

Network RTK GNSS방법 중 FKP와 VRS 관측 방법의 정확도 평가

김재우^{1*} · 문두열² · 김영종³

FKP and VRS among Network RTK GNSS methods Accuracy Evaluation of Observation Methods

Jae-Woo KIM^{1*} · Do-Yeoul MUN² · Yeong-Jong KIM³

요 약

실시간 위치 정보를 제공하는 것이 국가산업의 주요한 목표로 부상하고 있는 실정이다. 이러한 실시간 위치 정보(3차원 공간 정보)를 제공하기 위해서는 위성 측위 방법의 기술 발달이 필수적이다. 그래서 국가에서는 Network RTK GNSS방식을 도입하여, 수요자의 요구에 만족도를 증가시키는 노력을 지속적으로 하고 있다. 본 연구에서는 국토지리정보원에서 제공하고 있는 Network RKT GNSS(Global Navigation Satellite System) 방식 중 VRS(Virtual Reference Station)과 FKP(Flachen-Korrektur Parameter)을 이용하여 통합기준점에서 연속 관측과 단독 관측을 측량하여 정확도 평가를 하였다. 또한 현장에서 급속하게 증가하고 있는 Network RTK GNSS 방법에 대하여 정확도를 제시하여 효율성을 극대화하고자 한다.

주요어 : Network RTK GNSS, VRS, FKP, 연속 및 단독 관측, 정확도

ABSTRACT

Providing real-time location information is emerging as a major goal of the national industry. In order to provide such real-time location information (3D spatial information), it is essential to develop a technology for a satellite positioning method. Therefore, the country continues to make efforts to increase satisfaction with the needs of consumers by introducing the Network RTK GNSS method. In this study, among the Network RKT GNSS(Global Navigation Satellite System) methods provided by the National Geographic Information Service, continuous observation and single observation were measured at the

2022년 12월 02일 접수 Received on December 02, 2022 / 2022년 12월 13일 수정 Revised on December 13, 2022 / 2022년 12월 15일 심사완료 Accepted on December 15, 2022

1 동의대학교 토목공학과 박사수료 Ph.D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Dongeui University

2 동의대학교 토목공학과 교수 Professor, Dept. of Civil Engineering, Dongeui University

3 현강이엔지(주) 공간정보팀 부장 Department Head, Spatial Information Team, HyunKang Co., Ltd

* Corresponding Author E-mail : kjw3954@hanmail.net

integrated reference point using VRS(Virtual Reference Station) and FKP(Flächen-Korrektur Parameter) to evaluate accuracy. In addition, we aim to maximize efficiency by presenting accuracy on the rapidly increasing Network RTK GNSS method in the field.

KEYWORDS : Network RTK GNSS, VRS, FKP, Continuous and Singlet Observation, Accuracy

서 론

최근 3차원 공간정보 수요자의 요구가 다양하고, 수요자 활용도가 고도화해지고 높은 정확도가 요구되고 있는 실정이다. 특히, 통신 기술의 발달로 인하여 보다 빨리 보다 정확하게 보다 손쉽게 3차원 정보를 취득하고자 하는 요구가 급속도로 대두되고 있다. 그 중에서도 위치기반 플랫폼의 산업의 기하급수적으로 발전하면서 수요가 더욱더 가속화되고 있고, 더욱 더 발전하는 양상으로 변해가고 있다.

따라서 실시간 위치 정보를 제공하는 것이 국가산업의 주요한 목표로 부상하고 있다. 이러한 실시간 위치 정보(3차원 공간정보)를 제공하기 위해서는 위성 측위방법의 기술 발달이 필수적이며, 이에 발맞추어 국가에서는 Network RTK GNSS방식을 도입하여, 수요자의 요구에 만족도를 증가시키는 노력을 지속적으로 하고 있다.

3차원 공간정보 취득 방법은 기존에 많이 사용하는 토탈스테이션(Total Station)이 있으며, 2010년대부터는 Network RTK GNSS(Global Navigation Satellite System)을 현장에서는 많이 선호하고 있다. 특히 실무에서 선호하는 이유로는 정확성과 효율적인 측면에서 월등하다는 측면에서 많이 사용하고 있다. 이에 발맞추어 국가에서 Network RKT GNSS(Global Navigation Satellite System)에 대한 법령제정을 통하여 수요자의 만족도를 극대화하고 있다.

Network RTK GNSS(Global Navigation Satellite System) 방법에는 VRS(Virtual Reference Station), FKP(Flächen Korrektur Parameter), MAC(Master Auxiliary Concep)이 있다. 2010년대 초에는 국토지리정보원에서 VRS(Virtual Reference Station)을 제공하여 현장에서는 많이

사용하였는데 사용자의 증가로 인한 불편함이 다소 발생하여, 최근에는 FKP(Flächen Korrektur Parameter)방식을 제공하고 있다.

