

GNSS 위성신호조합과 장애물 근접에 따른 위치정확도 분석

Positioning Accuracy Analysis According to the Change of Blockage Location and GNSS Signal Combination

이재원* · 윤부열** · 박치영*** · 최혜원****

Lee, Jae One · Yun, Bu Yeol · Park, Chi Young · Choi, Hye Won

요 旨

현재의 GNSS 측위 방법 중 네트워크(network) RTK(Real-Time Kinematic) 측량은 비교적 저렴하고 쉬운 조작방법 등으로 GNSS 측량의 대중화를 형성하고 있다. 하지만 네트워크 RTK 측량 시 현장 여건 및 기타 조건에 관계없이 모호정수(ambiguity) 고정해를 취득한 데이터에 대하여 대부분 그 결과를 무조건적으로 수용하고 이를 실무에 적용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 장애물이 존재하는 지역에서 조건별 네트워크 RTK 측량 데이터의 정확도 변화를 고찰하였다. 연구방법으로 수신점으로부터 장애물과의 거리 및 고도각 변화를 주고 GPS 단독수신에 의한 측량과 GPS+GLONASS 조합에 의한 측량을 실시하고 각 취득 데이터의 위치정확도를 비교 분석하였다. 그 결과 시통이 용이한 지역에서는 GPS 단독측위 방법이 정확도에서 양호한 결과를 보였으며, 장애물에 근접한 지역일수록 GPS+ GLONASS 조합에 의한 방법이 안정적인 결과로 나타났다. 본 실험의 결과를 기반으로 측위정확도에 영향을 줄 수 있는 다양한 조건별 연구가 진행된다면 대중화 되고 있는 네트워크 RTK 측위 방법의 정확도 향상을 기대할 수 있을 것이다.

핵심용어 : 네트워크 RTK, GNSS, GPS, GLONASS

Abstract

Network RTK positioning, one of GNSS positioning systems, is currently very popular due to its easy operation and low cost. However, the network RTK positioning unquestioningly accepts observation result acquired with an ambiguity fixed-solution regardless of different field conditions and situations, and then it is applied to the practice. This paper, therefore, has investigated the effects of field conditions obtained network RTK survey data for the area with obstacles on the variation of positioning accuracy. Being explained in detail, after conducting survey by GPS-only positioning and combined GPS/GLONASS observations giving changes to the distance from obstacles and elevation angles, and then accuracy results of each positioning method were compared each other. As a result, while GPS-only point positioning method showed more stable results than combined GPS/GLONASS method in the areas with no obstacles, combined method gave better result than GPS-only for the areas with presence of obstacles. Based on the results of this experiment, when the further study is conducted with a variety of different field conditions affecting the survey accuracy, it can be expected that the accuracy of network RTK survey method would become to more popular.

Keywords : Network RTK, GNSS, GPS, GLONASS

Received: 2014.07.16, revised: 2014.08.22, accepted: 2014.09.15

* 정희원 · 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수(Member, Prof, Department of Civil Engineering, Donga University, leejo@dau.ac.kr)

** 교신저자 · 정희원 · 창신대학교 건설플랜트공학과 겸임교수(Corresponding Author, Member, Clinical Professor, Department of Civil & Plant Engineering, Changshin University, E-mail: yby915@nate.com)

*** 정희원 · 동아대학교 공과대학 토목공학과 박사(Member, Senior researcher Department of Civil Engineering, Donga University, pcyl1120@nate.com)

**** 동아대학교 공과대학 토목공학부 박사수료(Department of Civil Engineering, Donga University, blueye0508@nate.com)

1. 서론

네트워크(network) RTK-GNSS 측위장비는 기존의 RTK-GPS 측량장비보다 비교적 저렴하고, 쉬운 작동 방법 및 간단한 교육으로 요구정확도를 얻을 수 있는 측위 기법이다. 따라서 네트워크 RTK 측위기법은 위와 같은 장점을 바탕으로 최근에는 정밀 측량을 필요로 하는 건설시공 및 공간정보산업 분야 등, 측지측량 분야 이외에도 다양한 현장실무에 적용되고 있다. 또한 수평 위치정확도 향상을 위해서 GPS+GLONASS 조합에 따른 작업 효율성 분석과 임야지역, 도심지 등과 같이 장애물이 있는 지역에 대한 적용연구가 진행되어 다양한 연구 성과를 나타내고 있다. 관련 연구 성과를 살펴보면 Lee et al.(2010)은 Network RTK-GPS/GLONASS 조합에 따른 측위정확도의 변화분석을 실시하여 작업효율성에 대한 연구결과를 제시하였으며, Sohn et al.(2013)은 장애물 위치에 따른 GPS 기준국 측위정확도 분석을 실시하여 오차의 형태 변화를 나타내었다.

