

기선 거리에 따른 이동체의 N-RTK 위치정확도 평가

Evaluation of N-RTK Positioning Accuracy for Moving Platform

김민서¹⁾ · 배태석²⁾

Kim, Min-Seo · Bae, Tae-Suk

Abstract

For real-time precise positioning, N-RTK (Network Real-Time Kinematic) technology is widely used these days. However, the currently operating N-RTK system has a limitation in terms of the number of users. Therefore, if reference points generate correction messages with no limit on the number of users are developed later, it is determined that an appropriate reference point installation interval is required, so that the accuracy of the N-RTK system according to the baseline distance was analyzed. This experiment utilized receivers with varying performance that estimated the rover position, and RTKLIB, an open-source software, is used for processing data. As a result, the rover position was estimated accurately with a high rate of fixed ambiguity for all the receivers. When the reference station with a baseline length of 40 km was used, the vertical RMSE (Root Mean Squared Error) was quite similar to the short baseline case, but only half of the ambiguity fixing rate was achieved. The outlier in the estimated rover position was not observed for the longer baselines in the case of a high-end receiver. It is necessary to analyze the ambiguity fixing and the accuracy of the kinematic positioning with scientific GNSS processing software.

Keywords : Global Navigation Satellite System, Virtual Reference Station, Network Real-Time Kinematic, Baseline Length, Surveying

초 록

실시간 정밀 위치결정을 위해서 N-RTK (Network Real-Time Kinematic) 기술이 많이 사용되고 있다. 하지만 기존의 N-RTK 시스템은 사용자 수 제한으로 인해 지속해서 늘어나는 무인 이동체의 위치결정을 하는 데 한계가 있다. 따라서 사용자 수 제한 없이 보정 신호를 생성하는 시스템이 있다면 어느 정도의 간격으로 있어야 전국어디에서든 위치결정을 할 수 있을지에 대한 연구가 필요할 것으로 판단하여 기선 거리에 따른 N-RTK 시스템의 정확도를 분석하였다. 다양한 장비를 사용하는 사용자들이 있을 것으로 예상하여 서로 다른 성능의 수신기로 로버 위치를 추정하였으며, 자료처리는 오픈소스 소프트웨어인 RTKLIB을 활용하였다. 실험 결과, 로버와 가장 가까운 기준국에서는 수신기의 종류와 관계없이 높은 비율로 고정해가 산출되었으며, 추정 좌표의 정확도 역시 비슷한 수준으로 결정되었다. 로버에서 약 40km 떨어져 있는 기준국 보정 신호를 활용하는 경우, 고정해 산출 비율은 평균 약 50% 정도 감소하였으나 수직 RMSE (Root Mean Squared Error)는 약 2.5-4.7cm로 단기선 결과(1.0-1.5cm)와 크게 다르지 않았다. 고가형 수신기는 장기선에서도 이상값(outlier) 크게 나타나지 않았으며, 향후 과학기술용 정밀 자료 처리 소프트웨어를 활용한 고정해 산출과 좌표 추정 정확도에 대한 분석을 수행할 예정이다.

핵심어 : 위성측위시스템, 가상기준국, N-RTK, 기선 거리, 측량

Received 2020. 05. 25, Revised 2020. 06. 11, Accepted 2020. 06. 26

1) Member, M.S. student, Dept. of Geoinformation Engineering, Sejong University (E-mail: gnssmin68@sju.ac.kr)

2) Corresponding Author, Member, Professor, Dept. of Geoinformation Engineering, Sejong University (E-mail: baezae@sejong.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