해외의 연구 동향을 보면 GNSS 2003 저널에 FKP와 VRS의 장단점에 대하여 비교 분석하기 위하여 VRS와 FKP 시스템을 이용하여 오차 보정 요소인 대류권과 전리층 모델 계산 방법의 차이를 분석하였으며, 그 결과 FKP와 VRS의 대류권 및 전리층 모델의 계산정밀도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 접속자 수 제한이 없는 점이 FKP 방식이 월등하다는 평가를 도출하였다(Herbert *et al.*, 2003). International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium에서 호주를 대상으로 GPS CORS Network RTK를 이용하여 기준망의 크기와 수신기 모델에 종류별로 관측하여 정확도를 검증하는 연구를 하였다(Gordini, C., *et al.*, 2006). Erhu(2006)는 Journal of Global Positioning Systems, Vol.5 No.1-2에 VRS는 FKP에 비해 빠른 계산 속도가 장점인 반면 동시 접속자 수의 제한이 단점이라고 지적하였다(Erhu, W., *et al.*, 2006).

Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications에서 Network RTK 중 VRS와 FKP 시스템의 실시간 위치정확도 분석을 하여 정확도 평가를 하였다(El-Mowafy, A. 2012).

NTRIP 보정신호 분석을 통한 국토지리정보원 FKP NRTK시스템 안정성 평가를 통하여 초기에 국토지리정보원에서 제공하고 있는 Network RTK FKP 시스템의 이동 측위 시 과도한 오차가 발생하여 적절한 대비책을 강조하였다(Kim, K.J., T.S. Bae. 2013).

GNSS 수신환경에 따른 VRS와 FKP 서비스의 정확도 비교를 연구하였고, 그 연구에서

Network RTK 수평 방향 분석 결과, 서비스 기법에 관계없이 측위 정밀도가 모두 5cm 이내로 안정적인 결과를 보였다. 그러나 FKP 서비스로 관측된 측점 중에서 관련 규정을 만족하지 못하는 경우가 다수 발생하였다는 연구 결과를 발표하여 측량 관련 규정의 확립이 중요하다고 발표하였다(Shin, D.Y. and J.S. Kim. 2016).

대향 수요에 적합한 전국범위 네트워크 RTK 서비스 구조의 설계 및 평가에 대하여 연구하여 전국 평균적으로 실시간 측위에 지연시간을 약 0.499초로 발표하여 전국적으로 충분한 정확도를 나타내는 보정 정보 제공이 가능함을 발표하였다(Hwang, J.S. and W.H. Jang. 2020).

따라서 본 연구에서는 국토지리정보원에서 제공하고 있는 Network RTK GNSS(Global Navigation Satellite System) 방식 중 VRS(Virtual Reference Station)과 FKP(Flächen Korrektur Parameter)의 두가지 방법에 대하여 3차원공간정보의 정확도 비교분석 연구는 거의 전무하다. 그래서 본 연구는 통합기준점에서 연속 관측과 단독관측을 측량하여 3차원 공간정보의 정확도 평가를 하였다, 그리고 본 연구로 실무자들에게 정확도 판단에 필요한 연구로 판단되며, 이것을 또한 현장에서 급속하게 증가하고 있는 Network RTK GNSS에 대하여 정확도를 제시하여 사용자들에게 효율성을 극대화하고자 한다.

Network RTK GNSS

GNSS(Global Navigation Satellite System)는 1960년대부터 개발되기 시작하여, 현재 측량 분야 및 실생활에 필수적인 요소가 되었다. GNSS가 대중화되고 여러 응용 분야가 발전함에 따라서 4차산업 혁명에 없어서는 안되는 기술로 부각되고 있다. 이러한 실정에서 GNSS 기술은 신속성과 정확도를 더욱더 요구하고 있다.

1. Network RTK GNSS 원리

Network RTK GNSS 원리는 임의의 관측자에 가까운 지점에 가상의 기준국이 있다고 가정하며, 가까운 가상 기준국에서 획득된 것과 같

은 관측치를 상시 관측소 기준점의 Network data를 이용하여 이 가상의 기준점과 관측자의 RTK를 통하여 정확한 관측자의 위치를 결정하는 것이다.

제어국에서는 Network 내의 상시 관측소 자료를 통합한 후 전송받은 보정 정보를 일정한 형식에 따라 오차를 분리해낸다. 오차를 제거한 후 가상 기준국의 가상 관측치를 생성한다.

