

공공기준점 측량에 적용을 위한 VRS(가상기준점) 방식의 Network-RTK 정확도 분석

Analysis of Network-RTK(VRS) Positioning Accuracy for Surveying Public Control Point

한중희* · 권재현** · 홍창기***

Han, Joong Hee · Kwon, Jay Hyoun · Hong, Chang Ki

要 旨

현재 국토지리정보원은 전국 44개의 상시관측소를 이용하여 VRS 서비스를 제공하고 있으며 이를 이용하여 짧은 시간 동안 취득된 자료의 처리를 통해 높은 위치정밀도의 획득이 가능하다. 그러나 공공기준점 측량을 위한 VRS 측량의 가용성 분석은 미비한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 환경에서 데이터를 취득하여 공공기준점 측량에 대해 적용하기 위한 VRS 측량의 정확도를 분석하였다. 그 결과 85%의 데이터가 4cm 이내의 수평오차가 나타남으로써 VRS 측량에 적용할 수 있다고 판단되었고 좌표의 정확도를 판별하는 인자로 GDOP(Geometric Dilution of Precision)보다는 추정된 좌표의 분산을 나타내는 PQ(Position Quality)를 이용하는 것이 효율적임을 알 수 있었다. 또한, 현재 대표적인 VRS 장비회사인 TRIMBLE, MAGELLAN, LEICA, TOPCON의 장비의 정밀도를 비교분석한 결과 수평위치의 표준편차가 3cm 미만으로 나타났으며, 회사 장비 별 정밀도는 비슷한 것으로 확인 되었으며, 공공기준점 측량에 VRS 측량을 적용하여도 무방하다고 사료된다.

핵심용어 : VRS 측량, GPS 상시관측소, PQ(Position Quality), 공공기준점 측량

Abstract

Currently, NGII(National Geographic Information Institute) provides VRS(Virtual Reference System) service using 44 CORS(Continuously Operating Reference Stations). Since the VRS provides high-precision coordinate in a short time, the users and applications are expected to be rapidly increasing. The accuracy analysis on the VRS service, however, was not sufficiently performed yet. Therefore, in this study, the VRS data is acquired from various circumstances and its accuracy is analyzed. According to analysis, it was concluded that the VRS could be applied to public control point survey. Furthermore, it was found that the PQ(Position Quality) which represents variance of estimated coordinates rather than GDOP(Geometric Dilution of Precision) is more relevant as a factor to determine the accuracy of coordinates. Based on the analysis of data from four manufacturers (TRIMBLE, MAGELLAN, LEICA, TOPCON), it was confirmed that the standard deviations better than 3cm. Therefore, VRS Survey apply to public control point survey.

Keywords : VRS Survey, CORS, PQ(Position Quality), Public control point survey

1. 서 론

이중차분을 이용한 RTK(Real Time Kinematic) 측량의 경우 이동국의 위치정확도는 모호정수의 결정여부에 영향을 받는다. 즉, 단기선의 경우 대기효과를 충

분히 제거가 가능하기 때문에 짧은 시간동안 수신된 자료만으로도 모호정수의 결정이 가능하다. 하지만 기선이 길어질수록 대기효과의 충분한 제거가 불가능하며 따라서 조정계산 과정에서 대기효과에 대한 잔차를 추정하더라도 충분한 데이터의 수신은 필수적이다. 이러

2010년 2월 12일 접수, 2010년 3월 15일 채택

* 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정(hjh0016@uos.ac.kr)

** 교신저자 · 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수(jkown@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 공간정보공학과 연구교수(ckhong@uos.ac.kr)