위성을 활용한 위치결정 기술이 발전함에 따라 실시간 정밀 위치를 요구하는 사용자가 급격히 증가하고 있으며, 특히 자율주행자동차나 드론과 같은 무인 이동체에 대한 정밀한 위치는 필수 불가결하다. 미래창조과학부(現 과학기술정보통신부)는 「글로벌 무인 이동체 산업 강국」이라는 비전으로 여러 부처와 공동으로 다양한 분야에서 활용성이 높은 무인 이동체 기술개발과 산업 성장을 위해 노력하고 있다. 이를 통해 국내시장 무인 이동체 점유율을 확대하고, 국제 기술력을 높여 세계 시장 진출기반 마련을 목표로 하고 있다(NSTC, 2016). 무인 이동체 기술이 대두되면서 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 이동체의 위치결정 관련 다양한 실험이 진행되었다. No *et al.* (2012)은 실시간 이동 측위 적용을 위한 가상기준국 정확도 분석에서 VRS (Virtual Reference Station) 이동 측위 결과 고정해가 산출된 구간에 대하여 분석하였다. 연구 결과는 수평과 수직 방향 RMSE (Root Mean Squared Error)가 각각 2cm, 7cm 정도인 것으로 나타났으며, 실시간 이동 측위의 정확도를 요구하는 Mapping, 항법 등의 분야에서 VRS를 사용할 수 있다고 판단하였다. 그러나 이 연구는 제한된 기선에서 수행되었으며, 장기선에 대한 이동 측위 연구가 추가로 필요하다고 제시하였다. 이외에 Woon *et al.* (2017)는 N-RTK (Network Real-Time Kinematic) 기술을 자동차 정밀 위치 추정에 적용함으로써 기존 기술보다 오차가 줄면서 더 나은 결과를 얻을 수 있다고 결론지었으며, 신호가 끊기는 현상을 대비하여 다른 관성 측정 장비와 결합하여 위치를 추정하는 알고리즘연구가 진행되어야 한다고 언급했다. 또한, Bae and Kim (2018)은 드론에 적용하기 위한 N-RTK 성능 테스트를 진행하였으며 VRS가 FKP (Flächen Korrektur Parameter)보다 전반적으로 안정적이고 GPS (Global Positioning System) 위성에 GLONASS 위성이 결합하면 안정성이 증가한다고 설명했다. 그동안 N-RTK 자체의 정확도 평가, 이동 측위 정확도 평가, 그리고 다른 N-RTK 측위법과 비교하는 연구는 여러 차례 진행됐다. 하지만 전국 어디에서나 사용자 수에 제한이 없는 N-RTK 위치결정이라는 목적을 가지고 진행한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 차후에 사용자 수 제한이 없는 보정 신호 제공 시스템이 개발된다면, 어느 정도의 간격으로 기준국이 설치되어야 전국 어디에서든지 위치결정을 할 수 있을지에 대해 분석하였

다. 거리에 따른 N-RTK 보정 신호 정확도에 대해 평가를 하고, 다양한 수신기를 사용할 사용자들을 위해 수신기를 종류별로 사용하여 정확도를 평가하였다.

N-RTK 기술은 센티미터 급의 높은 정확도로 위치 추정을 할 수 있는 기술(Takac and Zelzer, 2008)이며, 위치 보정 방식에 따라 SSR (State Space Representation)과 OSR (Observation Space Representation) 방식으로 구분할 수 있다. SSR 방식은 OSR 방식과는 달리 오차를 성분별로 나누어 모델링하여 제공함으로써 사용자 수에 제한이 없다는 장점이 있다(NGII, 2019). 하지만 모든 SSR 메시지에 대한 표준화가 아직 완료되지 않았으므로(Schmitz *et al.*, 2017), 이른 시일 내에 많은 사용자가 사용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. VRS는 OSR 방식으로(Bae and Kim, 2018; Park *et al.*, 2006; Takac and Zelzer, 2008; Talbot *et al.*, 2002), OSR 방식의 GNSS 오차 보정 정보 메시지는 RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) 표준화가 완료되어 대부분의 상용 수신기에 적용하고 있지만(RTCM, 2011), 기준국과 이동국 간의 기선이 멀어질수록 대류층, 전리층 지연 오차가 달라져 정확도가 감소하는 단점이 있다(NGII, 2020). 그러나 VRS 측량은 사용자 위치에서 수 미터 이내에 가상기준국을 생성하므로 실제 로버에서는 초단기선 처리가 이루어진다. 따라서 사용자 위치결정 정확도를 평가하기 위해서는, 생성되는 가상기준국의 정확도를 먼저 평가할 필요가 있다. 또한 국토지리정보원 VRS 시스템의 동시접속자 수는 최대 1,200명으로 제한 되어있으며(NGII, 2019), 이는 많은 이동체의 위치결정이 요구되는 IoT (Internet of Things) 환경을 지원하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다.

2. 연구 방법

2.1 로버 데이터

본 연구에서는 서로 다른 수신기와 기선 거리에 따른 정확도 평가를 위해 로버 데이터와 VRS 보정 신호를 수신하였으며, 정확도 평가를 위해 이동식 로버 대신 고정된 로버 데이터를 설정하였다. 세종대학교 충무관 옥상에 설치한 상시관측소 안테나를 이용하여 GNSS 신호를 수신하였고, 이를 서로 다른 수신기에서 RINEX (Receiver INdependent EXchange) 포맷으로 저장하였다. 본 연구에서 사용한 안테나와 수신기에 대한 상세 사양은 Table 1에 요약, 정리하였다.

