

Network RTK-GPS를 이용한 거리별 수직위치결정의 정확성 평가

문두열^{1*} · 이성수¹ · 김명수¹ · 신상호¹ · 백태경²

An Evaluation of the Accuracy of the Vertical Positioning by Distance Using Network RTK-GPS

Du-Yeoul MUN^{1*} · Sung-Su LEE¹ · Myeong-Soo KIM¹ ·
Sang-Ho SHIN¹ · Tae-Kyung BAEK²

요 약

Network RTK-GPS 방식을 이용하여 거리별 수직위치결정 한 결과, 종래의 수준측량방법보다 신속·정확하게 취득할 수 있었으며, 비교적 효율적이고, 경제적인 방법으로 판단된다. 본 연구에서 상시관측소를 검증한 결과 가시 위성수 및 PDOP(위치정밀도 저하율), 수직위치결정에 영향을 많이 미치는 VDOP(수직정밀도저하율)은 수직위치 결정에 매우 양호한 것으로 나타났다. 통합기준점 U0997과 U0921은 공공수준측량규정 3등급에 만족하였고, 나머지는 모두 부적합한 결과로 분석되었다. Network RTK-GPS를 이용하여 수직위치결정을 측량을 할 때에는 반드시 EGM2008의 지오이드 고를 적용하는 것이 바람직하다. 향후 측지위성의 수가 증가한다면, Network RTK-GPS를 이용한 수직위치결정은 전 범위에서 가능하다고 판단된다.

주요어 : 공공수준측량 규정, Network RTK-GPS, 수직정밀도 저하율, 통합기준점

ABSTRACT

In this paper, we evaluate the accuracy of the vertical positioning by distance using Network RTK-GPS. The experimental results confirm that Network RTK-GPS method can acquire data quickly and accurately than conventional leveling methods so that the Network RTK-GPS method is a relatively efficient and economical way for the vertical positioning. Results of validation using permanent GPS stations indicate that visible satellites, PDOP, and VDOP are very good for the vertical positioning. Integrated

2013년 8월 21일 접수 Received on August 21, 2013 / 2013년 10월 7일 수정 Revised on October 7, 2013 / 2013년 11월 7일 심사완료 Accepted on November 7, 2013

1. 동의대학교 토목공학과 Department of Civil Engineering, Dong-Eui University

2. 동의대학교 도시공학과 Department of Urban Engineering, Dong-Eui University

* 연락처 E-mail : dymun@deu.ac.kr

reference points such as U0997 and U0921 are satisfied with 3 ratings in the rules of public leveling and all the rest are proved improper. When the vertical positioning using Network RTK-GPS is implemented, the geoid height of EGM2008 should be applied for leveling. If the number of geodetic satellite are increasing in the near future, the vertical positioning using Network RTK-GPS can be possible in all the range.

KEYWORDS : Rules of Public Leveling, Network RTK-GPS, VDOP, Integrated Reference Point

서 론

현재 GPS 기술은 정보 인프라 구축에 핵심적인 기술로서 측지, 측량뿐 아니라 항법, 농업, 어업, 레저 등 다양한 분야에 이용되어 진다. 특히 측지 및 지구물리 분야에서 기존의 방법으로 직접 관측이 힘들었던 타원체 고를 결정이 가능해졌고, 이는 수직기준면으로서의 큰 의미를 지니는 정밀 지오이드 계산뿐 만 아니라 GPS 측량에 의한 표고 결정에 매우 중요한 역할을 담당하고 있다(Kim, 2007).

이러한 위성측위시스템 중에서 Real Time Kinematic 기술이 활발히 연구되고 있으며, 이런 기술에서 모뎀을 이용하여 것이 큰 문제점으로 나타났다. 이러한 문제점들을 보완하기 위하여 Network RTK-GPS 방법이 알려지기 시작했다. 이 방법은 GPS 상시관측소와 무선단말기가 필수적으로 상시관측소와 휴대전화의 보급이 활발하게 진행되었다.

