

# 네트워크 RTK VRS 측량에 의한 표고정확도 평가

## Accuracy Evaluation of the Height Determined by Network-RTK VRS Positioning

이석배\*

Lee, Suk Bae

### 要 旨

전통적인 RTK측량기술의 제약을 극복하고자 VRS 또는 FKP와 같은 네트워크 RTK GPS측량기술이 국가상시관측소와 무선인터넷망을 기반으로 개발되었다. 우리나라의 경우 국토지리정보원이 51개의 상시관측소와 모바일 인터넷망을 기반으로 네트워크 RTK를 서비스하고 있다. 본 연구에서는 이러한 Network-RTK 기반의 GNSS VRS 측량방식에 의한 표고정확도를 확인하고자 산청~진주지역의 1등 수준노선과 거창~산청지역의 2등 수준노선에 대하여 직접 GPS VRS 측량을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 연구결과 GPS VRS측량방식의 표고 정확도는 1등 수준노선에서 2.15cm, 2등 수준노선에서 1.80cm로 나타났으며, 이러한 결과는 3,4등급 공공수준점측량에 있어서 GPS VRS 방식이 적용가능하다는 것과 아울러 이에 대한 작업규정이 필요하다는 것을 보여주는 것이다.

핵심용어 : 네트워크 RTK, VRS, 표고 정확도, 상시관측소

### Abstract

Network-RTK GPS positioning technique based on national CORS(Continuous Operating Reference Station) and wireless internet access as like VRS and FKP was developed to overcome the limitations of traditional RTK technique. In Korea, NGII(National Geographic Information Institute) provides network-RTK service based on 51 CORS and mobile internet network. The purpose of this study is the accuracy evaluation of the height determined by GPS VRS technique based on network-RTK. So, in this study GPS VRS positioning was accomplished through 1st level BM line located at Sancheong~Jinju and 2<sup>nd</sup> level BM line located at Geochang~Sancheong and the average error of the each BM line was calculated as 2.15cm and 1.80cm respectively. This result shows that GPS VRS height positioning can be used in 3<sup>rd</sup> and 4th public BM leveling and also work regulation is needed to apply the GPS VRS height positioning.

Keywords : Network-RTK, VRS, Height Accuracy, CORS

### 1. 서 론

GPS 위성측위 기술은 측량 목적과 네비게이션 목적으로 나뉘어 절대측위와 상대측위 방식으로 발전해 왔다. 특히 2000년 이후로 그 사용의 편리함으로 인하여 상대측위의 실시간 동적측위방식인 RTK(Real Time Kinematic)방식이 많이 활용되었는데, RTK 측량방법은 정적측위(static)방법에 비해 이동중에 신속하게 위치를 결정할 수 있는 장점이 있고 또 반송파 위상의 모호정수가 이동중에도 정수치로 해석되는 한 센티미터 급의 정확도를 확보할 수 있으므로 여러 분야에 적용되

고 활용되어 왔다. 그러나 전통적인 RTK 측량방법은 하나의 기준국(reference station)과 하나의 이동국(rover)으로 구성되며, 기준국은 위성신호를 수신하고 기지좌표 성과와의 차이를 발견하며 그 차이값인 오차량을 변조하여 이동국으로 전송하는 모뎀장치를 갖추고 있다. 또 이동국은 위성신호를 수신할 수 있는 안테나와 기준국에서 발송하는 전파를 수신하는 장치를 갖추고 있다.

우리나라도 2000년대에 들어서면서 GPS RTK 기술을 활용한 연구가 활성화되었으며, 이와 관련한 연구로는 Choi and Lim(2004)과 Lee et al.(2005)에 의하여

2013년 9월 30일 접수, 2013년 11월 22일 수정, 2013년 12월 4일 채택

\* 정희원 · 경남과학기술대학교 토목공학과 교수(Member, Professor, Department of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, [sblee@gntech.ac.kr](mailto:sblee@gntech.ac.kr))

RTK 측량의 위치정확도를 높이려는 연구가 있었고, RTK 측량기술을 활용한 연구로서 Lee et al.(2012)에 의하여 RTK-GPS기술을 이용한 해안선 변화탐지 연구가 그리고 Lee and Choi(2007)에 의하여 RTK-GPS기술을 하천측량에 활용하려는 시도가 있었으며 또한 Hong et al.(2009)에 의하여 지적세부측량에 RTK-GPS 방식을 실용화하려는 연구가 수행되었다. 아울러 이러한 연구들은 하나의 기준국을 기준으로 하는 전통적인 단일기준점측위방식으로 연구가 수행되었다.

그러나 RTK 방식에서는 실시간 측량이라는 편리함과 효율성에도 불구하고 기준국과 이동국 간의 거리가 멀어질수록 계통오차의 문제로 위치정확도가 저하되어 이로 인한 기선길이의 제한과 같은 기술적인 한계를 발생하게 되었다. 아울러 기준국과 이동국간의 모델신호가 여러 가지 장애요소들에 의하여 자주 끊기는 현상이 발생하였으며, 측량현장에서 거쳐야 하는 기지 네 점을 활용한 사이트 캘리브레이션(calibration)과 같은 번거로운 절차가 측량기술자들에게 RTK 방식을 선호하지 않게 된 요인으로 작용하였다. 실제로 전통적인 RTK 방식을 적용하여 센티미터급의 정확도를 확보하기 위해서는 기준국과 이동국간의 거리를 10km 이내로 유지(Yeh et al, 2012)하여야만 하며, 그 사이에 건물과 같은 인공지물이 있는 경우에는 모델 송수신이 원활하지 않게 된다.