이러한 가상으로 생성된 가상 기준국은 관측자에게 전송이 되어야 하는데, Network RTK 시스템에서 전송하는 자료는 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services)이나 CMR(Compact Measurement Record) 형식을 통하여 전송된다. 일반적으로 우리나라에 적용되는 전송방식은 RTCM방법이다(Mun, D.Y., S. S. Lee, M.S. Kim, S.H. Shin and T.K. Eeak., 2013).

Network RTK GNSS의 진행 과정으로 상시 관측소에서 받은 GPS 데이터를 제어국으로 수신하면 제어국은 수집된 기준국 데이터를 통해 보정값을 생성한다. 상시 관측소 망안에 있는 사용자가 제어국으로 현재 위치를 정보를 전송하면 제어국은 사용자가 요청한 위치에 해당하는 보정치를 사용자에게 RTCM 형식으로 전송하면, 전송받은 보정치를 통해 정밀 좌표를 획득할 수있다. 그림 1로 Network RTK GNSS 원리를 나타낸 것이다.

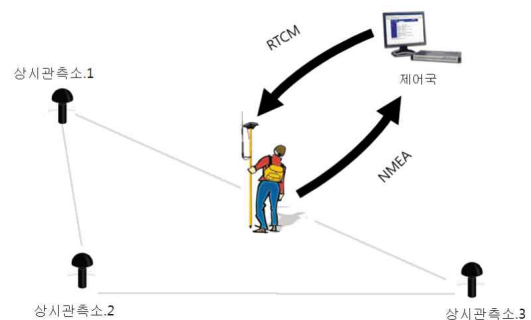


FIGURE 1. Principles of Network RTK GNSS
source : Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies Vol. 16 Issue 4 / Pages.54–63

2. 가상기준점 방식(Virtual Reference Station)

가상기준점 방식은 Network 내 임의의 가장 가까운 이동국에서 가상 기준국을 생성하고, 생성된 가상 기준국의 데이터를 중앙서버로 전송한다. 그 후 다시 GPS기준국(상시 관측소)에 의해 형성된 Network를 이용해 계산된 보정값을 수신하고, 가상 기준국에 대한 위치를 재계산한 후 가상 기준국을 기준으로 이동국에 대한 정확한 위치를 결정하는 방식이다.

가상기준점 방식을 운영하기 위해서는 GPS 상시 관측소로 구성되는 Network 내에서 서로 다른 기준국의 관측데이터를 통합 처리하여 전리층, 대류권, 위성궤도, 다중경로오차 등에 대한 오차 모델을 생성하고 미지정 수 등을 계산하여 Network내에 적용하게 된다. 또한 관측값에 대한 보정량을 관측 공간에서 결정하기 때문에 기존의 RTK모듈을 그대로 사용할 수 있다.

VRS 방식의 Network RTK시스템의 장점은 사용자가 자신의 위치와 거의 동일한 위치를 기반으로 생성된 가상 기준국 보정 정보를 제공받는 방식이므로 사용자 측정치에 포함된 GNSS 오차를 효과적으로 제공할 수 있다는 점이다. 하지만, 가상 기준국 설정을 위해서는 사용자의 위치 정보가 제공되어야 하므로 사용자와 기준국 간의 양방향통신이 지속적으로 유지되어야 하며, 이로 인해 VRS 서버로의 동시 접속자 수가 제한되는 단점이 있다. 또한, 가상 기준국의 좌표가 변경되면 기준국 네트워크의 미지정 수가 재결정되어 사용자의 RTK프로세스가 초기

화되므로 이를 방지하기 위해 사용자는 초기에 업로드 한 VRS위치를 기반으로 생성된 보정 정보를 계속하여 적용하여야 한다. 따라서 사용자가 초기위치에서 멀어질수록, 즉 기선거리가 길어질수록 단일 기준국 RTK와 동일하게 공간이격오차가 발생하여 RTK 측위 성능이저하될 수 있다. 그림 2는 가상기준점 관측 방식의 개념도이다.

3. FKP(Flächen Korrektur Parameter) 방식

VRS 자료처리방식 중 가상기준점 방식은 관측 공간의 오차 모델링을 수행하고, 면(面) 보정계수인 FKP는 상태공간에서의 오차 모델링을 한다. 따라서 관측 공간에서의 오차 모델링은 오차 요인의 각각의 상태를 기술하지 않고, 전체적으로 조합된 효과를 추정하게 되며 상태공간에서의 모델링은 각각의 오차 성분의 상태를 추정하게 된다(Yun, H.C., J.J. Lee, M.G. Kim. 2010).