Table 1. Antenna and receivers used in this study





Equipment		Antenna	Receivers		
					
Manufacturer		Leica Geosystems	u-blox	u-blox	Leica Geosystems
Model		AS10	NEO-M8P-2	ZED-F9P	GS10
Freq.	GPS	L1, L2, L5	L1	L1, L2	L1, L2, L5
	GLONASS	L1, L2	L1	L1, L2	L1, L2

Table 2. Summary of data acquisition for N-RTK positioning

	NEO-M8P-2	ZED-F9P	GS10
Date	10 Feb. 2020	31 Jan. 2020	31 Jan. 2020
Time (local time)	11:50 ~ 15:00	13:40 ~ 16:40	13:40 ~ 16:40
Total minutes	190	180	180
Reception interval (sec)	1	1	1
Satellite	GPS, GLONASS	GPS, GLONASS	GPS, GLONASS
Frequency	L1	L1	L1, L2
Processing software	RTKPOST	RTKPOST	RTKPOST
Mode of operation	Kinematic	Kinematic	Kinematic

로버 데이터 취득을 위해 사용한 수신기는 가격대별 성능 비교를 위해 u-blox사의 저가형 수신기 2대와 Leica Geosystems사의 고가형 수신기 1대를 사용하였다. NEO-M8P-2 수신기(이하 1번 수신기)는 u-blox사의 제품으로 GPS, GLONASS 등의 L1 신호만 수신할 수 있다. ZED-F9P 수신기(이하 2번 수신기) 또한 u-blox사의 제품이며 GPS, GLONASS 등의 L1, L2 이중주파수 수신을 지원한다. 마지막으로 Leica GS10 수신기(이하 3번 수신기)는 본 실험에서 가장 고가형 장비로 사용하였으며 GPS, GLONASS의 L1, L2 이외에도 여러 GNSS 위성 신호를 수신할 수 있다. GPS, GLONASS 등의 통합측위를 수행하면 단일시스템 측위보다 정확도가 향상되어 저가형 수신기라 하더라도 높은 측위 성능 확보가 가능하므로(Tae *et al.*, 2015), 모든 수신기에서 GPS, GLONASS의 위성 신호를 수신하도록 하였다. 1번과 2번 수신기는 저가 수신 환경을 반영하기 위하여, L1 주파수만 수신하도록 설정하였으며, 3번 수신기는 다른 장비와의 비교를 위해 GPS/GLONASS L1, L2 주파수를 수신하도록 설정하였다. 또한 데이터 수신 시 로버

와 기준국의 데이터를 동시에 수신하여 GNSS 데이터 후처리가 가능하도록 하였으며, 모든 데이터는 1초 간격으로 수신하였다. Table 2는 실험을 위해 수신한 데이터에 대한 정보를 나타낸다.

2.2 기준국 설정 및 데이터 취득

로버로부터 40km 간격으로 장기선을 연출하기 위해 동남 방향으로 총 9개의 기준국을 임의로 설정하였고 생성한 각 기준국의 경위도는 Table 3, 기준국의 위치는 Fig. 1과 같다. 이 중 네 번째 기준국부터 100km가 넘는 장기선으로, 서론에서 언급하였듯이 장기선의 이동 측위 결과에 대해 분석하고자 하였다.

로버는 기준국 P1 지점에 있으며, 앞서 언급한 세 가지 수신기를 이용하여 로버 데이터를 수신하였다. 이와 동시에, 각 기준국에서 VRS 보정 신호를 수신하였는데, Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 RTKLIB 패키지의 RTKNAVI 모듈을 이용하여 임의로 지정한 기준국의 경위도를 입력하고 국토지리정보

원 VRS 서비스에 접속하여 해당 지점의 VRS 보정 신호 데이터를 수신하도록 하였다. 해당 데이터를 RTCM으로 수신하여 컴퓨터에 저장하였고, 이후 RINEX 파일로 변환하여 로버 데이터와 기준국 데이터를 RTKPOST 모듈을 사용하여 후처리하였다. 추정된 로버 좌표는 6개월간 로버 위치에서 수신한 데이터를 Bernese GNSS Software V5.2 (Dach *et al.*, 2015)를 이용하여 수행한 정밀절대측위 결과와 비교하여 정확도를 평가하였다. 정밀절대측위 결과는 N-RTK 결과와 다소 차이가 있을 것으로 예상되지만, 장기간 정밀하게 측정되었으며 최신 세계측지계에 기반한 가장 정확한 좌표이기 때문에 비교값으로 사용하였다.

