

국토지리정보원 VRS RTK 기준망 내부 측점 측량 정확도 평가 Accuracy Evaluation of VRS RTK Surveys Inside the GPS CORS Network Operated by National Geographic Information Institute

김혜인¹⁾ · 유기석²⁾ · 박관동³⁾ · 하지현⁴⁾

Kim, Hye In · Yu, Gi Sug · Park, Kwan Dong · Ha, Ji Hyun

Abstract

The positioning accuracies tend to deteriorate as the distance between the rover and the reference station increases in the Real-Time Kinematic (RTK) surveys using Global Positioning System (GPS). To solve this problem, the National Geographic Information Institute (NGII) of Korea has installed Virtual Reference System (VRS), which is one of the network-based RTK systems. In this study, we conducted the accuracy tests of the VRS-RTK surveys. We surveyed 50 control points inside the NGII's GPS Continuously Operating Reference Stations (CORS) network using the VRS-RTK system, and compared the results with the published coordinates to verify the positioning accuracies. We also conducted the general RTK surveys at the same control points. The results showed that the positioning accuracy of the VRS-RTK was comparable to that of the general RTK, because the horizontal positioning accuracy was 3.1 cm while that of general RTK was 2.0 cm. Also the vertical positioning accuracy of VRS-RTK was 6.8 cm.

Keywords : GPS, RTK, VRS, Network RTK, GPS Survey

초 록

GPS를 이용한 RTK(Real Time Kinematic) 측량의 경우 기준국으로부터 거리가 멀어짐에 따라 측위오차가 증가하는 문제점이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국토지리정보원은 네트워크 RTK의 일종인 VRS(Virtual Reference System) RTK 시스템을 구축하였다. 이 연구에서는 국토지리정보원에서 구축한 VRS RTK 시스템을 이용한 측량 정확도를 평가하였다. VRS 기준망 내부에 위치한 3등 기준점 50개소를 대상으로 VRS RTK 측량을 실시하고 그 결과를 3등 기준점 고시성과와 비교하는 방식으로 측위 정확도를 검증하였다. 또한 VRS RTK 측량과 동시에 단일 기준국을 이용한 일반 RTK 측량을 실시한 뒤 두 RTK 측량 방식의 측위오차를 비교하였다. 그 결과, VRS RTK 측량의 수평방향 평균제곱근오차는 평균 3.1cm, 일반 RTK 측량의 수평방향 평균제곱근오차는 평균 2.0cm로 1cm 정도의 편차만을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. VRS RTK 측량의 수직방향 평균제곱근오차는 평균 6.8cm로 수평방향보다 크게 나타났다.

핵심어 : GPS, RTK, VRS, 네트워크 RTK, GPS 측량

1. 서 론

GPS(Global Positioning System)를 이용한 단일 기준국 기반의 실시간 이동측위(RTK; Real Time Kinematic)란 이

동국(rover)이 해당 기준국에서 전송된 반송파 위상 보정치를 수신하고 이를 이동국에서의 GPS 관측치와 조합하여 실시간으로 대략 1-3cm 정확도의 측위결과를 얻는 측량 방식이다. RTK 측량은 광범위한 측량지역의 정밀좌표를 신

1) 정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 지리정보공학과 석사과정(E-mail:hikim@inha.ac.kr)
2) 정회원·(주)신한항업 측량팀/차장(E-mail:lyul033@naver.com)
3) 연결저자·정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 지리정보공학과 조교수(E-mail:kdpark@inha.ac.kr)
4) 정회원·인하대학교 사회기반시스템공학부 지리정보공학과 박사과정(E-mail:hajh@inha.ac.kr)

속하게 획득할 수 있기 때문에 활용범위가 매우 넓다. 그러나 기준국과 이동국간의 거리가 멀어질수록 전리층과 대류권 등에 의한 측위오차가 증가하기 때문에 정확도가 저하되는 문제점이 있다(Wanninger, 2003; Wanninger, 2006).

네트워크 RTK 시스템은 기선거리가 증가함에 따라 오차가 증가하는 RTK 측량의 문제점을 보완하기 위해 개발된 측위방식이다. 네트워크 RTK 시스템의 원리는 여러 개의 기준국 관측데이터를 이용하여 이동국 근처에 가상으로 기준국을 만든 후, 가상기준국 데이터와 보정정보를 이동국에 전송하는 것이다(국토지리정보원, 2007). 이동국에서는 전송받은 보정 정보를 이용하여 기준국으로부터 거리가 멀어지더라도 단거리 측량과 동일한 수준의 높은 정확도의 측위결과를 얻을 수 있다. 현재까지 개발된 네트워크 RTK 시스템은 MultiRef, FKP(Flachen Korrektur Parameter), VRS(Virtual Reference Station) 등이 있다(국토지리정보원, 2003; 최운수 등, 2004).