Network RTK-GPS는 상시관측소를 받은 데이터를 제어 국에서 보정하여 가상기준점을 생성하여 위치를 결정하는 방식이다. 이미 해외의 경우 미국, 일본 등에서는 이미 상시관측소를 이용하여 지각변동, 측지학 등 여러 분야에서 이용되고 있다(Kumar-Mills *et al.*, 2005). GPS 관측의 편리성과 정밀도를 높이려는 목적으로 Network RTK의 측위기법에 대해 위치정보를 획득하는데 있어서 실시간으로 획득하는 연구가 진행되어 왔다(Castleden *et al.*, 2004; Eren *et al.*, 2009). Static 측량과 VRS의 기술을 비교·분석 하는 연구를 수행하

였고, VRS 전송방식인 CDMA방식이 아닌 WCDMA방식을 적용한 연구가 수행된 바가 있다(Kumar-Mills *et al.*, 2005)

국내의 경우 측위 방식에 따른 비교를 위하여 18개의 지적 도근점에 대해 GPS 정적측위, RTK, VRS RTK 방식으로 각각 측량을 실시하여 각 측정 대상 점의 결과를 기준으로 RTK 방식과 VRS RTK 방식의 정확도를 비교한 연구가 수행되었으며(Kim, 2007), 공사비 산정의 적정성에 중요한 토공량의 확인을 VRS RTK를 이용하여 3차원 좌표를 높은 밀도로 관측하여 토공량을 분석하는 연구도 수행되었다(Kim and Joo, 2008). 그리고 VRS RTK 기준망 내부에 위치한 3등 기준점 50개소를 대상으로 VRS RTK 측량과 동시에 단일 기준국을 이용한 RTK 측량을 실시한 뒤 RTK 측량 방식의 측위오차를 비교한 연구가 있었다. 서울특별시에서 설치·운영하고 있는 Network RTK 시스템을 활용하여 건축물의 변위량 데이터 X, Y, Z값을 취득한 후 건축물의 실시간 안전관리 방안을 제시하고자 하는 연구도 있었다(Park, 2009). 또한 공공기준점과 상시관측소의 정확도 검증을 연구하여 실용성을 증대하였다(Yun *et al.*, 2007; Han *et al.*, 2010).

국내에서 이용되는 GPS 상시관측소는 국토지리정보원에서 기본측량을 목적으로 설치한 14개소와 안전행정부에서 지적측량을 위하여 설치한 30개소, 그리고 해양수산부에서 관리하는 13개소, 한국천문연구원과 한국자원연구소에서 운영하는 상시관측소를 포함하여 약 72개소가 있다. 각 기관별로 관리·운영하였지만, GPS 상시관측소의 위치정보를 이용하여 측량

을 하고자 할 경우에는 인터넷 접속으로 전국 44개소의 GPS 상시관측소 자료만 신속하게 제공받을 수 있게 되었다. 이로 인해 휴대전화 등 무선 단말기를 이용해 실시간으로 위치보정정보를 제공받는 실시간 정밀 GPS측량 서비스도 더욱 정확해질 것으로 기대된다.

그러나 위성측위시스템을 이용하여 평면위치 결정은 확립되어 실무에서도 사용되고 있으나, 수직위치결정은 아직까지 재래식 수준측량 방식으로 하고 있다. 이러한 문제점 때문에 수직 위치결정에 하는데 실무에서는 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 Network RTK-GPS를 거리별 수직위치결정의 정확도를 평가하여 실무의 활용성을 극대화 하는데 목적이 있다.

본 연구에서는 Network RTK GPS를 거리별로 수직위치결정 정확도 평가를 위하여 먼저 연구계획을 수립하고 연구대상지역을 선정하였다.

그리고 연구대상지역에 기준이 되는 상시관측소 및 통합기준점의 참고자료를 수집하였다. 그 이후 통합기준점을 이용하여 Network RTK-GPS를 관측하였다. 특히 거리는 상시관측소를 중심으로 10km 이내에 2개의 통합기준점, 10km~15km 범위의 2개의 통합기준점,

20km 이상의 통합기준점 2개소를 30번이상의 정밀 관측하였고, 관측된 자료를 분석하여, 거리별 수직위치결정 정확도를 분석하였다.

이론적 배경

1. Network RTK-GPS

Network RTK-GPS는 실시간 이동측위 방법에 따르는 거리에 오차가 증가하는 문제를 보완하기 위해 개발되었다. 이 방법은 이동국에서 멀리 떨어진 여러 개의 기준국 관측 데이터를 이용하여 이동국 근처에 가상으로 기준국을 만든 후 가상기준국의 데이터와 보정정보를 사용자에게 전송하는 것이다. 이 경우, 기준국과 이동국간의 거리와 관계없이 단거리 측량과 동일한 수준의 높은 정확도의 측위결과를 얻을 수 있다. 그 개요도는 그림 1과 같다.

