NTRIP 보정신호 분석을 통한 국토지리정보원 FKP NRTK 시스템 안정성 평가

Stability Assessment of FKP System by NGII using Long-term Analysis of NTRIP Correction Signal

김민호¹⁾ · 배태석²⁾

Kim, Min-Ho · Bae, Tae-Suk

Abstract

Despite the advantage of unlimited access, there are insufficient studies for the accuracy and stability of FKP that blocks the spread of the system for various applications. Therefore, we performed a long-term analysis from continuous real-time positioning, and investigated the error characteristics dependent on the size and the surrounding environment. The FKP shows significant changes in the positioning accuracy at different times of day, where the accuracy during daytime is worse than that of nighttime. In addition, the size and deviation of FKP correction may change with the ionospheric conditions, and high correlation between ambiguity resolution rate and the deviation of correction was observed. The receivers continuously request the correction information in order to cope with sudden variability of ionosphere. On the other hand, the correction information was not received up to an hour in case of stable ionospheric condition. It is noteworthy that the outliers of FKP are clustered in their position with some biases. Since several meters of errors can be occurred for kinematic positioning with FKP, therefore, it is necessary to make appropriate preparation for real-time applications.

Keywords : Network-RTK; FKP; Correction; Ambiguity

초 록

네트워크 RTK는 다수의 기준점에서 관측된 반송파 위상정보를 이용하여 네트워크 내부에 위치한 이동점의 좌표를 실시간으로 cm의 정확도를 제공할 수 있다. 따라서 많은 분야에서 네트워크 RTK의 가용성이 확대되고 있으며, 이에 따른 활용연구가 활발하게 진행되고 있다. 그러나 국토지리정보원 FKP 시스템은 접속 무제한 서비스라는 장점에도 불구하고 정확도 검증 및 안정성에 관한 연구가 미비하여, FKP의 가용성 범위의 확대가 더딘 실정이다. 따라서 FKP의 활용성을 증가시키기 위해서는 FKP 시스템의 정확도 검증 및 안정성에 관한 연구가 요구된다. 본 연구에서는 장기적이고 연속적인 실시간 위치결정을 통하여 FKP 시스템 안정성에 대한 분석을 수행하였으며, 오차의 크기와 수신환경에 따른 오차변화 및 실시간 위치결정 안정성을 분석하였다. FKP는 관측시간대에 따라 위치 정확도에서 상당한 차이를 보였으며, 낮 시간대의 위치 정확도가 낮은 것으로 나타났다. 그러나 모호정수가 결정된 경우 평면성분의 오차가 $\pm 0.05\text{m}$ 이내에 포함될 확률이 약 90% 이상으로서 실시간 이동측위로써 가용성을 확인하였다. 또한 FKP 보정신호를 분석한 결과, 전리층 환경에 따라 보정값의 크기와 분산이 변화되며, 낮 시간대에서 보정값의 분산과 모호정수 결정율간의 높은 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 수신기는 전리층 환경이 급격히 변화되는 상황에 대응하기 위하여, 보정신호를 실시간으로 연속적으로 수신하는 구간이 나타났으며, 전리층 환경이 안정적인 경우, 보정신호를 최대 1시간 이상 수신하지 않는 경우도 분석되었다. FKP는 과대오차의 위치형태가 바이어스를 포함한 군집을 이루며, 이것은 FKP를 이용한 이동측위 시 수 미터 이상의 오차를 포함할 가능성을 내포하고 있으므로 이에 대한 적절한 대비책을 마련하는 것이 필요하다.

핵심어 : 네트워크 RTK; FKP; 보정신호; 모호정수

1) Member · Dept. Geoinformation Engineering, Sejong University (E-mail:rlaalsgh9717@naver.com)

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

1. 서론

네트워크 RTK는 다수의 기준점에서 관측된 방송파 위상 정보를 기반으로 계산한 보정신호를 이용하여 네트워크 내부에 위치한 이동점을 실시간 cm의 정확도로 결정할 수 있다. 따라서 다양한 분야에서 네트워크 RTK의 가용성이 확대되고 있으며, 이에 따른 활용연구가 활발하게 진행되고 있다(Kim and Bae, 2013). 또한 수신환경에 따라 cm 수준의 정확도를 확보하기 위한 정확도 검증 및 안정성에 관한 연구가 수행되고 있다(Kim *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2010; No *et al.*, 2012; Hong, 2013). 현재 국토지리정보원에서는 두 가지 방식으로 네트워크 RTK 서비스를 제공하고 있으며, Trimble에서 설계한 가상기준점(이하 VRS)을 이용한 방식과 Geo++에서 개발한 면보정(이하 FKP)을 이용한 네트워크 RTK이다. VRS와 FKP 시스템은 네트워크 RTK라는 측면에서는 유사하지만, 네트워크 구성이나 구현방식, 알고리즘 등에 상당한 차이가 있다.