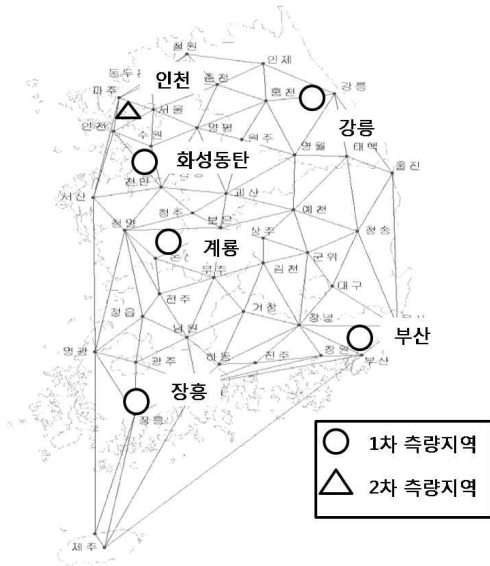


그림 3. 데이터 취득 지역

500)를 이용하여 데이터를 취득하였다. 2009년 10월 23일에 인천지역에서 측량을 수행하였으며 데이터 취득 간격은 표 1과 같다. Magellan은 장비의 특성 상 1초 간격으로만 결과 출력이 가능한 반면, 그 외 장비는 사용자가 원하는 시간 간격을 설정하여 저장할 수 있다. 이러한 이유로 Magellan은 1초 간격 1 epoch씩 기록하였고 그 외의 장비에서는 1초 간격 10 epoch씩으로 하여 약 1시간 정도의 데이터를 취득하였다.

2.1 정확도 판별 요소 결정

그림 4는 Leica 장비를 이용하여 1차 측량에서 취득한 자료를 통해 정확도 판별을 위한 인자를 결정하는 과정을 보여주고 있으며 결과보조서는 LGO(Leica Geo Office)를 이용하여 추출하였다. 결과보고서에서 제공하고 있는 정보는 크게 가상기준점의 3차원 좌표, 이동국의 안테나 종류 및 높이와 3차원 좌표, 관측시간, GDOP정보, 계산된 좌표의 PQ 정보 등으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 고시좌표와 측량좌표 사이의 차이(잔차) 계산함으로써 정확도 분석을 수행하였으며 좌표 잔차와 PQ 및 GDOP과의 상관관계를 분석함으로써 정확도를 판별할 수 있는 인자를 결정하였다. 이때 다중경로 발생 가능 지역과 개방지역(다중경로 없는 지역)에서 취득된 데이터를 구분하여 비교분석 하였다.

2.2 VRS 측량장비의 측량정확도 검증

현재 다양한 업체에서 VRS 측량장비를 제공하고 있

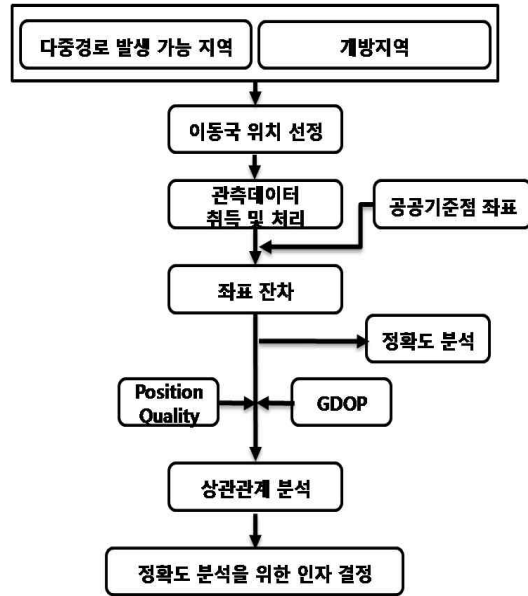


그림 4. 1차 측량 데이터 처리과정

으며 본 연구에서는 VRS 측량 장비들이 제공하고 있는 측량정밀도가 서로 일관성이 있는 지에 대한 분석을 수행하였다. 동일한 지역에서 총 4개의 장비(Leica, Trimble, Topcon, Magellan)를 이용하여 데이터를 취득한 후 정밀도를 계산하였다. 취득한 데이터의 좌표를 평균하여 기준좌표를 결정한 후 기준좌표에 대한 수평 및 수직(타원체고) 방향의 잔차를 계산하였다.