Network RTK-GPS은 대표적으로 캐나다 Calgary 대학의 MultiRef, 독일의 Geo++의 Referenznetz방식, 미국 Trimble의 VRS 등이 있다. 각각의 방식들은 계산 알고리즘, 데이터 전송 방법 등의 기술이 조금씩 다르다. 전 국토의 효율적인 관리와 위치정보를 필요로 하는 다양한 응용분야를 위해 독일, 캐나다, 일본, 스위

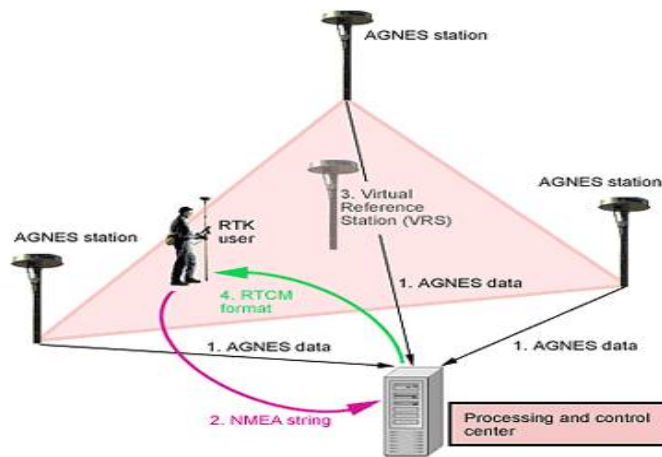


FIGURE 1. Figure of Network RTK-GPS

스 등 세계 각국에서는 GPS 상시관측망을 이용한 Network RTK-GPS를 운영하고 있으며, 그 효율성도 다양한 연구를 통해 입증되었다.

Network RTK-GPS의 장단점을 간단히 비교하여 정리하였다. 먼저 Network RTK-GPS의 장점을 살펴보면 측정하고자 하는 지점의 위치결정을 위한 최기화 시간을 단축하는 것과, 장기선에서도 높은 측위 정확도를 유지할 수 있다는 것이다. 기존의 RTK 방식에서의 기선 거리에 대한 제약은 거의 받지 않기 때문에 한 대의 수신기만으로 cm 수준의 정밀한 위치 결정을 할 수 있다. 따라서 두 대의 수신기를 사용하는데 따르는 비용을 절감할 수 있다. 또한 Network RTK-GPS는 상시관측망을 기반으로 운영되기 때문에 상시관측망의 활용을 극대화시킨다. Network RTK-GPS 시스템의 단점은 다음과 같다. 여러 개의 실제 기준점의 관측치를 보간하여 가상 관측치를 생성하는 Network RTK-GPS 시스템은 실제 기준점의 관측오차가 가상 관측치에 영향을 미치게 된다. 실제 기준점 중 한 곳이라도 큰 오차를 포함하거나 불안정하다면 가상 관측치의 오차도 커지게 되고 정확도가 저하되는 것이다. 또한 가상 관측치를 생성하는 과정에서 보간을 통해 실제 기준점의 전리층과 대류권이 가상기준점의 관측치에는 반영되지 않을 수도 있는 문제점이 있다. 뿐만 아니라 실제 기준점의 정확한 좌표 산정도 매우 중요하다. 따라서 좌표 비교와 관측치 비교, 복수관측 등을 통한 정확도 관리가 체계적으로 이루어져야 한다.

2. GPS 상시관측소

GPS 상시관측소에서 수행하는 가장 기본적인 업무는 GPS 위성을 연속적으로 24시간 관측하고 그 자료를 저장하고 관리하는 작업이다.

GPS 상시관측소 시스템은 크게 무인상시관측소와 중앙국, 그리고 이들을 연결하는 통신장치의 세 가지로 구성된다. 무인상시관측소는 전국의 곳곳에 설치되어 GPS 위성으로부터 무인으로 자료를 수신 받는 역할을 담당하여, 중앙

국은 무인상시관측소로부터 원거리에서 자료를 다운받고 처리하며, 또한 무인상시관측소에 명령을 내려 관측을 제어하는 역할을 수행한다. 통신장치는 관측소와 중앙국의 자료전송을 가능하게 한다. GPS 무인상시관측소는 안테나와 안테나 필라, GPS 수신기, 통신장비, 비상용 배터리 그리고 온도와 습도조절 장치 등으로 이루어진다.

