

육상교통 인프라 구축을 위한 다중 네트워크 간 미지정수 수준 조정이 고려된 Compact Network RTK 보정정보 생성기법 연구

Study On Generating Compact Network RTK Corrections Considering Ambiguity Level Adjustment Among Reference Station Networks for Constructing Infrastructure of Land Vehicle

송준솔*, 박병운**, 기창돈*⁰

June-Sol Song*, Byung-Woon Park** and Chang-Don Kee*⁰

요 약

정적 사용자에게 한정되었던 Network RTK 서비스는, 최근 차량 사용자와 같은 동적 사용자를 위한 고 정확도 항법에 대한 요구 증가로 동적 사용자에게 대한 적용 연구가 활발히 진행되고 있다. 동적 사용자는 위치 이동에 따라 보정정보가 생성되는 기준국 조합이 변경될 가능성이 있으며, 사용자의 균일한 정확도 유지를 위해서 Compact Network RTK 보정정보는 기준국 조합에 상관없이 일관성을 유지해야 한다. 따라서 본 논문에서는 기준국에서 수행 가능한 네트워크 간 미지정수 수준 조정 방법을 제안하고, 이론적 수식전개를 통해 설명하였다. 전국 단위의 가상의 다중 네트워크를 설정하여 미지정수 수준 조정 방법에 대한 성능 검증을 수행하였으며, 사용자 이동에 따른 네트워크 변경 상황을 가정하고, 사용자 위치의 보정정보를 미지정수 수준 조정 여부에 대해 비교 분석하였다. 또한, 두 네트워크 경계 지점에 있는 사용자에게 대해 GPS 실측 데이터를 활용하여 사용자 성능을 예측하였다. 그 결과, 미지정수 수준 전 수 cycle에 해당하는 두 네트워크 간 보정정보 불연속이 0.25 cycle 이내로 감소하였으며, 미지정수 수준 전, 2DRMS 40~50cm에 달했던 수평오차가 사용자는 네트워크 변경에 상관없이 수평 정확도 8 cm (2DRMS) 이내의 일관된 위치 정확도의 연속적인 획득이 가능하였다.

Abstract

Network RTK is widely used especially for static applications so far, however, the demand for high accuracy positioning for kinetic users such as land vehicles is growing for safety and convenience reasons. Kinematic users move along the roads and the network where they receive corrections can be changed. Compact Network RTK corrections should keep consistency while network change. In this paper, we introduced a method of generating Compact Network RTK corrections considering network ambiguity level adjustment by formulation of corrections. We verified the proposed method for reference station networks across whole country. We also generated Compact Network RTK corrections using simulation and real GPS data from reference stations in South Korea and evaluated performance of users. As a result, the discontinuity between corrections from two networks reduced to 0.25 cycle from several cycles. And user could achieve less than 8 cm (2DRMS) horizontal position accuracy continuously regardless of network change.

Key words : Network RTK, Compact RTK, Ambiguity Level Adjustment

I. 서 론

* 서울대학교 기계항공공학부(Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University), 항공우주산기술연구소(the Institute of Advanced Aerospace Technology)

** 세종대학교 기계항공우주공학부(Mechanical and Aerospace Engineering, Sejong University)

· 제1저자 (First Author) : 송준솔(June-Sol Song)

0 교신저자 (Corresponding Author) : 기창돈(Chang-Don Kee, tel : 82-2-880-1912, email : kee@snu.ac.kr)

· 접수일자 : 2013년 7월 5일 · 심사(수정)일자 : 2013년 7월 5일 (수정일자 : 2013년 8월 20일) · 게재일자 : 2013년 8월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.4.404>

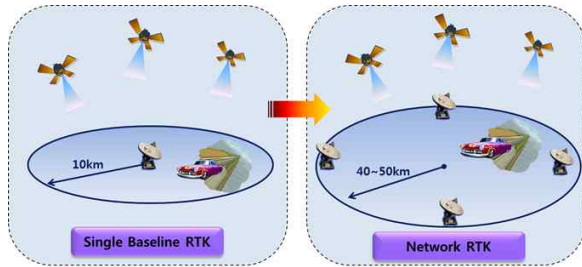


그림 1. RTK 방식과 Network RTK 개념도
Fig. 1. Configurations of RTK and Network RTK

Network RTK (Real Time Kinematics)는 GPS 반송파와 위상을 활용하는 방법의 한 방법으로, 다수의 기준국을 활용하여 기존 RTK와 비슷한 정확도를 제공하면서 동시에 비교적 넓은 커버리지를 갖는 방식이다. 지금까지 Network RTK는 측지, 측량 등의 정적인 사용자에게 널리 사용되어 왔으나, 최근 안전성 및 사용자 편의성과 관련하여 육상교통 등 동적 사용자에게 대해서도 높은 정확도를 갖는 방법이 요구되면서 동적 사용자 적용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1][2].