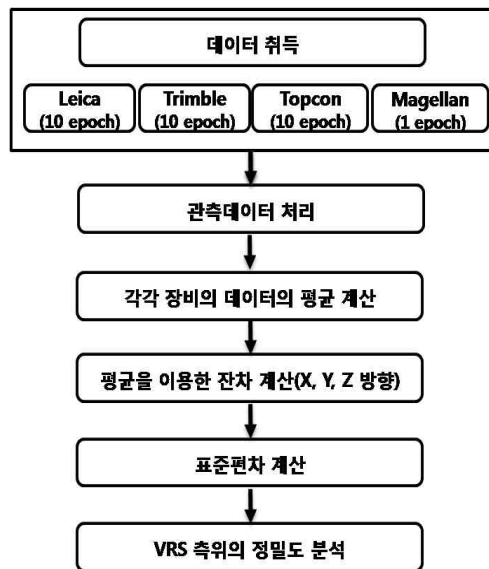


그림 5. 2차 측량 데이터 처리과정

3. 결과 분석

3.1 취득 가능 수평 정확도

다양한 GPS 수신환경 및 이동경로를 고려해서 선정된 공공기준점 고시좌표의 높이는 표고만 고시되어 있었기 때문에 타원체고를 성과로 산출하는 GPS 측량의 수직정확도를 검증하기 위해서는 지오이드고를 이용하여 표고를 계산하여야 한다. 그러나 지오이드고 자체의 오차로 인하여 수직정확도를 검증하는데는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 수평정확도만 검증하기로 하였다.

1차 측량으로 취득된 전체 데이터 335개를 이용하여 위치 좌표를 산출하고 고시된 공공기준점 좌표와의 수평위치 좌표 잔차를 계산한 결과, 표 2에서와 같이 공공측량 기준점에서 요구되는 정확도인 10cm 이상의 이상값을 보이는 데이터는 약 14%이고, 85% 이상은 4cm 미만의 오차를 나타냈다.

10cm 이상의 이상값 발생은 다양한 환경적 요인에 기인하나, 실험 결과를 토대로 크게 세가지로 구분하였다. 첫째, 위성의 배치 상태 및 나무나 건물, 차량 등의 영향으로 인한 다중경로 오차에 기인한 경우이다. 화성동탄의 2-027 측정점의 경우 공공기준점 주변에 차량과 나무로 인해 다중경로오차가 발생하였다. 다중경로에 의한 오차여부는 차량의 통행이 적은 시각에 재측을 함으로써 이를 검증하였다. 그 결과 첫 회 관측 시 10cm 이상의 오차를 보인 것에 반해 재측시에는 오차가 3cm 이하로 작게 나타나는 것을 알 수 있다(그림 6). 이 경우PDOP은 2.4 ~ 2.6 범위로 나타난 것으로 보아 위성의 기하학적 배치상태와는 관련이 적은 것으로 사료된다.

둘째, 수신기 컨트롤러가 제시하는 오차가 안정화되

표 2. 1차 데이터 수평오차 도수분포표

계급구간(cm)	도수	누적상대도수
0(이상) ~ 1(미만)	95	0.28
1 ~ 2	119	0.64
2 ~ 3	45	0.77
3 ~ 4	26	0.85
4 ~ 5	1	0.85
5 ~ 6	0	0.85
6 ~ 7	0	0.85
7 ~ 8	0	0.85
8 ~ 9	1	0.86
9 ~ 10	2	0.86
10 이상	46	1.00
합계	335개	1.00

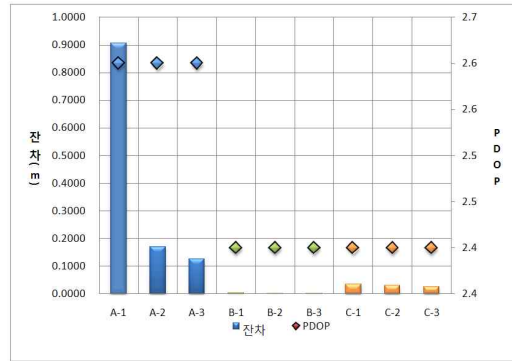


그림 6. 화성동탄 2-027 측정점의 잔차 및 PDOP 그래프

지 않은 경우로 조정계산을 수행한 후 잔차에 대한 통계분석을 통해 오차의 크기가 내부에서 설정된 임계값 이상인 경우가 여기에 해당된다. 부산 P04측점일 경우, 2회 관측 시 위성의 배치상태 및 다중경로오차로 인해 수신기의 컨트롤러가 안정화 되지 않은 경우로 10cm 이상의 오차가 발생하였다(그림 7). 2회 관측 후 수신기를 재초기화 하여 관측을 실시할 경우(3회 관측시)에는 오차의 크기가 약 10cm 이내로 나타났다. 따라서 수신기 컨트롤러의 제시된 오차는 다중경로나 위성배치뿐만 아니라 다른 요인에 기인된 영향도 있을 것으로 사료된다. 수신기 컨트롤러의 안정화 여부에 해당되는 통계 식에 대한 접근이 제한적이기 때문에 정확한 분석에는 한계가 있지만 본 연구에서는 정확도에 영향을 미치는 한 요소로 판단하였다. 이 경우도 PDOP이 가장 좋음에도 불구하고 오차가 큰 것으로 보아서 PDOP과 정확도 사이에 상관관계는 비교적 적은 것으로 나타났다.