네트워크 RTK 방식에 대한 다양한 연구를 통해 효용성이 입증됨에 따라 독일, 캐나다, 일본, 미국, 호주, 싱가포르, 영국, 스웨덴 등 세계 각국에서는 GPS 상시관측망을 활용한 네트워크 RTK 서비스를 국가전체 규모 혹은 지역 단위로 제공하고 있다(이용창, 2003). 특히 독일에서는 약 150개소의 상시관측소를 활용한 다양한 종류의 DGPS/RTK 서비스를 VRS 방식에 기초하여 SAPOS의 일환으로 제공하고 있다(국토지리정보원, 2003; SAPOS). 그리고 일본의 경우 약 1,200개소의 상시관측소에 VRS 시스템을 적용하여 일본 전역을 대상으로 VRS 서비스를 제공 중이다(국토지리정보원, 2003; JENOB). 국내에서는 현재 약 80개소의 GPS 상시관측소가 6개 기관에 의해 운영되고 있으며, 이 중 국토지리정보원은 VRS 시스템을 구축하여 2007년부터 서비스를 제공하고 있다(국토지리정보원, 2007).

국내의 경우 VRS 시스템의 국외 운영 사례 조사와 도입 방안 연구가 선행된 바 있다(국토지리정보원, 2003; 최운수 등, 2004). 또한 VRS 시스템의 효용성 평가를 위해 외국에서 운용중인 상시관측망의 자료를 활용한 연구들이 진행되었다. 이용창(2003)은 독일의 GPS 기준망을 이용하여 후처리 방식으로 가상관측값을 산출하였으며, 국토지리정보원(2003)은 독일의 기준망 데이터를 이용한 VRS 가상 테스트를 실시하였다. 이 밖에도 박운용 등(2003)은 국내에 임의의 가상기준점을 만들어 VRS RTK 측량을 실시하고, 그 결과와 기존 삼각점으로 이루어진 삼각망 및 GPS 상시관측소로 구성된 삼각망을 이용한 RTK 측량 결과를 비교하여 정확도를 평가하였다. 이용창(2004)은 VRS 기준망 내외에 다양한 조건의 가상기준점들을 만들어 가상기준점 자료의 정확도를 검증하였다.

VRS 시스템을 구축하기 전까지 국내에서 진행된 연구는 불가피하게 국외 데이터를 사용할 수밖에 없었지만, 현재 국토지리정보원의 VRS 시스템이 구축되었기 때문에 국내 데이터를 사용한 정확도 평가가 반드시 필요하다. 이 연구에서는 국토지리정보원의 VRS 시스템 구축 현황을 소개하고, VRS 기준망 내부 50개 지점에서 VRS RTK 측량을 실시한 결과를 측량 정확도 측면에서 다양하게 분석하였다. 또한 VRS RTK 측량 결과를 일반 RTK 측량 결과와 비교하여 그 효용성을 평가하였다.

2. 국토지리정보원 VRS 시스템

국토지리정보원은 1995년 수원 GPS 상시관측소를 시작으로 현재 총 14개소의 GPS 상시관측소를 운영하고 있다. 이들 관측소는 무인으로 운영되며, 수원 상시관측소를 제외하고 모두 장비 수납형 안테나 필라 형태로 구성되어 있다. 수신기와 안테나 기종은 14개 관측소 모두 동일한

표 1. 국토지리정보원 GPS 상시관측소 명칭 및 소재지

No	명칭		소재지	No	명칭		소재지
	영문	국문			영문	국문	
1	CHJU	제주	제주기상청	8	SNJU	상주	상주대학교
2	CNJU	청주	충북대학교	9	SOUL	서울	서울산업대학교
3	JINJ	진주	진주상수도사업소	10	SUWN	수원	국토지리정보원
4	JUNJ	전주	전북대학교	11	TABK	태백	강원관광대학
5	KANR	강릉	강릉대학교	12	TEGN	대구	경일대학교
6	KWNJ	광주	전남대학교	13	WNJU	원주	원주기상대
7	SEOS	서산	서산기상대	14	WULJ	울진	울진기상대

장비를 사용하고 있는데, 수신기는 Trimble NetRS이고 안테나는 Trimble 29659.00 초크링이다(국토지리정보원, 2007). 표 1은 국토지리정보원의 14개 상시관측소 현황을 보여주고 있다.

국토지리정보원은 2006년부터 14개의 GPS 상시관측소 중 서산, 광주, 진주, 제주를 제외한 10개를 대상으로 VRS 시스템을 우선적으로 설치하였으며, 2007년 나머지 네 개 관측소에도 VRS 시스템을 구축하였다. 그리고 2007년 11월 21일부터 '실시간 정밀 GPS 측량 서비스'라는 이름으로 그 서비스가 본격적으로 개시되었다. 이에 대한 자세한 사항과 장비별 사용법은 국토지리정보원 홈페이지에서 찾을 수 있다(<http://www.ngii.go.kr/>).