그리고 FKP 기본 원리는 FKP 중앙서버에서 계통오차에 대한 면 보정계수를 생성하고, 이를 방송하여 이동국에서 자체적으로 위치를 결정하게 되며 그림 3 FKP의 개념도이다. 우리나라의 FKP 서비스는 기준국의 관측데이터를 이용하여 생성한 오차에 대한 면 보정계수와 이동국과 가장 가까운 기준국의 데이터를 이동국에 전송하여 RTK 방법으로 위치를 계산하는 방식이다. 이러한 FKP의 장점은 단방향 통신 기반으로 라디오 방송처럼 보정 정보에 대한 사항을 전송만 해주면 되므로 이론적으로 무제한에 가까운 사

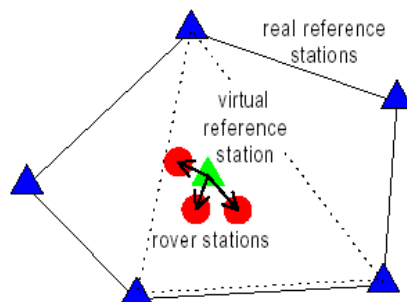


FIGURE 2. The Concept of Virtual Reference Station

source : <http://map.ngii.go.kr/ms/mesrInfo/gnss>

용자에게 서비스가 가능하다는 점이다. 하지만 서비스 제공자의 오차 모델에 대한 정밀도가 사용자의 FKP 측위 정밀도에 영향을 받으므로 시스템 전체의 성능이 서비스 제공자에게 달려있는 단점이 있다(Han, S.H., H.T. Park. 2014).

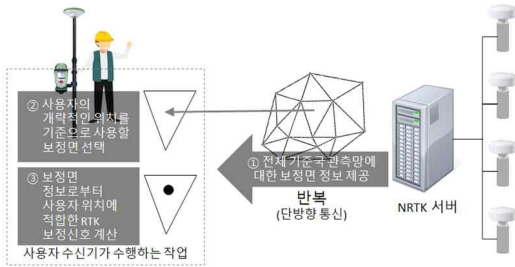


FIGURE 3. The Concept of FKP source : <http://gnss.eseoul.go.kr>

정확도 평가를 위한 관측 및 분석

1. 연구 대상지역 및 관측장비

연구 대상지역은 울산광역시에 소재하는 통합 기준점을 선정하여 정확도 평가를 하였다. 선정



FIGURE 4. Location of the Unified Control Point source : <http://map.ngii.go.kr>

된 통합기준점은 U02, U20, U25, U26, U27이며, 위치도는 그림 4에 나타내었고, 각각의 모습은 그림 5와 같다. 그리고 사용된 통합기준점의 성과는 표 1에 나타내었다.

TABLE 1. Result of The Unified Control Point

ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	Remark
U 02	321,829.0725	226,754.4470	8.1157	
U 20	329,959.3387	224,251.3319	10.2767	
U 25	328,033.3639	226,816.9117	4.8547	
U 26	326,585.4480	223,286.8144	46.6734	
U 27	325,724.7035	226,776.7892	14.3896	

본 연구에서 사용된 관측장비는 Leica사의 GS07이며, GPS, GLONASS 위성을 관측할 수 있다. 그리고 SBAS 보정 값을 수신할 수 있으며, VRS와 FKP를 관측하며, 320채널이 확보된 장비이다. 이 장비는 2021년 01월 22일에 『공간정보의 구축 및 관리 등에 관한 법률』 제 92조 및 시행규칙 제103조 제1항에 따라 측량기기 성능검사를 통과하였다. GS07장비의 장비 제원은 표 2에 나타내었다.



FIGURE 5. Shape of The Unified Control Point source : <http://map.ngii.go.kr>

TABLE 2. Specifications of GNSS

GNSS	
Model	GS07(Leica)
Accuracy	H : 3mm+0.5ppm V : 5mm+0.5ppm
Measure unit(minimun)	10 second
Channel	320 channels
GLONASS / NMEA	L1, L2 ? Yes
Communication port	Blue tooth, USB, RS-232

2. 관측 시 위성 상태 관측 및 분석

연구 대상은 울산광역시에 소재하는 통합기준점을 선정하여 정확도 평가를 하였다. 정확도 평가의 신뢰성 확보를 위하여 관측 시 위성 상태를 관측하였다. 선정된 5개의 통합기준점은 U02, U20, U25, U26, U27에서 포크 갯수를 30개로 30번 관측하였고, 관측 방법은 두 가지를 사용하였다. Network를 해지하지 않고 30초 한 번씩 저장하는 연속 관측 방법과 한번 관측 시 Network를 해지하고 30초 한 번씩 저장하는 단독 관측법으로 측량하였다. 관측한 자료의 수는 VRS와 FKP 각각 300개씩 600개의 자료를 관측하였다. 관측하는 모습은 그림 6과 같으며, 위성 상태를 관측한 자료는 너무 방대하여 한 번의 케이스를 표 3에 나타내었다.