셋째, 국토지리정보원 VRS 서버 연결 시 오류가 발생하는 경우이다. 첫 회 관측 시 관측 중에 VRS 서버 연결오류가 발생했으며 이때 가상기준점을 생성하지

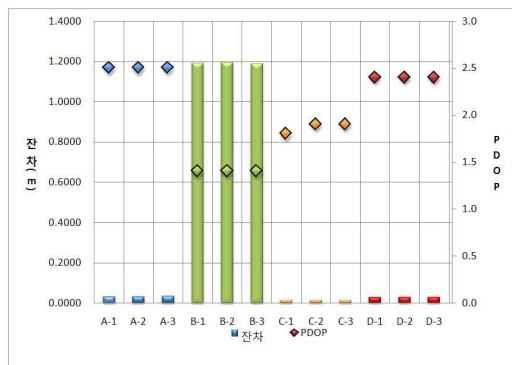


그림 7. 부산 P04 측정점의 잔차 및 PDOP 그래프

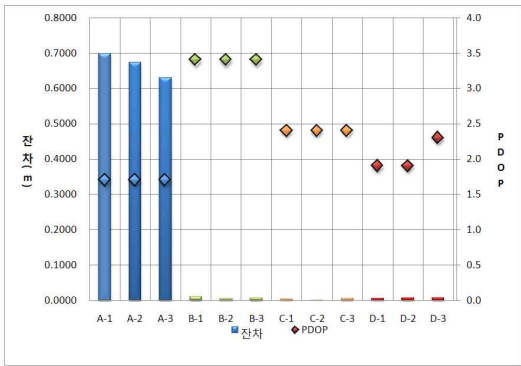


그림 8. 강릉 KM.31 측점의 잔차 및 PDOP 그래프

못하여 정확도가 크게 떨어지는 결과가 나타났다(그림 8). 이러한 VRS 서버 연결 오류는 이동통신을 이용한 데이터 트래픽의 초과로 인해 연결이 단절된 것으로 사료된다.

3.2 GPS 수신환경

일반적으로 GPS는 수신환경에 따라 관측 결과의 정확도가 달라지기 때문에 GPS 수신환경이 VRS 측량에 영향이 미치는지를 분석하였다. 분석을 위해 고층건물이 많은 도심지역, 나무에 의하여 수신율이 낮은 산악 지역, 반사율이 높은 물체가 있는 지역 등을 다중 경로 발생 가능 지역으로 나누고, 그 외 모든 방향에서 시야각을 확보할 수 있는 지역을 개방지역으로 하여 GPS 수신환경에 따른 영향을 비교 분석하였다.

그 결과 다중경로 발생 가능 지역에서 획득한 데이터 중 약 16%가 10cm 이상의 오차를 보인 반면 개방지역에서는 모든 경우 오차의 크기가 2cm 이하로 나타났다

(그림 9). 이는 GPS 측량에서 위치 정밀도를 확보하는데 있어 GPS 수신환경이 주요한 요인임을 알 수 있다.

3.3 GDOP과 수평오차의 상관관계

일반적으로 GDOP은 위성의 기하학적 배치에 의해서 추정된 측량오차를 의미하므로 GPS 측량시 정확도를 판별하는 기본 인자로 널리 사용된다. VRS 측량에 있어서도 GDOP 정보가 수신기 위치오차를 실질적으로 반영하고 있는 지에 대한 판단을 위해 상관관계 분석을 실시하였다.

다음 식은 GDOP과 수평오차와의 상관관계를 나타내는 계수를 계산하기 위한 식이다.