국토지리정보원의 VRS 시스템은 중앙 제어국 부문, GPS 상시관측소 부문, 이동국 부문으로 구성되며 각각의 세부 구성은 다음과 같다. 중앙 제어국의 구성은 하드웨어 부문과 소프트웨어 부문으로 나눌 수 있다. 하드웨어 부문은 RTKNet 서버 1대, GPStream 서버 1대로 구성되어 있으며, 소프트웨어 부문은 Trimble VRS 소프트웨어와 홈페이지 서비스를 위한 Apache 소프트웨어, 그리고 데이터베이스 관리를 위한 MS Access로 이루어져 있다. 이 중 Trimble VRS 소프트웨어로는 GPSNet, GPStream, 그리고 GPSTServer가 있다. 중앙 제어국에서 실행되는 GPSNet은 기준망 내의 모든 수신기에 연결되어 관측데이터의 실시간 수집, RINEX 파일 생성, 안테나 위상중심변동 보정, 시스템 오차 계산, 보정 데이터 생성, 가상 기준국에 대한 RTCM 데이터 스트림의 생성, 그리고 이동국으로의 RTCM 데이터 전송 등의 기능을 수행한다. 각 GPS 상시관측소는 수신기와 안테나, 그리고 전원 공급 장치를 갖추고 있으며, 중앙 제어국과 네트워크를 통해 연결되어 있다. 이동국에서는 VRS 측량이 가능한 수신기와 중앙 제어국과의 통신이 가능한 CDMA 휴대전화를 소지하고 있어야 한다. 수신기에 컨트롤러, 휴대전화, GPS 안테나를 연결하고 휴대전화를 매체로 중앙 제어국에 접속한다. 접속이 되면 이동국은 자신의 대략적인 위치를 GPSNet이 작동하고 있는 중앙 제어국의 컴퓨터로 전송하는데 이 때 휴대전화를 이용해서 NMEA GGA 메시지를 전송하게 된다. 중앙 제어국에서는 그 위치 정보를 받아서 RTCM 보정 데이터를 이동국으로 전송한다.

3. VRS RTK 정확도 평가 방법

이 연구에서는 국토지리정보원의 VRS 기준망 내부의

지점에 대한 정확도 평가를 위하여 검사점 선정, 검사점에 대한 VRS RTK 측량 및 일반 RTK 측량 실시, 그리고 정확도 평가의 순서로 진행하였다.

3.1 검사점 선정

VRS RTK 측량의 정확도 평가를 위해 총 50개의 검사점을 선정하였다. 50개의 검사점은 3등 기준점을 대상으로 선정하였으며, 검사점의 배치는 그림 1과 같이 기선거리를 서로 다르게 배치되되, 최초 10km부터 시작하여 10km씩 기선거리를 증가시켜가며 배치하였다. 이렇게 선정된 전체 50개 검사점의 관측망도를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 삼각망의 13개 모서리에 사각형으로 표시한 점들

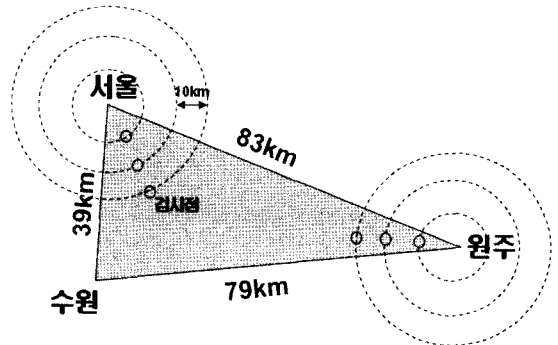


그림 1. VRS RTK 기준망 내부 검사점 배치 방법

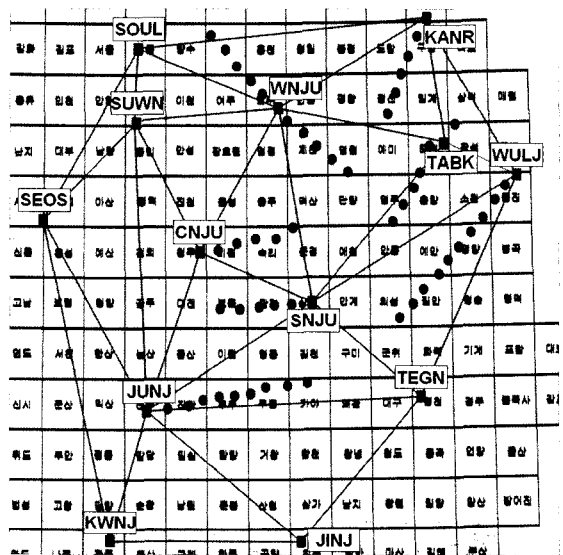


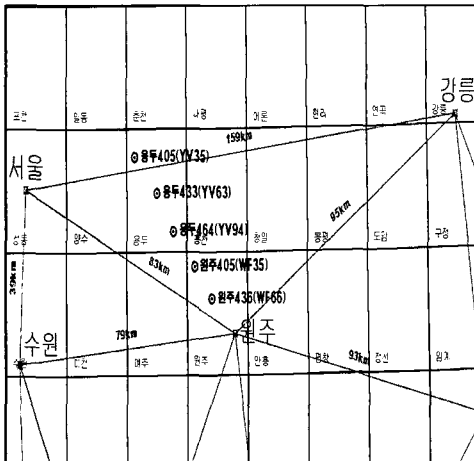
그림 2. VRS RTK 기준망 내부 측정 정확도 평가를 위한 50개 검사점

이 VRS 시스템이 구축된 기준국이며, 원으로 표시한 점들은 측량을 실시한 50개 검사점이다.

