

공공측량 및 지적재조사 사업 적용을 위한 FKP 정밀도 분석

Accuracy Analysis of FKP for Public Surveying and Cadastral Resurvey

박진솔* · 한중희** · 권재현*** · 신한섭****

Jin Sol Park · Joong-hee Han · Jay Hyoun Kwon · Han Sup Shin

요약 국토지리정보원에서는 실시간으로 정밀한 위치를 결정할 수 있도록 Network-RTK의 한 종류인 VRS 서비스를 2007년부터 제공하고 있다. 그러나 VRS 서비스는 실시간 측위를 수행하기 위해 통신장비를 이용하여 VRS 서버와 접속 상태를 항상 유지해야하며, VRS 서버의 성능에 따라 접속할 수 있는 사용자의 수가 한정되어 있다. 이러한 VRS 서비스의 문제점을 보완하기 위하여 국토지리정보원에서는 2012년 11월 1일부터 동시 접속자 수에 제한이 없는 단방향 통신기반의 FKP를 서비스 제공하고 있다. FKP 서비스의 실시로 인해 향후 많은 인원이 투입될 것으로 예상되는 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 서비스의 활용이 증대될 것으로 판단되나, 이에 관한 연구가 미비한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 서비스 적용 가능성을 분석하기 위하여 다음과 같이 두 가지 경우로 나누어서 연구를 수행하였다. 첫째, 현재 FKP와 VRS는 망의 형태를 구성하는 기준국의 배치가 상이하므로 망 구성에 따른 FKP와 VRS의 정밀도 비교분석을 수행하였다. 둘째, FKP 서비스의 공공측량 및 지적재조사 사업 적용가능성 분석을 수행하기 위해 다양한 GNSS 수신환경의 데이터를 취득하여 Network-RTK 수평방향 및 표고산출 정밀도분석을 수행하였다. 첫 번째 실험의 분석결과 망 구성에 따른 측위 정밀도는 모두 관련규정의 허용정밀도를 만족하는 결과를 얻었다. 그러나 상이한 기준국을 운영할 경우에는 기준국과 이동국 사이의 기선거리가 멀어짐에 따라 측위 정밀도에 오차가 포함되는 것으로 판단된다. 두 번째 실험인 Network-RTK 수평방향 정밀도 분석결과 GNSS 관측수신환경이 좋은 통합기준점에서는 FKP 및 VRS 모두 허용정밀도를 만족하였다. 그러나 GNSS 관측수신환경이 좋지 않은 공공기준점 및 지적도근점에서는 FKP가 VRS보다 허용정밀도를 벗어나는 경우가 더 많이 발생되었다. FKP와 VRS의 표고산출 정밀도 분석결과에서는 VRS 측위방법에서만 관련규정의 공공삼각점 3~4급 허용정밀도를 만족하였다. 분석결과 현재 FKP 서비스의 정밀도를 이용하여 공공측량 및 지적재조사 사업에 이용하기 위해서는 GNSS관측 수신환경이 양호한 개활지역에 한정하여 부분적용 해야 할 것으로 판단되며, 향후 FKP 정밀도 개선을 위해 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

키워드 : Network-RTK, FKP, VRS, 공공측량 작업규정, 지적재조사 측량규정

Abstract NGII (National Geographic Information Institute) has been providing VRS (Virtual Reference Station) service so that could determine precise positioning in real time since 2007. However, since the VRS service has to maintain the connected status with VRS server, the number of users who can use VRS service are limited by capacity of VRS server. To solve this problem, NGII has been providing FKP (Virtual Reference Station) service using one way telecommunication from November 1, 2012. Therefore, it is predicted that the usage of FKP service will increase in public surveying and cadastral resurveying in the future. However, the studies with respect to analysis of FKP precision for applying to public surveying and cadastral resurveying is not conducted enough. In this study, to analyse the application possibility of FKP on the public surveying and cadastral resurveying, the two kind analysis were performed. First is the analysis of accuracy according to the configuration of reference station of FKP and VRS.

† This research was supported by a grant [NEMA-BAEKDUSAN-2012-3-2] from the Volcanic Disaster Preparedness Research Center sponsored by National Emergency Management Agency of Korea.

* Jin Sol Park, Master's Student, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. pjs0507@uos.ac.kr

** Joong-hee Han, Ph.D. Candidate, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. hjh0016@uos.ac.kr

*** Jay Hyoun Kwon, Professor, Dept. of Geoinformatics, University of Seoul. jkwon@uos.ac.kr (Corresponding Author)

**** Han Sup Shin, Senior Research Engineer, Technical Business Department, Chung-Ang Aerosurvey CO., LTD. hsshin@applemap.co.kr

One is consisted of same reference stations, another is consisted of different reference stations. Second is the accuracy analysis of horizontal and vertical positioning acquiring VRS and FKP data in various measurement environment based on VRS regulation. Result of first study, Positioning accuracy according to the configuration of the reference stations satisfies related regulation. However, accuracy of FKP in case of different reference stations is worse than in case of same reference stations.. The result of second test shows that the horizontal precision of FKP and VRS in good measurement environment satisfy the allowed precision. However, in some case, horizontal precision of FKP and VRS in poor measurement environment exceed the allowed precision. In addition, the number of exceeding the allowed precision in the FKP is more than the VRS. The vertical precision of the VRS satisfy related work provision. In conclusion, the result of this study shows that the FKP only in open area should be used for public survey and cadastral resurvey. Therefore the additional studies with respect to the improvement of FKP precision should be conducted.

Keywords : Network-RTK, FKP, VRS, Work Provision for Public Survey, Work Provision for Cadastral resurvey

1. 서 론

국토지리정보원에서는 VRS(Virtual Reference Station) 시스템의 단점인 동시접속자수 제한의 문제를 해결하고, 상시관측소의 활용을 증대하기 위하여 2012년 11월 1일부터 단방향 통신기반의 FKP(Flächen Korrektur Parameter) 서비스를 제공하고 있다. FKP 서비스의 실시를 통해 많은 인원이 동시에 Network-RTK 측위를 수행하는 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP의 활용이 증대될 것으로 예상된다. 그러나 현재 FKP 측위 정밀도 분석에 대한 선행연구가 미비하여, 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 서비스를 활용하기에는 한계가 있다. 따라서 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 서비스를 활용하기 위해서는 다양한 관측수신환경을 고려한 FKP 측위 정밀도 분석이 선행되어야 한다.

현재까지 공공측량 및 지적재조사 사업 적용을 위한 Network-RTK 측위 정밀도 검증 연구는 주로 VRS에 한정되어 진행되었다. Lee[6]는 1~2등 수준점에 대하여 Network-RTK 기반의 VRS 방식에 의한 표고정밀도를 분석하였다. 또한 Park[9]은 지적재조사 사업에서의 VRS 측위 적용방안을 제시하기 위하여 일필지 경계점에 대해 VRS 측위 정밀도 분석을 수행하였으며, Ra[10]는 Network-RTK를 지적측량 실무에 적용하기 위한 방안을 분석하였다. Choi[1]는 VRS 측위를 이용한 지적도근점의 정밀도 분석에 대한 연구를 수행하였으며 Kim[3]은 VRS 기준망 내부에 위치한 3등 기준점을 대상으로 VRS측량을 실시하고 고시성과와 비교하였다. FKP 서비스와 관련된 연구는 국토지리정보원에서 제공하는 FKP NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) 보정신호 분석을 통해 FKP 시스템의 정밀도 검증 안정성에 대한 연구를 수행하였다[4]. Yim[11]은 VRS와 FKP 측위를 수행하여 공공측량 작업규정에 의한 정확도를 평가하였다.