본 연구에서는 장애물과 개활지가 공존하는 지역을 연구대상지역으로 선정하여 장애물과의 이격거리와 고도각의 차이를 좁혀가며 네트워크 RTK-GNSS 측위를 실시하였다. 오로지 모호정수(ambiguity) 고정해를 취득 가능한 위치까지 접근하여 GPS 관측작업을 진행하였으며, 분석 자료 또한 네트워크 RTK 측위에 따른 고정해만을 사용하였다. 실험 데이터 취득방법은 준 개활지에서 장애물에 근접하는 방식으로 실시하였다. 위성 수신은 우선적으로 GPS+GLONASS 위성의 조합 관측으로 실시한 다음, GPS 단독으로 측위 실험을 수행하여 미리 측량된 검사점들에 대한 수평 위치정확도를 정량적으로 분석하였다. 네트워크 RTK 측량은 공공측량 작업규정(NGII, 2010) 제168조 2항과 4항에 의하면 공공수준점측량(표고)을 분리하고 있어 본 연구에서는 수평에 대한 위치정확도 분석만을 실시하였다.

2. GPS/GLONASS 특징

네트워크 RTK-GNSS 측량은 임의의 이동국 가까운 지점에 가상의 기준국이 있다고 가정하고 이 가상의 기준국에서 획득한 것과 같은 관측치를 상시기준점의 네트워크 자료를 이용하여 형성한 후 이동국의 위치를 가상기준국과의 상대측위에 의하여 결정하는 방식이다 (Han et al, 2010; Choi and Yoo, 2011; Lee, 2013). 본 연구에 적용된 GNSS 위성은 GPS 와 GLONASS 위성을 조합하였다. GPS를 이용한 위치결정은 코드파

혹은 반송파 위상을 관측하여 위성과 수신기간의 거리를 측정함으로써 이루어지며, 두 관측방법의 특성은 매우 상이하다. 코드파 관측에 의한 의사거리를 결정하는 원리는 식(1)에, 반송파 위상을 관측하여 위치를 결정하는 원리를 식(2)에 나타내었다(Hofmann-Wellenhof et al, 1993).

$$\Psi_A^i = r_A^i + cB_A + v_A^i \quad (1)$$

$$\Phi_A^i = r_A^i + cB_A + \lambda_{L1}N_A^i + w_A^i \quad (2)$$

여기서 r_A^i 는 위성 i와 수신기 A 사이의 거리, B_A 는 수신기 시계오차, c는 광속, N_A^i 는 미지정수, λ_{L1} 는 L1 반송파의 파장(19.03cm), 수신기 측정잡음은 각각 $v_A^i \sim N(0, \sigma_{CA}^2)$, $w_A^i \sim N(0, \sigma_{L1}^2)$ 의 특성을 갖는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)로 가정한다. GLONASS는 GPS와 달리 동일한 코드를 다른 주파수로 내보내는 FDMA(Frequency Division Multiple Access) 방식을 이용하며, 민간이 사용할 수 있는 L1 대역의 반송파 주파수는 식(3)과 같다. 여기서 k는 위성 별로 다른 정수값이며 2005년 이전에는 0에서 13사이, 2005년 이후에는 -7에서 6사이의 정수 값을 가진다 (Bartenev et al, 2003; Park and Song, 2004).

$$f_{L1}(k) = 9(178.0 + k \times 0.0625) [MHz] \quad (3)$$

따라서 GPS는 CDMA(Code Division Multiple Access) 기법의 일종인 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)을 이용하고 GLONASS 에서는 FDMA기법을 이용하므로 두 시스템에서의 측정치의 특성이 상이하여 측정모델을 유도하고 오차해석을 수행하는데 어려움이 있다(Kaplan, 1996; Park and Song, 2004).