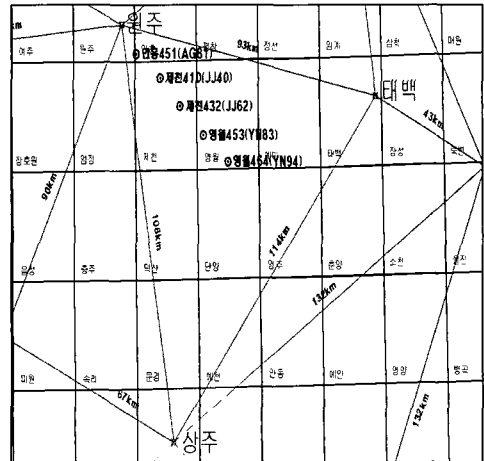
3.2 검사점 측량

선정된 50개의 검사점에 대해 VRS RTK 측량과 일반 RTK 측량을 실시하였다. 측량에는 Trimble 5700 수신기 3대와 Trimble R8 수신기 1대를 사용하였으며, 중앙 제어국과의 통신을 위해 SK 통신 CDMA 휴대전화를 사용하였다. Trimble 5700 수신기와 Trimble R8 수신기는 이중 주파수 수신기가 가능한 장비이며 컨트롤러로 수신기를 제어할 수 있다. 이 연구에서는 TSCe와 TSC2 컨트롤러를 사용하였다. 특히 Trimble R8 수신기는 안테나 일체

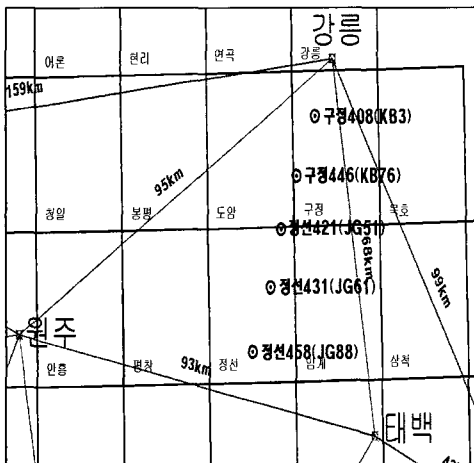
형으로 블루투스 기능을 지원한다. 이 연구에서는 1초 간격으로 15초 동안 관측한 결과를 1회 관측으로 정의하고 아래와 같은 방법으로 6회 측량을 실시하였다. 각 검사점에서의 측량이 시작되면 연속적으로 3회 관측을 실시한다. 그리고 3회 관측이 끝난 뒤 45분이 경과하도록 기다린 다음 다시 3회 관측하여 총 6회 관측하였다. 그리고 6회 관측한 결과를 산술평균하여 최종 측량 성과로 결정하였다. 관측 방법은 VRS RTK 측량과 일반 RTK 측량 두 경우 모두 위에서 기술한 방식으로 동일하게 적용하였다. 결정된 50개 검사점의 측량 성과는 편의상 근접한 상시 관측소에 따라 평균 5개 검사점을 1개의 블록으로 분류하여 총 10개의 블록으로 정리하였으며, 각 검사점은