Table 3. List of the reference points with geodetic coordinates (horizontal coordinates only)

Reference Points	Latitude (deg)	Longitude (deg)
P1	37.553	127.074
P2	37.300	127.300
P3	37.000	127.600
P4	36.700	127.900
P5	36.400	128.100
P6	36.100	128.300
P7	35.800	128.600
P8	35.500	128.800
P9	35.200	129.100

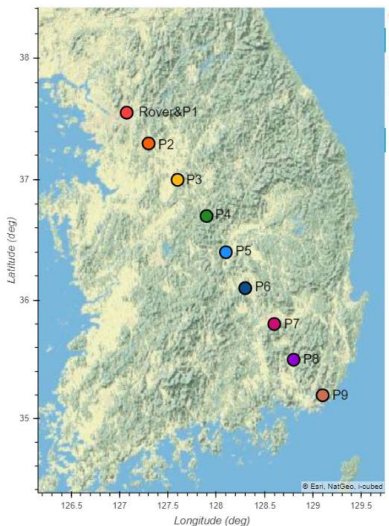


Fig. 1. Locations of the reference points to estimate the rover position

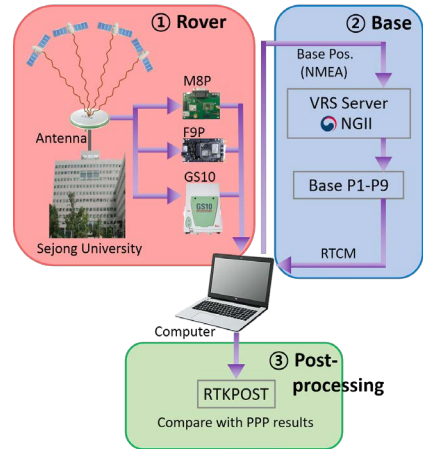


Fig. 2. The schematic diagram of data processing

3. 실험 결과 및 분석

N-RTK 성능은 일반적으로 기선 거리에 비례하는 것으로 알려져 있다(Gumilar *et al.*, 2019; Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2001). 따라서 N-RTK 성능을 담보할 수 있는 유효거리에 대한 분석을 수행하고자 하였다. Fig. 3은 기선 거리에 따른 고정해 산출 비율을 나타낸 것으로, 세 수신기 모두 유사한 경향으로 나타났다.

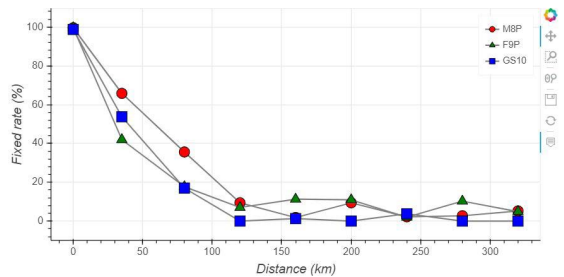


Fig. 3. Ambiguity fixing rate by baseline length

세 수신기 모두 로버와 가까운 기준국일수록 고정해 산출 비율은 95% 이상으로 높았으나, 기선 거리가 100km 이상이면 고정해가 거의 산출되지 않았다.

먼저 Fig. 4는 VRS 보정신호 적용 전 로버에서 수신한 단일 모드 데이터를 시각화한 결과이다. 고가형 수신기보다 저가형 수신기의 오차 분포가 상대적으로 큰 것을 알 수 있었으며, 수평 오차는 최대 2-3m, 수직 오차는 최대 10m까지도 출력되는 것을 알 수 있었다.

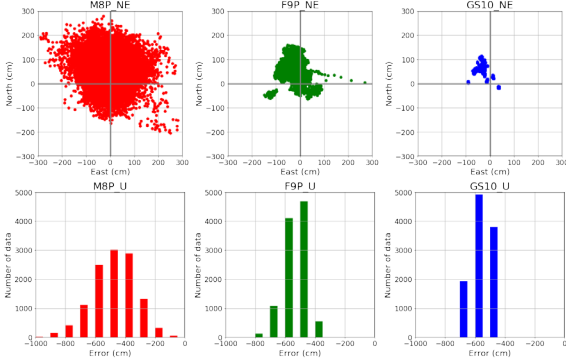


Fig. 4. Horizontal/vertical errors of all receivers in single mode

Figs. 5-7은 기준국 P1에서 추정한 로버의 N-RTK결과이며, 고정해 결과를 시계열로 나타낸 것이다. 로버의 좌표 추정 오차를 계산하기 위해, 앞에서 설명한 것처럼 로버 위치에서 6개월간 관측한 데이터를 이용한 정밀절대측위 결과를 기준으로 오차를 산출하였다. 모든 수신기의 전체적인 오차는 약 5cm 내에서 발생하고 있었으며, 1번 수신기의 경우 전체 구간에 걸쳐 안정적인 좌푯값 계산이 이루어졌다. 수신기 2번과 3번은 1번에 비해 좌푯값 변화가 잦았으며, 고정해가 산출되었음에도 불구하고 일부 epoch에서 수 센티미터의 오차를 출력하기도 하였다. 높이 방향은 수신기에 따라 서로 다른 방향성을 나타내고 있으며, 1번 수신기는 음(-)의 방향이고, 2번과 3번 수신기는 양(+)의 방향 바이어스를 보여준다.