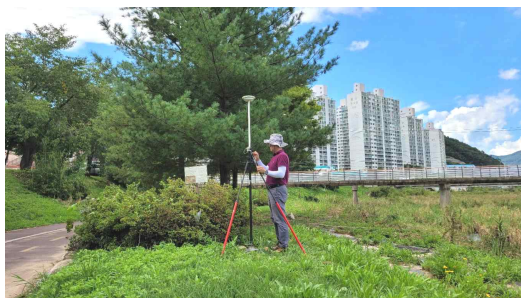


FIGURE 6. Shape of Observation

TABLE 3. Result of satellite condition

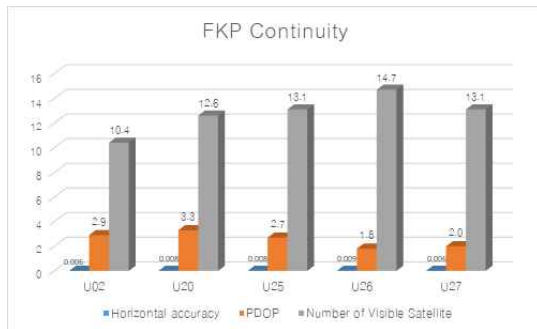
No	Horizontal accuracy	PDOP	Number of GPS	Number of GLONASS
VRS 1	0.006	2.3	5	4

VRS 2	0.006	2.7	5	4
VRS 3	0.005	1.8	6	4
VRS 4	0.006	2.3	5	4
VRS 5	0.008	2.7	5	4
VRS 6	0.006	3.2	5	4
VRS 7	0.006	3.6	5	4
VRS 8	0.006	1.4	5	4
VRS 9	0.006	3.2	5	4
VRS 10	0.006	1.4	5	5
∴				
FKP 1	0.006	3.0	6	4
FKP 2	0.006	2.9	6	4
FKP 3	0.005	2.8	6	4
FKP 4	0.006	3.1	6	4
FKP 5	0.008	3.0	6	4
FKP 6	0.006	3.2	6	4
FKP 7	0.006	2.5	6	4
FKP 8	0.006	3.0	6	4
FKP 9	0.006	3.0	6	4
FKP 10	0.006	3.0	6	4

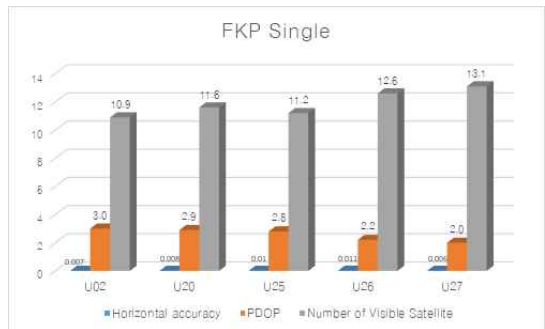
정확도 평가를 위한 통합기준점 측량 위성 상태 분석 결과는 FKP 연속 관측 시 위성 상태는 수평정밀도 0.006~0.009로 매우 양호하며, PDOP(위치 정밀도 저하율)는 1.8~3.3으로 양호한 위성 상태이고, 가시 위성 수는 약 12.8개로 많은 가시 위성을 확보하였다. FKP 단독 관측 시 위성 상태는 수평 정밀도는 0.006~0.011로 매우 양호하며, PDOP(위치 정밀도 저하율)은 2.0~3.0으로 양호한 위성 상태이고, 가시 위성 수는 약 11.9개로 많은 가시 위성을 확보하였다. 그리고 VRS 연속 관측 시 위성 상태의 수평 정밀도는 0.006~0.013으로 양호하며, PDOP(위치정밀도 저하율)은 2.5~3.5로 양호한 위성 상태이고, 가시 위성 수는 약 11.0개로 많은 가시위성을 확보하였다. VRS 단독 관측 시 위성 상태의 수평 정밀도는 0.008~0.012로 매우 양호하며, PDOP(위치정밀도저하율)는 2.3~3.0으로 양호한 위성 상태이고, 가시 위성 수는 약 11.6개로 많은 가시 위성을 확보하였다. 결과를 분석한 값은 표 4와 그림 7에 나타내었다.