이러한 RTK측량의 제약사항들을 극복하고자 단일기준점 측위방식에서 여러 개의 기준점을 활용하여 이동국의 위치를 결정하는 다중기준점 측위방식이 연구되었으며, 한발 더 나아가 그 나라의 상시관측소들을 다중기준점으로 활용하여 RTK측량을 실시하는 네트워크 RTK 측량기술이 연구되기에 이르렀다(Retscher, 2002).

우리나라에서도 상시관측소 네트워크를 활용하여 RTK 측량방식을 대체하고자 하는 연구들이 나타나게 되었는데, Lee(2003)에 의하여 독일 SAPOS 관측망을 활용한 가상기준점의 효용성 검토가 연구되었고, Choi et al.(2007)에 의해 상시관측소 네트워크 기반 GPS 망 조정 실험결과가 발표되었다. 아울러 우리나라의 국토지리정보원에서는 이러한 연구들을 바탕으로 2007년부터 VRS 시스템을 구축하고 관련 서비스를 제공하여 오고 있으며(NGII, 2007), Kim et al.(2008)에 의하여 국토지리정보원 VRS 시스템의 정확도를 평가한 바 있다. VRS 서비스는 서비스가 개시된 후 이용자가 꾸준히 증가하여 2013년 8월에는 이용자 폭주를 막기 위하여 서버를 증설하여 동시다중접속자수를 200명에서 1000명으로 늘리기도 하였다. 이는 현장에서 이용자수가 급격하게 증가하였다는 것을 의미하며 실제로 지적

재조사측량, 엔지니어링 측량 등에 활발하게 이용되고 있다. 또한 VRS 측위는 평면위치 결정뿐 아니라 표고 결정에도 활용되고 있으나 이에 대한 작업규정이 마련되어 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 이와 같이 국토지리정보원에서 서비스되고 있는 네트워크 RTK의 VRS 측량방식을 이용하여 수준점의 표고정확도를 분석하고자 하였다. 왜냐하면 VRS 서비스 개시이후 일반 사용자에게 의하여 VRS를 활용한 평면 정확도 평가결과는 발표된 바 있으나(Jang et al. 2009), 표고 정확도 평가결과는 발표되지 않았기 때문이다. 아울러 GPS를 활용한 표고정확도 평가 관련 연구로는 GPS 정적측위방식의 타원체고에서 지오이드모델(NOR105)의 지오이드고를 빼서 얻은 표고성과의 정확도를 평가한 바 있다(Jeong and Lee, 2007).

연구를 위하여 연구대상지역을 선정하고 1,2등 수준노선을 대상으로 직접 GPS VRS 측량을 실시하였으며, 그 결과를 국토지리정보원의 수준점 성과와 비교하여 표고정확도를 분석하고자 하였다. 또한 분석된 표고정확도를 바탕으로 공공수준점측량에 적용가능한 범위를 파악하고자 하였다. 아울러 본 연구에서 VRS 측위관측의 정확도를 개선시킬 목적으로, 이동국의 로버 수신기 설치시 수작업에 의하여 실시된다는 점에 착안하여 이를 간이삼각대를 활용하여 고정시킴으로써 정확도 개선효과가 있는지, 있다면 그 양이 얼마나 되는지를 파악해 보고자 하였다.

## 2. 기본이론 및 VRS 현황

### 2.1 동적상대측위 기본이론

GNSS에 의한 상대측위(DGPS)의 목적은 기준국 또는 기지점의 위치좌표를 기준으로 하여 미지점의 위치좌표를 상대적으로 결정하는 것으로 기지점과 미지점의 기선 벡터를 결정하는 것이다. 따라서 상대측위를 수행하기 위해서는 기지점과 미지점에서 동시에 GPS 관측이 이루어져야 한다. 상대측위는 GPS 관측이 수행되는 동안 2개 이상의 수신기가 고정된 상태인 정적 상대측위와 하나의 수신기가 이동국(rover)으로 움직이는 동적 상대측위로 나뉘어진다. 동적 상대측위에서 이동국은 계속 이동하므로 임의의 시점에 대하여 그 위치가 결정되게 되며 이 경우 단일차분, 이중차분 및 삼중차분에 대한 수학적 모델에는 기하학적 거리의 변화로 나타나는 수신기의 운동이 잠재적으로 포함되게 된다. 이동국 B에서 위성 j를 고려하면 정적측위의 경우 위성 j와 수신기간의 기하학적 거리는 다음과 같이 표현된다

(Hofmann et al. 2009).

$$\rho_B^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_B)^2 + (Y^j(t) - Y_B)^2 + (Z^j(t) - Z_B)^2} \quad (1)$$

여기에서  $X^j(t)$ ,  $Y^j(t)$ ,  $Z^j(t)$  는 시점(t)에서의 위성의 지심위치 벡터성분이고,  $X_B$ ,  $Y_B$ ,  $Z_B$  는 이동국 B의 미지좌표를 의미한다. 이를 시간에 따라 변하는 이동국 B를 고려하여 동적측위의 경우로 나타내면 다음과 같다.

$$\rho_B^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_B(t))^2 + (Y^j(t) - Y_B(t))^2 + (Z^j(t) - Z_B(t))^2} \quad (2)$$

이러한 기하학적 거리의 결정을 바탕으로 이동국의 좌표를 결정하는 동적 상대측위는 단일 기준점측위, 다중 기준점측위 및 네트워크 상대측위, VRS 네트워크 측위방식으로 발전하여 왔다(Retscher, 2002).