앞서 살펴본 기존 연구에서는 VRS 또는 FKP 독립

시스템의 특정 응용분야에서의 적용가능성 여부를 주로 다루었으며, 공공측량 및 지적재조사 사업 적용을 위한 다양한 GNSS 수신환경을 고려한 VRS와 FKP 정밀도 비교 분석에 대한 연구는 미비한 상태이다. 또한 현재 국토지리정보원에서 제공하는 FKP 및 VRS 서비스는 서로 다른 형태의 기준국 망을 갖고 있기 때문에, 기준국 구성에 따른 FKP와 VRS의 정확도는 달라질 수 있으나 이에 대한 연구가 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 서비스 적용 가능성을 분석하기 위하여 FKP 정밀도 분석을 크게 두 가지 경우로 나누어 수행하였다. 첫 번째 방법은 현재 FKP와 VRS 서비스의 기준국 망 구성이 상이함에 따라 기준국 망에 따른 FKP 및 VRS 측위 정밀도의 차이가 존재할 수 있기 때문에, FKP와 VRS의 망 구성이 동일할 경우와 현재와 같이 FKP와 VRS의 망 구성이 상이할 경우로 구분하여 측위 정밀도를 비교 분석하였다.

두 번째 방법은 실제 공공측량 및 지적재조사 사업에서의 FKP 측량 적용 가능성을 분석하기 위하여, VRS 측량 규정을 기반으로 다양한 GNSS 수신환경을 가진 통합기준점, 공공기준점, 지적도근점에서 FKP 및 VRS 측량 데이터를 취득하여 분석을 수행하였다.

2. 우리나라의 Network-RTK 서비스

이중차분 기반의 RTK(Real Time Kinematic)는 기준국과 이동국의 거리가 멀어짐에 따라 대기효과와 같은 계통오차의 상관성이 낮아지기 때문에, 일정한 정밀도를 확보하기 위해서는 기선거리를 10km 내외로 유지해야하는 한계가 있다[5]. 이러한 RTK의 단점을 보완하기 위하여 상시관측소에서 관측된 데이터를 이용하여 RTK 방식으로 실시간으로 정밀한 위치를 계산할 수 있는 Network-RTK 시스템이 개발되었다. Network-RTK는 상시관측소에서 관측된 데이터를 이

용하여 계통적 오차를 분리하고 모델링하여 이를 이동국에 전송하고, 이동국은 관측치와 보정메시지를 이용하여 실시간으로 위치를 계산할 수 있다. 현재까지 개발된 Network-RTK 구현 방식은 이동국 근처에 가상의 기준국이 존재한다고 가정하고 가상의 관측데이터를 생성하여 전송하는 VRS, PRS(Pseudo-Reference Station), iMAX(individualised Master-Auxiliary corrections) 등이 있으며, 상시관측소 데이터로부터 생성된 오차 모델의 파라미터를 전송하여 이동국에 전송하는 FKP, MAC(Master-Auxiliary) 등이 있다[2].

현재 우리나라에서는 VRS와 FKP 방식으로 Network-RTK 서비스를 제공하고 있다. 우리나라의 VRS 서비스는 2007년 11월 21일 부터 국토지리정보원에서 제공하고 있으며, 현재는 56개 상시관측소의 관측데이터를 이용하여 운영 중에 있다(Figure 1). VRS 방식을 이용한 Network-RTK 측위는 통신장비를 이용하여 VRS 서버와 이동국 간에 서로 접속을 유지한 상태에서 이동국 인근 가상기준점의 위치를 기준으로 생성된 가상관측값과 보정정보를 주고받음으로써 실시간으로 정밀하게 위치를 산출하게 된다.

VRS 방식을 통한 이동국의 위치 결정은 크게 3단계로 구분하여 설명할 수 있다. 먼저 이동국의 개략적인 위치 좌표를 VRS 서버에 송신하게 되면, VRS 서버는 이동국 인근 3점의 상시관측소를 선정하게 된다. 다음으로 VRS 서버는 선정된 상시관측소 3점의 관측 자료를 이용하여 오차모델(전리층·대류층·위성궤도·시계 오차-Cycle Slip) 및 이동국 인근의 한 점(가상기준점)을 기준으로 가상의 관측 자료를 생성하고 이를 이동국에 전송한다. 이동국에서는 전송된 정보를 이용하여 RTK 방식으로 데이터를 처리하고, 실시간으로 이

동국의 위치를 결정한다. 이러한 VRS 방식은 RTK 측위와 달리 기선거리에 의한 제한을 적게 받으며, 상시관측소의 데이터를 이용함에 따라 추가로 기준국을 세우지 않아도 실시간으로 이동국의 정밀한 위치를 결정할 수 있는 장점이 있다. 하지만 VRS 사용자는 통신장비를 이용해 VRS 서버와 접속 상태를 유지해야 하므로, VRS 서버의 접속자 수 제한이 존재하여 다수의 사용자가 동시에 VRS 측위를 수행하지 못하는 단점이 있다. 현재 국토지리정보원의 VRS서버 최대 동시접속자 수는 약 1,000명이다.

FKP 서비스는 2012년 11월 1일부터 국토지리정보원에서 제공하고 있으며, 현재 30개의 상시관측소 관측데이터를 이용하여 운영 중에 있다(Figure 1). FKP 기본 원리는 FKP 중앙서버에서 오차에 대한 면보정계수를 이동국에 방송하여 이동국에서 자체적으로 위치를 결정하게 된다. 우리나라의 FKP 서비스는 기준국의 관측데이터를 이용하여 생성한 오차에 대한 면보정계수와 이동국과 가장 가까운 기준국의 데이터를 이동국에 전송하여 RTK 방법으로 위치를 계산하는 방식이다. 이러한 FKP의 장점은 단방향 통신 기반으로 라디오 방송처럼 보정정보에 대한 사항을 전송만 해주면 되므로 이론적으로 무제한에 가까운 사용자에게 서비스가 가능하다는 점이다. 하지만 서비스 제공자의 오차모델에 대한 정밀도가 사용자의 FKP 측위 정밀도에 영향을 받으므로 시스템 전체의 성능이 서비스 제공자에게 달려있는 단점이 있다[5].

3. 망구성에 따른 VRS 및 FKP 측위 정밀도 비교

3.1 망 구성에 따른 VRS 및 FKP 측위 정밀도 비교 분석을 위한 연구방법

현재 국토지리정보원에서 제공하고 있는 VRS 및 FKP 서비스는 서로 상이한 상시관측소를 이용하여 보정신호를 생성하고 제공함에 따라, 상이한 망구성에 따른 VRS 및 FKP 측위 정밀도의 비교가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 망구성에 따른 VRS 및 FKP 측위 정밀도 비교 분석을 수행하였으며, 연구방법은 다음과 같다. 기준점은 GNSS 관측수신환경이 양호한 서울시립대학교 21세기관 옥상을 선정하였다. 데이터의 취득은 GNSS 수신환경에 따른 VRS 및 FKP 측위 결과의 영향을 최소화 하기 위하여 거의 동일한 위치에 두 대의 GNSS 장비를 설치하고(Figure 2), 기준국 구성이 동일할 때와 상이할 때의 FKP 및 VRS 데이터

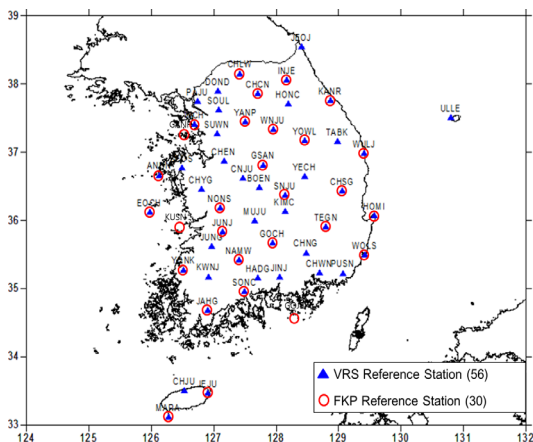


Figure 1. Configuration of Network-RTK stations in Korea

를 취득하였다.