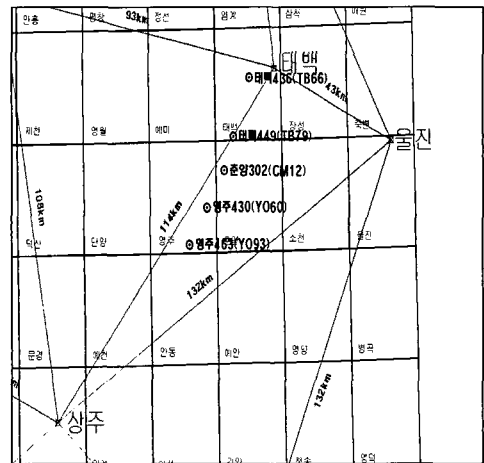
블록 1



블록 2

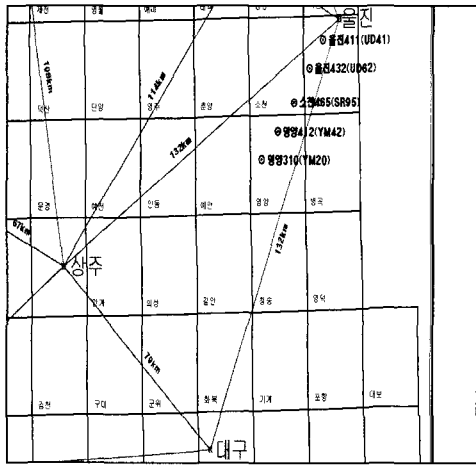


블록 3

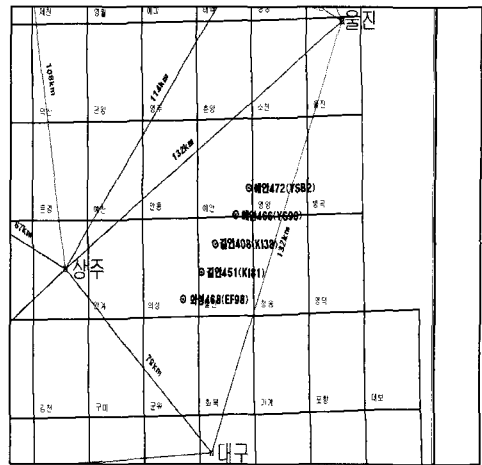


블록 4

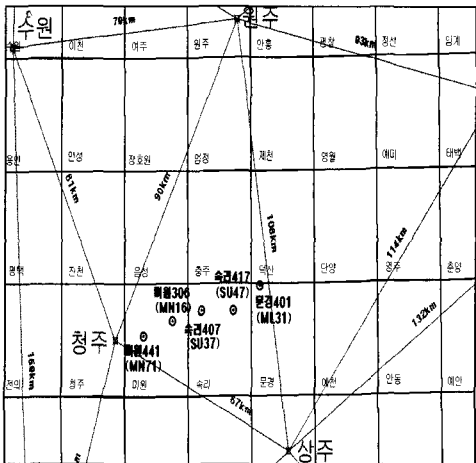
그림 3. 블록별 검사점 배치



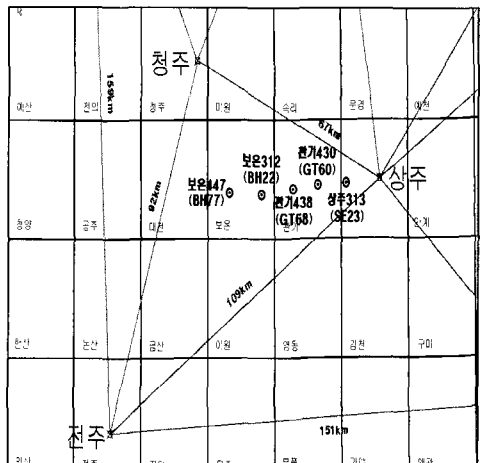
블록 5



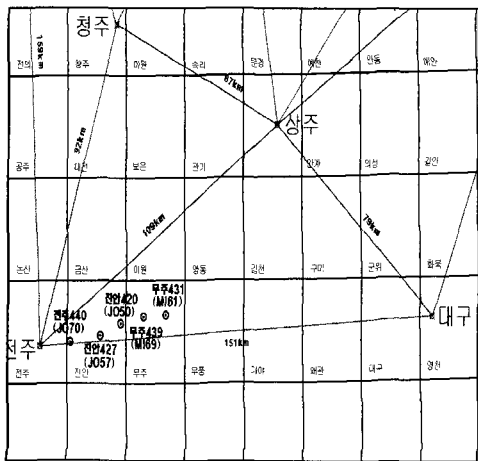
블록 6



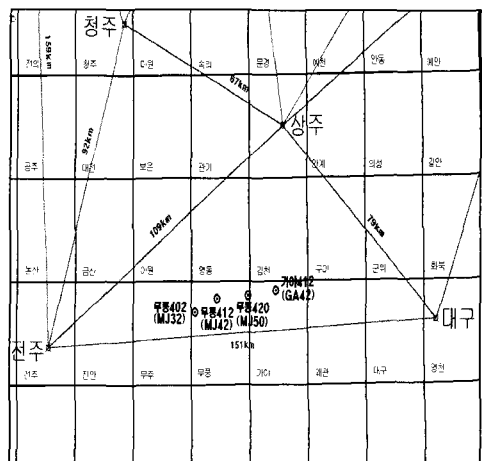
블록 7



블록 8



블록 9



블록 10

그림 3. 블록별 검사점 배치 (계속)

국토지리정보원에서 공시한 RINEX 도엽 코드(삼각점)에 따라 명명하였다. 분류된 블록은 그림 3과 같다. 그림 3에서 삼각형의 각 모서리는 VRS 시스템이 구축된 상시 관측소를 나타내며 원으로 표기된 곳은 측량을 실시한 측점을 나타낸다. 관측소간의 거리는 삼각형 변에 나타내었다.

측량이 진행되는 동안 관측 가능한 위성의 대수는 VRS RTK 측량과 일반 RTK 측량의 경우 각각 평균 5.5대와 5.8대였으며, 상대 정밀도 저하율(Relative Dilution of Precision, RDOP)은 각각 2.4와 2.2로 양호했다. 다만 VRS RTK 측량시 기선거리가 약 50km 이상이 되면 초기화가 이루어지지 않거나, 도중에 데이터가 유실되는 등 관측이 원활하게 이루어지지 않는 경우가 발생하였다. 일반 RTK 측량의 경우에는 시스템상의 설정으로 인해 기선거리 50km 이상인 경우에는 측량을 실시할 수 없었다.