3. 연구대상지 선정과

네트워크 RTK-GNSS 측량

본 연구에서는 토털스테이션(TS: Total Station) SRX2 2초독 장비를 이용하여 Fig. 1과 같이 현장 검사점 측량을 실시하였다. TS에 의한 검사점은 정확도 검증용 목적으로 사전에 GPS 상시관측소(부산, 창원)를 기준국으로 하여 정지측량(Static) 방식으로 6시간 이상 수신하여 좌표를 산출하였다. 아울러 검사점의 신뢰도 확보를 위하여 정밀모드로 3회 관측을 실시하여 과대오차를 제거한 후 평균값을 구하여 GNSS 측



Figure 1. Check points surveying with TS



Figure 2. Network-RTK Survey



Figure 3. Overview of research area

3.1 연구대상지

연구 대상지역은 Fig. 3과 같이 부산시 사하구 하단동에 소재하는 ○○대학교를 선정하고 위성수신이 양호한 운동장과 맞은편 45m 높이의 도서관 건물을 위성신호 장애물로 활용하였다. 그리고 사전에 안정적인 모호정수(ambiguity) 고정해를 얻기 위하여 위성궤도력 정보 분석을 실시하였다. PDOP은 2.0이하, GPS 위성 개수 6개 이상 되는 시간과 일시에 현장실험 일정 및 계획을 수립하여 현장 관측을 실시하였다.

3.2 현장관측 및 자료 취득

측량의 순서는 사전에 TS 장비로 측량을 수행한 검사점에 GPS+GLONASS 측량을 우선적으로 실시한 후 곧바로 GPS 단독 측량으로 작업을 수행하였다.

현장관측은 Fig. 4와 같이 2개의 코스로 실시하였으며, 건물 가까이 근접하는 방법으로 1개의 코스 당 6점으로 총 12점을 취득하였다. 1코스는 건물의 중앙으

Table 1. GNSS Specification used for experiment

G R X 1		
Channel		72
Received signal	GPS	L1/L2
	GLONASS	L1/L2
	SBAS	WAAS, EGNOS, MSAS
Positioning Accuracy	Kinematic	H: 10mm+1ppm
	RTK	H: 10mm+1ppm
	DGPS	<0.5m

위결과와의 비교를 위한 최확값으로 사용하였다. 그리고 단독 GPS 위성자료와 GPS + GLONASS 조합된 위성 자료를 각각 수신하기 위해서 네트워크 RTK-GNSS (GRX1) 장비를 이용하여 검사점 관측을 각각 실시하였다. 네트워크 RTK -GNSS 측량은 Fig. 2와 같이 동일한 장비 두 대를 활용하여 장비 1은 오직 GPS 위성 자료만을 수신하였으며, 장비 2는 GPS+GLONASS 조합 위성 자료를 수신하도록 하여 검사점에 대한 좌표를 측량하였다.

Table 1에는 본 실험에 사용된 네트워크 RTK-GNSS 장비의 사양을 나타내었다.



Figure 4. Check points position and surveying courses

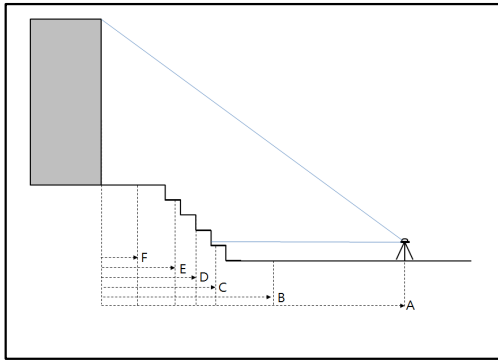


Figure 5. Check points on the cross section

Table 2. Distances from obstacles and elevation angles

CP	Distance from obstacle	Elevation angles
A	58m	38°
B	28m	58°
C	16m	70°
D	14m	78°
E	7.5m	80°
F	3m	87°

로 접근하였으며, 2코스는 건물의 우측으로 소규모의 임야지역을 포함하고 있는 코스로 접근하여 관측을 실시하였다.