N-RTK를 적용하지 않은 단일 모드의 Fig. 4와 비교했을 때 모든 수신기에서 수평 방향 바이어스가 나타났으며, 이는 정밀절대측위 결과를 기준으로 사용하였기 때문으로 판단된다. 다시 말해서, 정밀절대측위는 최신 세계측지기준계에 기반한 위성좌표를 기준으로 결정되지만, 국토지리정보원에서 운영하는 VRS는 2002.0 시점에서의 우리나라 측지기준계에 기반하고 있기 때문이다. 향후 모바일 수신기를 활용한 정밀절대측위 기반 대규모 위치정보 서비스를 활성화하기 위해서는 우리나라 측지계와 최신 ITRF를 연동해나갈 필요가 있다.

Table 4는 모든 수신기의 자료처리 결과에 대한 통계를 요약한 것으로, 모든 결과와 고정해 결과를 구분하여 나타내었다. 기준국 P1에서 모든 수신기의 정확도는 비슷한 것으로 나타났으며, 기선 거리가 짧은 경우 1번 수신기를 사용하여 추정된 수직 방향 RMSE는 타 수신기보다 약 0.5cm 작은 값을 보였고, 일부 기간에는 오히려 더 안정적인 결과를 나타내었다. 이처럼 1번 수신기와 2, 3번 수신기 사이에서 생기는 차이는 1번 수신기와 2, 3번 수신기의 관측 날짜가 달라 해당 날짜

의 전리층/대류층 지연 오차 등에 의한 결과라 해석할 수 있다. 또한 이는 같은 조건으로 자료처리를 수행한 결과이므로, 자료처리 소프트웨어의 영향이라기보다는 저가형 수신기 내부에서 자료를 수신하는 동안 강한 제약조건을 적용했을 가능성이 있는 것으로 판단된다.

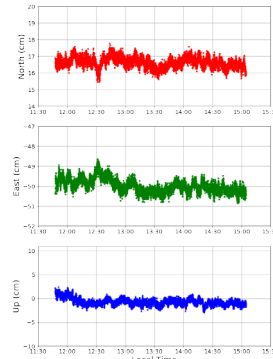


Fig. 5. Kinematic positioning results of M8P at P1 (Fixed)

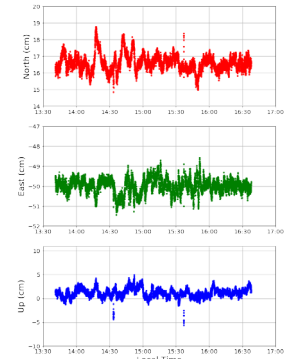


Fig. 6. Kinematic positioning results of F9P at P1 (Fixed)

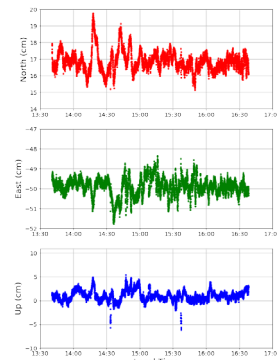


Fig. 7. Kinematic positioning results of GS10 at P1 (Fixed)

Figs. 8-11은 로버에서 약 40km 떨어진 기준국 P2에서 추정된 결과 중 고정해가 산출된 데이터만 나타낸 그림이며, 세 수신기의 고정해 산출 비율 평균은 약 50%였다. 수신기 1번의 경우, 약 30분을 제외하고 대부분 고정해가 산출되었으며, 2번과 3번 수신기의 경우 대략 30분 간격으로 고정해가 산출되지 않는 현상을 보였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 1번 수신기와 2번, 3번 두 수신기 데이터 취득 날짜가 달라 대류층, 전리층 지연 오차에 따른 현상으로 판단된다. 동시에 데이터를 취득한 2번, 3번 두 수신기 데이터의 경우 오차의 경향이 대체로 비슷하였으나, 3번 수신기의 장기선 고정해 산출 비율이 2번 수신기보다 높았다. 전체적인 오차의 크기는 약 10cm 미만으로 모든 수신기가 비슷한 성능을 보였지만, 기준국 P2에서

Table 4. Statistics of kinematic positioning results at P1

		M8P			F9P			GS10		
		N	E	U	N	E	U	N	E	U
All (cm)	Mean	16.63	-49.97	-0.71	16.56	-49.91	1.21	16.85	-49.92	1.01
	STD	0.36	0.36	0.76	0.88	1.40	1.45	0.61	0.45	1.12
	RMSE	16.63	49.97	1.04	16.59	49.93	1.89	16.86	49.92	1.51
Fixed (cm)	Mean	16.64	-49.96	-0.72	16.61	-49.98	1.16	16.86	-49.91	0.99
	STD	0.31	0.33	0.69	0.50	0.37	0.92	0.60	0.45	1.10
	RMSE	16.64	49.97	1.00	16.62	49.98	1.48	16.87	49.91	1.48

는 2번 수신기의 정밀도가 가장 높았다. 수평 방향 바이어스는 기준국 P1에서와 같은 방향으로 나타났으며, 모든 수신기의 수직 방향 오차는 기준국 P1보다 정밀도와 정확도가 모두 낮아졌음을 확인할 수 있다.