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{(n-1)s_x s_y} \quad (1)$$

여기서, x_k 와 y_k 는 GDOP과 수평오차

n 은 관측 개수

\bar{x} 와 \bar{y} 는 각각 GDOP과 수평오차의 평균

s_x 와 s_y 는 각각 GDOP과 수평오차의 표준편차

1차 측량 통하여 확보한 데이터를 이용하여 GDOP과 수평오차의 상관관계를 계산한 결과, 상관계수는 -0.152로 나타났으며 오차의 크기가 10cm 이상인 이상값을 제거한 경우는 0.153로 나타났다(그림 10). 따라서 GDOP 정보를 이용하여 위치정확도를 예측하는 데는 한계가 있음을 알 수 있다.

3.4 수평오차와 PQ와의 상관관계 분석

Leica 장비는 위치를 산출한 후 결과 중 하나의 요소

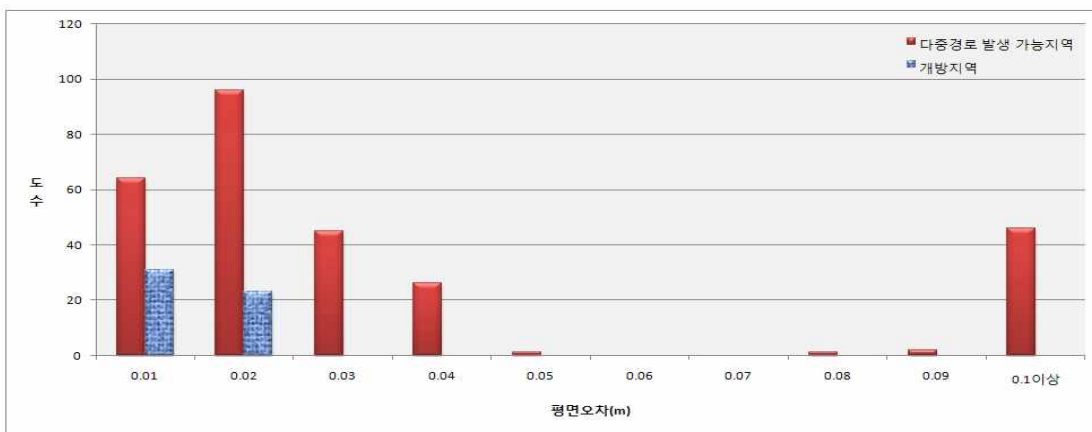


그림 9. GPS 수신환경에 따른 수평오차 히스토그램

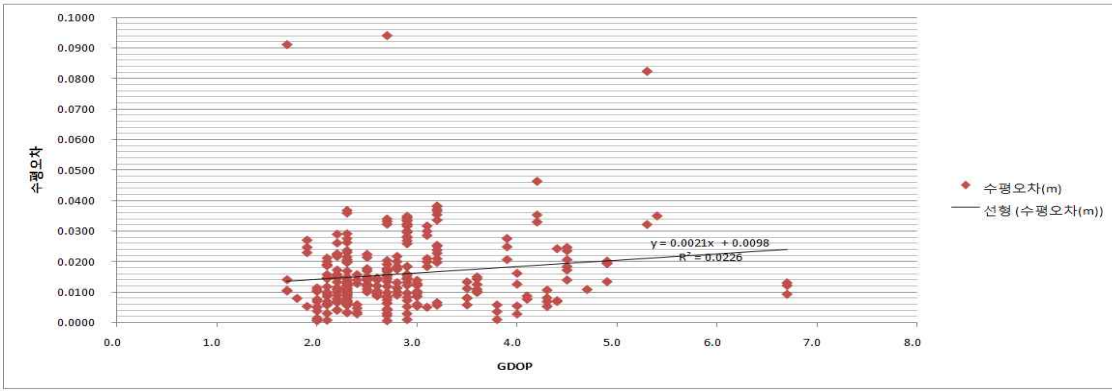


그림 10. 수평오차와 GDOP의 상관관계(10cm 이상의 이상값 제거된 데이터)

로 수평위치의 정밀도를 나타내는 PQ 정보를 제공하는 데 PQ는 아래 식에서 나타내는 바와 같이 추정된 좌표의 분산-공분산 행렬에 추정된 단위분산(variance component)이 곱해진 값이다.