일반적으로 GPS 상시관측소는 GPS 위성으로부터 전송되는 신호를 수신할 수 있는 안테나 등의 수신 장치와 중앙 제어국이나 사용자에게 자료를 전송할 수 있는 통신장치 및 데이터의 정밀해석을 통해 GPS 상시관측소 위치와 성과 정확도 등의 정보 제공을 담당하는 자료 처리 시스템으로 구분할 수 있다.

국토지리정보원에서는 1995년부터 GPS 상시관측소를 시작하여 현재 총 44개소의 GPS 상시관측소에 VRS 시스템을 운용하였다. 이 상시관측소는 GPS 신호를 수신 및 저장하고 무인으로 24시간 관측하고 있다.

현재 국토지리정보원에서 운영하는 GPS 상시관측소의 위치는 그림 2와 같다.

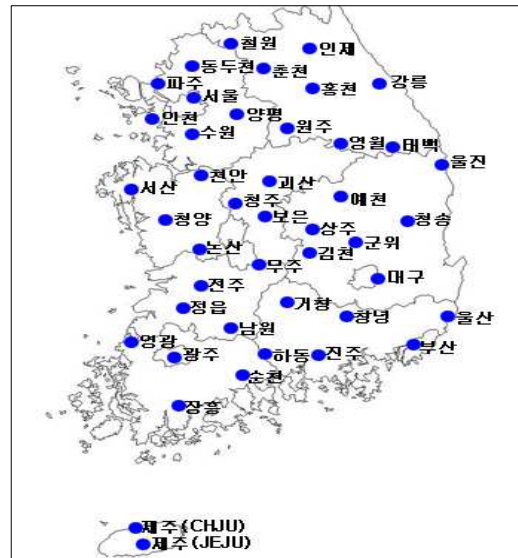


FIGURE 2. Current state of VRS station in national geographic information institutes

연구대상지역 및 상시관측소 자료 검증

1. 연구대상지역 선정

연구대상지역은 부산광역시 소재하는 부산 상시관측소를 중심으로 30km 반경 내에 있는 통합기준점을 대상으로 하였다. 30km 반경 내에 있는 통합기준점 13개 중에서 6개를 선점으로 관측을 하였다. 관측대상 통합기준점은 10km 반경 내에 U0997, U0998 두 개이며, 10km~15km 반경 내에 U0920, U0921 두 개이고, 20km 반경 외에는 U0918, U0922 두 개를 선점하였다. 연구대상지역의 통합기준점 배치모습은 그림 3과 같다.

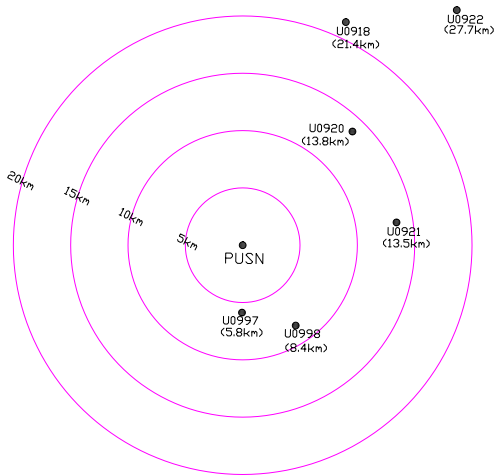


FIGURE 3. Shape of region research

2. 상시관측소 자료 검증

본 연구에서 Network-RTK GPS를 이용하여 거리별 수직위치 결정 정확도 평가를 하기 위하여, 연구대상지역인 부산 상시관측소 관측시 데이터 신뢰도 검증을 하였다.

먼저 부산상시관측소의 모습과 좌표정보는 그림 4와 표 1에 나타내었다. 그리고 관측일시(오전 9시부터 오후 2시)에 연구대상지역의 가

시위성수 및 PDOP(위치정밀도 저하율), VDOP(수직정밀도 저하율)을 조사하여 나타내었다. 그림 5는 관측일시 연구대상지역의 가시위성수이며, 그림 6은 PDOP(위치정밀도 저하율)을 나타낸 것이며, 그림 7은 VDOP(수직정밀도 저하율)을 나타내었다.