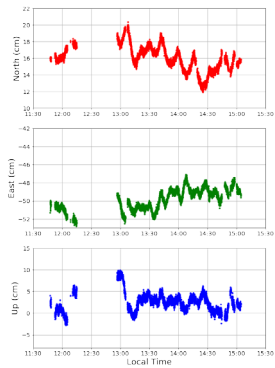


Fig. 8. Kinematic positioning results of M8P at P2 (Fixed)

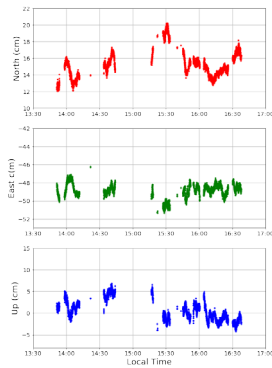


Fig. 9. Kinematic positioning results of F9P at P2 (Fixed)

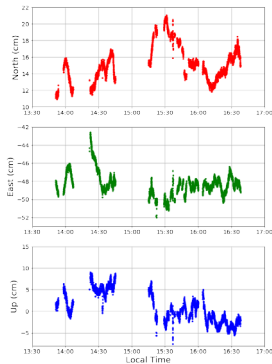


Fig. 10. Kinematic positioning results of GS10 at P2 (Fixed)

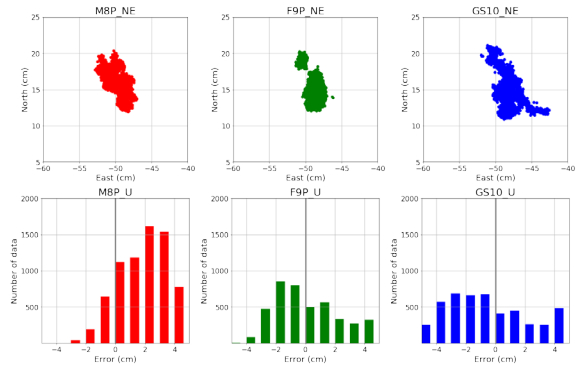


Fig. 11. Fixed horizontal/vertical errors of all receivers at P2

Table 5는 기준국 P2에서 추정한 로버 좌표의 오차를 분석하여 정리한 것이다. 고정해가 산출된 데이터를 기준으로, 3번 수신기의 수평 RMSE는 15.20cm(North)와 48.30cm(East)로 가장 좋은 결과를 나타냈으며, 수직 방향 RMSE는 2번 수신기(2.45cm)에서 가장 정확하게 추정되었다. 이는 3번 수신기보다 2번 수신기의 수직 결과가 정밀하게 출력된 것과 고정해 산출 비율이 낮음으로 인한 정확도 상승의 가능성을 배제할 수 없다. 고정해가 산출되지 않은 데이터를 포함하면 3번 수신기의 수평 방향 정확도가 약간 향상되지만, 이는 기선 거리가 멀어짐에 따라 로버 좌표의 추정 불안정성에 기인한 결과로 판단된다.

본 연구의 실험 결과, 기준국 P2부터 고정해 산출 비율이 급격히 감소하므로 기준국 P9까지 전체 결과를 분석하는 것은 큰 의미가 없을 것으로 판단하였다. 따라서 Figs. 12-14는 고정해 산출 여부와 상관없이 기준국 P1, P2, P3, P7의 결과를 시계열로 나타내었다. 기준국별로 서로 다른 색상을 사용하여 구분하였는데, 이를 통해 로버와 가까운 P1(빨강), P2(초록), P3(파랑), P7(보라) 순서로 점점 오차가 증가하는 것을 알 수 있었다. 수신기 1번은 로버 좌표를 다소 정밀하게 추

Table 5. Statistics of kinematic positioning results at P2

		M8P			F9P			GS10		
		N	E	U	N	E	U	N	E	U
All (cm)	Mean	15.82	-50.12	3.39	15.58	-45.13	6.69	13.71	-43.86	4.25
	STD	2.73	2.89	4.41	9.84	9.79	20.77	3.19	5.59	8.50
	RMSE	16.05	50.21	5.56	18.42	46.18	21.82	14.08	44.22	9.50
Fixed (cm)	Mean	16.05	-49.89	2.55	15.26	-48.85	0.55	15.05	-48.28	0.75
	STD	2.03	1.19	3.88	1.71	0.78	2.38	2.07	1.27	3.48
	RMSE	16.18	49.90	4.65	15.36	48.86	2.45	15.20	48.30	3.56