### 2.1.1 단일 기준점측위

단일 기준점측위는 하나의 기준점을 이용하여 이동국의 위치를 계산하는 방법으로 기준점과 이동국에서 공통으로 수신되는 위성 데이터를 수신하여 RTK 방식을 통해 계산하며 기준점과 이동국을 연결하는 무선데이터 통신 연결장치가 필요하다. 사용자는 코드 위치결정을 위한 DGPS 보정이나 반송파 위상 위치결정을 위한 실시간 이동측위를 이용할 수 있도록 RTCM 형식으로 보정신호를 받을 수 있다. 단일 기준점 보정 측위에 있어 관측오차와 편의는 네트워크 내에서의 오차 모델링을 하지 않는 상태로 거리에 종속되기 때문에 사용자와 기준국 간의 거리가 커질수록 오차는 증가하게 된다.

### 2.1.2 다중 기준점측위와 네트워크 상대측위

다중 기준점 측위는 여러 개의 기준점으로 부터의 자료를 이용하여 이동국의 위치를 결정 하는 것으로 무선 라디오나 LAN 또는 인터넷을 이용한 케이블 연결방식으로 중앙제어국과 연결된다. 기준점에서의 자료 전송은 모델을 이용하여 기준점과 중앙제어국간의 연결은 RSIM(Reference Station Integrity Monitor messages) 프로토콜을 이용한다. 다중기준점 측위는 여러 개의 기준점들로부터의 관측값들을 결합함으로써 전리층, 대류층, 위성 궤도오차 등에 의한 오차를 모델링함으로써 이동국에서의 위치정확도를 높일 수 있는 이점이 있다.

네트워크 상대측위의 개념은 반송파 위치결정을 위한 초기화시간의 단축과 보다 먼 거리에 대한 정확도 향상 때문에 가능하게 되었으며, 기준국과 사용자 사이의 구역을 확장함으로써 위치결정의 신뢰성이 개선되었다. 따라서 네트워크 상대측위의 시스템 구조는 다중 기준점 측위와 유사하며 중앙기준국에서의 데이터 모델링에 대한 소프트웨어에서의 수정을 필요로 한다. 다중 기준점측위 방식에서는 중앙제어국 컴퓨터와 기준점이 모델을 이용하여 반 연속적으로 연결되어 있지만 네트워크 상대측위 방식에서는 기준점들과 중앙제어국 컴퓨터가 네트워크를 통하여 연속적으로 연결되어 있다는 점에서 다르다. 개별 기준점과의 거리가 40~50km 인 4개의 기준점을 이용하여 네트워크를 구성했을 때 동적 상대측위의 측위정확도는 ±2cm 정도이며 기준점과 이동국의 거리가 50km에서는 ±5cm이다(Retscher, 2002).

### 2.1.3 VRS(Virtual Reference Station) 네트워크 측위

가상기준국이라 불리는 VRS 네트워크 측위방식은 최초로 독일의 기준국망인 SAPOS의 한 부분으로 도입되었다. 이 VRS 네트워크 측위(VRS 측위)라는 이름은 존재하지 않는 기준점인 ‘가상(virtual)’ 기준점에서 존재하는 다중기준점에서의 실제 관측치들을 이용하여 관측이 이루어진다는 사실에 착안한 것이다. 가상기준국의 데이터는 네트워크내의 상시관측소 데이터를 통합하고 전리층 및 대류층의 효과 등에 의한 계통적 오차를 분리한 가상의 이동국의 위치에 대하여 보간을 통해 형성된다. 분리된 오차들은 가상기준국과 기준점 사이의 거리에 따라 가중치를 두어 보간함으로써 가상기준국에서의 보정치들 생성하게 된다.