VRS를 이용한 위치 정확도는 평면 2-3cm, 수직 5cm 정도로 알려져 있으며(Bae, 2011), 공공측량이나 인공구조물의 모니터링 등의 적용가능성에 대한 연구가 진행되고 있다(Park, 2009; Lee, 2011; Oh, 2013). 그러나 국토지리정보원 FKP 시스템은 접속 무제한 서비스라는 장점에도 불구하고 상대적으로 정확도 검증 및 안정성에 관한 연구가 미비하여, FKP의 가용성 범위의 확대가 더딘 실정이다. 따라서 FKP의 활용성 증대를 위해서는 정확도 검증 및 안정성에 관한 연구가 요구된다. 호주의 경우, 반복성 및 기준국 망의 크기와 수신기 모델에 따른 네트워크 RTK의 정확도에 미치는 영향에 대한 검증연구가 수행되었다(Gordini *et al.*, 2006). 반면, 국내 FKP 시스템 정확도 검증과 관련된 연구는 통합기준점 또는 도시기준점의 정지측량 성과를 바탕으로 VRS/FKP의 성과를 비교함으로써 일시적이고 불연속적인 정확도를 검증하는데 국한되어 있다(Yim, 2012). 따라서 실시간 위치결정에 대한 안정성 분석뿐만 아니라 가용성 측면에서의 정확도 분석이 필요하며, 수신환경이 동일한 상태에서 네트워크 RTK 방식에 따른 정확도 분석이 이루어질 필요가 있다.

현장에서의 관측은 다중경로에 의한 오차의 영향을 소거할 수 없으므로 정확도 검증에 있어서 문제를 야기할 수 있다. 또한 국토지리정보원의 네트워크 RTK는 방식에 따라 전리층 환경 영향이 서로 다르기 때문에, 전리층환경에 대한 분석이 필요하다(Kim and Bae, 2013). 따라서 네트워크 RTK 방식에 따른 비교 검증방법은 수신환경이 동일한 상황에서 검증하는 것이 타당하며, 멀티패스의 영향을 최소화할 수 있는 검증

지역선정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 멀티패스 영향이 없으며 동일한 위치에서 장기적이고 연속적인 실시간 위치결정을 통하여 FKP 시스템 안정성에 대한 분석을 수행하였다.

2. 이론적 배경

2.1 이중차분 및 공통오차

네트워크 RTK는 기준점에서 관측된 방송파 위상정보와 이동점에서 관측된 방송파 위상정보를 이용하여 이중차분을 통하여 위치결정을 한다. 이중차분은 위성 및 수신기의 시각편의량을 포함한 공통오차를 소거함으로써 정확한 위치결정이 가능하며(Wübbena *et al.*, 2001), 수신기 2대와 위성 2개로 이루어진 관측 자료를 선형 결합한다. 방송파 위상 이중차분 방정식은 이동점과 위성간의 거리, 전리층 오차 및 대류층 지연오차, 모호정수, 다중경로 및 관측오차와 관련되어 있으며, 다음 식과 같이 표현할 수 있다(Kim, 2012).

$$\Phi_{ij,L1/L2}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} - \frac{I_{ij}^{kl}}{f_{L1/L2}^2} + T_{ij}^{kl} + \lambda_{L1/L2} N_{ij,L1/L2}^{kl} + m_{ij,L1/L2}^{kl} + \varepsilon_{ij,L1/L2}^{kl} \quad (1)$$

where:

i, j : receivers;

k, l : GNSS satellites;

$f_{L1/L2}$: frequency of GNSS signal, L1 or L2;

$\lambda_{L1/L2}$: wavelength of GNSS signal;