Fig. 5는 관측이 수행된 검사점의 위치를 단면으로 나타내었다. 검사점의 위치를 직선으로 일정한 간격을 유지하여 현장측량을 실시하였다.

관측점 A는 장애물인 고층건물로부터 이격거리 58m, 고도각 38°, 관측점 B는 이격거리 28m, 고도각 58°, 관측점 C는 이격거리 16m, 고도각 70°, 장애물의 영향을 많이 받는 F 검사점은 장애물과의 이격거리 3m, 고도각 87°의 조건으로 관측을 실시하였다. Table 2에는 장애물과의 관측 거리 및 고도각을 나타내었다.

네트워크 RTK-GNSS 측량은 각각의 검사점마다 10초 간격(epoch)으로 15개의 좌표를 취득하였다. 위성조합에 의한 측량은 모든 검사점이 고정해를 얻었지만 GPS 단독 관측은 장애물과의 초 근접지역에서는 고정해를 얻지 못하고 유동해(float)로 처리되었다. 장애물이 없는 준 개활지에서 GPS 측량과 GPS+GLONASS 측량의 초기화 시간차이는 거의 발생하지 않았다. 하지만 장애물이 근접하는 검사점에서는 GPS 단독 측량보다 조합에 의한 측량 초기화 시간이 30% 이상 단축됨을 알 수 있었다.

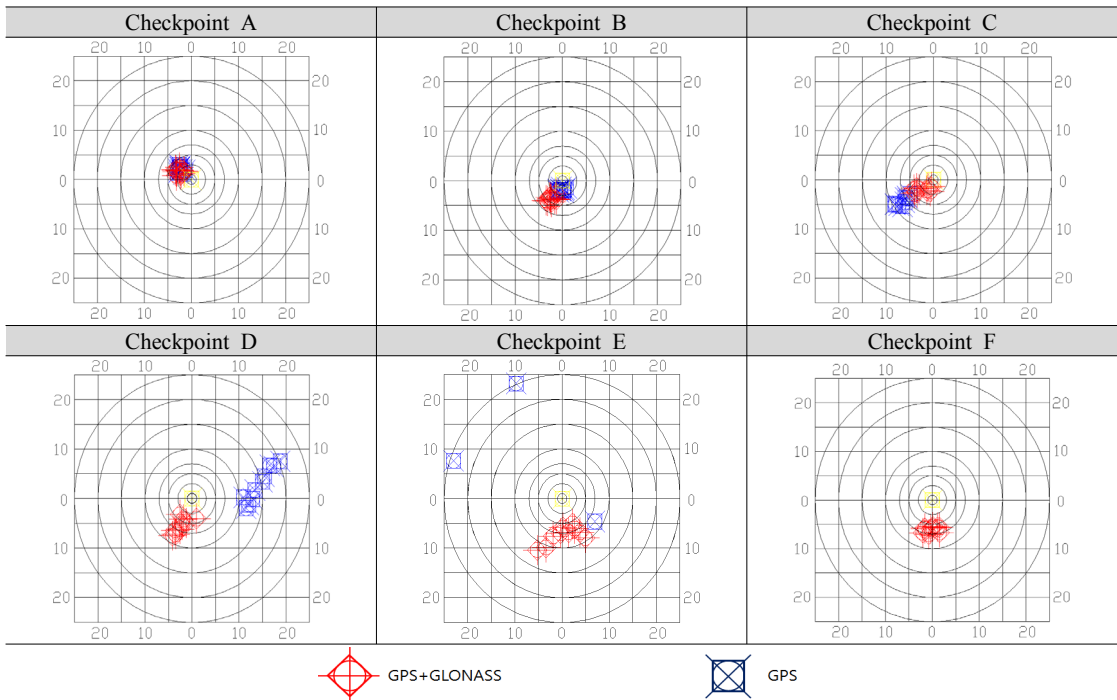


Figure 6. Comparison of positioning accuracy in surveying course no.1

(unit : cm)