관측일시에 가시 위성수는 최소 6개에서 최대 10개로 분석되었으며, 비교적 양호한 시간대에서 관측을 한 것을 알 수 있었다. 그리고 PDOP(위치정밀도 저하율)은 최소 2에서 최대 6사이에 관측한 것으로 나타났으며, 매우 양호한 것으로 판단된다. 또한 수직위치결정에 영향을 많이 미치는 VDOP(수직정밀도 저하율)은 최소 1에서 최대 5사이에 관측한 것으로 나타났으며, 관측시 수직위치의 검정은 매우 양호한 것으로 판단된다.



FIGURE 4. Station of VRS in Pusan (<http://gps.ngii.go.kr/>)

관측 결과 및 분석

1. 관측결과

본 연구에서 Network RTK-GPS를 이용한 거리별 수직위치결정 정확도 평가를 하기 위하여 부산상시관측소를 중심으로 30km 반경 내에 있는 통합기준점을 대상으로 하였다. 30km

TABLE 1. Coordinate information of Pusan permanent stations

Station	GRS80 ellipsoid			ITRF2000(m)
	Transverse Mercator(m)	latitude · longitude · ellipsoid height	projection	
Pusan	X= -306,948.885 Y= 6,812.910	latitude=35-14-02.171 longitude=129-04-29.440 ellipsoid height=158.652	east	X = -3,287,592.165 Y = 4,049,012.122 Z = 3,659,187.987

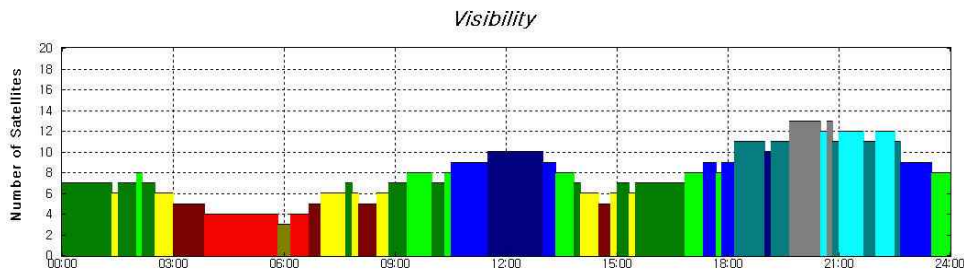
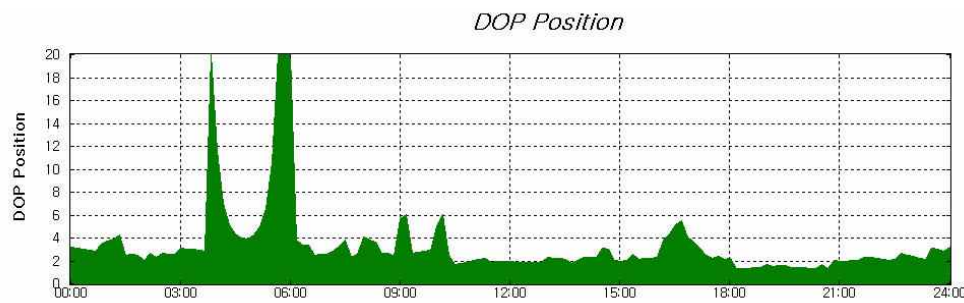


FIGURE 5. Visibility of GPS



Station Tokyo, Japan North 35214' East 12924' Height 500m Elevation cutoff 10? Obstacles 0%
 Time 2013-03-31 00:00 - 2013-04-01 00:00 (GMT+10,0h) Satellites 28 GPS 28 [Almanac, alr]

FIGURE 6. Position of DOP

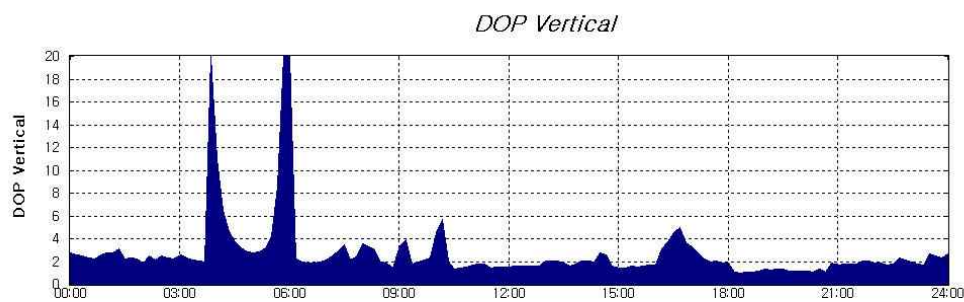


FIGURE 7. Vertical DOP

TABLE 2. Results of observation

(unit : m)