FKP 및 VRS 측위 데이터를 획득하기 위한 관측 방법은 Table 1과 같다. FKP 및 VRS 측위 결과를 획득하기 위하여 GPS 및 GLONASS 위성을 이용하여 FKP 및 VRS 측위결과를 산출하도록 설정하였으며, 임계각은 15°로 설정하고, 1초 간격으로 약 7~8시간 동안 FKP 및 VRS 측위 데이터를 획득하였다.

데이터 취득에 사용한 장비는 VRS의 경우 Trimble사의 Geo-XR이며, FKP의 경우에는 Leica사의 VIVA GS15이다. RTK 수행 시 두 장비의 성능은 동일하다 (Table 2).

VRS와 FKP의 망 구성이 같을 때의 데이터를 취득하기 위하여, 국토지리정보원의 협조를 얻어 일시적으로 FKP 기준국을 변경하였다. 망 구성이 같을 때의 VRS 및 FKP 측위 데이터는 2013년 8월 7일 오전 10:38부터 오후 18:22까지 약 8시간 동안 데이터를 취득하였다. 이때, 이동국 위치를 기준으로 한 VRS와 FKP 기준국 구성은 서울(SOUL), 인천(INCH), 양평(YANP) 상시관측소이다(Figure 3(a)). FKP의 경우에는 이중차분을 수행하기 위해 기준국을 선택해야 하는데, 이때 선택한 기준국은 서울과학기술대학교에 위치하고 있는 서울(SOUL) 상시관측소를 이용하였으며, 이동국과 기준국과의 기선거리는 약 5.7km이다.

VRS와 FKP 망구성이 상이할 때의 데이터 취득은 본 연구를 위하여 일시적으로 변경한 기준국인 서울(SOUL)을 기존의 FKP 기준국인 철원(CHWL)으로 재

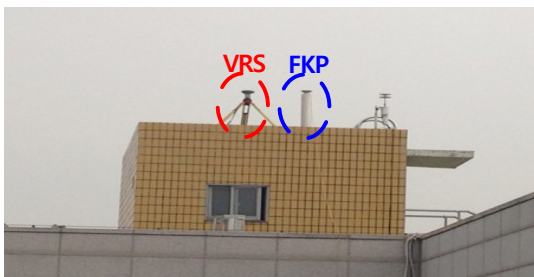


Figure 2. Data acquisition environment

Table 1. Summary of data acquisition methods

Type of observed GNSS	GPS and GLONASS
Cutoff angle	15 degrees
Data interval	1 second
Duration	About 8 hours
Equipment	FKP : Trimble GeoXR, VRS : Leica VIVA GS 15

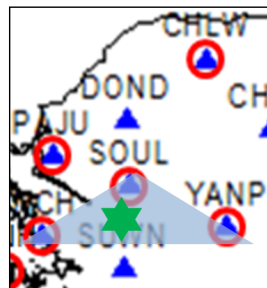
변경한 후 취득하였다. FKP 및 VRS 측위 데이터는 2013년 9월 5일 오전 09:50부터 오후 17:06까지 약 7시간 동안 취득하였다. 이동국을 기준으로 한 VRS 기준국 구성은 서울(SOUL), 인천(INCH), 양평(YANP) 상시관측소이며, FKP 기준국 구성은 철원(CHLW), 인천(INCH), 양평(YANP) 이다(Figure 3(b)). 또한 이중차분을 수행하기 위한 FKP의 기준국 데이터는 이동국에서 가장 가까운 인천 연수구 대학공원에 위치하고 있는 상시관측소 인천(INCH)을 이용하였으며, 이동국과 기준국과의 기선거리는 약 37.6km이다.

이와 같이 망 구성에 따른 정밀도를 분석하기 위해 망 구성형태에 따른 데이터를 취득하였으며 취득된 데이터의 정밀도 비교 분석을 위해 공공측량 작업규정[8]에 명시되어 있는 제179조(관측의 실시)를 준용

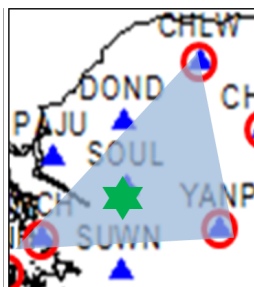
Table 2. Specification of GNSS Receivers

Product/Model	Leica/VIVA GS 15	Trimble/GeoXR
The number of channels	120	220
RTK performance	Horizontal : 10mm + 1ppm Vertical : 20mm + 1ppm	Horizontal : 10mm + 1ppm Vertical : 20mm + 1ppm

▲ Reference of VRS ○ Reference of FKP ★ Point



(a) In case of the same configuration of reference stations.



(b) In case of the different configuration of reference stations.

Figure 3. Configuration of Network-RTK stations

하여 수신기에서 계산된 정밀도가 수평 5cm, 수직 10cm를 초과하거나 모호정수가 고정되지 않은 경우의 데이터는 제거하였다. 또한 FKP 및 VRS 측위 정밀도 분석은 각 측위 방법에 따른 평균 좌표를 기준으로 잔차를 산출하여 수행하였다.

3.2 망 구성에 따른 VRS 및 FKP 측위 정밀도 분석결과

Table 3은 관측된 데이터가 공공측량 작업규정에 명시되어 있는 기준인 허용정밀도와 모호정수 고정을 만족하는 비율을 나타낸 것이다. 망 구성이 동일한 경우에 VRS 데이터는 약 97.7%가 관측 규정을 만족하였으며, FKP의 경우에는 약 95.0%이었다. 망구성이 상이할 경우에 VRS는 약 99.9%, FKP는 92.6%가 관측규정을 만족하였다. 취득된 데이터는 관측 수신환경이 매우 양호한 곳임에 따라 VRS와 FKP가 관측 규정을 만족하는 데이터의 비율이 90%이상으로 매우 높았다. 그러나 망구성 여부의 차이와 관계없이 FKP가 VRS보다 규정을 만족하는 비율이 적은 것으로 확인되었다. 또한 망구성이 상이한 경우는 망구성이 동일한 경우에 비해 FKP 측위 결과가 관측규정을 만족하는 비율이 낮은 것으로 확인되었다.

망 구성이 동일한 경우 VRS 및 FKP 각각의 평균 좌표를 기준으로 계산한 잔차 그래프 및 통계량은 각각 Figure 4 및 Table 4와 같다. 수평 방향인 북쪽 및 동쪽 방향에 대한 FKP 및 VRS 위치 잔차는 다음과 같다. 북쪽 방향의 경우에는 FKP 및 VRS 측위 잔차는 모두 5cm 이내이며, 표준편차는 각각 0.7cm, 0.6cm으로 거의 같은 수준의 정밀도를 보인다. 또한 동쪽 방향의 경우에도 북쪽 방향과 비슷하게 측위 잔차는 모두 5cm 이내이며, 표준편차는 0.5cm로 동일하다. 수직 방향에 대한 FKP 및 VRS 측위 잔차는 모두 10cm 이내이며, 표준편차는 1.8cm로 동일하게 나타났다. 또한 Figure 4에서 확인할 수 있듯이 시간에 따른 비슷한 오차의 경향 및 크기를 가지는 것을 확인할 수 있으며, FKP 및 VRS 측위 정밀도는 거의 유사하다.