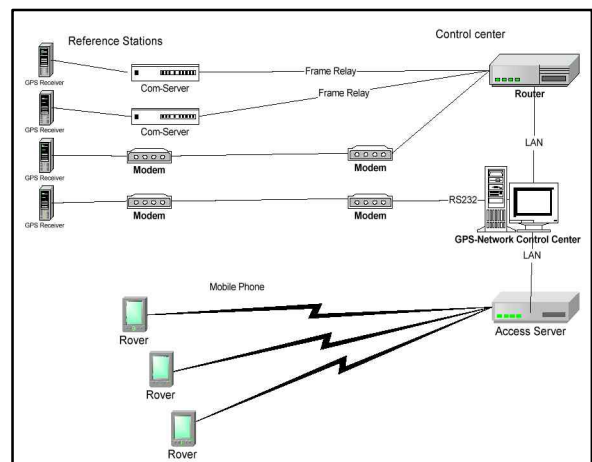


Figure 1. System architecture of the virtual reference station concept (Retscher, 2002)

Fig. 1은 VRS 네트워크 측위방식의 시스템 구조를 보여준다. 어떤 RTK GPS 이동국을 위한 가상기준국을 만들기 위해 사용자 수신기의 개략위치를 중앙제어국(central center)으로 송신한다. 이 때 양방향의 송신을 위한 송신장치가 필요한데 핸드폰(mobile phone)을 이용할 수 있다. 사용자 수신기의 위치는 주변의 기준국 관측치 데이터와 실시간 보정모델을 이용하여 중앙제어국에서 계산되며 RTCM형식으로 이동국으로 전송되고, 이동국에서는 표준 RTK GPS 알고리즘을 채용하여 정확한 위치를 얻게 된다.

### 3. 우리나라의 VRS 현황 및 VRS 측위관측

#### 3.1 우리나라의 VRS 현황

우리나라의 경우 국토지리정보원에서 2006년 10개의 GPS 상시관측소에 VRS시스템을 설치한 것을 시작으로 2007년 11월 21일부터 ‘실시간 정밀 GPS측량 서비스’란 이름으로 VRS 서비스를 실시하고 있다. 2013년 9월 현재는 ‘Network RTK 실시간 정밀 GNSS측량 서비스’란 이름으로 Fig. 2에서 보는 바와 같이 GPS기준점 서비스 사이트에서 51개의 상시관측소 네트워크를 기반으로 서비스하고 있으며 VRS 측위를 위한 서버(vrs3.ngii.go.kr)를 운영하고 있다(NGII, 2013).

상시관측소를 활용한 VRS측위는 Fig. 3과 같이 이루어지는데, Fig. 3에서 보는 바와 같이 관측자가 위치한 현재 이동국의 위치를 VRS서버로 전송하면 VRS 서버에서 이동국 인근에 가상기준점인 VRS를 생성하게 된다. 그러면 이동국은 마치 가까운 거리에 있는 기준국을 이용하는 것과 같이 VRS의 데이터를 전송받아 RTK측량을 수행하게 되는 것이다. 이러한 가상기준국의 VRS 측위방식은 기존의 RTK 방법에 비해 계통적인 오차의 영향을 감소시키고 넓은 측량 범위를 확보하며 높은 신뢰도와 정확도의 향상, 빠른 초기화 시간 등

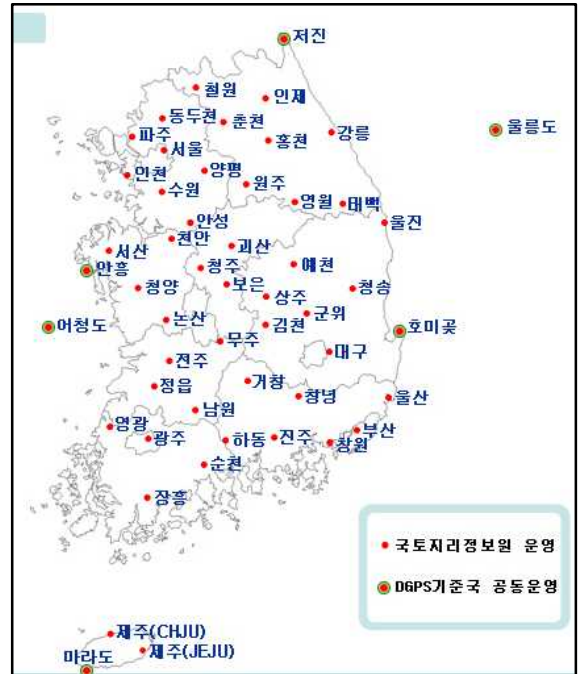


Figure 2. 51 CORS operated by NGII in Korea

을 가능하게 하는 이점이 있다. 현재 우리나라 GPS상시관측소 성과는 GRS80타원체를 기준으로 한 경위도 좌표와 ITRF2000좌표계(epoch 2002)를 기준으로 한 3차원 지심좌표를 제공하고 있다.

#### 3.2 연구대상지역의 VRS 측위관측

본 연구는 VRS 측위관측의 표고정확도를 분석하고자 하는 연구로 연구대상지역을 선정하고 직접 VRS 측위관측을 실시하였다. 연구대상지역은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 진주~산청~거창~합천 지역의 수준점 34점을 대상으로 하였으며, 1등 수준노선이 약 68km (18점), 2등 수준노선이 약 30km(16점)를 차지하고 있다.



Figure 3. Principle of the VRS survey ([http://gps.ngii.go.kr/vrs/gps\\_vrs.asp](http://gps.ngii.go.kr/vrs/gps_vrs.asp))

Table 1에서 보는 것과 같이 VRS 측위관측은 경남과학기술대학교(GNTECH)의 2012년 GNSS Campaign의 일환으로 2012년 10월 26일부터 10월 28일까지 실시되었으며 Trimble R8 GNSS VRS Rover를 이용하였다. Trimble R8 GNSS VRS Rover는 수신기와 안테나 및 데이터 링크 라디오를 일체화시킨 다채널 다주파수 수신기이다. 또한 Trimble R-Track 기술을 채용하고 있는데, Trimble R-Track 기술은 GLONASS L1/L2

신호뿐만 아니라 GPS L2C 및 L5 현대화 신호까지 수신 가능한 측량전문가용 수신기이다(Trimble, 2013).