Compact RTK는 지난 2002년 서울대학교에 의해 개발된 반송파 위상 기반 보정정보 생성 방식으로, 보정정보 생성 시 시간에 따라 급격히 변하는 항을 제거함으로써 시간지연에 강건한 이점을 가지고 있다 [3]. 2008년에는 Compact RTK와 Network RTK의 호환성이 검증되었으며 [4], 두 방식을 결합한 Compact Network RTK 방식이 육상교통사용자와 같은 동적 사용자의 공간이격오차 및 시간지연오차 제거에 적합하다는 연구가 진행되었다 [5]. 그러나 현재까지는 하나의 네트워크 내에서 이동하는 사용자의 성능에 대해서만 연구가 수행되었을 뿐, 사용자가 이동함에 따른 네트워크 변경상황에 대해서는 고려되지 않았다.

Network RTK 보정정보는 사용자 주변의 2~4 개의 기준국 측정치를 활용하여 생성되게 되며, 보정정보를 생성하는데 사용된 여러 개의 기준국이 하나의 네트워크를 이룬다. 기준국 배치 및 간격은 보정정보 서비스 제공 회사와 보정방식에 따라 상이하나 보통 50~70km라고 알려져 있다 [6]. 따라서 Network RTK 서비스 범위는 반경 약 30km라고 볼 수 있으며, 이는 육상교통사용자와 같은 동적 사용자에게 서비스하기에는 제한적인 범위를 갖는다. 따라서 Network RTK를

동적 사용자에게 적용하기 위해서는 다수의 기준국 네트워크가 필요하다. 동적인 사용자의 경우, 도로를 따라 이동함에 따라 자신이 속한 네트워크가 변경될 수 있으며 네트워크 변경에 상관없이 균일한 정확도를 갖는 방법을 수행할 수 있어야 한다. 그러기 위해서는 서로 다른 네트워크에서 생성된 보정정보가 일관성을 유지할 수 있도록 미지정수(ambiguity) 수준을 맞추어 주어야 한다. 미지정수는 GPS 반송파 위상 측정치에 포함된 정수(integer)인 미지정수로, cycle slip이 발생하지 않는 한 항상 일정한 특징이 있다.

미지정수 수준 차이 조정을 위한 기초 연구로, GPS 시뮬레이션 데이터를 활용하여 사용자 이동에 따른 보정정보 오차요소 별 경향성 분석이 수행되었다 [11]. 또한, 두 네트워크 간 미지정수 수준 차이를 방송하여 사용자가 직접 보상하는 형태의 연구가 진행된 바 있다 [12]. 그러나 이와 같은 방식은 전 국토에 기준국 네트워크를 설치하게 되어 네트워크 수가 증가하는 경우, 하나의 네트워크에 인접한 네트워크 수가 증가하기 때문에 사용자가 동일한 수만개의 미지정수 수준 차이 정보를 전송받아 수신 정보량이 급격히 증가하는 단점이 있다. 따라서 전 국토의 기준국 네트워크 인프라 구축에는 적합하지 않다. 본 논문에서는 상기 기술된 비효율성을 제거하기 위해 각 네트워크의 주 기준국 미지정수 수준 조정을 보정정보 생성 전에 수행함으로써 사용자는 단순히 수신한 보정정보를 바로 적용하도록 하였다.

한편, Network RTK 서비스 제공 회사 중 하나인 Leica에 의해 제안된 기존의 미지정수 조정 기법은 네트워크를 구성하는 모든 기준국에 대해 조정을 수행하고 있어 [9], 네트워크 수가 증가하는 경우, 그리고 네트워크를 구성하는 기준국 수가 증가하는 경우 미지정수 조정을 위한 계산량도 급격히 증가하는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 Compact Network RTK에 적합하고 동시에 네트워크를 구성하는 하나의 기준국만을 대상으로 하는 미지정수 수준 조정 기법을 제안한다. 네트워크 간 미지정수 수준 조정 방법에 대해 수식전개를 통해 설명하고, 한국 내에 가상의 다중 네트워크를 설정하여 전국단위의 미지정수 수준 조정 방법에 대한 성능 검증을 수행하였다. 또한, 네트워크 변경 상황을 가정하고, 사용자 위치

에 따른 보정정보를 생성 및 도시함으로써 미지정수 수준 조정이 고려된 보정정보 생성 방안 검증에 수행하였다.