$\Phi_{ij}^{kl} := \Phi_i^k - \Phi_j^k - \Phi_i^l + \Phi_j^l$: Double-Differenced (DD) carrier phase observation;

ρ_{ij}^{kl} : DD geometric distance;

I_{ij}^{kl} : DD ionospheric delay;

T_{ij}^{kl} : DD tropospheric delay;

$N_{ij,L1/L2}^{kl}$: DD ambiguity;

$m_{ij,L1/L2}^{kl}$: DD multipath;

$\varepsilon_{ij,L1/L2}^{kl}$: DD observation error

관측값의 차분으로 인해 위성의 시각편의량(단일차분) 및 수신기의 시각편의량(이중차분)이 소거된다. 또한 이중차분을 통하여 위성 및 수신기의 초기 위상의 영향이 소거되어 모호정수가 정수라는 제약조건을 적용할 수 있게 된다. 수신기가 단기선을 이루는 경우, 두 수신기의 공통오차의 상관성이 높아짐으로, 전리층과 대류층 지연오차 등의 효과를 감소시킬 수 있다. 따라서 정확한 위치결정이 가능하며, 기준국과 이동점의 기선의 길이가 길어질수록 기준국과 이동점 간의 공통오차가 상이해지므로 식 (1)에서 $E(-\frac{I_{ij}^{kl}}{f_{L1/L2}^2} + T_{ij}^{kl}) \neq 0$ 이 되어 위치결정에 어려움이 있다. 따라서 네트워크 RTK는 기준

국간의 다중기선을 통하여 공통오차를 추정하고 조정계산을 통해 대기에 의한 영향이 최소화되도록 보정함으로써 장기선의 경우에도 정확한 위치결정을 가능하게 만든다.

이중차분 방식의 상대측위에서는 대부분의 오차가 소거되고, 대류층 및 전리층 지연오차만이 사용자 수신기의 위치결정에 영향을 미치게 된다. 일반적으로 전리층 지연오차는 이중주파수 관측식의 선형결합을 통해 제거하더라도 이차항에 의한 영향이 여전히 존재하며, 특히 태양폭풍 등 전리층의 변화가 급격한 경우 기선거리에 따라 그 영향이 불안정적으로 나타날 수 있다. 전리층 지연오차는 위성에서 전송된 신호가 수신기에 도달하는 경로상의 총전자수(Total Electron Content, TEC)와 관련이 있으며, TEC 자체는 태양흑점의 활동, 계절변화, 일변화, 관측방향, 관측위치 등에 의한 영향을 받는다(Hofmann-Wellenhof *et al.*, 2001). 연직방향 전리층 지연에 대한 개략 모델인 Klobuchar 모델식(Klobuchar, 1986)은 지역시 기준으로 14시에 최대의 지연량을 나타낸다. 따라서 전리층 지연오차 및 이에 따른 위치결정 불안정성은 낮시간대에 최대가 될 것으로 예상할 수 있다.

2.2 네트워크 RTK

단일기선 RTK 방식은 기선이 멀어질수록 공통오차의 상관성이 낮아지므로, 기준점과 이동점간의 거리가 10-20km 이하일 때 정확한 위치결정이 가능하다(Janssen, 2009). 네트워크 RTK 방식은 단일기선 RTK의 문제점을 해결하기 위해, 기준점들의 위상 관측값을 이용하여 네트워크 내부의 위치에 따른 공통오차 모델링을 수행한다. 이를 통해, 네트워크 내부의 임의의 위치에 대한 공통오차를 추정하여 보정함으로써 장기선의 경우에도 정확한 위치결정이 가능하도록 고안하였다. 그러나 네트워크 내부의 위치 및 내삽(interpolation) 방법과 면적에 따라 공통오차 모델은 차이가 있을 수 있다.

네트워크 RTK 방식은 크게 Master-Auxiliary Concept (MAC), Virtual Reference Stations (VRS), Pseudo-Reference Stations (PRS), Flächen-Korrektur-Parameter (FKP), individualised Master-Auxiliary corrections (i-MAX) 등이 있으며(Takac and Zelzer, 2008), 일반적으로 기선의 길이가 70-100km 이내에서 정확한 위치결정이 가능하다(Janssen, 2009). 추정된 공통오차는 네트워크 RTK 방식에 따라 차이가 있으며, FKP는 WGS-84 타원체에 접하는 평면을 묘사하는 선형 면다항식의 파라미터로 정의하는 면보정의 계수를 이동점으로 전송한다(Jung, 2005). 반면, VRS 방식은 추정된 공통오차를 포함한 가상기준점의 관측데이터를 생성하여 전송한다. 따라서 네트워크 RTK 방식은 상태공간(state space)

에서의 모델링과 관측공간(observation space)에서의 모델링으로 나눌 수 있다(Kim, 2006).