NO	U0997	U0998	U0920	U0921	U0918	U0922	Remarks
1	40.417	34.949	89.992	53.227	156.380	37.648	
2	40.420	34.949	90.017	53.206	156.374	37.641	
3	40.421	34.953	89.985	53.212	156.371	37.644	
4	40.428	34.952	89.989	53.221	156.364	37.642	
5	40.426	34.964	89.996	53.216	156.384	37.638	
6	40.421	34.953	89.981	53.219	156.394	37.616	
7	40.420	34.953	90.000	53.220	156.393	37.615	
8	40.427	34.957	89.996	53.223	156.395	37.624	
9	40.425	34.958	90.002	53.212	156.394	37.631	
10	40.420	34.961	89.997	53.221	156.405	37.614	
11	40.419	34.966	89.996	53.219	156.417	37.611	
12	40.421	34.963	89.996	53.214	156.414	37.637	
13	40.431	34.962	89.988	53.216	156.409	37.568	
14	40.428	34.965	89.984	53.209	156.403	37.563	
15	40.423	34.956	89.988	53.209	156.405	37.585	
16	40.427	34.957	89.992	53.209	156.395	37.599	
17	40.420	34.958	90.006	53.207	156.410	37.595	
18	40.418	34.951	89.992	53.217	156.411	37.583	
19	40.416	34.961	89.999	53.218	156.411	37.593	
20	40.417	34.956	89.985	53.214	156.418	37.609	
21	40.422	34.959	89.994	53.215	156.405	37.601	
22	40.412	34.956	89.987	53.214	156.407	37.592	
23	40.415	34.962	89.987	53.229	156.416	37.601	
24	40.420	34.954	89.980	53.219	156.397	37.596	
25	40.416	34.948	89.978	53.217	156.413	37.580	
26	40.416	34.947	89.981	53.231	156.408	37.583	
27	40.419	34.943	89.985	53.231	156.408	37.587	
28	40.413	34.951	89.990	53.224	156.395	37.587	
29	40.421	34.945	89.970	53.213	156.397	37.593	
30	40.420	34.943	89.985	53.217	156.396	37.584	

반경 내에 있는 통합기준점 13개중에서 6개를 선점으로 관측을 하였다. 관측대상 통합기준점은 10km 반경 내에 U0997의 타원체고는 40.4535m로 고시되어있고, U0998의 타원체고는 35.0323m로이다. 그리고 10km~15km 반경 내에 U0920의 타원체고는 90.0650m으로 고시되어 있으며, U0921의 타원체고는 53.2447m인 통합기준점을 관측하였다. 또한 20km 반경 외는 U0918의 타원체고는 156.5016m으로 고시되어 있으며, U0922의 타원체고는 37.6521m인 통합기준점을 선점하여 30번 관측을 하였다. 관측모습은 그림 8과 같고, 관측결과는 표 2에 나타내었다.

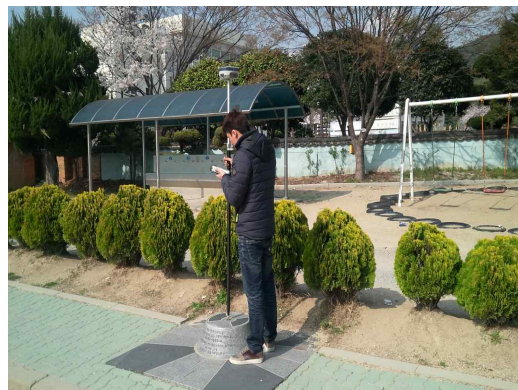


FIGURE 8. Observation of shape

2. 결과 분석

본 연구에서 상시관측소 10km반경 내에 U0997, U0998의 관측결과를 분석하였다. U0997은 부산상시관측소에서 약 5.8km이며, U0998은 부산상시관측소에서 약 8.4km이다. 국토지리정보원고시 제 2009-959호 공공측량 작업규정 제27조에 의거하여 거리별 수준측량의 정확도를 산정하였다. U0997은 1급 공공수준점 정확도는 0.006m이며, U0997은 2급 공공수준점 정확도는 0.012m이며, U0997은 3급 공공수준점 정확도는 0.024m이며, U0997은 4급 공공수준점 정확도는 0.048m이다. 그리고 U0998은 1급 공공수준점 정확도는 0.0072m이며, U0998은 2급 공공수준점 정확도는 0.0145m이며, U0998은 3급 공공수준점 정확도는 0.029m이며, U0998은 4급 공공수준점 정확도는 0.060m이다.