$$Position\ Quality = M_0 \sqrt{Q_{11} + Q_{22}} \quad (2)$$

여기서, M_0 는 추정된 단위분산
 Q_{11}, Q_{12} 는 각각 동서, 남북방향의 추정분산

GDOP과 수평오차의 상관관계를 분석한 경우와 동일한 방법으로 수평오차와 PQ와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 1차 측량을 통해 획득한 전체 데이터에 대한 수평오차와 PQ와의 상관계수는 0.55로 GDOP과의 상관계수보다 비교적 높게 나타났다. 그림 11은 PQ에 대한 수평위치오차를 나타낸 것으로 PQ가 0.15m 미만일 경우 수평오차는 10cm 미만으로 나타났으며 0.15m 이상인 경우는 모든 데이터에서 10cm 이상의 오차가 발생하였다. 10cm 이상의 오차는 다중경로오차

에 의한 영향으로 사료되며 따라서 PQ는 VRS 측량의 정확도를 판별할 수 있는 중요한 인자로 판단할 수 있다.

3.5 VRS 측량장비의 정확도 분석

1차 측량은 Leica 장비만을 이용하여 전국 규모의 다양한 환경에서 수행되었으며 결과 분석을 통해 정확도를 판별할 수 있는 인자를 결정하였다. 하지만 이는 다른 제품의 측량장비를 이용하는 경우에도 유사한 정확도의 확보가 가능하다는 전제가 필요하다. 따라서 다양한 측량장비를 통해 데이터를 취득한 후 위치정밀도를 분석함으로써 장비에 상관없이 일관성 있는 위치정확도의 확보가 가능한 지에 대한 분석을 실시하였다. 표 3은 동일한 지역에서, 4개 회사의 VRS 장비를 이용하여 위치정밀도를 분석한 결과를 보여주고 있다. 수평오차의 표준편차가 2cm 미만으로 나타났으며 타원체고오차의 표준편차는 3cm 이하로 나타났다. 따라서 4개 회사의 장비 모두 VRS 측량시 센티미터 수준의 정밀한 좌표의 결정이 가능하다는 것을 알 수 있다. 즉, Leica 이외의 다른 측량장비를 사용하여 전국 규모의

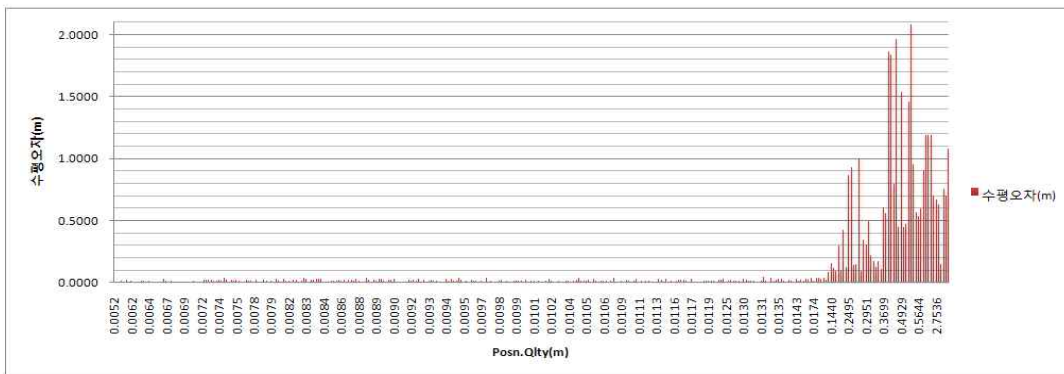


그림 11. PQ에 대한 수평위치오차의 변화

표 3. VRS 측량 결과의 표준편차

	TRIMBLE	LEICA	MAGELLAN	TOPCON
수신방법	VRS(10epoch)	VRS(10epoch)	VRS(1epoch)	VRS(10epoch)
데이터갯수	283개	338개	2823개	240개
X	0.6cm	0.8cm	0.8cm	1.5cm
Y	0.4cm	0.7cm	0.6cm	1.3m
H	1.3cm	1.6cm	1.4cm	3.0m