정하였으나, North, East, Up 모든 방향에서 이상값이 발생하였다. 또한, 2번 수신기는 어느 정도의 정확도와 정밀도를 보장하지만, 1번 수신기와 마찬가지로 이상값이 종종 발생하였다. 반면, 3번 수신기는 기선 거리가 멀어질수록 오차값의 변동이 자주 일어났지만, 다른 두 수신기와는 달리 큰 이상값이 발생하지 않았다. 이는 3번 수신기에 SmartTrack이라 불리는 고급 엔진 탑재, 0.5mm 이하의 정밀도로 GNSS 반송파 위상을 측정, 그리고 유사점을 측정하는 기술이 적용되었기 때문으로 판단된다.

로버로부터의 거리가 약 80km인 기준국 P3은 큰 이상값과 함께 불안정한 형태로 오차를 출력하는 형태를 보였으며, 기준국 P7은 P1을 기준으로 모든 수신기에서 수평 방향 최대 약 20cm, 수직 방향 최대 약 50cm 정도의 차이가 발생하였다.

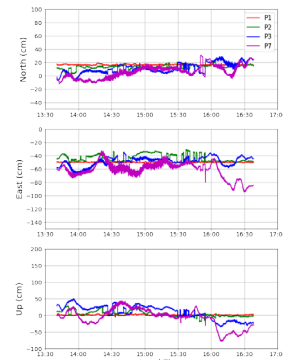


Fig. 14. Time series of positioning error for each reference station with GS10 receiver

4. 요약 및 결론

이동체의 실시간 위치결정을 요구하는 사용자가 최근 급격히 증가하고 있고, 사용자 수에 제한이 없는 SSR 보정 신호에 대한 필요성이 대두하고 있다. 본 연구에서는 기존 보급된 수신기에 현재 적용이 가능한 VRS 신호를 기반으로 기선 거리와 수신기 종류에 따른 N-RTK 성능을 분석하였다. N-RTK 실험을 위해 세종대학교 상시관측소를 로버로 설정하여 세 가지 수신기로 데이터를 수신하고, 임의로 선정한 기준국에서 수신한 VRS 데이터를 사용하여 로버의 위치를 추정하였다. 추정된 좌표는 약 6개월간 수행한 정밀절대측위 결과와 비교하여 정확도를 평가하였다. 실험에 사용된 수신기는 저가형 장비 두 대(NEO-M8P-2 및 ZED-F9P)와 고성능 측지측량 장비(GS10)이며, 하나의 안테나(AS10)로부터 신호를 분기하여 데이터를 취득하였다.

실험 결과, 세 가지 수신기 모두 로버와 가장 가까운 P1에서 약 95% 이상의 고정해 산출이 이루어졌으며, 이후 기선 거리가 멀어짐에 따라 고정해 산출 비율이 급격히 낮아졌다. 로버

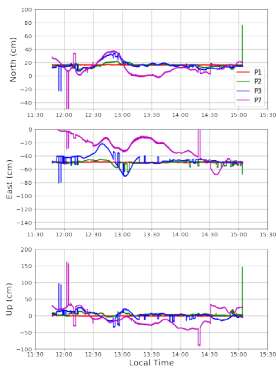


Fig. 12. Time series of positioning error for each reference station with M8P receiver

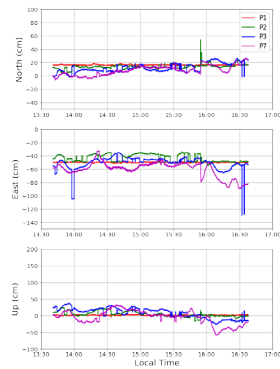


Fig. 13. Time series of positioning error for each reference station with F9P receiver

로부터 약 40km 정도 떨어진 기준국 P2의 경우는 고정해 산출 비율이 P1보다 평균 약 50% 정도로 감소하였으며, 기준국 P3-P9까지는 거의 고정해가 산출되지 않았다. 로버 좌표 오차에서의 바이어스는 정밀절대측위 좌표를 기준으로 비교했기 때문에 발생한 것으로 판단되며, 이를 통해 우리나라에서 운영하는 N-RTK는 최신 ITRF와 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 서버에서 생성하는 보정 신호를 향후 자율주행차나 드론 등에 적용하기 위해서는 세계측지계 갱신과 연동하여 우리나라 측지계를 유지 및 관리 할 필요가 있다.