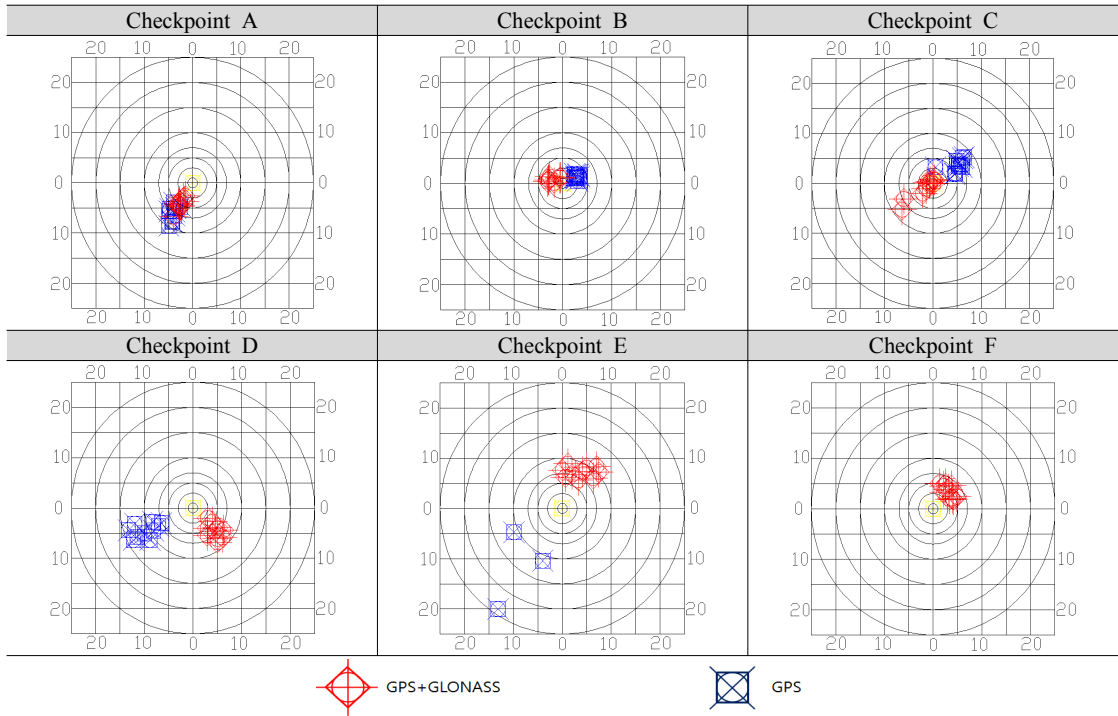


Figure 7. Comparison of positioning accuracy in surveying course no.2 (unit : cm)

4. 자료처리 및 분석

4.1 자료처리

GPS 단독 관측자료와 GPS+GLONASS 조합에 의한 관측자료를 각각 취득하여 코스별로 위치결정 정확도 분석을 실시하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 GNSS 측량의 결과를 코스 및 각각의 검사점으로 분리하여 오차타원 형태로 나열하였다. GPS 단독 위성으로 수신된 관측 결과값은 파란색으로 표기하였으며, GPS+GLONASS 조합에 의한 관측값은 선홍색으로 표기하였다. 오차타원의 큰 원의 반

지름은 25.0cm, 격자의 크기는 5.0cm×5.0cm 이다.

우선 처리결과에 따른 시각적인 판단으로 정성적 분석을 실시하여 보면, 취득된 결과값은 각각의 검사점 별로 매우 다양한 분포로 이루어졌음을 알 수 있다. 즉 장애물과 거리가 떨어져 있는 지역인 준 개활지 1, 2코스의 A, B 검사점에서는 GPS 단독측위와 GPS+GLONASS 조합으로 취득된 자료가 비교적 비슷한 양상의 양호한 결과로 나타났으나 장애물과의 거리가 좁혀지는 1, 2코스의 C, D, E, F 검사점에서는 단독으로 실시한 GPS 위성자료의 처리 결과값 보다 GPS+GLONASS가 조합된 자료로 처리한 결과가 양호한 것으로 나타나고 있다. 특히 관측점 F와 같이 장애물과

