여 얻은 측점의 ITRF2000 기준 평면직각좌표와 타원체고로부터 지오이드모델(KNGeoid13)의 지오이드고를 적용하여 정표고를 구하고, Static GNSS 측량으로 구한 ITRF2000 기준 평면직각좌표와 정표고와의 오차(Ex, Ey, EH)를 계산하였다. 이들 각 측점의 오차로부터 식 (1)과 같이 평균제곱근오차(RMSE)를 구하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{(O_{Network-RTK} - O_{Static})^2}{n}} \quad (1)$$

여기서, $O_{Network-RTK}$ 는 Network-RTK 측량 위치좌표이고, O_{Static} 은 정확값으로 간주한 Static GNSS 측량 위치좌표이며, n 은 관측점 총수이다.

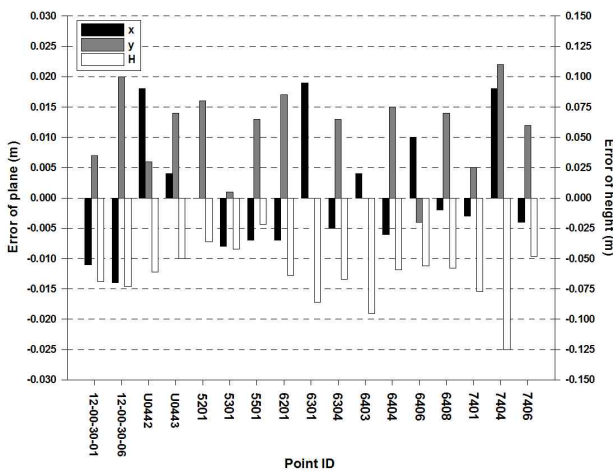


Figure 3. The error of Network-RTK(HiPer II, TOPCON)

Table 2. The error of Network-RTK(HiPer II, TOPCON)

Component	MIN (m)	MAX (m)	Mean (m)	RMSE (m)
Ex	-0.014	0.019	0.000	0.010
Ey	-0.004	0.022	0.010	0.013
EH	-0.125	-0.022	-0.064	0.070

통합기준점 2점, 수준점 2점, GCP 13점에 대한 평면 직각좌표 및 표고의 오차를 그래프로 그리면 Fig. 3과 같고, Table 2는 그 통계표이다. 좌표축별 오차는 x축은 -0.014~0.019m, y축은 -0.004~0.022m, H축은 -0.125~-0.022m 범위에 있다. 이로부터 Network-RTK 측량 정표고에 정오차(편의)가 내포되어 있음을 알 수 있으며, 이 편의를 보정하면 항공사진측량 작업규정의 지상기준점측량 허용오차인 평면 ±10.0cm, 표고 ±5.0cm를 만족시킬 수 있을 것이다.

Hi-Target V30(KOSECO) 수신기를 이용한 측량성과를 좌표변환한 18점의 ITRF2000 기준 위치좌표(평면직각좌표와 정표고)와 ITRF2000 기준 Static GNSS 위치좌표의 오차(Ex, Ey, EH)는 Fig. 4(a)와 같다. 각 좌표축별 오차 분포를 보면 x축은 0.717~0.768m, y축은 1.440~1.481m, H축은 0.183~0.247m의 범위이다. 오차 분포범위가 한 부호에 치우쳐 있음을 볼 때, x, y 및 H축에 정오차(편의)가 포함되어 있다고 추측된다. 이들 편의의 원인은 Network-RTK 측량과 좌표변환에 있을 것으로 사료되어, Network-RTK 측량의 최종성과에 포함되어 있는 편의를 보정하였다.