망 구성이 상이한 경우 VRS 및 FKP의 위치 잔차 그래프 및 통계량은 각각 Figure 5 및 Table 5와 같다. Figure 5에서 알 수 있듯이 망 구성이 상이한 경우에는 FKP 및 VRS의 위치 잔차는 모든 방향에 대하여 크기 및 경향이 다른 것을 알 수 있으며, FKP가 VRS 보다 위치 정밀도가 낮은 것을 확인할 수 있다. 수평 방향의 경우에는 VRS의 위치 잔차 최대 크기는 약 3cm이나, FKP 경우에는 약 10cm 정도이며, 표준편차는 VRS의

Table 3. The ratio of measurement satisfying the work provision for public survey

Classification	The same configuration of reference stations		The different configuration of reference stations	
	FKP	VRS	FKP	VRS
The percentage of data satisfying the regulation	95.0%	97.7%	92.6%	99.9%

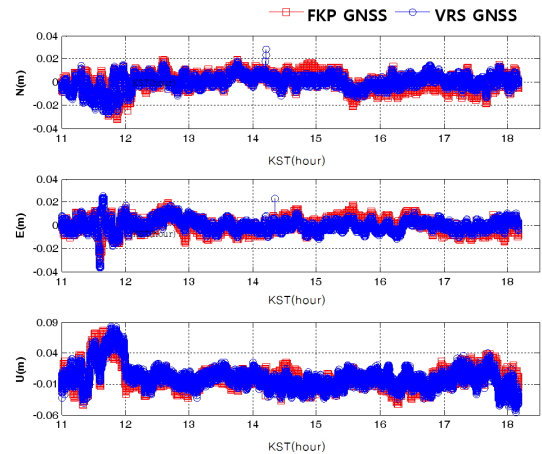


Figure 4. Compared the position residuals of VRS with FKP in same configuration of reference stations

Table 4. Compared the position residual of VRS with FKP in same configuration of reference stations

Direction	FKP		VRS	
	Range of residual	Std.	Range of residual	Std.
North (m)	-0.032~0.019	0.007	-0.028~0.018	0.006
East (m)	-0.029~0.020	0.005	-0.037~0.025	0.005
Up (m)	-0.056~0.083	0.018	-0.045~0.076	0.018

북쪽 및 동쪽 방향에서는 각각 0.7cm, 0.6cm이나 FKP는 1.8cm, 1.2cm로 FKP가 VRS보다 수평 방향에 대한 측위 정밀도는 약 2배 이상 낮은 것을 알 수 있다. 수직 방향의 경우 VRS의 위치 잔차 크기는 최대 약 6cm이나 FKP는 약 20cm로 FKP가 더 큰 잔차의 범위를 갖는 것을 확인할 수 있으며, 표준편차도 VRS는 1.6cm, FKP는 5.4cm로 FKP가 VRS보다 위치 정밀도가 낮은 것을 확인할 수 있다.

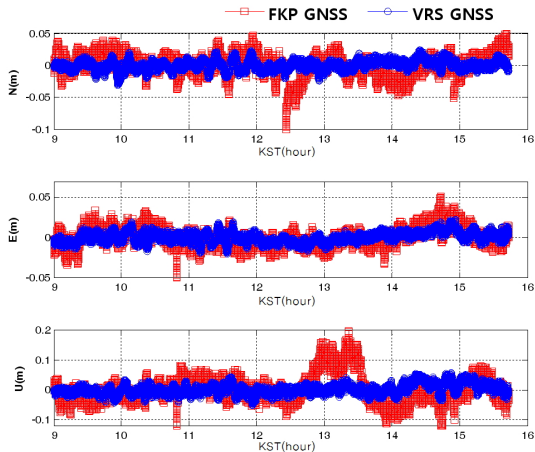


Figure 5. Compared the position residuals of VRS with FKP in different configuration of reference stations

Table 5. Compared the position residual of VRS with FKP in different configuration of reference stations

Direction	FKP		VRS	
	Range of residual	Std.	Range of residual	Std.
North (m)	-0.098~0.052	0.018	-0.031~0.023	0.007
East (m)	-0.050~0.051	0.012	-0.020~0.022	0.006
Up (m)	-0.147~0.192	0.054	-0.052~0.057	0.016

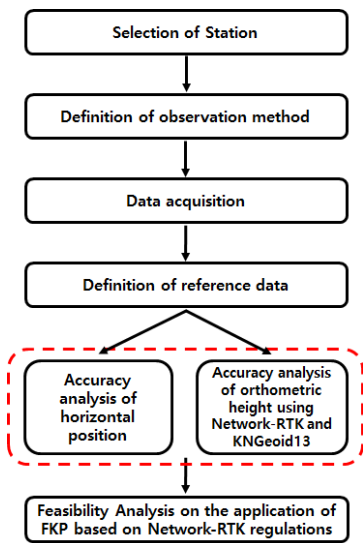


Figure 6. Procedure of the study

본 연구에서 수행한 망구성에 따른 FKP 및 VRS 측위 정밀도 비교 결과를 기반으로 FKP 측위 정밀도가 VRS보다 저하된 원인은 다음과 같다. FKP가 VRS에 비해 망의 크기가 넓기 때문에 FKP 오차모델이 부정확하게 생성된 것으로 사료된다. 또한 FKP 측위 시에 이중차분을 위한 상시관측소와의 기선거리의 차이로 인해 오차의 크기가 증가된 것으로 사료된다. VRS와 FKP의 망 구성이 동일할 경우에는 RTK를 수행하기 위하여 이동국과의 거리가 5.7km인 서울(SOUL) 상시 관측소를 이용하였다. 그러나 망구성이 상이한 경우에는 망의 크기가 커짐에 따라 가장 가까운 인천(INCH)을 사용하였으나 이동국과의 기선거리가 약 37.6km임에 따라 이중차분을 수행하더라도 기선거리가 길어 대기오차와 같은 계통오차가 적게 제거되어 측위 오차가 증가한 것으로 판단된다.

4. 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 측량 적용 가능성 분석

4.1 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 측량 적용 가능성 분석을 위한 연구방법

공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 서비스 적용 가능성을 분석하기 위하여 Figure 6의 순서로 연구를 수행하였다. Network-RTK의 측위 정밀도는 관측수신 환경에 따라 영향을 많이 받으므로 GNSS 관측수신 환경에 따른 측위 정밀도 저하정도를 분석하기 위하여 다음과 같이 두 가지 경우로 나누어 선점하였다. 먼저, GNSS 상공 시계확보가 용이하고 임계앙각 15°범위에 장애물이 존재하지 않는 관측수신환경이 우수한 개활지역인 경우와, 빌딩·나무·전신주 등 GNSS 상공 시계 확보가 용이하지 않은 다중경로오차 발생 우려 지역인 도심지의 경우로 나누어 선점 하였다. 먼저 관측수신환경이 우수한 개활지역을 선점하기 위하여 점의 조서 확인 및 현장답사를 통해 서울도엽의 통합기준점 6점을 선점하였다. 또한 GNSS 상공시계 확보가 용이하지 않은 도심지역의 기준점을 선점하기 위하여 현장답사를 통해 경기도 화성시 동탄동 일원의 공공 기준점 7점과, 서울특별시 강북구 수유동 일원의 지적도근점 7점을 각각 선점하였다(Table 6). 또한 현재 FKP는 관련규정이 없으므로 VRS의 관련규정인 공공측량 작업규정[8], 지적재조사 측량규정[7]을 분석하여 관측방법을 수립하였으며, 도출된 관측방법을 준용하여 데이터를 취득하였다. 또한 정밀도 분석을 위한 기준 데이터를 정의하여 관측수신환경에 따른 수평 및 표