상태공간과 관측공간의 구별은 각각 장·단점을 가지고 있다. 상태공간 모델링은 보정정보가 이동점으로 일방적으로 제공되기 때문에 단방향 통신으로 구성이 된다. 이를 통해, 무제한 접속이 가능하며, 효율적인 측면이 높다. 그러나 관측공간 모델링은 이동점의 근사적 위치를 서버에게 전송하고 서버는 이동점의 위치에 맞는 관측공간 모델링을 개별적으로 수행한다. 따라서 양방향 통신이 가능하여야 하며, 접속자수의 제한이 요구된다. 또한, 상태공간 모델링은 RTK 모듈 이외에 상태공간을 처리할 수 있는 모듈이 필요하며, 관측공간 모델링은 Single-based RTK 모듈을 이용하여 단일기선 방식 개념으로 처리가 가능하다. 공통오차 모델링은 일반적으로 Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM)의 Special Committee No.104에 확정한 국제표준 프로토콜을 이용하여 전송하고 있으며, 버전 2.1에서부터 최신 3.x대까지 RTK 관련 메시지타입을 지원하고 있다(RTCM, 2001).

3. 연구 방법 및 결과분석

3.1 연구 방법

본 연구에서는 FKP 시스템의 안정성을 분석하기 위하여, 동일한 위치에서 장기적으로 실시간 네트워크 RTK(VRS 및 FKP)를 수행하였다. 이를 통해, 오차의 크기와 수신환경에 따른 오차변화, 실시간 위치결정 안정성을 분석하였다. 네트워크 RTK를 수행한 위치는 세종대학교 GNSS 상시관측소로써 멀티패스 영향이 적어 인위적인 오차의 영향이 최소화된 장소이다. 또한 장기간의 실시간 위치결정이 가능하며, 무선통신망(3G 또는 4G) 보다 안정적으로 보정신호를 받을 수 있는 유선인터넷 망을 이용하였다.

본 연구에서는 세 가지 분석방법을 통하여 연구를 진행하였다. 우선적으로, 네트워크 RTK 방식과 수신환경에 따라 결정된 위치의 정확도 및 안정성에 관한 비교분석을 수행하였다. VRS 방식은 기존의 연구 결과들을 통하여 안정적인 위치결정 정확도를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 그러므로 수신환경이 동일한 상태에서 VRS 방식과 FKP 방식을 상대적으로 비교하여 네트워크 RTK 방식에 따른 차이를 분석할 수 있다. 두 번째로는 FKP 시스템의 위치결정 반복 정확도를 분석하기 위하여 장기적이고 연속적인 FKP 측량결과를 기반으로 FKP 위치결정력을 분석하였다. 마지막으로 FKP 보정신호의 자체 안정성과 보정값이 위치결정에 미치는 영향에 관하여 연구를 수행하였다.

3.2 네트워크 RTK방식과 수신환경에 따른 분석

국토지리정보원 VRS 서비스는 대략 평면 2-3cm, 수직 5cm의 위치결정 정확도를 가지고 있다(Bae, 2011). 따라서 수신 환경이 동일한 상태에서 VRS와 FKP의 위치결정력을 비교하여 FKP의 상대적인 위치 정확도 및 안정성을 분석하였다. 네트워크 RTK 방식 이외의 수신환경을 동기화하기 위해, GPS 안테나 케이블을 분기하여 두 대의 동일한 수신기에 연결하고, 각각의 수신기는 VRS와 FKP 방식으로 RTK를 수행한다(Fig. 1). 결정된 위치는 NMEA (The National Marine Electronics Association) 0183 포맷으로 저장되며, NMEA sentence 중 GGA (Global Positioning System Fix Data) 정보를 이용하여 연구를 진행하였다. GGA는 측위시간(UTC), 모호정수 결정정보, 결정된 위치정보, 추적된 위성의 수 등의 정보를 담고 있다(NMEA, 2002).