본 연구에서는 Static GNSS 측량에서 기준점으로 사용된 3개의 국가기준점(통합기준점: U0442와 U0443, 수준점: 12-00-30-06)에서 Network-RTK 측량 위치좌표(ITRF2000 기준)의 Static GNSS 측량 위치좌표(ITRF2000 기준) 오차 평균값은 $\bar{E}_x=0.749m$, $\bar{E}_y=1.456m$, $\bar{E}_H=-0.212m$ 이었다. 이에 Network-RTK 측량과 좌표변환으로 구한 GCP의 평면직각좌표 및 정표고를 기준점에서의 오차 평균값을 정오차(편의)로 간주하여 보정하고, 그 오차를 구하면 Fig. 4(b)와 같고 Table 3은 그 주요 통계량이다. x좌표의 오차는 -0.032~0.019m의 범위에 분포하며, y좌표의 오차는 -0.016~0.025m의 범위에 분포한다. 정표고는 -0.029~0.035m의 범위에 분포함을 알 수 있다. 이는 모두 항공사진측량 작업규정 지상기준점측량의 평면 허용오차 한계(±10.0cm)와 표고 허용오차 한계(±5.0cm) 이내이다.

본 연구에서 Static GNSS 측량 성과를 정확값으로 한 Network-RTK 측량 평면좌표와 정표고의 오차는 편의가 포함될 수 있으나, 국가기준점 성과를 이용하여

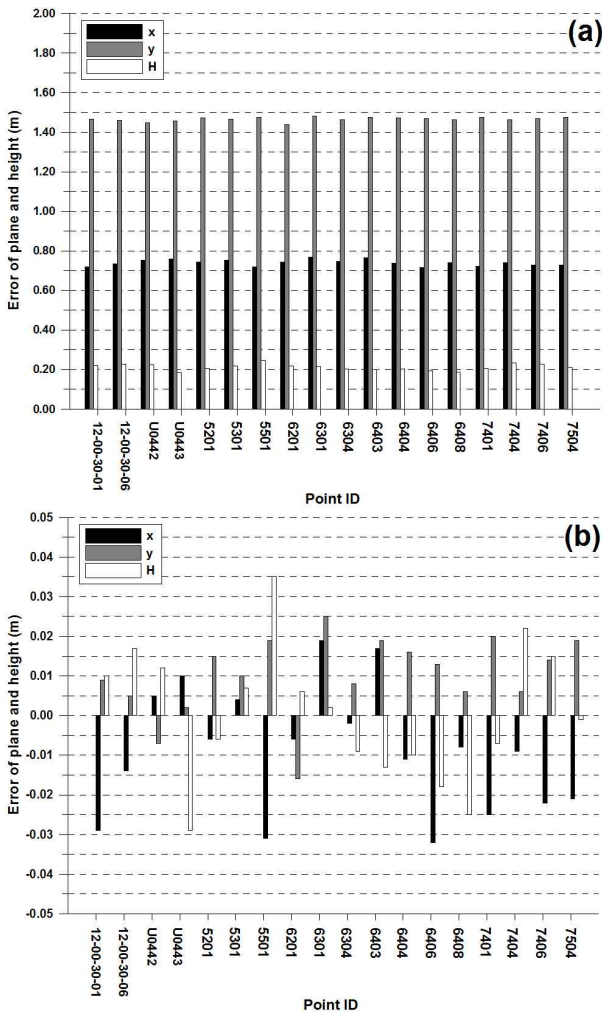


Figure 4. The error of Network-RTK(Hi-Target V30, KOSECO) (a) before and (b) after correction

Table 3. The error of Network-RTK(Hi-Target V30, KOSECO)

Component	MIN (m)	MAX (m)	MEAN (m)	RMSE (m)
Ex	-0.032	0.019	-0.009	0.018
Ey	-0.016	0.025	0.010	0.014
EH	-0.029	0.035	0.000	0.016

이를 보정할 수 있으며, 편위가 보정된 Network-RTK 측량 성과는 국토지리정보원 항공사진측량 작업규정 (NGII, 2013b)에서 규정하고 있는 지상기준점측량의 평면기준점과 표고기준점의 허용오차 범위 내에 있음을 알 수 있었다. 즉, Network-RTK 측량은 수신기 기종과 내장 S/W에 관계없이 적절한 좌표변환과 국가기준점 성과를 이용한 편위보정이 가미되면 품질과 경제성이 우수한 항공사진 GCP 측량으로 이용될 수 있을

것이다.