Table 6. The summary of observation points

Contents	UCP	PCP	CSCP
Measurement area	Seoul	Hwa-Sung	Seoul
Measurement date	2013.08.13	2013.08.11	2013.11.05
The number of points	6	7	7

Table 7. Data acquisition methods

Cutoff angle	15 degrees
The number of satellites used at the same time	over 5 satellites
PDOP	below 3
Measurement duration	60 seconds
Measurement interval	1 second
Allowed precision	Horizontal : below 5cm, Vertical : below 10cm
Type of network RTK survey	FKP-GNSS, FKP-GPS, VRS-GNSS, VRS-GPS

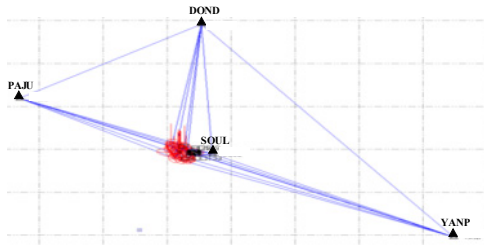


Figure 7. Network configuration of reference station for post-processing

고산출 정밀도를 산출하였으며, 이를 Network-RTK 규정과 비교하여 FKP 측위 정밀도의 허용 정밀도 만족여부를 분석하였다.

FKP 및 VRS 데이터를 취득하기 위하여 VRS의 관련규정인 공공측량 작업규정, 지적재조사측량규정의 Network-RTK 규정을 준용하여 Table 6과 같이 관측 방법을 정의하였다. 정의된 관측방법은 임계각을 15°로 설정하고, 동시수신 위성 수 5대 이상, 허용 PDOP 3이하, 수평 및 수직 방향 정밀도가 각각 5cm, 10cm 이하인 경우에 관측을 실시하였다. 위의 관측 방법을 만족하고 모호정수가 고정된 후, 1초 간격으로 60초 간 관측을 실시하여 데이터를 취득하였다. 또한 관측 위성에 따른 Network-RTK 정밀도를 분석하기 위하여 GPS와 GLONASS를 모두 수신 받는 FKP-GNSS, VRS-GNSS, GPS만 수신 받는 FKP-GPS, VRS-GPS로

구분하여 총 4가지 유형의 Network-RTK 데이터를 취득하였다. 또한 4가지 유형 중 하나의 Network-RTK 측위를 완료할 때마다 수신기 전원을 끄고 GPS 장비를 제거하여 위성의 기하학적인 변화량, 대기효과의 차이를 최소화하기 위하여 연속적으로 데이터 취득을 수행하였다. 관측 시 Table 7에 명시되어 있는 관측방법을 만족하지 못하였을 경우, 해당 측위방법에 대한 데이터는 취득하지 않았다.

정밀도 분석을 위한 기준 좌표 선정은 다음과 같다. 통합기준점 및 공공기준점의 경우에는 GRS80 타원체를 기준으로 투영된 평면직각좌표와 표고를 제공하기 때문에 이를 기준 좌표로 선정하였다. 그러나 지적도 근점은 신설된 점으로 고시 좌표가 없기 때문에 정지 측위를 통해 약 2시간 동안 취득한 데이터를 상용 프로그램인 TBC(Trimble Business Center)로 후처리하여 좌표를 산출하였다. 이때 고정한 상시관측소는 동두천(DOND), 파주(PAJU), 서울(SOUL), 양평(YANP)이며 데이터 처리 시의 망 구성은 Figure 7과 같다.

TBC를 통해 산출된 지적도근점의 기준 좌표는 수평방향으로 2cm 수준의 정밀도를 가지는 것으로 나타났으며, 산출된 각 측점의 좌표와 표준편차는 Table 8과 같다. GPS 장비제조회사에서 제공하는 Network-RTK 정밀도는 일반적으로 수평방향 3cm이내, 수직방향 5cm 이내로 알려져 있으므로, 본 연구에서 후처리하여 산출된 지적도근점의 좌표와 표준편차는 정밀하게 계산된 것으로 판단된다.

상기와 같이 정의된 기준데이터를 이용하여 수평 및 표고방향에 대한 Network-RTK 정밀도 분석을 수행하였다. 먼저, FKP 및 VRS 측위 결과에 대한 수평방향 정밀도 분석을 수행하기 위하여 정의된 기준좌표를 이용한 RMSE를 산출하였다. 이때, 수평 허용 오차의 기준은 공공측량 작업규정 제183조 3항에 의거하여 수평 5cm를 기준으로 수행하였으며, 지적재조사 측량규정 제8조 4항에 명시되어 있는 허용 오차는 교차 7cm이므로 공공측량 작업규정의 허용 오차를 동일하게 적용하여 지적재조사 사업 적용 가능성을 판단하는 데에는 문제가 없다고 사료된다.

또한 Network-RTK를 이용한 GNSS 간접수준측량 적용 가능성을 판단하기 위한 표고 정밀도 분석을 다음과 같이 수행하였다. Network-RTK 측위로 취득한 GRS80 기준의 타원체고(h)와 국토지리정보원의 국가 지오이드 모델 KNGeoid13을 통해 계산된 지오이드고(N)를 이용하여 Eq. (1)과 같이 표고(H)를 산출하였으며, 각 측점마다 산출된 표고는 정의된 기준 표고를 고시좌표의 표고와 비교하여 RMSE를 산출하였다. 산

Table 8. Post-processing results of the reference stations

Point ID	TM X (m)	Std. (m)	TM Y (m)	Std. (m)
510	559421.827	0.017	201833.628	0.015
515	559443.626	0.019	202072.733	0.014
516	559335.314	0.029	202081.586	0.028
517	559259.530	0.017	202061.166	0.017
518	559223.907	0.016	202071.848	0.014
520	559113.855	0.015	202118.596	0.019
521	559034.909	0.010	202164.575	0.009

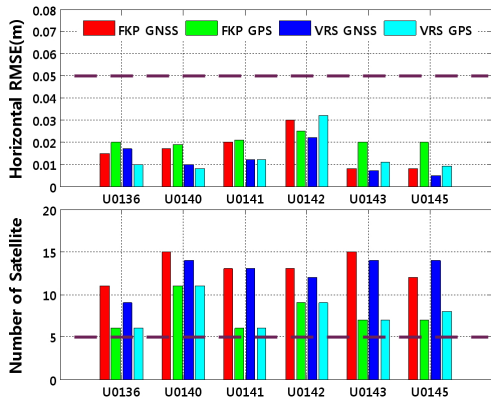


Figure 8. Horizontal RMSE and the number of used satellites in UCPs

출된 표고는 공공측량 작업규정 제183조 3항에 명시되어 있는 허용 오차인 10cm를 기준으로 비교하였다.

$$H = h - N \quad (1)$$

4.2 Network-RTK 수평방향 정밀도 분석결과

개발지역에 해당하는 통합기준점에 대한 수평방향 RMSE는 Figure 8과 같다. 측위 방법 및 관측 위성에 따른 수평방향 RMSE는 FKP-GNSS의 경우 약 0.8~3.0cm, FKP-GPS는 약 1.9~2.5cm, VRS-GNSS는 약 0.5~2.2cm, VRS-GPS는 약 0.8~3.2cm로, 통합기준점에서는 측위 방법에 상관없이 모든 측점에서 허용정밀도 범위인 수평방향 5cm 이내를 만족하는 것으로 나타났다. 또한 관측에 사용한 위성의 개수는 GPS 위성만 이용 시 평균 6~11개가 관측에 이용되었으며 GPS/GLONASS 위성사용 시에는 평균 11~15개의 위성이 관측에 이용되었다. 관측에 이용한 위성의 개수는 FKP와 VRS는 동일한 수준으로 확인되었으며 관련규정을 준용하여 정의한 관측방법의 동시 수신 위성 수 5대 이상을 모

Table 9. Fixed time of ambiguity in UCPs (unit : seconds)

Point ID	FKP-GNSS	FKP-GPS	VRS-GNSS	VRS-GPS
U0136	7	120	3	8
U0140	180	5	3	5
U0141	3	7	3	4
U0142	6	40	3	3
U0143	10	21	3	3
U0145	25	30	4	5
Average	39	37	3	5

두 만족하는 것으로 나타났다. RMSE 분석결과를 측위 방법에 따라 비교해보면 상대적으로 VRS가 FKP에 비해 정밀하게 관측되었음을 확인할 수 있다.