Table 3. Positioning accuracy with GPS-only in course no.1

	Averaged Residuals (TS-GPS) (m)		RMSE (TS-GPS) (m)		PDOP	No. of satellites
	N(X)	E(Y)	N(X)	E(Y)		
A	-0.02	0.023	0.002	0.002	1.7	7
B	0.018	0.002	0.019	0.006	2.1	6
C	0.044	0.066	0.045	0.067	2.0	6
D	-0.027	-0.144	0.043	0.146	2.8	5
E	-0.88	4.766	1.348	6.467	3.6	5
F	-2.494	7.369	2.496	7.378	3.7	4

Table 4. Positioning accuracy with GPS/GLONASS in course no.1

	Average Residual (TS-(G+G)) (m)		RMSE (TS-(G+G)) (m)		PDOP	No. of satellites
	N(X)	E(Y)	N(X)	E(Y)	G+G	G+G
A	-0.016	0.026	0.016	0.008	1.8	11
B	0.036	0.023	0.037	0.024	2.0	10
C	0.022	0.023	0.022	0.027	2.2	10
D	0.054	0.023	0.056	0.027	1.9	9
E	0.073	-0.004	0.075	0.031	2.8	8
F	0.061	0.002	0.061	0.013	2.7	8

Table 5. Positioning accuracy with GPS-only in course no.2

	Averaged Residual (TS-GPS) (m)		RMSE (TS-GPS) (m)		PDOP	No. of satellites
	N(X)	E(Y)	N(X)	E(Y)	GPS	GPS
2-A	-0.015	-0.023	0.001	0.002	1.9	7
2-B	0.010	0.009	0.009	0.011	2.0	6
2-C	0.023	0.056	0.024	0.057	2.3	6
2-D	0.035	-0.211	0.040	0.221	2.7	5
2-E	0.780	6.536	1.569	6.635	3.5	5
2-F	5.164	-8.364	6.104	8.401	3.8	4

Table 6. Positioning accuracy with GPS/GLONASS in course no.2

	Averaged Residual (TS-(G+G)) (m)		RMSE (TS-(G+G)) (m)		PDOP	No. of satellites
	N(X)	E(Y)	N(X)	E(Y)	G+G	G+G
2-A	0.011	0.020	0.010	0.007	2.0	11
2-B	0.022	0.030	0.023	0.030	2.1	10
2-C	0.016	0.023	0.018	0.024	2.3	9
2-D	-0.045	0.030	0.046	0.035	2.0	9
2-E	0.066	0.007	0.069	0.009	2.6	8
2-F	0.077	0.010	0.080	0.011	2.9	7

초 근접한 지점에서는 GPS만으로 처리된 관측 자료는 오차타원 범위를 초과하는 결과로 나타났다.

4.2 자료 분석

장애물 근접에 따른 각각의 잔차량과 평균제곱근오차(RMSE: Root Mean Square Error)를 계산하여 정확도와 정밀도를 정량적으로 분석하였다. 우선 Table 3과 Table 5에는 1, 2코스의 GPS 위성자료로 관측한 결과 값을 각각 잔차와 RMSE로 나타내었으며, 또한 각각의 검사점별로 PDOP과 위성의 개수를 평균하여 수록하였다. 그 결과 장애물로 인해 위성개수가 5개 이하, PDOP이 2.8 이상으로 나타난 D 검사점부터 잔차량과 RMSE가 급격하게 증가하고 있다.

또한 GPS+GLONASS 조합된 위성 자료로 관측한 결과 값의 잔차와 RMSE는 각각 Table 4와 Table 6에

나타내었다. 그 결과 장애물에 근접 할수록 잔차량과 RMSE가 증가하고 있음을 알 수 있다. 결국 두 가지 조건에 의한 결과를 비교해 보면 GPS+GLONASS의 조합에 의한 취득 데이터에서 PDOP과 가시위성의 수가 평균 9개 이상의 양호한 결과를 나타내면서 단독 GPS 측량 결과에 비해 평균 2.0~4.0cm로 양호한 결과로 나타났다.

4.3 결과 분석

전제적인 정확도와 정밀도를 파악하기 위해서 연결 교차 값으로 분석을 실시하였다. Fig. 8과 Fig. 9에는 각각 GPS 단독과 GPS/GLONASS 조합의 측량결과를 코스별의 잔차량을 연결교차 값으로 나타내었다. 파란색 막대는 GPS, 선홍색 막대는 GPS+ GLONASS로 나타내었다.