3.3 정확도 평가

VRS RTK 측량의 정확도 평가는 3등 기준점 고시성과를 참값으로 간주하고, 측량 결과 좌표값을 고시성과와 비교하는 방법으로 수행하였다. VRS RTK 측량 결과는 WGS84(World Geodetic System 1984) X, Y, Z 좌표와 GRS80(Geodetic Reference System 1980) 타원체 위경도와 타원체고, 그리고 TM(Transverse Mercator) 평면직각 좌표로 각각 얻을 수 있다. 이 연구에서는 3등 기준점 고시좌표와 측량 결과의 TM 좌표 비교를 통해 정확도 평가를 수행하였다. 즉, TM 좌표계 상에서 두 좌표 값의 차이를 계산하고, 이를 이용하여 도출된 수평방향 평균제곱근오차를 정확도 평가의 지표로 사용하였다. 또한 50개 검사점에 대한 타원체고 값을 3등 기준점 타원체고 값과 비교하여 수직방향 평균제곱근오차를 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

VRS RTK 측량의 블록별 수평방향 평균제곱근오차는 그림 4에, 그리고 일반 RTK 측량의 블록별 수평방향 평균제곱근오차는 그림 5에 나타내었다. 두 그림에서 가로축은 구역별 측량지점을 의미하며, 세로축은 수평방향 평균제곱근오차를 cm 단위로 나타내었다. 블록 4에 영주 463(YO93)의 경우 오차가 14.5cm로 다른 검사점에 비해 매우 크게 나타났기 때문에, 해당 수치를 그림에 별도로 표기하였다(그림 4). 그림 5의 일반 RTK 측량결과에서 데이터가 없는 검사점은 기선거리가 50km 이상인 지점

으로 수신기 시스템 설정으로 인해 측량이 불가능했던 곳이다.

그림 6은 VRS RTK 측량 결과 산출된 타원체고의 평균제곱근오차를 보여주고 있는데, 특정 블록과 검사점을 제외하면 대체적으로 10cm 이하로 나타남을 알 수 있다. 수평방향과 마찬가지로 블록 4 영주463(YO93)의 경우 오차가 34.3cm로 다른 검사점에 비해 크게 나타났으며 블록 7의 문경401(ML31)도 오차가 비교적 크게 발생하

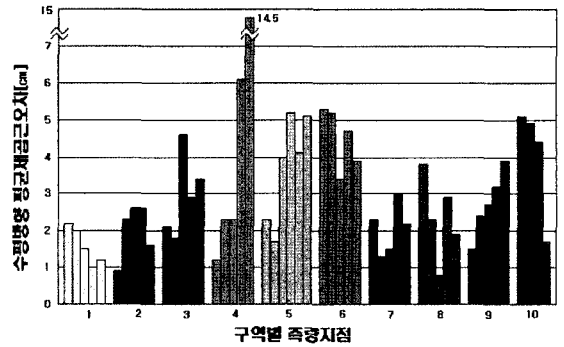


그림 4. VRS RTK 수평방향 평균제곱근오차

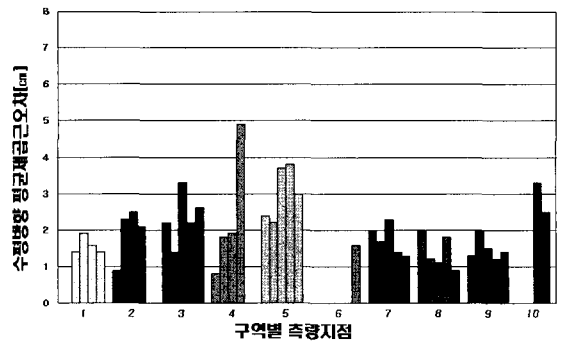


그림 5. 일반 RTK 수평방향 평균제곱근오차

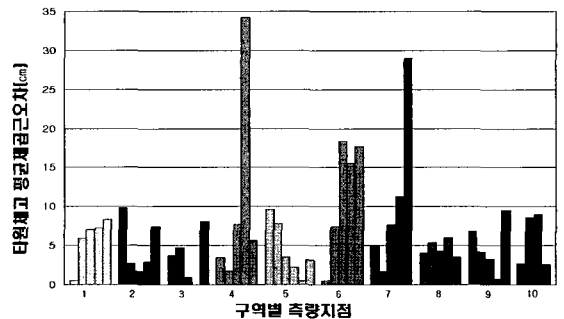


그림 6. VRS RTK 측량의 타원체고 평균제곱근오차

였다.

측량방식에 따라 오차의 평균치를 계산한 결과, 일반 RTK 측량은 수평방향 2.0cm, VRS RTK 측량의 경우는 수평방향 3.1cm, 수직방향 6.8cm로 나타났다. 그림 4와 5에서 각 검사점마다 나타난 수평방향 측위오차를 10개 블록별로 평균치를 구하여 그림 7에 나타내었다. 블록 1, 2, 7의 경우 오차가 평균에 비해 낮게 나타났으며 블록 4, 5, 6, 10의 경우 오차가 상대적으로 높게 나타났다. 이는 삼각망의 크기와 기하학적 형상, 그리고 관측환경 등의 영향인 것으로 판단된다. 그림 2와 3에 나타난 관측망도에서 확인할 수 있듯이 오차가 낮게 나타난 블록은 삼각망이 비교적 작고 기하학적으로 정삼각형에 가까운 것을 알 수 있다. 삼각망을 구성하는 기준국이 한쪽 방향으로 치우치지 않고 비교적 고르게 배치되어 있기 때문에 정확한 보정정보를 생성할 수 있었던 것으로 판단된다.