TABLE 4. Analysis of satellite condition

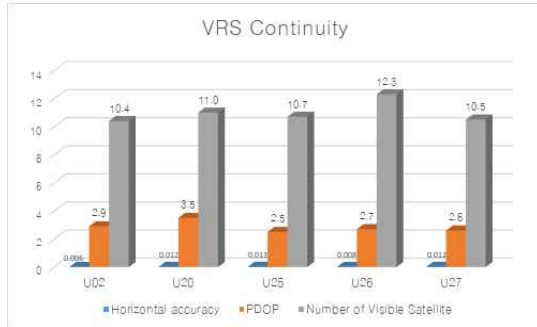
No	FKP Continuity			FKP Single			No	VRS Continuity			VRS Single		
	Horizontal accuracy	PDOP	Number of Visible Satellite	Horizontal accuracy	PDOP	Number of Visible Satellite		Horizontal accuracy	PDOP	Number of Visible Satellite	Horizontal accuracy	PDOP	Number of Visible Satellite
U 02	0.006	2.9	10.4	0.007	3.0	10.9	U 02	0.006	2.9	10.4	0.008	2.3	12.0
U 20	0.008	3.3	12.6	0.008	2.9	11.6	U 20	0.012	3.5	11.0	0.012	2.7	11.3
U 25	0.008	2.7	13.1	0.010	2.8	11.2	U 25	0.013	2.5	10.7	0.016	3.0	10.9
U 26	0.009	1.8	14.7	0.011	2.2	12.6	U 26	0.008	2.7	12.3	0.009	3.0	11.7
U 27	0.006	2.0	13.1	0.006	2.0	13.1	U 27	0.012	2.6	10.5	0.012	2.4	11.9



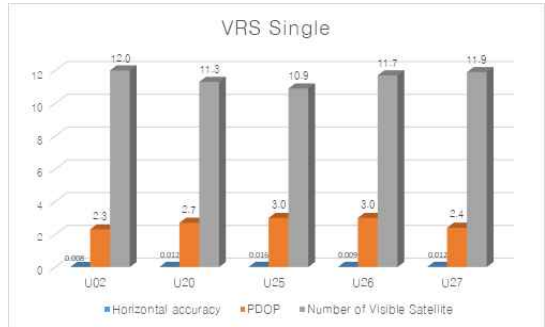
(a) FKP Continuity



(b) FKP Single



(c) VRS Continuity



(d) VRS Single

FIGURE 7. Result of satellite condition of analysis

3. 수평 정확도 평가를 위한 관측 및 분석

위성 상대 정확도 평가와 같은 통합기준점과 같은 방법으로 수평 정확도 평가를 위하여 관측을 실시하였다. 관측된 자료는 약 600개의 취득하였다. 취득된 자료를 수평 정확도 평가를 위하여 분석하였다. 선정된 5개 통합기준점 U02, U20, U25, U26, U27의 결과분석은 표 5에 나

타내었다. FKP 연속관측 분석결과 X RMSE는 0.006~0.008, Y RMSE는 0.006~0.008이며, FKP 단독 관측 분석 결과 X RMSE는 0.010~0.014, Y RMSE는 0.004~0.012이다. 그리고 VRS 연속 관측 분석 결과 X RMSE는 0.010~0.014, Y RMSE는 0.011~0.013이며, FKP 연속 관측보다 약 1.5배 정도의 오차 증가량을 보이고 있으며, 그 결과는 그림 8과 같다. VRS

TABLE 5. Analysis of horizontal accuracy evaluation

No	FKP Continuity		FKP Single		No	VRS Continuity		VRS Single	
	X RMSE	Y RMSE	X RMSE	Y RMSE		X RMSE	Y RMSE	X RMSE	Y RMSE
U 02	0.006	0.006	0.004	0.004	U 02	0.010	0.011	0.014	0.013
U 20	0.008	0.007	0.008	0.008	U 20	0.012	0.012	0.016	0.016
U 25	0.008	0.008	0.009	0.010	U 25	0.010	0.013	0.016	0.016
U 26	0.008	0.009	0.008	0.012	U 26	0.012	0.011	0.015	0.014
U 27	0.008	0.008	0.008	0.008	U 27	0.014	0.012	0.013	0.012