다양한 환경에서 측량을 수행하여도 Leica를 이용한 측량결과와 유사할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 VRS 측량이 공공기준점 측량에 적용될 수 있는지 검증하기 위하여 VRS 측량의 정확도 및 정밀도 분석을 실시하였다. VRS 측량의 정확도를 비교 분석하기 위해 전국 5개시를 기준으로 1차 측량을 통해 데이터를 취득하였으며, 제품별 측량장비에 따른 VRS 측량의 정밀도의 일관성을 분석하기 위해 2차 측량을 수행하였다. 다양한 환경에서 취득된 데이터를 통해 위치정확도를 예측할 수 있는 각 요소에 대해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 1차로 획득한 데이터 총 335개 중 86%는 10cm 미만의 수평위치 오차를 내포하는 것으로 나타났다. 14%는 10cm 이상의 수평위치 오차를 갖는 것을 알 수 있었다. 10cm 이상의 오차가 발생하는 원인은 크게 3가지로 나눌 수 있는데, 다중경로오차가 발생되거나, 수신기의 컨트롤러가 제시하는 오차가 안정화되지 않은 경우, 국토지리정보원 서버 연결에 오류가 발생하는 경우이다. 따라서 VRS 측량을 수행함에 있어 국토지리정보원 서버연결 오류이거나, 수신기의 컨트롤러가 제시하는 오차가 안정화되지 않은 경우에는 측량을 실시하지 않아야 하며, 동시에 VRS를 이용한 측량을 하는 경우 다중경로 오차의 크기가 최소가 될 수 있도록 주변에 장애물이 적은 지역을 선정하여야 한다.

둘째, VRS 측량 정확도를 판별하는 인자 중 하나로 위성의 기하학적인 배치를 나타내는 GDOP과 수평오차의 상관관계를 살펴본 결과 상관계수가 -0.152로 GDOP 정보를 이용하여 측량 결과의 정확도를 예측하는 데는 한계가 있음을 알 수 있다. 반면 PQ와의 상관계수는 0.55로 GDOP에 비해 상대적으로 높게 나타났으며, 이는 수평위치오차와 PQ의 관계가 수평위치의 정확도를 적절하게 반영하고 있음을 나타낸다. 따라서 GDOP보다는 추정된 좌표의 분산을 의미하는 PQ값이 정확도를 판별하는 기준으로 적합하다는 것을 알 수 있다.

마지막으로 다양한 제품의 측량장비를 이용하여 취득된 데이터에 대해 위치정밀도를 분석함으로써 일관성 있는 위치정밀도의 확보가 가능한지에 대한 분석을 수행하였다. 이때 수평위치오차의 표준편차는 3cm 미만을 나타냈으며, 4개 회사 장비 별 위치정밀도의 차이는 거의 없다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, VRS 측량을 공공기준점 측량에 적용하여도 무방할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

1. 국토지리정보원, 2003, *가상기준점(VRS) 도입에 관한 연구*.
2. 김감래, 강대룡, 송근필, 2009, VRS를 활용한 Network RTK의 지적측량 활용방안, 한국지적정보학회지, pp.89-99.
3. 장상규, 김진수, 정공운, 2009, VRS GPS을 이용한 필계점의 정확도 평가, 한국지형공간정보학회지, pp.37-42.
4. Ulrich Vollath, Alois Buecherl, Herbert Landau, Christian Pagels, and Bernhard Wagner, 2000, "Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations", Proceedings of ION GPS-2000, pp.123-131.
5. Gao Y, Li Z, McLellan JF, 1997, "Carrier phase based regional area differential GPS for decimeter-level positioning and navigation", Proc 10th Int Tech Meeting Satellite Division Inst Navigation", pp.1305-1313.
6. Colombo OL, Hernández-Pajares M, Juan JM, Sanz J, Talaya J, 1999, "Resolving carrier phase ambiguities on the fly, at more than 100 km from nearest reference site, with the help of ionospheric tomography", Proc 12th Int Tech Meeting Satellite

- Division US Inst Navigation, pp.1635-1642.
7. Chen HY, Rizos C, Han SW, 2001, "From simulation to implementation : low-cost densification of permanent GPS networks in support of geodetic applications", J Geod 75, pp.515-526.
 8. Trimble, 2002, *Trimble Virtual Reference Station(VRS)*, Product brochure, <http://www.trimble.com/vrs.html>.
 9. SAPOS. <http://www.saposnrw.de/>.
 10. 국토지리정보원. 실시간 정밀 GNSS 측량. <http://vrs.ngii.go.kr/>.