Fig. 1. Flow diagram of Network-RTK positioning(Kim *et al.*, 2013)

총 5일(UTC 기준 2012.12.15-19) 동안 1Hz 단위로 위치를 결정하였으며, 보정신호 전송규약은 CMR(VRS)과 RTCM2.3(FKP)을 이용하였다(Table 1).

Table 1. Summary of Network-RTK test

UTC	2012.12.15-19
Receiver	Trimble 5700
Antenna Type	Leica AT504GG
Network-RTK	FKP, VRS
Correction	RTCM 2.3(FKP), CMR(VRS)

분석결과를 통해 모호정수가 결정된 경우의 FKP와 VRS의 평면 위치오차는 Fig. 2와 같이 나타났으며, 모호정수 결

정율은 총 5일 동안 각각 평균 88.6%(FKP), 99.6%(VRS)를 보였다(Table 2). FKP는 평면좌표의 성분별 오차가 0.05m 이내인 경우가 남북방향 93.4%, 동서방향 95.5%를 보였으며, VRS 보다 상대적으로 낮은 위치결정력을 나타냈다(Fig. 3, Table 2). VRS의 평면 위치오차의 경우 상시관측소의 위치좌표를 중심으로 하나의 군집을 이루고 있다. 반면 FKP의 경우, 수 십 cm에서 최대 1m 이상의 바이어스를 포함한 여러 개의 군집으로 나타났다.

(a) Accuracy of FKP

(b) Accuracy of VRS

Fig. 2. Accuracy of Network-RTK: Circle(radius 5cm) is plotted for reference

Table 2. Accuracy of Network-RTK

Component	Error	FKP(%)	VRS(%)
North	$\leq 0.03m$	80.8	99.7
East		93.1	100
North	$\leq 0.05m$	93.4	100
East		95.5	100

Fig. 3. Histogram of Network-RTK positioning accuracy

일별 모호정수 결정율에서 FKP는 불안정한 결정력을 보였으며(Table 3), 특히 2012년 12월 17일은 시간에 따라 모호정수 결정율이 20% 이상의 차이를 보였다(Table 4). 따라서 FKP는 시간에 따른 모호정수 결정율이 상당한 차이를 보이고 있으며, 이는 전리층 환경에 대한 민감도가 큰 것으로 판단된다.

Table 3. Daily ambiguity fixing rate
(Kim and Bae, 2013)

Date	VRS (%)	FKP (%)
2012.12.15	99.6	91.3
2012.12.16	99.8	88.6
2012.12.17	99.2	82.5
2012.12.18	99.4	89.9
2012.12.19	100	90.9

Table 4. Ambiguity fixing rate by day/night
(Kim and Bae, 2013)

Time	VRS (%)	FKP (%)
Day (UTC 00-12)	99.2	70.9
Night (UTC 12-24)	99.2	94.2

또한 FKP는 우리나라 기준 낮 시간대(UTC 0-12시) 동안 모호정수가 결정된 위치 중에서 1m 이상의 과대오차가 나타났으며, 밤 시간대(UTC 12-24시)에서는 상대적으로 안정적인 위치결정을 확인할 수 있다(Fig. 4). 하지만 일부 구간의 경우 밤 시간대에서도 수 십 cm의 과대오차가 발생하였다. 그러

나 과대오차를 이루는 시간은 수 분 이내인 것으로 나타났으며, 낮 시간대의 경우 과대오차의 발생빈도가 밤 시간대 보다 자주 발생하였으며, 과대오차가 이루는 시간이 수 분에서 최대 30분 이상 지속되었다. 따라서 FKP를 이용한 RTK 측위 시 신뢰할 수 있는 정확도를 확보하기 위해서는 수신기의 기하학적 영향을 고려할 뿐만 아니라 대기환경의 영향에 대한 대응방안이 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 4. Accuracy of FKP by day and night