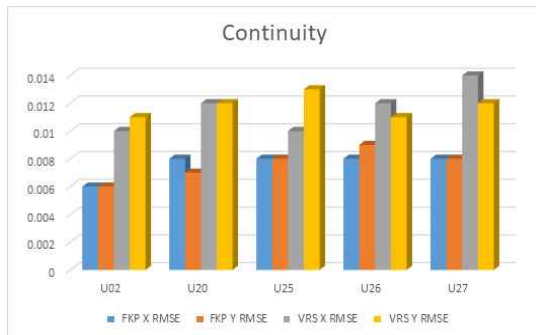


FIGURE 8. Analysis of horizontal accuracy evaluation using Continuity

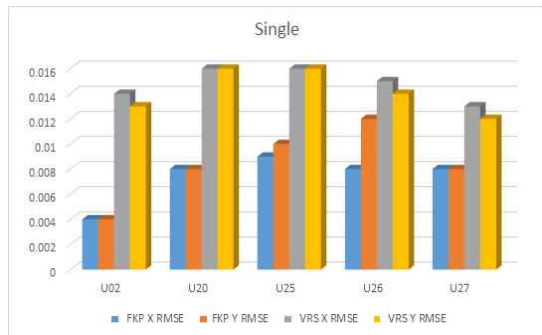


FIGURE 9. Analysis of horizontal accuracy evaluation using Single

단독 관측 분석 결과 X RMSE는 0.013~0.016, Y RMSE는 0.012~0.016으로 산정되었으며, FKP 단독 관측 보다 약 2.0배 정도의 오차 증가량을 보이고 있으며, 그 결과는 그림 9에 나타내었다. 그리고 수평 정확도는 연속 관측과 단독 관측의 기법별 차이는 거의 없으므로 결과가 나타났으며, 규정에 의한 단독 관측은 효율성이 현저하게 떨어진다고 판단하여, 실무에서는 효율성을 증대하기 위하여 연속 관측이 필요하다고 판단된다. 그리고 FKP와 VRS의 결과는 약 2.0배가 오차가 발생하는데, 이것은 기법에 의한 원리에 따른 오차라고 판단되며, 현장에서는 양방향 통신방식인 FKP를 권장하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4. 수직 정확도 평가를 위한 관측 및 분석

위의 같은 방법으로 수직 정확도 평가를 위하여 관측을 실시하였다. 관측된 자료는 약 600개의 취득하였다. 취득된 자료를 수평 정확도 평가를 위하여 분석하였다. 표 6에서 보는 바와

같이 FKP 연속 관측 분석 결과 Z RMSE는 0.015~0.021이며, FKP 단독 관측 분석 결과 Z RMSE는 0.015~0.022이다. 그리고 VRS 연속 관측 분석 결과 Z RMSE는 0.028~0.039이며, FKP 연속 관측보다 약 1.7배 정도의 오차 증가량을 보이고 VRS 단독 관측 분석 결과 Z RMSE는 0.028~0.030으로 산정되었으며, FKP 단독관측 보다 약 1.6배 정도의 오차증가량으로 그림 10에 나타났다. 따라서 수직정확도 평가에서 높이 값은 연속 관측과 단독 관측의 기법별 차이는 없는 것으로 결과가 나타났고, 단지 높이는 지오이드 모델의 성과로 차이가 발생하는 것으로 판단된다. 또한 FKP와 VRS의 수직 정확도는 차이는 FKP보다 VRS방식이 약 1.6이상 높게 오차가 발생하였다. 이러한 차이는 GNSS 보정 정보의 방식에 따라 발생한 것으로 판단되며, 수직의 정확도를 향상시키기 위해서는 FKP방법으로 관측하는 것이 효율적이라 판단된다.

TABLE 6. Analysis of Vertical accuracy evaluation

No	FKP (Z RMSE)		VRS (Z RMSE)	
	Continuity	Single	Continuity	Single
U 02	0.020	0.020	0.039	0.030
U 20	0.018	0.022	0.031	0.030
U 25	0.015	0.019	0.031	0.030
U 26	0.021	0.015	0.028	0.028
U 27	0.019	0.019	0.029	0.030

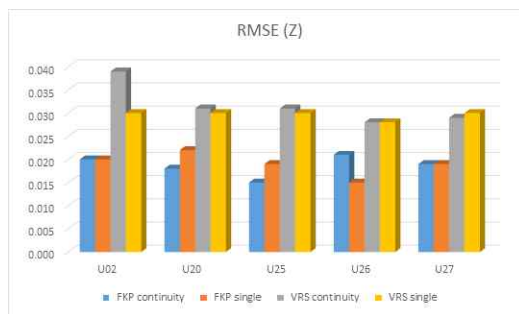


FIGURE 10. Analysis of vertical accuracy evaluation

결론

본 연구에서는 국토지리정보원에서 제공하고 있는 Network RTK GNSS 방식 중 VRS와 FKP를 이용하여 통합기준점에서 연속 관측과 단독 관측을 측량하여 정확도 평가를 하였다. 또한 현장에서 급속하게 증가하고 있는 Network RTK GNSS 방법에 대하여 정확도를 제시하여 효율성을 극대화하고자 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 정확도 평가를 위하여 측량하는 동안 위성 상태를 분석한 결과 수평 정확도, 수직 정확도, 및 PDOP(위치 정밀도 저하율), 가시 위성 수는 매우 양호한 값으로 관측되어 정확도 평가를 실시하였다.