U0997, U0998의 통합기준점 30회 관측후 결과를 분석한 결과 U0997의 타원체고(Z)의 RMSE는 0.0237m이며, U0998의 타원체고(Z)의 RMSE는 0.0788m로 분석되었다. 따라서 U0997은 3급 공공수준측량 정확도 범위 내에 만족하는 것으로 판단되며, U0998은 공공수준측량 정확도 범위를 벗어남을 알 수 있었다.

상시관측소 15km~20km 반경 내에

U0920, U0921의 관측결과를 분석하였다. U0920은 부산상시관측소에서 약 13.8km이며, U0921은 부산상시관측소에서 약 13.5km이다. 국토지리정보원고시 제 2009-959호 공공측량 작업규정 제27조에 의거하여 거리별 수준측량의 정확도를 산정하였다. U0920, U0921은 1급 공공수준점 정확도는 0.009m이며, U0920, U0921은 2급 공공수준점 정확도는 0.018m이며, U0920, U0921은 3급 공공수준점 정확도는 0.036m이며, U0920, U0921은 4급 공공수준점 정확도는 0.073m이다.

U0920, U0921의 통합기준점 30회 관측후 결과를 분석한 결과 U0920의 타원체고(Z)의 RMSE는 0.0762m이고, U0921의 타원체고(Z)의 RMSE는 0.0287m로 분석되었다. 따라서 U0920은 공공측량수준 정확도 범위에 벗어났고, U0921은 3급 공공수준측량 정확도 범위 내에 만족하는 것으로 판단되었다.

상시관측소 20km 반경 외에 U0918, U0922의 관측결과를 분석하였다. U0918은 부산상시관측소에서 약 21.4km이며, U0922은 부산상시관측소에서 약 27.7km이다. 국토지리정보원 고시 제 2009-959호 공공측량 작업규정 제27조에 의거하여 거리별 수준측량의 정확도를 산정하였다. U0918은 1급 공공수준점 정확도는 0.011m이며, U0918은 2급 공공수준

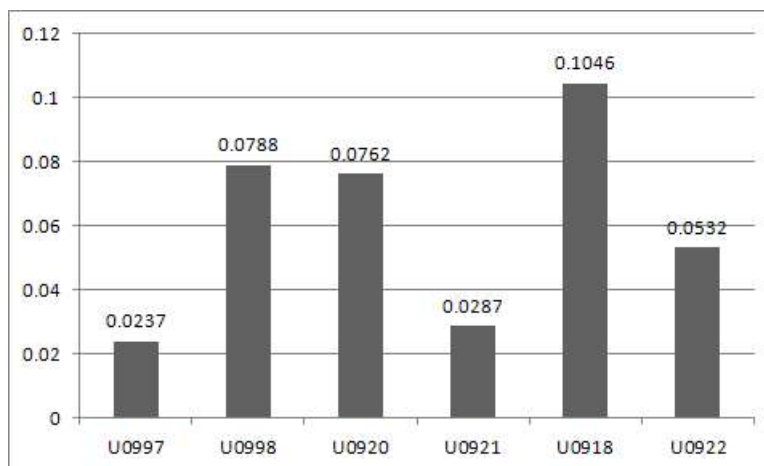


FIGURE 9. Analysis of the observations

TABLE 3. Analysis of the observations

(unit : mm)

Control point	Rules of public surveying	RMSE	Control point	Rules of public surveying	RMSE	Remarks
U0997 (5.8km)	1	6.0	U0921 (13.5km)	1	9.0	28.7 (conformity to grades)
	2	12.0		2	18.0	
	3	24.0		3	36.0	
	4	48.0		4	73.0	
U0998 (8.4km)	1	7.2	U0918 (21.4km)	1	11.0	104.6 (all are non-conformity)
	2	14.5		2	23.0	
	3	29.0		3	46.0	
	4	60.0		4	92.0	
U0920 (13.8km)	1	9.0	U0922 (27.7km)	1	13.0	53.2 (all are non-conformity)
	2	18.0		2	26.0	
	3	36.0		3	53.0	
	4	73.0		4	105.0	

점 정확도는 0.023m이며, U0918은 3급 공공수준점 정확도는 0.046m이며, U0918은 4급 공공수준점 정확도는 0.092m이다. 그리고 U0922은 1급 공공수준점 정확도는 0.013m이며, U0922은 2급 공공수준점 정확도는 0.026m이며, U0922은 3급 공공수준점 정확도는 0.053m이며, U0922은 4급 공공수준점 정확도는 0.105m이다.