통합기준점의 각 측점별 모호정수 고정시간은 Table 9와 같다. 모호정수를 고정하는데 소요되는 시간은 VRS의 경우 평균적으로 약 10초 이내, FKP의 경우에는 30초 이상 소요되는 것으로 나타나 전반적으로 FKP가 VRS보다 모호정수 고정시간이 오래 걸리는 것으로 확인되었다.

다중경로오차 발생 우려 지역에 해당하는 공공기준점에 대한 Network-RTK 정밀도 분석 결과는 다음과 같다. 앞에서 언급한 바와 같이 총 7개의 공공기준점에서 측위 방법에 따른 Network-RTK 데이터를 획득하였으나 관측규정을 만족하지 않는 경우가 발생하였다. 이를 제외하면 FKP-GNSS는 6점, FKP-GPS 3점, VRS-GNSS 6점, VRS-GPS 4점이며, 이로부터 산출한 Network-RTK 수평방향 RMSE는 Figure 9와 같다. 측위 방법에 따른 수평 RMSE는 FKP-GNSS의 경우 약 1.4~7.0cm, FKP-GPS는 약 2.0~3.3cm, VRS-GNSS는 약 0.5~2.3cm, VRS-GPS가 약 1.2~2.4cm의 값을 갖는 것으로 나타났다. 허용 오차와 비교한 경우 FKP-GNSS 측위방법은 6점 중 2개의 측점(2-010, 2-020)에서 관측에 사용한 위성의 개수가 11개로 확인되었지만 RMSE는 5cm를 초과하는 것으로 나타났으며, 다른 측위 방법의 경우에는 모두 허용 오차 이내의 값을 갖는 것으로 나타났다. 또한 공공기준점에서 관측에 사용한 위성의 개수는 GPS 위성만 이용 시 평균 6~9개가 관측에 이용되었으며 GPS/GLONASS 위성사용 시에는 평균 9~14개의 위성이 관측에 이용되어 전체적으로 통합기준점의 경우보다 최대 관측위성이 1개 적게 관측된 것으로 나타났다. FKP와 VRS는 측위 방법에 따라 비슷한 개수의 위성을 관측에 이용하는 것으로 확인되었으며 관련규정을 준용하여 정의한 관측방법의 동시 수신 위성 수 5대 이상을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 측위 방법에 따라 비교하면 통합기준점

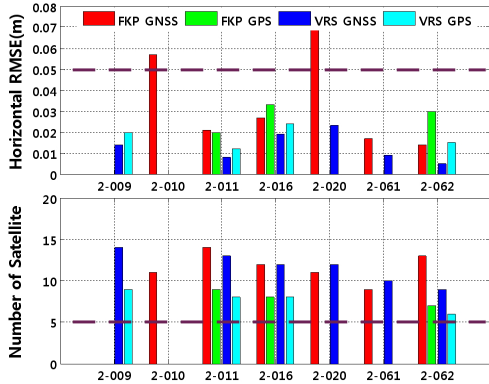


Figure 9. Horizontal RMSE and the number of used satellites in PCPs

의 결과와 마찬가지로 VRS가 FKP에 비해 정밀하게 관측되었음을 확인할 수 있었다.

공공기준점에서 각 측점별 모호정수 고정시간은 Table 10과 같다. 각 측점별 모호정수 고정시간은 통합기준점의 경우와 동일하게 FKP가 VRS보다 오래 걸리는 것으로 확인되었다. 또한 공공기준점에서 FKP 측위의 모호정수 고정시간은 통합기준점의 경우보다 약 2배 정도 오래 걸렸으며, VRS의 경우에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

마지막으로, 다중경로오차 발생 우려 지역에 해당하는 지적도근점에 대하여 Network-RTK 정밀도를 분석하였다. 선점된 지적도근점의 경우 공공기준점 보다 관측 수신환경이 좋지 못한 도심지 및 주거지역에 위치하고 있어 측위 환경이 좋지 않아 관측규정을 만족하지 않는 경우가 빈번히 발생하였다. 관측규정을 만족하는 측점의 수는 총 7개의 측점 중 FKP-GNSS의 경우 4점, FKP-GPS는 1점, VRS-GNSS는 5점, VRS-GPS가 3점이다. 그러나 지적도근점의 경우 공공기준점과 달리 관측규정을 만족하지 못하는 주 원인이 모호정수를 정수로 고정시키지 못한 경우였다. 모호정수 고정을 실패한 측점을 제외한 측점의 수는 전체 7점 중 FKP-GNSS 4점, FKP-GPS 2점, VRS-GNSS 7점, VRS-GPS 5점이다. 위의 결과로 미루어 보아 모호정수 고정 확률은 전반적으로 VRS가 FKP보다 높은 것으로 확인되었다. 관측 규정을 만족하는 경우에 한정하여 산출한 지적도근점의 Network-RTK 수평방향 RMSE는 Figure 10과 같다. 측위 방법에 따른 수평 방향 RMSE는 FKP-GNSS의 경우 약 1.9~5.7cm, FKP-GPS는 약 5.4cm, VRS-GNSS가 약 2.2~5.7cm, VRS-GPS가 약 3.2~4.8cm로 나타났다. 7점 중 관측규정을 만족하고 허용 오차 이내의 정밀도를 나타낸 점은 FKP-

Table 10. Fixed time of ambiguity in PCPs (unit : seconds)

Point ID	FKP-GNSS	FKP-GPS	VRS-GNSS	VRS-GPS
2-009	84	18	3	2
2-010	23	65	4	3
2-011	72	65	3	5
2-016	20	67	3	2
2-020	180	60	3	5
2-061	90	510	4	3
2-062	30	180	4	12
Average	71	138	3	5

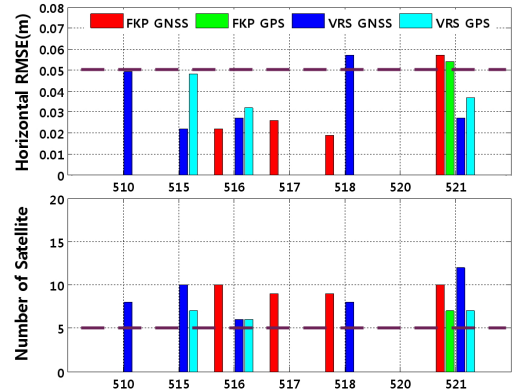


Figure 10. Horizontal RMSE and the number of used satellites in CSCPs

GNSS의 경우 3점, FKP-GPS는 0점, VRS-GNSS는 4점, VRS-GPS는 3점이다. 또한 관측에 사용한 위성의 개수는 GPS 위성만 이용 시 평균 6~7개가 관측에 이용되었으며 GPS/GLONASS 위성사용 시에는 평균 6~12개의 위성이 관측에 이용되어 최대 관측위성이 통합기준점보다 3개, 공공기준점 보다 2개 적게 관측되는 것으로 나타났다. 또한 지적도근점 518, 521의 경우에서와 같이 GPS/GLONASS 위성을 이용하여 관측에 이용되는 위성의 개수가 많더라도 관측 수신환경에 의한 멀티패스 등의 영향으로 인해 오차가 포함되어 측위정밀도 저하에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 측위 방법에 따라 비교하면 VRS가 FKP보다 전반적으로 정밀도가 높았으며, 이는 통합기준점, 공공기준점에서의 RMSE 분석결과와 유사한 결과이다.