3.3 장기적인 FKP 위치결정 안정성 분석

장기간의 FKP 위치결정 안정성을 분석하기 위하여 UTC 기준 2013년 1월 30일부터 3월 10일까지 총 40일간의 FKP 측

위를 1Hz 단위로 수행하였다. 그 결과, FKP 시스템에 문제가 있다고 판단되는 2월 1일부터 2월 4일까지의 데이터를 제외하였을 때, 모호정수는 낮 시간대 90.7%, 밤 시간대 96.2%의 결정율을 보였다(Fig. 5(a)). 평면좌표 성분별 오차는 범위에 따라 낮 시간대와 밤 시간대에 차이를 보였다(Fig. 5(b), Fig. 6). 2월 1일부터 2월 4일까지는 모호정수 결정율이 0%인 구간이 존재하였다. 이를 통해, 상대공간에서의 모델링이 성공적으로 이루어지지 않은 것으로 판단되며, 원인을 파악하기 위해 국립전파연구원 우주전파센터 이천관측소의 K지수와 연관성에 대해 분석하였다.

K지수는 특정 지역에서의 지자기 활동 현황을 하루 동안 3시간 마다 지수로 표현한 것으로써 0-9등급으로 나누어 표현한다. FKP 시스템 오류에 대하여 명확하게 규명할 수는 없으나, K지수와 관련이 있을 것으로 판단되어 이를 분석한 결과, FKP 시스템의 오류가 발생한 시점과 이천관측소가 지자기장을 관측하지 못한 시점이 거의 동일하다. 또한 이천관측소가 관측을 다시 시작한 이후, 40일 동안 나타난 K지수 등급 중 최고 등급인 6등급이 나타났으며(Fig. 8), 이를 통해 전자기 교

란의 영향과 연관이 있는 것으로 추측된다(Fig. 7). 따라서 본 연구에서의 분석결과는 태양활동 극대기인 2013년 시점에서 매우 중요한 점을 시사한다. Wübbena 등은 태양폭풍으로 인한 네트워크 RTK의 영향에 대하여 새로운 대처방안의 필요성을 거론하였다(Wübbena *et al.*, 2001). 따라서 본 연구에서 분석한 바와 같이 태양폭풍 시 FKP 시스템의 안정성에 심각한 문제를 야기할 수 있으며, 경우에 따라 네트워크 RTK가 정상적으로 작동하지 않을 가능성도 우려된다.

Fig. 6. Accuracy of FKP by day/night

(a) Daily ambiguity fixing rate for 40 days

(b) Accuracy of FKP for 40 days (within H:0.03m, V:0.1m)

Fig. 5. Percentage of daily ambiguity fixing rate and FKP accuracy within 3cm (horizontal) and 10cm (vertical) for 40 days

Fig. 7. Relationship between ambiguity fixing rate and K-index

Fig. 8. Histogram of K-index for 40 days

3.4 FKP 보정신호 분석

FKP 보정값은 위성의 고도각과 상관성을 가지고 있으며, 낮 시간대의 보정값은 밤 시간대 보정값에 비해 전리층 영향으로 불연속적인 FKP 보정값을 가지는 것으로 판단된다 (Kim *et al.*, 2013). 따라서 본 연구에서는 전리층 환경에 의한 보정값의 변화와 그에 따라 모호정수 결정에 미치는 영향을 분석하였다. UTC 기준 2013년 3월 20일부터 25일까지 총 6일간 1Hz 단위로 위치를 결정하고 보정신호를 분석하였다.

Fig. 9. CPC (Carrier Phase Correction) data

Fig. 9는 L1, L2의 CPC (Carrier Phase Correction)를 나타낸 것으로 위상의 보정값은 거리단위로 환산시 대부분 ± 40 cm 이내인 것으로 나타났다. 또한 UTC 기준 3월 23일은 다른 날에 비해 전리층 영향이 큰 것을 확인할 수 있다. 전체적으로 CPC 분산과 모호정수 결정율간의 상관성을 분석한 결과, CPC 분산의 크기는 낮 시간대에 커지는 것을 알 수 있으며, 낮 시간대 CPC 분산과 모호정수 결정율간의 상관성을 분석한 결과, 상관계수 -0.8의 강한 상관성을 보였다 (Table 5). 따라서 전리층 환경에 따라 CPC 값은 상당한 영향을 받으며, 이에 따라 모호정수를 결정하는데 어려움이 있는 것으로 판단된다. 또한 모호정수 결정율이 가장 낮았던 3월 23일과 가장 높았던 3월 25일의 보정신호를 분석한 결과, 전리층 환경에 따라 보정신호의 빈도수가 급증한 구간이 존재하였으며, 전리층 환경이 안정적인 경우 최대 1시간 이상 보정신호를 수신하지 않는 것으로 나타났다 (Fig. 10). 3월 23일의 경우, 급증하는 구간이 3월 25일보다 상대적으로 길게 나타났으며, 25일은 23일에 비해 장시간에 걸쳐 수신하지 않는 것으로 나타났다. 보정신호를 수신하지 않는 구간은 빈도수가 급증한 구간보다 상대적으로 과대오차의 크기와 빈도수가 작았으며, 급증한 구간은 수 m, 수신하지 않는 구간은 수 십 cm의 과대오차가 발생하였다.