II. Compact Network RTK 보정정보

2-1 상이한 네트워크 간 보정정보 차이

GPS 반송파 위상은 거리(d)와 수신기 시계 오차(B), 위성 시계 오차(b), 전리층과 대류층 오차, 위성 관련 오차, 수신기 잡음이 포함된 GPS 오차($\delta\phi$)와 미지정수($N\lambda$)항으로 구성된다. 아래 식에서 아래첨자 및 위첨자 r과 i는 각각 수신기 및 위성 인덱스이다.

$$\phi_r^i = d_r^i + B_r - b^i + \delta\phi_r^i + N_r^i \lambda \tag{1}$$

Compact RTK 보정정보는 반송파 위상에서 미지정수와 시간에 대해 변화가 큰 항인 거리, 수신기 및 위성 시계오차를 제거하여 생성한다.

$$\begin{aligned} \delta\phi_r^i &= \phi_r^i - (d_r^i + \hat{B}_r - \hat{b}^i - \lambda \hat{N}_r^i) \\ &\approx l_r^i + \delta B_r - \delta b^i + \lambda \delta N_r^i \end{aligned} \tag{2}$$

식 (2)와 같이 Compact RTK 보정정보는 대류층, 전리층 지연 및 위성 궤도오차와 같은 GPS 오차요소 (l), 수신기 시계 잔여 오차(δB), 위성 시계 잔여 오차(δb) 및 미지정수 추정 오차(δN)으로 구성된다. RTK 사용자가 Compact RTK를 적용할 경우, 1항에 의해 자신의 오차를 제거하게 된다. 수신기 및 위성 시계 잔여오차는 사용자가 이중차분 하는 과정에서 완전히 제거되어 사용자 위치에 영향을 미치지 않는다. 미지정수 추정 오차는 정수성이 보장되기 때문에 사용자 미지정수에 흡수되게 된다.

한편, Network RTK는 보정정보 생성 방법에 따라 크게 VRS (Virtual Reference Station), FKP (Flächenkorrekturparameter), MAC (Master Auxiliary Concept) 으로 구분된다. VRS, FKP 방식은 MAC 방식으로부터 구현이 가능하므로 [4][7], 본 논문에서는 MAC기반 Network RTK만 고려하도록 한다.

Network RTK 보정정보 수식 전개를 위해 그림 2와 같은 기준국 네트워크 배치를 고려한다. MAC기반 Network RTK는 네트워크를 구성하는 기준국을 하나의 주 기준국과 나머지의 부 기준국으로 구분하며, 네트워크 2의 구성은 그림 3과 같다.

주 기준국에서는 Compact RTK 보정정보를 생성하고, 부 기준국에서는 주-부 기준국간 차분된 보정정보 (Master-Auxiliary Correction)를 사용자에게 전송하게 된다. 그림 2의 네트워크 1과 2에서, 각 네트워크의 주 기준국을 각각 C와 B라고 할 때, 네트워크 1의 주-부 기준국간 차분된 보정정보는 다음의 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

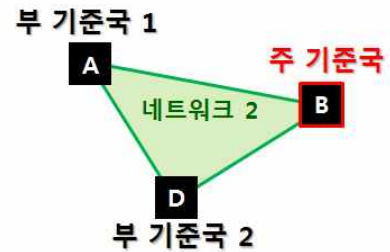


그림 3. MAC 기반 네트워크 구성
Fig. 3. MAC based Network

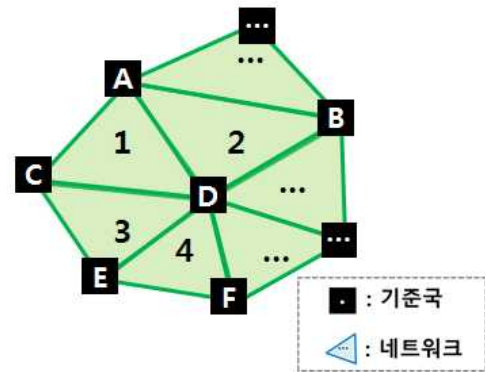


그림 2. Network RTK 보정정보 생성을 위한 기준국 네트워크 배치
Fig. 2. Configuration of reference station networks for generating Network RTK corrections

$$\begin{aligned} \Delta_C \delta\phi^i &= \Delta_C d^i + \Delta_C (\delta B + \lambda \delta N^{ref}) \\ \Delta_D \delta\phi^i &= \Delta_D d^i + \Delta_D (\delta B + \lambda \delta N^{ref}) \end{aligned} \tag{3}$$

where ${}_k \Delta_l (\cdot) = (\cdot)_k - (\cdot)_l$

네트워크 1 내에 위치하는 사용자는 주 기준국 (C)

로부터 Compact RTK 보정정보를, 부 기준국 (A, D)로부터 MAC 보정정보를 전송받아 다음과 같이 조합하여 자신의 측정치에 포함된 오차요소를 제거한다.

$$\delta\phi_{user}^i = \delta\phi_C^i + \sum_{k=1}^M w_{k, AUX(k)} \Delta_C \delta\phi^i = \hat{l}^i + \lambda \delta N_C^i + \Theta$$

where $AUX = \{A, D\}$

$$\Theta = \delta B + \sum_{k=1}^M w_{k, AUX(k)} \Delta_C (\delta B + \lambda \delta N^{ref}) \quad (4)$$