전체 7개의 측점 중 특별히 좋지 못했던 지적도근점 518과 521의 관측수신환경은 Figure 11과 같다. 사진에서와 같이 측점과 인접하여 나무와 전신주, 고층빌딩 등 GPS 상공시계 확보가 용이하지 못하였으며 이로 인해 다중경로 오차가 발생하여 정밀한 위치 계산을 수행하지 못한 것으로 사료된다.



(a) Point ID : 518 (b) Point ID : 521

Figure 11. Observation environment

Table 11. Fixed time of ambiguity in CSCPs (unit : seconds)

Point ID	FKP-GNSS	FKP-GPS	VRS-GNSS	VRS-GPS
510	Non-fixed ambiguity	Non-fixed ambiguity	90	Non-fixed ambiguity
515	Non-fixed ambiguity	Non-fixed ambiguity	4	30
516	30	Non-fixed ambiguity	5	30
517	60	90	6	43
518	420	Non-fixed ambiguity	7	40
520	Non-fixed ambiguity	Non-fixed ambiguity	240	Non-fixed ambiguity
521	72	55	6	6
Average	146	73	51	30

지적도근점에서 각 측점별 모호정수 고정시간은 Table 11과 같다. 통합기준점, 공공기준점의 경우와 동일하게 FKP가 VRS보다 모호정수 고정시간이 더 긴 것으로 나타났다.

4.3 Network-RTK를 이용한 표고산출 정밀도 분석결과

Network-RTK를 이용한 GNSS 간접수준측량 적용 가능성을 판단하기 위한 표고 정밀도 분석은 표고에 대한 고시성과가 있는 통합기준점 및 공공기준점을 대상으로 수행하였다. 허용 오차는 공공측량 작업규정 내 3-4급 공공삼각점 표고 허용 오차인 10cm를 기준으로 하였다. 먼저, 통합기준점에서 Network-RTK를 이용하여 산출된 표고에 대한 RMSE는 Figure 12와 같다. 산출된 표고의 RMSE 값은 FKP-GNSS의 경우 약 1.2~6.8cm, FKP-GPS는 약 1.1~5.2cm, VRS-GNSS는 약 0.6~4.2cm, VRS-GPS는 약 1.5~5.8cm로 나타나 통합기준점에서는 측위방법 및 관측 위성과 상관없이 허용 오차인 10cm 이내의 RMSE가 산출되었다.

Figure 13은 공공기준점에서 각 측위 방법에 따라 산출된 표고 RMSE이다. 표고 RMSE는 공공기준점의

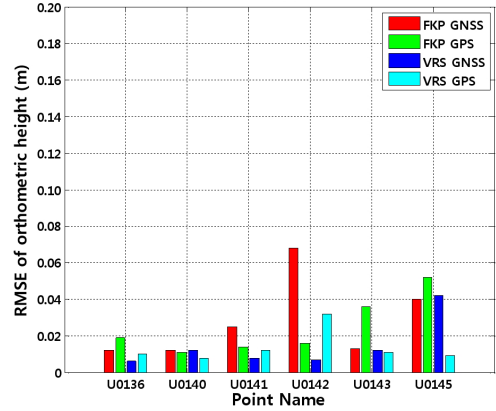


Figure 12. RMSE of orthometric height in UCPS

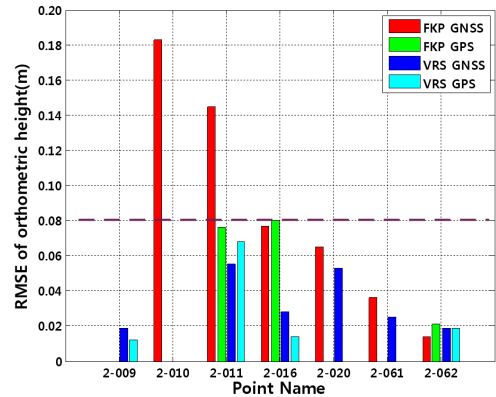


Figure 13. RMSE of orthometric height in PCPS

Network-RTK 수평방향 정밀도 분석에서와 같이 표고 산출 정밀도 분석에서도 관측데이터가 관측규정을 만족하지 않는 경우는 동일하였다(FKP-GNSS 6점, FKP-GPS 3점, VRS-GNSS 6점, VRS-GPS 4점). 각 측위 방법에 따른 표고 RMSE는 FKP-GNSS의 경우 약 1.4~18.3cm, FKP-GPS는 약 2.1~8.0cm, VRS-GNSS는 약 1.9~5.5cm, VRS-GPS가 약 1.2~6.8cm로 나타났다. 허용 오차와 비교한 결과, FKP-GNSS 측위에서 관측규정을 만족한 총 6점 중 2점이 허용 오차 10cm를 초과하였다. 또한 전반적으로 VRS가 FKP보다 정밀한 것으로 나타났으며, 이는 VRS가 FKP보다 타원체 고가 정밀하게 계산되었기 때문인 것으로 판단된다.

4.4 공공측량 및 지적재조사 사업의 FKP 적용 가능성 분석결과

앞서 서술한 Network-RTK 수평 및 표고산출 정밀도 분석 결과를 토대로 공공측량 및 지적재조사 사업

에 FKP 서비스 적용 가능성을 분석하였다. 본 연구를 위해 관측한 총 20개의 측점을 대상으로 Network-RTK 관련 규정 및 성과심사 허용 오차인 수평 5cm 이내를 만족하는 측점의 수는 Table 12와 같다. 측위 방법에 따라 비교 시, VRS가 FKP에 비하여 관련 규정 및 허용 오차를 만족하는 측점의 수가 많은 것으로 나타났다. 관측 위성에 따라 비교하면 GLONASS와 GPS 신호를 모두 수신하는 경우 FKP와 VRS에서 규정 및 허용정밀도를 만족하는 정도가 유사하였으나, GPS 신호만 수신하는 경우에는 FKP 보다 VRS의 경우에서 규정과 허용정밀도를 만족하는 경우가 훨씬 많은 것으로 나타났다. 이론적으로는 동일한 환경에서 측위 하였을 때 VRS와 FKP 모두 동일한 시간에 유사한 수준의 위치정밀도가 나타나야 한다. 그러나 본 연구의 결과로 미루어보아 현재의 FKP 시스템은 VRS 시스템보다 불안정한 것으로 사료된다. 따라서 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP 적용을 위해서는 우선적으로 FKP의 오차요소에 대한 보정정보를 계산하는 내부 시스템의 점검이 필요할 것으로 사료되며, 현재 시스템으로는 통합기준점과 같이 GNSS 수신환경이 좋은 지역에 한하여 관측을 실시해야 할 것으로 판단된다.