앞서 언급한 삼각망의 크기와 기하학적 형상, 그리고 관측환경의 영향 이외에도 기선거리의 영향과 초기화 소요시간에 대해서도 분석하였다. 먼저 기선거리와 측위오차의 상관관계를 그림 8과 9에 나타내었다. 그림 8(상)은 VRS RTK 측량의 수평방향 평균제곱근오차를, 그림 8(하)는 일반 RTK 측량의 수평방향 평균제곱근오차를 나타내며, 그림 9는 VRS RTK 측량의 수직방향 평균제곱근오차를 나타낸다. 그림 8, 9에서 가로축은 기선거리를 의미하며, 세로축은 오차를 cm 단위로 나타낸 것이다. 그림 8이 보여주는 수평방향 분석에서 일반 RTK의 기선 거리에 따른 측위오차의 상관계수가 0.23인데 반해, VRS RTK의 경우 상관계수는 0.63으로 기선 거리에 따른 측위 오차의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 그러나 수직방향

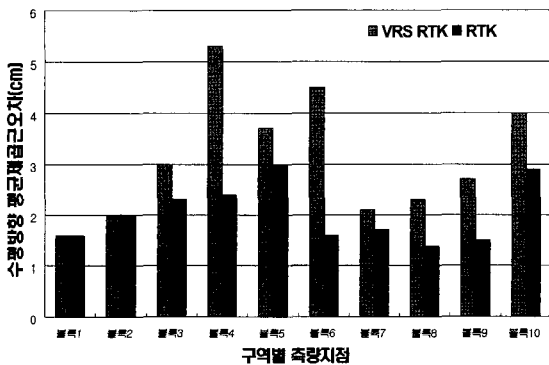


그림 7. VRS RTK와 일반 RTK 측량의 수평방향 평균제곱근 오차 비교

의 경우 상관계수가 0.19로 상관성이 매우 낮았다(그림 9).

한편, 검사점 측량시 기선 거리에 따라 초기화 시간에도 변동이 생기는 현상이 나타났으며 이를 검증하기 위하여 기선거리와 초기화 소요시간 사이의 상관관계를 분석하였다. 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 10의 가로축은 기선거리이며, 세로축은 초기화 시간을 초 단위로 나타낸 것이다. 그림 8과 마찬가지로, 그림 10(상)은 VRS RTK 결과를, 그림 10(하)는 일반 RTK 결과를 의미한다. 그림 10을 보면, 일반 RTK의 경우 기선 거리에 따른 초기화 소요시간의 상관계수가 0.36인데 반해 VRS RTK의 경우 0.54로 기선 거리에 따른 초기화 소요시간의 상관성이 비교적 높은 것을 확인할 수 있다. 즉, 그림 8과 그림 10의 분석을 통해 기선거리가 50km 이상인 경우에서 비

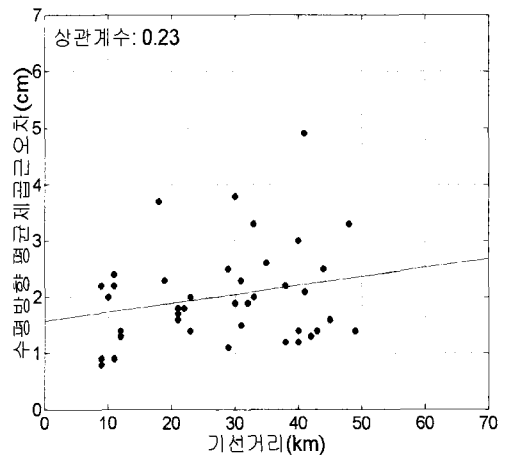
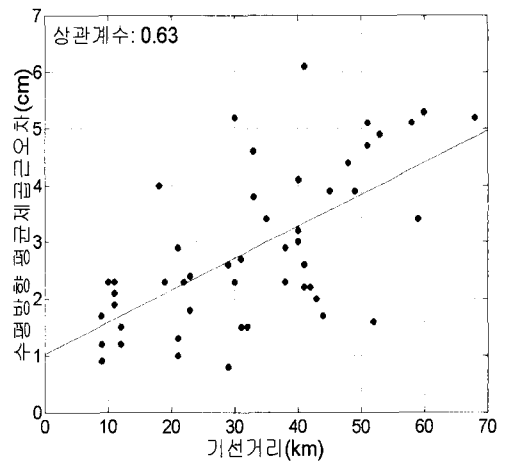


그림 8. 기선거리별 수평방향 평균제곱근오차(상: VRS RTK, 하: 일반 RTK)