Table 5. Correlation coefficient between CPC(L1)'s variance and ambiguity fixing rate

Time(UTC)	Correlation Coefficient
Day (00-12)	-0.80
Nigh (12-24)	0.34

Fig. 10. Cumulated frequency of correction signal

4. 결론

본 연구에서는 FKP 활용확대를 위하여 FKP 시스템 안정성에 대한 분석을 수행하였다. 장기적이고 연속적인 FKP 방식의 위치결정을 통하여 FKP 안정성에 관한 연구를 진행하였으며, 결과분석을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 네트워크 RTK 방식에 따른 위치 정확도를 분석한 결과, FKP는 위치 정확도에서 시간에 따라 상당한 차이를 보였으며, 낮 시간대에 위치 정확도가 저하되었다. 평면성분의 오차가 ± 0.05 m 이내인 경우 FKP는 모호정수가 결정된 구간에서 약 94%의 위치결정력을 보였으며, 실시간 이동측위로써 가용성을 확인하였다.

둘째, 장기적인 측위결과를 통해 위치결정 안정성을 분석한 결과, 90% 이상의 모호정수 결정율을 보였으며, 평면성분의 오차가 ± 0.05 m 이내인 경우 90%의 이상의 위치결정을 보였다. 특히, 밤 시간대(UTC 기준 12-24시)에서는 ± 0.03 m 이내의 위치결정력을 보였다. 그러나 명확하게 규명되지 않는 원인으로 인하여, FKP 시스템 오류가 장기간에 걸쳐 있었던 것으로 판단된다. 본 연구에서는 그 원인을 K지수와 연관이 있다는 관점에서 원인을 분석하였다. 따라서 본 연구에서 FKP 시스템 오류의 원인은 추측성 분석이며, 이에 대한 정확한 원인분석이 필요할 것으로 사료된다.

셋째, FKP 보정신호를 분석한 결과, 전리층 환경에 따라 보정값의 크기와 분산이 변화되며, 낮 시간대(UTC 기준 0-12시)에서 보정값의 분산과 모호정수 결정율간의 상관성을 확

인하였다. 하지만 밤 시간대의 경우 보정값의 분산과 모호정수 결정율간의 상관성은 명확하게 확인되지 않았다. 이러한 이유는 낮 시간대의 경우, 전리층 환경이 급격히 변화되는 상황을 실시간으로 보정하는데 어려움이 있는 것으로 보이며, 밤 시간대의 경우 전리층 환경이 비교적 안정적이기 때문에 실시간 보정이 수월한 것으로 판단된다. 수신기는 전리층 환경이 급격히 변화되는 상황에 대응하기 위하여, 보정신호를 연속적으로 수신하는 구간이 나타났으며, 전리층 환경이 안정적인 경우 보정신호를 최대 1시간 이상 수신하지 않는 경우도 나타났다.

마지막으로 FKP는 과대오차의 위치형태가 바이어스를 포함한 군집을 이루며, 이것은 FKP를 이용한 이동측위를 수행할 때 수 미터 이상의 오차를 포함할 가능성이 있다. 따라서 이동측위 시 정확도의 무결성을 확보하기 위해서는 시스템 내에 감시국을 신설하여 FKP시스템의 안정성을 실시간으로 감시하고 과대오차로 판단되는 경우 서비스를 단시간 차단하거나, 알림 서비스를 제공하는 등의 대응방안을 수립할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 공간정보 전문 인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임. 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A2006940). K지수 데이터는 국립전파연구원에서 제공하였음.