둘째, 수평 정확도는 연속 관측과 단독 관측의 기법별 차이는 거의 없는 것으로 결과가 나타났으며, 규정에 의한 단독 관측은 효율성이 현저하게 떨어진다고 판단하여, 실무에서는 효율성을 증대하기 위하여 연속 관측이 필요한 것

으로 판단된다. 그리고 FKP와 VRS의 결과는 약 2.0배가 오차가 발생하는데, 이것은 기법에 의 원리에 따른 오차가로 판단되며, 현장에서는 양방향 통신방식인 FKP를 권장하는 것이 바람직하다고 판단된다.

셋째, 수직 정확도 평가에서 높이 값은 연속 관측과 단독 관측의 기법별 차이는 없는 것으로 결과가 나타났고, 단지 높이는 지오이드 모델의 성과로 차이가 발생한다고 판단된다. 또한 FKP와 VRS의 수직 정확도는 차이는 FKP보다 VRS 방식이 약 1.6배 이상 높게 오차가 발생하였다. 이러한 차이는 GNSS 보정 정보의 방식에 따라 발생한 것으로 판단되며, 수직의 정확도를 향상시키기 위해서는 FKP방법으로 관측하는 것이 효율적이라 판단한다. [KAGIS](#)

REFERENCES

- El-Mowafy, A. 2012. Precise Real-Time Positioning Using Network RTK., Global Navigation Satellite Systems: Signal, Theory and Applications 7:161-188.
- Erhu,W., Hua.C., Zhiguo.,A. 2006, VRS Virtual Observations Generation Algorithm. Journal of Global Positioning Systems 5(1-2):76-81.
- Gordini,C., A.N. Kealy, P.M. Grgich. M.J. Hale. 2006. Testing and Evaluation of a GPS CORS Network for Real Time Centinmetric Positioning The Victoria GPSEnet TM., International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 17-21 July, Australia, Unpaginated CD-ROM.
- Herbert. L., V. Ulrich, C. Xiaoming, 2003. Virtual Reference Stations versus Broadcast Solutions in Network RTK-Advantages and Limitations., GNSS 2003, Graz, Austria.
- Han, S.H., H.T. Park. 2014. The Utilization Analysis of FKP Network RTK for Site

- Surveying. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society 15(4):2443-2449 (한승희, 박홍태. 2014. 현황측량을 위한 FKP Network RTK의 활용성 분석. 한국산학기술학회논문지 15(4):2443-2449).
- Hwang, J.S. and W.H. Jang. 2020. Design and Evaluation of National Range Network RTK Service Architecture for Huge Number of Users. Journal of Korean Society for Geospatial Information Science 28(2):13-20 (황진상, 장원호. 2020. 대량 수요에 적합한 전국범위 네트워크 RTK 서비스 구조의 설계 및 평가. 대한공간정보학회지 28(2):13-51).
- Kim, K.J., T.S. Bae. 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 (김민호, 배태석. 2013. NTRIP 보정신호 분석을 통한 국토지리정보원 FKP NRTK 시스템 안정성 평가. 한국측량학회지 31(4):321-329).
- Mun, D.Y., S. S. Lee, M.S. Kim, S.H. Shin and T.K. Eeak., 2013. An Evaluation of the Accuracy of the Vertical Positioning by Distance Using Network RTK-GPS. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 16(4):54-63 (문두열, 이성수, 김명수, 신상호, 백태경. 2013. Network RTK-GPS를 이용한 거리별 수직위치결정의 정확성 평가. 한국지리정보학회지 16(4):54-63).
- Shin, D.Y. and J.S. Kim. 2016. Accuracy Comparison of VRS & FKP Service by GNSS Reception Environment. Journal of the Korean Cadastre Information Association 18(1):133-144 (신동윤, 김진수. 2016. GNSS 수신환경에 따른 VRS와 FKP 서비스의 정확도 비교. 한국지적정보학회지 18(1):133-144).
- Yun, H.C., J.J. Lee, M.G. Kim. 2010. Usefulness Assessment of VRS for Topographic Surveying. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 13(2):21-28 (윤희천, 이계중, 김민규. 2010. 지형 현황측량을 위한 VRS 방식 GPS의 활용성 평가. 한국지리정보학회지 13(2):21-28). 