5. 결론

Network-RTK 측량을 항공사진도화용 지상기준점측량에 적용할 때의 효용성을 평가하기 위해 2종의 Network-RTK 수신기를 이용하여 실측하였다. 측지기준계와 높이기준이 각각 다른 Network-RTK 수신기로부터 구한 지상기준점의 위치좌표를 좌표변환과 지오이드 모델(KNGeoid13)을 적용하여 세계측지계 좌표로 변환한 후, Static GNSS 측량 좌표와의 차이를 구하여 정확도를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, Network-RTK 측량으로 ITRF2000 기준 평면직각좌표와 타원체고를 구하고, 지오이드모델(KNGeoid13)을 적용하여 정표고를 구한 경우 Network-RTK 측량은 국토지리정보원 항공사진측량 작업규정의 지상기준점측량 허용오차를 만족하였다.

둘째, Network-RTK 측량으로 한국측지계 기준 (Tokyo Datum) 평면직각좌표와 정표고(EGM96 기준)를 구하고, 국토지리정보원 좌표변환 S/W에 의해 ITRF2000 기준 평면직각좌표로 변환 한 경우, 평면직각좌표 및 정표고에는 정오차가 내포되어 있었다. 이 경우에도 국가기준점 성과를 이용하여 평면직각좌표 및 정표고의 정오차를 보정하면 국토지리정보원 항공사진측량 작업규정의 지상기준점측량 허용오차를 만족하였다.

즉, 항공사진 지상기준점측량에서 적절한 지오이드 모델이나 좌표변환을 적용하면 수신기 1세트와 측량시간이 1분 이내인 Network-RTK 측량은 GNSS 수신기 2세트 이상을 필요로 하는 RTK 측량이나 GNSS 수신기 2세트 이상으로 장시간의 관측이 필요한 Static GNSS 측량의 실용적인 대안임을 알 수 있었다.

References

1. Badekas, J., 1969, Investigations related to the establishment of a world geodetic system. Report No. 124, Department of Geodetic Science, Ohio State University, pp. 12-30.
2. Choi, H., and Kim, K., 2012, Accuracy analysis of cadastral control points surveying using VRS case by Jinju city parts, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, Vol. 30, No. 4, pp. 413-422.
3. Han, J., Kwon, J., and 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.
4. Kim, H., Yu, G., Park, K., and Ha, J., 2008, Accuracy evaluation of VRS RTK surveys inside the GPS CORS network operated by national geographic information institute, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 26, No. 2, pp. 139-147.
 5. Kim, M., and Park, J., 2013, Accuracy evaluation of internet RTK GPS by satellite signal reception environment, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 31, No. 4, pp. 277-283.
 6. Landau, H., Vollath, U., and Chen, X., 2002, Virtual reference station systems, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 1, No. 2, pp. 137-143.
 7. Lee, C., Yun, K., and Kim, B., 2012, GCP survey plan and results for investigation of shoreline change in Kkotji beach using aerial photographs, *Proc. of the 2012 Autumn Meeting, The Korean Society of Oceanography*, November 1-2, Yeosu, p. 203.
 8. Lee, S., 2013, Accuracy evaluation of the height determined by Network-RTK VRS positioning, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21, No. 4, pp. 55-63.
 9. NGII, 2003a, A study on the introduction of virtual reference system, NGII Publication No. 11-1500714-000007-01-20031231, National Geographic Information Institute, Suwon, pp. 1-2.
 10. NGII, 2003b, Development of coordinate transformation tool for existing digital map (II), NGII Publication No. 11-1500148-000024-14, National Geographic Information Institute, Suwon, pp. 33-40.
 11. NGII, 2013a, Development of national geoid model(2nd year), NGII Publication No. 11-1613436-000018-01, National Geographic Information Institute, Suwon.
 12. NGII, 2013b, Aerial photogrammetry work regulation, NGII Notification No. 2013-2236, pp. 43-44.
 13. No, S., Han, J., and Kwon, J., 2012, Accuracy analysis of Network-RTK(VRS) for real time kinematic positioning, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 30, No. 4, pp. 389-396.
 14. Wanninger, L., 2003, GPS on the web: virtual reference stations (VRS), *GPS Solutions*, Vol. 7, No. 2, pp. 143-144.