그 결과 1, 2코스의 A, B 검사점 잔차량은 비슷한 양

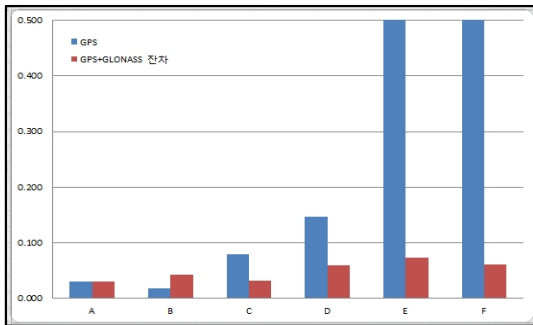


Figure 8. GPS vs. GPS/GLONASS positioning errors(residuals) in course no.2 (unit: m)

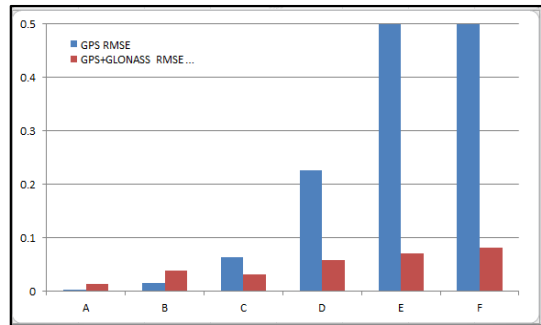


Figure 11. GPS vs. GPS/GLONASS positioning errors (RMSE) in course no.1 (unit: m)

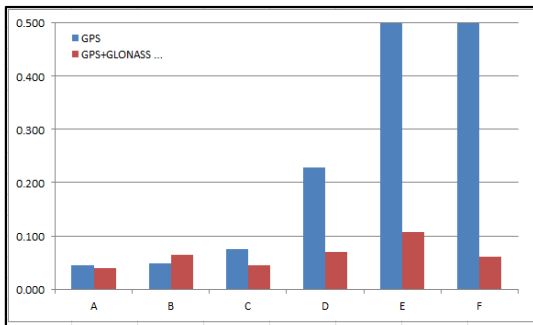


Figure 9. GPS vs. GPS/GLONASS positioning errors(residuals) in course no.2 (unit: m)

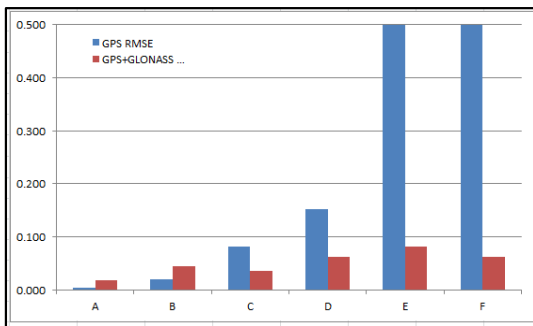


Figure 10. GPS vs. GPS/GLONASS positioning errors (RMSE) in course no.1 (unit: m)

상으로 나타났으나 최고 2.5cm 이상 GPS 단독으로 측량한 결과값이 더 양호한 결과로 나타났다. 하지만 장애물이 근접하는 C, D, E, F 검사점에서는 조합된 위성자료가 11cm를 초과하지 않으며 평균 5cm를 유지하는 양호한 결과로 확인되었다. 반면 GPS 단독으로 실시된 결과값은 장애물과 가장 인접한 검사점에서는 7.8m 이상의 결과로 나타났다.

한편, 두 관측방법별 각각의 검사점에 대한 RMSE 값을 코스별로 나타내면 Fig. 10 및 Fig. 11과 같다. 우선 1, 2코스의 A, B 검사점에 대한 RMSE는 1.0cm~2.2cm로써 GPS 단독으로 실시된 결과값이 조합된 위성수신 자료보다 더 양호한 값을 보여주고 있으나, 장애물에 대한 영향권이 인접하는 1, 2 코스의 C, D, E, F 검사점에서는 두 결과가 확연한 차이를 나타내면서 조합된 위성수신 자료가 평균 6.0cm 미만의 양호한 형태로 나타났다. 반면 단독으로 실시한 GPS 위성자료는 최고 10.0m 이상을 초과하는 오차가 발생되었다. 이는 장애물 근접에 따른 가시위성 부족, PDOP의 불안정과 멀티패스(Multipath), 사이클 슬립(Cycle Slip)과 같은 신호잡음 등에 의해서 모호정수 고정해를 얻지 못한 결과로 판단하였다.