VRS 측위관측은 Fig. 5와 같은 흐름도에 의하여 수행되었다. 먼저 1단계인 핸드폰 접속환경 설정(Setting of Cellular phone Connection Surroundings)에 있어서는 블루투스 선택, 핸드폰 기종선택 및 핸드폰 모델선택 과정을 거치게 된다. 2단계인 측량작업선택 단계(Selection of GNSS Work Style)에서는 작업스타일을 RTK로 설정하고 VRS와 FKP 작업모드를 선택할 수 있다. 아울러 로버 옵션을 선택한다. 3단계인 접속서버 연결(Connection to VRS Server)에서는 로버 라디오를 접속서버에 연결시켜 주어야 한다. VRS 측위의 경우 미리 등록된 사용자 아이디와 패스워드를 입력하고 IP 주소를 vrs3.ngii.go.kr로 IP 포트를 2101로 설정해 준다. 본 연구에서는 3단계를 VRS 측위로 설정하였다. 4단계인 GNSS 수신기 연결(Connection to GNSS Receiver)에서는 수신기 모델을 선택하고 수신기의 일련번호를 입력·확인한 후 수신기 블루투스 설정을 완료한다. 5단계인 측량작업 파일생성 단계(Creation of Survey Work File)는 수신기의 종류에 따라 순서가 달라질 수 있으며 새로운 작업을 생성하여 작업파일을 만드는 단계이다. 그리고 마지막 6단계에서는 측량작업을 수행(Accomplishment of VRS Survey)한다. 포인트 측정을 통해 포인트명과 코드명을 입력하고 방법선택, 안테나고 입력 단계 등을 거치게 된다. 미리 입력된 목표점의 좌표값을 가지고 포인트 측설의 기능을 수행할 수도 있다. 측량작업이 완료되면 작업파일을 엑셀 파일이나 그림호환용 파일(dxf)로도 전송할 수 있으며 수신기에 따라 여러 가지 부가기능을 가지고 있다. VRS 측위방

Table 1. GNTECH 2012 GNSS VRS Campaign

Division	Description	Remarks
Surveying period	Oct. 26~Oct. 28, 2012	GNTECH 2012 GNSS Campaign
GNSS receiver	Trimble R8 VRS Rover	
RTK precision	Horizontal: ±10mm+1ppm RMS Vertical: ±20mm+1ppm RMS	Trimble R8
Observed BenchMark & Distance	1st level BM 18station (Sancheong-Jinju,68km ) 2nd level BM 16station (Geochang-Sancheong, 30km)	

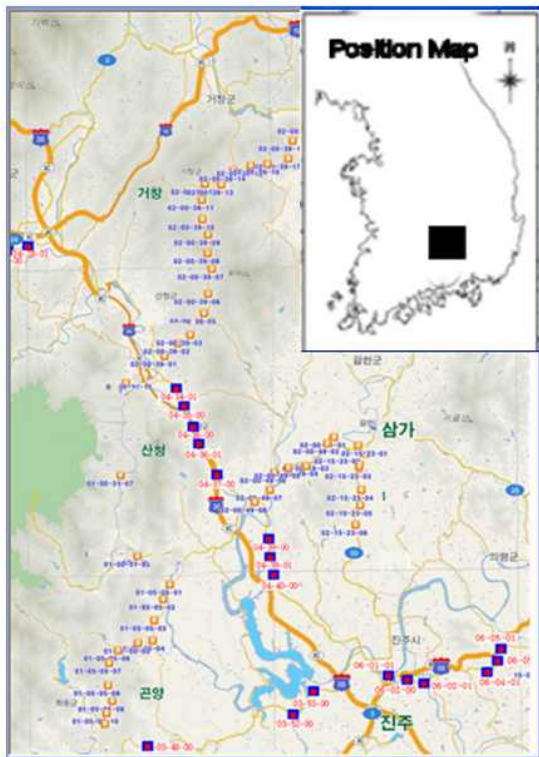


Figure 4. 1st and 2nd level BM line accomplished by GPS VRS

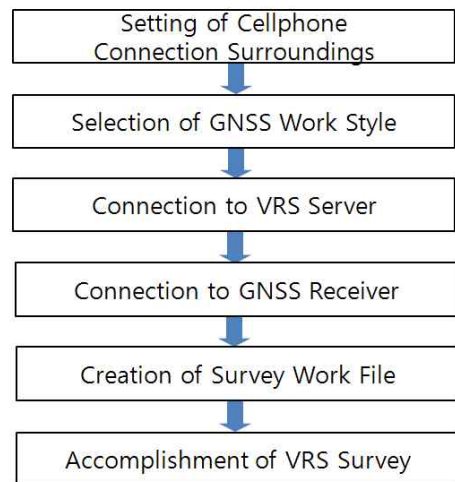


Figure 5. Flow diagram of the VRS field survey

법은 실시간에 기반을 둔 Network RTK 측위이기 때문에 별도의 데이터 처리과정을 거치지 않는다. 따라서 측량작업파일이나 변환된 엑셀 파일 또는 도면파일을 다운로드하여 측량목적에 맞게 결과물을 정리하면 된다.