Network-RTK를 이용한 GNSS 간접수준측량 적용 가능성 여부를 분석하기 위하여 통합기준점 및 공공기준점을 대상으로 3-4급 공공기준점 수직 허용 오차인 10cm 이내를 만족하는 측점 수를 정리한 것은 Table 13과 같다. 측위 방법에 따른 허용 오차를 만족하는 측점 수는 총 13개 중 FKP GNSS 10점(77%), FKP-GPS 9점(69%), VRS-GNSS 12점(92%), VRS-GPS 10점(77%)이다. VRS의 경우에는 국토지리정보원의 KNGeoid13 지오이드 모델의 지오이드고와 타원체고로부터 산출된 성과를 표고로 이용하여도 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 그러나 GPS만 이용할 경우 GLONASS와 GPS를 모두 이용하였을 때에 비하여 정밀도가 저하되기 때문에 정밀도를 향상시킬 수 있는 방법연구가 필요할 것으로 판단된다. FKP의 경우에는 내부 시스템 점검을 통해 안정적인 정밀도를 확보한 후, 간접수준측량에 적용해야 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 FKP 서비스의 공공측량 및 지적재조사 사업 적용 가능성 여부를 도출하기 위하여, FKP 서비스의 기준국 배치 형태에 따른 VRS와 FKP 상대적인 정밀도 비교와 VRS 측량 규정을 기반으로 다양한 GNSS 수신환경을 가진 측점에서 VRS 및 FKP 측량

Table 12. Horizontal accuracy analysis of Network-RTK

The type of Network-RTK	FKP-GNSS	FKP-GPS	VRS-GNSS	VRS-GPS
The number of total points	20	20	20	20
The number of points satisfying the regulation	14	9	16	13
The percentage of points satisfying the regulation	70%	45%	80%	65%

Table 13. Vertical accuracy analysis of Network-RTK

The type of Network-RTK	FKP-GNSS	FKP-GPS	VRS-GNSS	VRS-GPS
The number of total points	13	13	13	13
The number of points satisfying the regulation	10	9	12	10
The percentage of points satisfying the regulation	77%	69%	92%	77%

데이터를 취득하여 정밀도 분석을 수행하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 망 구성에 따른 측위 정밀도 분석결과 FKP와 VRS가 동일한 기준국을 운영할 경우에는 FKP 및 VRS 측위 잔차의 표준편차는 거의 같은 것으로 확인되었다. 그러나 상이한 기준국을 운영할 경우에는 FKP가 VRS 보다 2배 이상 위치 정밀도가 저하되었다. 이러한 원인은 FKP가 VRS에 비해 망의 크기가 넓기 때문에 FKP 오차모델이 부정확하게 생성되고, 기준국과 이동국의 거리가 멀기 때문에 이중차분시 계통오차의 제거가 적게 되어 위치오차가 VRS보다 상대적으로 증가한 것으로 사료된다. 그러나 VRS 측량보다 FKP 측량이 상대적으로 정밀하지 않더라도 공공측량이나 지적재조사 측량에 적용하기에는 큰 문제가 없는 것으로 사료된다.

둘째, Network-RTK 수평 방향 정밀도 분석 결과, 개활지역인 통합기준점에서는 FKP 및 VRS 측위 정밀도가 모두 5cm 이내로 안정적인 결과를 보였다. 그러나 GNSS 수신환경이 좋지 않은 공공기준점 및 지적도근점의 경우에는 FKP가 관련 규정을 만족하지 못하는 경우가 VRS에 비하여 다수 나타났다. 이러한

결과는 FKP 내부 시스템에서 생성하는 오차보정요소가 VRS보다 부정확하다는 것을 의미하기 때문에 FKP 내부 시스템의 점검이 필요할 것으로 사료된다. 또한 GLONASS와 GPS 신호를 모두 수신 받은 경우가 GPS 신호만 수신 받는 경우보다 관련 규정을 만족하는 비율이 높게 나타났다. 따라서 관측수신환경이 좋지 못한 지역에서는 GLONASS와 GPS 신호를 모두 수신할 수 있는 GNSS 기기를 사용 할 것을 권장한다.

셋째, Network-RTK를 이용한 표고 산출 정밀도 분석 결과, 고시좌표를 기준으로 국토지리정보원에서 제공하는 KNGeoid13 모델로 산출된 지오이드고와 VRS 측위로부터 계산된 타원체고를 이용하여 3~4급 공공삼각점에 대한 표고를 산출하여도 무방하다고 사료된다. 그러나 VRS의 경우에도 GPS만 이용하여 표고를 산출할 경우 GLONASS와 GPS 신호를 모두 수신한 경우보다 정밀도가 낮기 때문에, Network-RTK를 이용한 GNSS 간접수준측량의 정밀도를 향상시키고 안정적으로 표고를 산출하기 위해서는 GLONASS와 GPS 신호를 모두 수신할 수 있는 기기를 사용하도록 관련규정을 정의해야 할 것으로 사료된다.

마지막으로 Network-RTK 정밀도 분석결과 공공측량 및 지적재조사 사업에 FKP를 활용하기에는 관측수신환경에 의한 제약을 많이 받으므로, 현재의 FKP 시스템을 공공측량 및 지적재조사 사업에 이용하기 위해서는 개활지역에 한정하여 부분적인 적용을 해야 할 것으로 판단된다. 또한 동일한 측위 환경에서는 이론적으로 FKP 측위 정밀도가 VRS 측위 정밀도와 유사하게 나타나야 하나, 관측수신환경이 좋은 통합기준점을 제외한 공공기준점, 지적도근점에서는 FKP가 VRS보다 정밀도가 좋지 못하였다. 본 연구에서 취득한 데이터는 같은 수신기로 거의 동일한 시간에 Network-RTK 데이터를 수신하였기 때문에 FKP 서버에서 제공하는 오차보정요소의 품질에 문제가 있다고 사료된다. 따라서 향후 FKP 정밀도 개선을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되며 향후 FKP 내부 시스템에서 생성하는 오차보정요소의 점검이 필요할 것으로 사료된다.

References

[1] Choi, W. S; Yoo, H. H. 2011, Accuracy analysis of cadastral supplementary control points by using virtual reference station-real time kinematic GPS surveying -focused on Geoje city-, The Korean Society for GeoSpatial Information System, 19(4):65-70.

[2] El-Mowafy, A. 2012, Precise Real-Time Positioning Using Network RTK, Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications, [Online] Available: INTECH, <http://www.intechopen.com>.

[3] Kim, H. I; Yu, G. S; Park, K. D; Ha, J. H. 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, 26(2):139-147.

[4] Kim, M. H; Bae, T. S. 2013, Stability assessment of FKP system by NGII using long-term analysis of NTRIP correction signal, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 31(4):321-329.

[5] Korea Cadastral Survey Corporation, 2011, Study of Efficiency Improvement Measures of GPS Survey.

[6] Lee, S. B. 2013, Accuracy evaluation of the height determined by Network-RTK VRS positioning, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, 21(4):55-63.

[7] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2013, Work Provision for cadastral resurvey.

[8] National Geographic Information Institute, 2009, Work Provision for Public Survey.

[9] Park, C. S. 2013, Accuracy analysis of Network RTK surveying for cadastral re-survey project, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, 21(4):117-123.

[10] Ra, Y. H; Lee, M. S; Ji, J. D. 2012, A Study of Network RTK Application for Cadastral Surveying, The Korean Cadastre Information Association, 14(2):53-64.

[11] Yim, J. Y. 2013, A Study on the accuracy of the FKP-GPS, Master's Degree Thesis, University of Kyonggi.

논문접수 : 2014.5.7
수정일 : 2014.6.18
심사완료 : 2014.6.23