U0918, U0922의 통합기준점 30회 관측후 결과를 분석한 결과 U0918의 타원체고(Z)의 RMSE는 0.1046m이며, U0922의 타원체고(Z)의 RMSE는 0.0532m로 분석되었다. 따라서 U0918은 공공수준측량 정확도 범위를 벗어났으며, U0922은 3급 공공수준측량 정확도 범위 내에 만족하는 것으로 분석되었다. 이런 관측결과를 분석한 값은 표 3과 그림 9와 같다.

결론

Network RTK-GPS를 이용한 거리별 수직 위치결정 정확도 평가를 하기 위하여, 연구대상 지역의 통합기준점을 관측하여 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Network RTK-GPS 방식을 이용하여 거리별 수직위치결정 한 결과 종래의 수준측량방법보다 신속정확하게 취득할 수 있었으며, 비교적 효율적이고, 경제적인 방법으로 판단된다.

상시관측소의 검증한 결과 가시 위성수 및 PDOP(위치정밀도 저하율), 수직위치결정에 영향을 많이 미치는 VDOP(수직정밀도저하율)은 수직위치의 검정은 매우 양호한 것으로 판단된다. 통합기준점은 U0997과 U0921은 공공수준측량규정 3등급에 만족하였고, 나머지는 모두 부적합한 결과로 분석되었다. Network RTK-GPS를 이용하여 수직위치결정을 측량을 할 때에는 반드시 EGM2008의 지오이드고를 적용하는 것이 합리적이라고 판단된다. 향후 측지위성의 수가 증가한다면, Network RTK-GPS를 이용한 수직위치결정은 전 범위에서 가능하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 동의대학교 학술연구조성비에 의해 연구되었음. [KAGIS](#)

REFERENCES

- Castleden, N., G.R. Hu, D.A. Abbey, D. Weihing, O. Ovstedal, C. Earls and W.E. Featherstone. 2005. First results from virtual reference station (VRS) and precise point positioning (PPP) GPS

- research at the western Australian centre for geodesy. *Journal of Global Positioning Systems* 3(1-2):79-84.
- Eren, K., T. Uzel, E. Gulal, O. Yildirim and A. Cingoz. 2005. Efficient RTK positioning by integrating virtual reference stations with WCDMA network. *Journal of Global Positioning Systems* 4(1-2):48-55.
- Han J.H., J.H. Kwon and C.K. Hong. 2010. Analysis of Network-RTK(VRS) positioning accuracy for surveying public control point. *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System* 18(2):13-22 (한중희, 권재현, 홍창기. 2010. 공공기준점 측량에 적용을 위한 VRS(가상기준점) 방식의 Network-RTK 정확도 분석. *한국지형공간정보학회지* 18(2):13-22).
- Kim I.S. and H.S. Joo. 2008. An application of VRS-RTK surveying in construction site. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography* 26(6):625-631 (김인섭, 주현승. 2008. 건설현장의 VRS-RTK측량 적용성 검토. *한국측량학회지* 26(6):625-631).
- Kim J. 2007. Comparative analysis for accuracy of network RTK-GPS surveying. Master Thesis, Sungkyunkwan University, Korea (김정. 2007. Network RTK-GPS 측량의 정확도 비교분석. *성균관대학교 대학원 석사학위논문*).
- Kumar-Mills, D., J. Homer, K. Kubik and M. Higgins. 2009. Results from a comprehensive global navigation satellite system test in the CORS-TR network: case study. *Journal of Surveying Engineering* 135(1):10-18.
- Park H.Y. 2009. A study on building displacement using network RTK. Master Thesis, University of Seoul, Korea (박희영. 2009. Network RTK를 이용한 건축물 변위 연구. *서울시립대학교 대학원 석사학위논문*).
- Yun H.C., J.S. Hwang, H.H. Song and D.S. Song. 2007. Determination of practical orthometric height for permanent GPS station. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography* 25(4):299-307 (윤홍식, 황진상, 황학, 송동섭. 2007. GPS 상시관측점의 실용 표고좌표 결정. *한국측량학회지* 25(4):299-307). 