#### 4. 정확도 분석 및 비교

##### 4.1 VRS 측위의 표고정확도 분석

본 연구는 네트워크 RTK에 기반한 VRS 측위관측의 표고정확도를 분석하기 위한 연구이다. 따라서 연구대상지역에서 1등 수준점 18점과 2등 수준점 16점을 대상으로 VRS 관측을 실시하였으며 그 결과를 국토지리정보원의 수준점 성과와 비교함으로써 정확도를 평가하였다. VRS 현장관측은 평면 및 표고좌표를 모두 취득하였으나 수준점에서는 표고성공만 제공되고 있으므로 표고정확도만 분석하였다.

정확도 분석결과는 Table 2와 같다. 1등 수준점에서의 평균오차의 크기는 2.15cm, 최대오차는 3.48cm로 나타났고 표준편차는 2.37cm로 나타났다. 2등 수준점에서는 평균오차가 1.80cm, 최대오차는 3.0cm로 나타났고 표준편차는 2.0cm로 나타났다. 한편 우리나라 ‘공공측량 작업규정’ 제27조에서는 공공수준점측량의 오차허용범위를 Table 3과 같이 규정하고 있다.

Table 2. Error description of the VRS height

Description	First level benchmark	Second level benchmark
Average error(cm)	2.15	1.8
Maximum error(cm)	3.48	3.0
Standard deviation(cm)	2.37	2.0

Table 3. Difference in the public BM leveling regulation

Classification	Difference of the round trip survey	Difference of the circle closing
1st Public BM Leveling	$2.5mm \sqrt{S}$	$2mm \sqrt{S}$
2nd Public BM Leveling	$5mm \sqrt{S}$	$5mm \sqrt{S}$
3rd Public BM Leveling	$10mm \sqrt{S}$	$10mm \sqrt{S}$
4th Public BM Leveling	$20mm \sqrt{S}$	$20mm \sqrt{S}$

Table 4. Difference calculation under the public BM leveling regulation

Classification	1 <sup>st</sup> BM line S=68km	2 <sup>nd</sup> BM line S=30km
1st Public BM Leveling	20.616mm	13.693mm
2nd Public BM Leveling	41.231mm	27.386mm
3rd Public BM Leveling	82.462mm	54.772mm
4th Public BM Leveling	164.924mm	109.544mm

본 연구에서 나타난 Table 3의 결과를 Table 4의 작업규정과 비교하기 위하여 VRS 현장관측결과와 수준점 성과와의 차이를 교차라 가정하고 왕복관측교차의 허용범위를 계산한 결과는 Table 4와 같다.

따라서 1등 수준노선 68km와 2등 수준노선 30km를 Table 4에 적용한 결과 VRS 표고측정의 오차는 2급 공공수준점측량과 3급 공공수준점측량 그리고 4급 공공수준점측량 규정을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 1급 공공수준점측량과 2급 공공수준점측량은 1,2등 수준측량과 오차허용범위를 똑같이 규정하고 있고 국가 수준점을 대상으로 하고 있기에 적용이 불가하다. 왜냐하면 1,2등 수준측량은 작업규정에서 레벨에 의한 직접수준측량만을 작업방식으로 인정하고 있기 때문이다. 따라서 VRS 표고측정은 3급 공공수준점측량과 4급 공공수준점측량에 적용가능함을 알 수 있다.

한편 대만에서는 Yeh et al.(2012)에 의하여 20개의 기준점에서의 VRS 측위결과를 바탕으로 좌표성분의 평균오차를 발표한 바 있는데 그 크기가 X좌표(North) 1.6cm, Y좌표(East) 1.3cm, Z좌표(Height) 4.1cm로 발표된 바 있어, 본 연구에서 취득한 표고정확도가 대만의 사례보다 더 좋은 결과를 나타내고 있다.

##### 4.2 VRS 측위의 정확도 개선방법

전통적인 RTK 측위방식에서는 이동국인 로버수신기를 설치할 때 수작업(handly method)에 의존하게 된다. 그러나 수작업에 의한 정준작업은 간이정준대를 이동국 폴에 설치하여 정준한다 하더라도 사람에 따라 편차량이 생길 수 밖에 없다. 아울러 이 움직임량이 표고정확도에도 영향을 끼칠 것이 분명하다. 따라서 본 연구에서는 이러한 수작업에 의한 흔들림량의 편차를 줄이기 위하여 간이 삼각대(tripod method)를 설치하고 VRS 관측을 재차 실시하였다. 따라서 그 차이를 분석함으로써 정확도 개선효과를 파악하고자 하였다. 두 방

법에 의한 관측결과를 비교·정리한 것은 Table 5와 같다. 여기서, Tripod method는 간이삼각대에 의한 수신기 고정방식을 의미하며, Handy method는 기존의 수작업에 의한 수신기 고정방식을 의미한다. 또한 Difference(VRS1- VRS2)는 간이삼각대에 의한 수신기 고정방식 결과에서 수작업에 의한 수신기 고정방식 결과를 뺀 교차의 표준편차를 의미한다.