고정해가 산출된 경우, 기선 거리가 짧은 기준국 P1의 추정 결과는 저가형 수신기와 고가형 수신기의 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 일부 epoch는 저가형 수신기에서 더 안정적인 결과가 나타난 경우도 있다. 이는 고가형 수신기와의 관측 일이 달라 대류층/전리층 지연 오차에 따른 결과이거나, 저가형 수신기 내부적으로 강한 제약이 설정됨에 따른 결과라고 추측된다. 이와 더불어 저가형 수신기의 안정된 데이터는 일반적으로 안테나의 영향이 매우 큰 것으로 판단된다. 더 정확하고 자세한 비교를 위해서는 모든 수신기의 관측 일을 같게 하여 실험할 필요가 있으며, 일반인의 상황을 더욱 고려하기 위해서는 저가형 안테나를 사용한 실험 또한 필요하다. 또한 향후 과학기술용 정밀 자료처리 소프트웨어를 활용한 고정해 산출과 좌표 추정 정확도에 대한 분석이 수행되어야 한다.

기준국 P1, P2, P3, 그리고 P7에서 추정된 모든 데이터를 분석하였을 때, 모든 수신기의 기준국 P2 결과를 보면, 큰 이상 값이 발생하지 않았음을 알 수 있으나, 기준국 P3와 P7에서는 P1 결과와 큰 차이가 발생한 것을 알 수 있었다. 이 결과를 통해 저가형 수신기라도 기선 거리 약 40km 정도라면 수평 약 ±20cm, 수직 약 ±30cm 정도의 정확도를 갖출 것으로 사료된다. 미래에 사용자 수 제한 없이 보정 신호를 생성하는 서비스가 출현한다면 보정 신호 생성 기준국 설치 간격을 약 40km로 정하는 게 적절할 것이다.

감사의 글

본 논문은 해양수산부 국가R&D사업 “지상기반 센티미터 급 해양 정밀 PNT 기술개발” 로 수행된 연구 결과입니다.

References

Bae, T.S. and Kim, M.H. (2018), Performance analysis of network-RTK techniques for drone navigation considering ionospheric conditions, *Journal of Sensors*, Vol. 2018, pp. 1-8.

Choi, Y.S., Lee, Y.C., Kwon, J.H., and Lee, J.O. (2004), A study on the introduction of GPS virtual reference system in South Korea, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 22, No. 2, pp. 105-116.

Dach, R., Lutz, S., Walser, P., and Fridez, P. (2015), *Bernese GNSS Software Version 5.2*, Astronomical Institute, University of Bern.

Gumilar, I., Bramanto, B., Rahman, F., and Hermawan, I. (2019), Variability and performance of short to long-range single baseline RTK GNSS positioning in Indonesia, *E3S Web of Conferences (ISGNSS 2018)*, Vol. 94, pp. 1-5.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J. (2001), *Global Positioning System: Theory and Practice (5th)*, Springer-Verlag Wien.

NGII (2019), *A Basic Study on the Introduction of New GNSS Correction Signals with the Development of Real-Time Positioning Technology*, No.11-1613436-000204-01, Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography.

NGII (2020), Service of satellite reference points, *National Geographic Information Institute*, <http://map.ngii.go.kr/ms/mesrInfo/gnss/vrsUserView.do> (last date accessed: 29 April 2020).

No, S.J., Han, J.H., and Kwon, J.H. (2012), Accuracy analysis of network-RTK(VRS) for real time kinematic positioning, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 4, pp. 389-396.

NSTC (2016), *Five-year Plan for the Development of Unmanned Mobile Devices*, *National Science and Technology Council*, Ministry of Science, ICT & Future Planning.

Park, B.W., Kim, J.H., Kee, C.D., Cleveland, A., Parsons, M., Wolfe, D., and Kalafus, R. (2006), RRC unnecessary for DGPS messages, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 42, No. 3, pp. 1149-1160.

RTCM (2011), Radio technical commission for maritime servers, *RTCM Special Committee No. 104, RTCM Standard 10403.1*, July, Arlington, VA, USA, pp. 3:78-3:83.

Schmitz, M., Wübbena, G., Wübbena, J., and Wübbena, T. (2017), SSR technology for scalable real-time GNSS

- applications, *Treasure Summer School*, 11-15 September, Northingham, UK.
- Tae, H.U., Park, K.D., and Kim, M.S. (2015), Analysis of integrated GPS/GLONASS/BDS positioning accuracy using low cost receiver, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 23, No. 4, pp. 49-55.
- Takac, F. and Zelzer, O. (2008), The relationship between network RTK solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX, *Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008)*, 16-19 September, Savannah, GA, USA, pp. 348-355.
- Talbot, N., Lu, G., Allison, T., and Vollath, U. (2002), Broadcast network RTK-transmission standards and results, *Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2002)*, 24-27 September, Portland, OR, USA, pp. 2379–2387.
- Woon, B.Y., Lee, D.J., and Lee, S.S. (2017), Network-RTK GNSS for land vehicle navigation application, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 42, No. 02, pp. 424-431.