References

- Bae, T. (2011), VRS-based Precision Positioning using Civilian GPS Code Measurements, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 29, No. 2, pp. 201-208. (in Korean with English abstract)
- Gordini, C., Kealy, A. N., Grgich, P. M., and Hale, M. J. (2006), Testing and Evaluation of a GPS CORS Network for Real Time Centimetric Positioning - The Victoria GPSnet™, *International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2006*, 17-21 July, Australia, unpaginated CD-ROM.
- Han, J., Kwon, J., and Hong, C. (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. 13-20. (in Korean with English abstract)
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J. (2001), *Global Positioning System Theory and Practice: Fifth edition*, Springer-Verlag Wien New York., 382p.
- Hong, S. (2013), The Accuracy Analysis of VRS GNSS for Applying Cadastral Surveying, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 14, No. 1, pp. 94-100. (in Korean with English abstract)
- Janssen, V. (2009), A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK, *International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2009*, 1-3 December, Australia, unpaginated CD-ROM.
- Jung, K. (2005), *A Study on Network-Based RTK GPS Positioning*, Master's thesis, Kyungil University, Gyeongsan, Korea, 89p. (in Korean with English abstract)
- Kim, S. (2006), *A Study on the Application of Network RTK-GPS for Cadastral Survey*, Master's thesis, Industry Kumoh National Institute of Technology, Gumi, Korea, 77p. (in Korean with English abstract)
- Kim, S. (2012), *Establishing a Dynamic National Geodetic Reference Frame Considering Discontinuity of Crustal Movement*, Master's thesis, Sejong University, Seoul, Korea, 160p. (in Korean with English abstract)
- Kim, M. and Bae, T. (2013), Study of availability and accuracy of FKP through comparative analysis of network-RTK, *Conference of the Korean Association of Geographic Information Studies 2013*, 9-10 May, Gongju, pp. 82-83. (in Korean with English abstract)
- Kim, M., Bae, T., and Yun, S. (2013), Analysis of Network-RTK(FKP) correction signal stability and ambiguity fixing rate, *Conference of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography 2013*, 25-26 April, Busan, pp. 77-80. (in Korean with English abstract)
- Kim, H., Yu, G., Park, K., and Ha, J. (2008), Accuracy Evaluation of VRS RTK Surveys Inside the GPS CORS Network Operated by National Geographic Information Institute, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 26, No. 2, pp. 139-147. (in Korean with English abstract)

- Klobuchar, J. (1986), Design and characteristics of the GPS ionospheric time-delay algorithm for single-frequency users, *Position Location and Navigation Symposium 1986*, 4-7 November, Las Vegas, Nevada, pp. 280-286, unpaginated CD-ROM.
- Lee, M. (2011), *Analysis of Bridge Monitoring using VRS GPS*, Master's thesis, Kyungpook National University, Sangju, Korea, 59p. (in Korean with English abstract)
- NMEA (2002), *NMEA 0183-Standard For Interfacing Marine Electronic Devices*, NMEA 0183 Version 3.01, National Marine Electronics Association, U.S.A.
- No, S., Han, J., and Kwon, J. (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. (in Korean with English abstract)
- Oh, J., (2013), *Feasibility Study on The Surveying Public Control Point by Network RTK-VRS*, Master's thesis, Korea National University of Transportation, Chungju, Korea, 56p. (in Korean with English abstract)
- Park, H. (2009), *A Study on Building Displacement using Network RTK*, Master's thesis, University of Seoul, Seoul, Korea, 54p. (in Korean with English abstract)
- RTCM (2001), *RTCM recommended standards for differential GNSS(Global Navigation Satellite Systems) service version 2.3*, RTCM Special Committee No.104, Radio Technical Commission For Maritime Services, U.S.A.
- 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, pp. 348-355.
- Wübbena, G., Bagge, A., and Schmitz, M. (2001), Network-Based Techniques for RTK Applications, *Proceedings of the Japan Insitute of Navigation, GPS Symposium*, 14-16 November, Tokyo, pp. 53-65.
- Yim, J. (2012), *A Study on the accuracy of the FKP-GPS*, Master's thesis, Kyonggi University, Suwon, Korea, 51p. (in Korean with English abstract)

(Received 2013. 07. 17, Revised 2013. 08. 12, Accepted 2013. 08. 30)