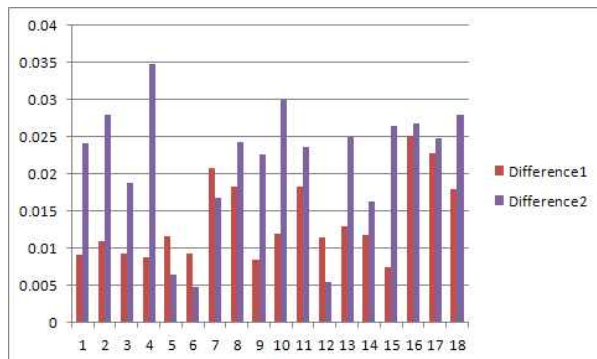
Table 5에서 보는 것과 같이 측정정확도(평균오차)가 Tripod method(VRS1)에서는 1등 수준점의 경우 1.37cm,

Table 5. Accuracy and precision analyses of the VRS surveying

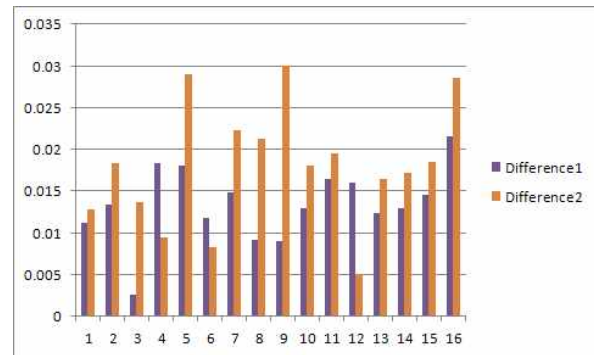
Class	Tripod method (VRS1)	Handy method (VRS2)	Difference (VRS1- VRS2)
First level benchmark			
Average error(cm)	1.37	2.15	-
Maximum error(cm)	2.52	3.48	-
Standard deviation(cm)	1.35	2.37	2.33
Second level benchmark			
Average error(cm)	1.34	1.80	-
Maximum error(cm)	2.16	3.0	-
Standard deviation(cm)	1.39	2.0	1.95

2등 수준점의 경우 1.34cm로 비슷하게 나타났으며, Handy method(VRS2)의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 측정정확도(평균오차)는 1등 수준점의 경우 2.15cm, 2등 수준점의 경우 1.80cm로 나타났다. 이를 각 수준점별로 정확도의 차이를 그림으로 나타내면 Fig. 6과 같다. 여기서 Difference 1은 국토지리정보원 수준점 성과와 간이삼각대(tripod method)에 의한 결과와의 차이를 의미하며, Difference 2는 국토지리정보원 수준점 성과와 수작업(handy method)에 의한 결과와의 차이를 의미한다. 이 그림에서는 정확도를 나타내기 위하여 교차의 절대값을 사용하였다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 VRS측량 결과와 국토지리정보원 성과와의 차이가 1등 수준점에서는 모두 3.5cm의 범위에 들어 있고, 2등 수준점에서는 3.0cm의 범위 안에 들어 있다. 또한 1, 2등 수준점 모두에서 Difference1보다 Difference2의 값이 일부 점을 제외하고 대부분 크게 나타나고 있다. 이는 지금까지 우리가 실시해 왔던 수작업에 의한 GPS 측량보다 삼각대에 의하여 고정시킨 경우의 GPS 측량방식이 당연히 정확도가 높다는 것을 확인할 수 있었다. 아울러 추후 VRS 측량 작업규정 등에 이를 활용한다면 VRS 측위관측에