5 결론

본 연구에서는 GPS 단독으로 수신한 위성자료 결과값과 GPS+GLONASS 조합에 의한 결과 값을 네트워크 RTK 측량기법을 적용하여 장애물과의 거리와 각도를 각각 달리하여 분석을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 개활지역과 같이 시통이 양호한 지역에서 GPS 위성의 개수와 PDOP의 상태가 양호하게 확보되는 경우에는 위성 조합에 의한 측정결과보다 단독 GPS 측량에 의한 결과가 수평 위치 정확도 및 정밀도에서 상대적으로 양호한 결과로 나타났다. 이러한 결과는 위성 간의 상이한 신호체계와 주파수 대역으로 인하여 단독 GPS 측량에 비해 위성 간의 조합에서 발생하는 시간오차 및 좌표계 등에 따른 미세한 차이에서 비롯된 것으로 판단된다.
2. 장애물에 대한 영향을 받는 지역(45m 높이의 건

물로부터 이격거리 14m, 고도각 78°)에서 단독 GPS 측량은 준 개활지역에 비해 두 배 이상의 잔차량과 RMSE 결과값을 나타내었고, 7m~3m까지 초근접 시에는 고정해를 얻지 못하고 각각 7m, 10m를 초과하는 잔차량과 RMSE 결과를 취득하였다. 하지만 위성 조합에 의하여 취득된 관측값은 잔차량과 RMSE 각각 6cm, 8cm 범위내로 나타났다. 이는 가시위성수 및 PDOP 등에 의하여 모호정수 고정해를 얻은 결과로 판단된다.

본 연구결과 네트워크 RTK 장비를 활용하여 최소 PDOP은 2.5 이하, GPS 위성 6개, 조합위성 9개 이상의 조건에서 가장 양호한 결과값이 취득되었다. 장애물과의 거리 및 고도각에 따른 연구결과를 바탕으로 공공 측량작업규정 및 지적재조사 측량규정에 의한 3급, 4급과 일필지 경계측량 등의 현장측량 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 향후 본 연구에 대한 한계점을 해결하고 신뢰성 확보를 위해서 상공 장애물 관측 자료, 다양한 시간대별 관측 자료를 포함하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

1. Bartenev V.A., Klimov V.N., Kossenko V.E., Krasilschikov M.N. and Revniykh S.G., 2003, GLONASS navigation satellite system status and development, Presentations at 4th CGSIC IISC Asia Pacific Rim Meeting, Tokyo, Japan Nov., 2003.
2. Choi, W.S. and 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, Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System, Vol. 19, No. 4, pp. 65-70.
3. Han, J.H., Kwon, J.H. and Hong, C.K., 2010, Analysis of network - RTK(VRS) positioning accuracy for surveying public control point, Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System, Vol. 18, No. 2, pp. 13-22.
4. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H. and Collins J., 1993, Global positioning system-theory and practice, Springer-Verlag, Wien Austria.
5. Kaplan E.D., 1996, Understanding GPS: Principles and applications, Artech House Publishers, Boston.
6. Lee, J.M., Lee, I.S. and Cha, D.K., 2010, Availability analysis of network RTK-GPS/GLONASS, Proc. of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography Spring Conference 2010, pp.177-180.
7. Lee, S.B., 2013, Accuracy evaluation of the height determined by network - RTK VRS positioning, Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System, Vol. 4, pp. 55-63.
8. NGII (National Geographic Information Institute), 2010, Public survey work regulations.
9. Park C.S. and Song H.P., 2004, Precise positioning and error analysis method using GPS and GLONASS, Journal of the Korean Society for Aerospace and Space Sciences, Vol. 32, No. 5, pp. 74-83.
10. Sohn, D.H., Park, K.D., Jung, W.S. and Kee, C. D., 2013, An analysis of GPS station positioning accuracy variations according to locations of obstacles, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 37, No. 5, pp. 463-469.