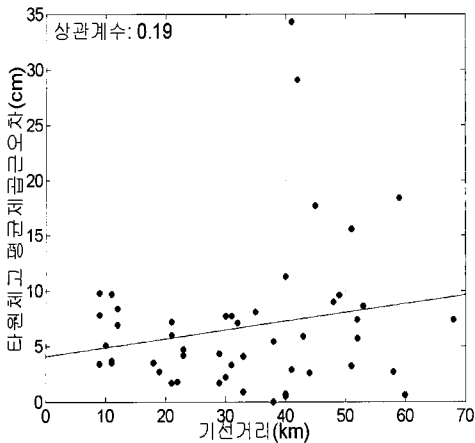


그림 9. VRS RTK 측량의 기선거리별 타원체고 평균제곱근 오차

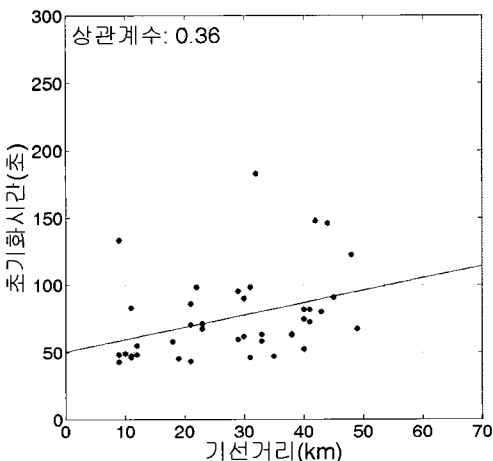
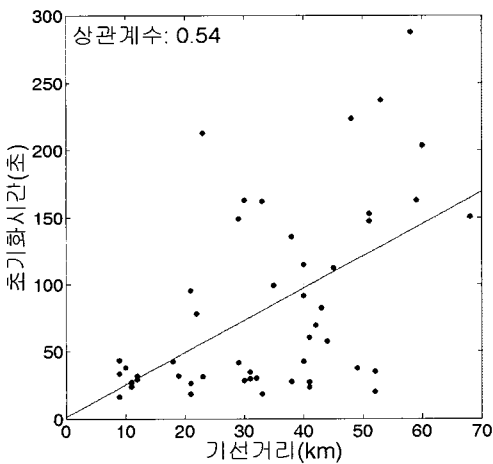


그림 10. 기선거리별 초기화 소요 시간(상: VRS RTK, 하: 일반 RTK)

교적 큰 측위오차가 발생하며, 초기화 소요시간도 길어짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 기준국과 이동국에서 공통으로 관측 가능한 위성수가 5대 미만이기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구에서는 최근 국토지리정보원에서 구축한 VRS RTK 시스템을 이용한 GPS 측량의 정확도를 평가하였다. 그 결과 VRS RTK 측량과 일반 RTK 측량의 수평방향 평균제곱근오차가 각각 3.1cm, 2.0cm로 비슷한 수준의 정확도를 나타냈으며 VRS RTK 측량의 수직방향 평균오차는 6.8cm로 나타났다. 또한 기선거리와 측위오차와의 상관성 분석을 통해 기준국에서 멀어질수록 오차가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 기선거리가 길어짐에 따라 초기화 소요 시간도 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 기선거리가 약 45km 이상인 경우 오차가 상대적으로 크게 발생하는 하지만, 그 수치는 cm 수준으로 크다고 볼 수 없다. 따라서 VRS RTK 측량이 일반 RTK 측량의 단점을 보완하면서 대등한 수준의 정확도를 달성할 수 있다고 판단할 수 있다. 현재 국토지리정보원에서 구축한 VRS 기준망은 경상도 남동부와 해안에 인접한 지역을 포함하지 않기 때문에 전국토를 대상으로 하는 서비스를 제공하기는 어렵다. 따라서 향후 국내에서 기관별로 운용 중인 약 80개소의 GPS 상시관측소를 통합하여 VRS RTK 측량 서비스 지역을 확대시킨다면 측량 및 측지분야를 포함한 다양한 응용분야에서 상당한 파급효과를 나타낼 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 국토지리정보원이 발주한 한반도 지각변동 연구 사업의 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다. 그리고 VRS RTK 측량에 관한 다양한 자문을 해주신 (주)지오시스템 관계자들에게도 감사드립니다.

참고문헌

- 국토지리정보원 (2003), 가상기준점(VRS) 도입에 관한 연구.
- 국토지리정보원 (2007), 한반도 지각변동 연구.
- 박운용, 이용희, 곽두호, 배경호 (2003), VRS 개념에 기반한 GPS 상시관측소 활용 연구, 2003 한국측량학회 추계학술발표회

논문집, pp. 109-113.
이용창, 강준목 (2003), GPS 기준망의 가상기준점에 의한 후처리 측위 분석, 2003 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 55-60.
이용창 (2003), GPS 상시관측망을 활용한 PDGPS 측위 연구, 대한토목학회지, 제 23권, 제 6D호, pp. 891-900.
최윤수, 이용창, 권재현, 이재원 (2004), GPS 가상기준점 도입에

관한 연구, 한국측량학회지, 제 22권, 제 2호, pp. 105-116.
JENOBА, <http://www.jenoba.jp/>
SAPOS, <http://www.sapos.de/>
Wanninger, L. (2003), GPS on the Web: Virtual reference stations (VRS), GPS Solutions, Vol. 7, pp. 143-144.
Wanninger, L. (2006), Introduction to Network RTK, IAG Working Group 4.5.1: Network RTK, <http://www.network-rtk.info>

(접수일 2008. 1. 15, 심사일 2008. 2. 11, 심사완료일 2008. 2. 21)