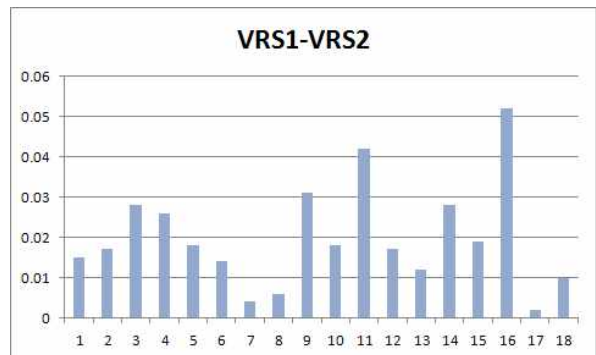


(a) 1<sup>st</sup> level BenchMark

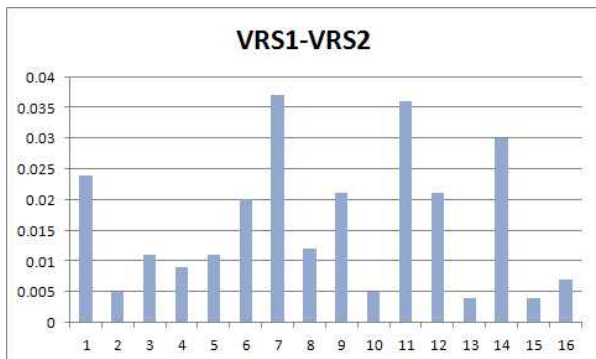


(b) 2<sup>nd</sup> level BenchMark

Figure 6. Absolute value of the difference



(a) 1<sup>st</sup> level BenchMark



(b) 2<sup>nd</sup> level BenchMark

Figure 7. Difference between tripod method and handy method

있어서 보다 좋은 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

아울러 간이삼각대 결과와 수작업(handy method) 결과를 직접 비교하여 보았으며, 두 방식에 의한 표고값의 교차를 각 수준점 별로 그림으로 나타내면 Fig. 7과 같다. 두 방식을 비교한 교차의 표준편차는 Table 3에서 보는 것과 같이 1등 수준점에서  $\pm 2.33\text{cm}$ , 2등 수준점에서  $\pm 1.95\text{cm}$ 로 나타났다.

## 5. 결 론

전통적으로 우리가 실시해 왔던 기존의 RTK 측량방식의 한계를 극복하고자 VRS 측위방식과 같은 네트워크 RTK 측량방식이 개발되었고 우리나라에서도 상시 관측소의 우수한 배점밀도와 우수한 모바일 인터넷 서비스망을 기반으로 서비스되고 있다. 본 연구는 이러한 네트워크 RTK VRS 측위방식의 표고정확도를 확인하고자 한 연구로, 산청~진주지역의 1등 수준노선 68km와 거창~산청지역의 2등 수준노선 30km에 대하여 직접 VRS 현장관측을 실시하고 그 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 국토지리정보원의 수준점 성과를 참값으로 보고 평균오차를 통하여 산출한 표고정확도는 1등 수준점에서의 2.15cm, 2등 수준점에서 1.80cm로 나타났다.

둘째, VRS 측위관측의 정확도 개선효과를 알아보기 위하여 간이삼각대에 의한 관측을 동일한 기준점에 대하여 실시한 결과 1등수준점에서는 정확도가 2.15cm에서 1.37cm로 약 36% 개선되는 것을 알 수 있었고, 2등 수준점에서는 1.80cm에서 1.34cm로 약 25% 개선되는 것을 알 수 있었다. 이는 간이삼각대로 VRS 이동국 안테나를 고정시킬 경우 보다 정확한 관측결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 본 연구의 결과를 공공수준점측량 작업규정에 비추어 보았을 때 3,4등 공공수준점측량에 적용가능함을 알 수 있었다. 따라서 현장에서 직접적으로 활용되고 있는 VRS 표고결정에 대한 작업규정을 명문화한다면 그 활용분야를 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 경남과학기술대학교 2012 기성회 연구지원에 의하여 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

## References

1. Choi, B. and Lim S., 2004, Study on the improvement of the positioning accuracy for inverted RTK using FARA, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 22, No. 3, pp. 217-223.
2. Choi, Y., Bae T., Lee, J. and Kwon, J., 2007, The optimized integration of single-baseline GPS solutions for network based kinematic positioning, Korean Journal of Geomatics, Vol. 25, No. 3, pp. 207-213.
3. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Suh, Y., 2009, GPS Theory and application(5th edition), SigmaPress, Seoul, pp. 228-242.
4. Jang S., Kim J., Jeong G., 2009, Accuracy Evaluation of Boundary corner point using VRS GPSS, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 17, No. 1, pp. 37-42.
5. Jeong W. and Lee Y., 2007, Determination of Orthometric Heights by GPS Levelling in Public Surveying, 37th Korean Society of Civil Engineers Conference, Vol D, pp. 3590-3594.
6. 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, Korean Journal of Geomatics, Vol. 26, No. 2, pp. 139-147.
7. Lee, H., Park J. and Lim, S., 2005, Error assessment of altitude determination using wireless internet-based DGPS, Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, Vol. 23, No. 2, pp. 101-108.
8. Lee J., Kim, Y. and Lee I., 2012, An accuracy evaluation of algorithm for shorlinr change by using RTK-GPS, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 32, No. 1D, pp. 81-88.
9. Lee, S. and Choi, B., 2007, Hydrographic surveying in river by RTK-GPS, Korean Journal of Geomatics, Vol. 25, No. 3, pp. 267-275.
10. Lee, Y., 2003, A Study on the Precise Differential GPS Positioning by GPS Permanent Reference Station Network, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 23, No. 6D, pp. 891-900.
11. NGII, 2003, A study on introduction of the virtual reference system, NGII, pp. 36-54.
12. NGII, 2011, Public Surveying Work Regulation(NGII,



- 2011-605), NGII, Article 27.
13. NGII, 2013, NGII CORS, <http://gps.ngii.go.kr> (last date accessed : 21 September, 2013).
  14. Retscher G., 2002, Accuracy Performance of Virtual Reference Station(VRS) Networks, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol.1, No.1, pp. 40-47.
  15. Trimble, 2013, Trimble R8 GNSS Datasheet, <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-140079>/(last date accessed : 15 May, 2013).
  16. Yeh T., Chao B., Chen C. and Lee Z., 2012, Performance improvement of network based RTK GPSS positioning in Taiwan, *Survey Review*, Vol. 44, No. 324, pp. 3-8.