식 (4)에서 Θ 는 모든 위성에 공통적으로 포함된 항으로, 사용자 측정치에 보정정보 적용 후 위성 간 차분 시 완전히 제거되는 항이다. 또한, w_k 는 k 번째 부 기준국에 해당하는 가중치로 사용자와 기준국 간 거리, 보정정보 평면 모델링 등 여러 가지 방법으로 결정할 수 있다 [10]. 본 논문에서는 사용자와 부 기준국간 거리에 따라 다음과 같은 방법으로 가중치를 계산하였다.

$$w_k = \frac{\frac{1}{d_k}}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{d_j}} \quad (5)$$

d_j : 사용자와 j 번째 기준국간 거리

사용자에 적용되는 최종적인 값인 위성간 차분된 보정정보를 네트워크 1, 2에 대해 나타내면 다음과 같다.

$${}^i \nabla^j \delta\phi_{user, net1} = {}^i \nabla^j \left(\delta\phi_C + \sum_{k=1}^m w_{k, AUX(k)} \Delta_C \delta\phi_{net1} \right)$$

$$= -{}^i \nabla^j \hat{l}_{user} - \lambda^i \nabla^j \delta N_C$$

$${}^i \nabla^j \delta\phi_{user, net2} = -{}^i \nabla^j \hat{l}_{user} - \lambda^i \nabla^j \delta N_B$$

위 식 (6)과 같이 네트워크 1, 2의 보정정보에 차이를 유발하는 항은 각 네트워크 주 기준국의 미지정수 추정 오차이다. 따라서 네트워크 변경에 상관없이 사용자가 균일한 정확도를 유지하려면 미지정수 추정 오차를 동일하게 해 주어야 한다.

2-2 네트워크 간 미지정수 수준 조정

각 네트워크의 주 기준국 미지정수 수준 조정을 위해서는 네트워크 간 공유 기준국을 활용한다. 그림 2에서 네트워크 1과 2의 공유 기준국 중 하나인 A를 선정하여 다음과 같은 새로운 변수를 정의한다.

$$R_1^i = {}^i \nabla_A^j \Delta_C N^i + {}^i \nabla^j \hat{N}_C$$

$$= {}^i \nabla^j N_A + {}^i \nabla^j \delta N_C$$

$$R_2^i = {}^i \nabla_A^j \Delta_B N^i + {}^i \nabla^j \hat{N}_B$$

$$= {}^i \nabla^j N_A + {}^i \nabla^j \delta N_B$$

$$x = R_1^i - R_2^i = {}^i \nabla^j \delta N_C - {}^i \nabla^j \delta N_B \quad (7)$$

식 (7)과 같이 새롭게 정의된 변수 R의 차이를 계산하면 두 네트워크 간 보정정보에 불연속을 발생시키는 값을 계산할 수 있다. 이와 같이 계산된 값을 활용하여 각 네트워크 주 기준국의 미지정수를 다음 식 (8)과 같이 조정할 수 있다.

$${}^i \nabla^j \delta N_C - {}^i \nabla^j \delta N_B - x = 0$$

$$0 = {}^i \nabla^j (\hat{N}_C - N_C) - {}^i \nabla^j (\hat{N}_B - N_B)$$

$$= {}^i \nabla^j (\hat{N}_C - N_C) - (\hat{N}_B + x) + \hat{N}_B + {}^i \nabla^j N_B$$

$$= {}^i \nabla^j (\hat{N}_C - N_C) - \hat{N}_B + (\hat{N}_B - x) + {}^i \nabla^j N_B \quad (8)$$

$$= {}^i \nabla^j (\hat{N}_C - N_C) - (\hat{N}_B + x_1) + (\hat{N}_B - x_2) + {}^i \nabla^j N_B$$

where, $x_1 + x_2 = x$

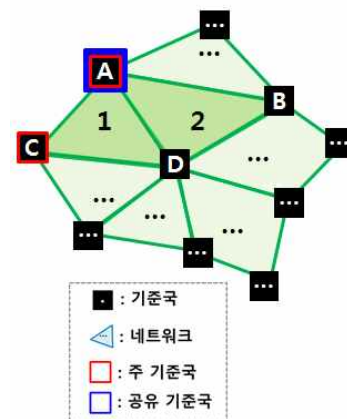


그림 4. Network RTK 보정정보 생성을 위한 기준국 네트워크 배치 (공유 기준국과 주 기준국 동일한 경우)
Fig. 4. Configuration of reference station networks for generating Network RTK corrections (Overlapping station and the master station of one network is the same)

위 식 (8)과 같은 방식으로 네트워크 2의 주 기준국인 B의 미지정수를 조정하게 되면 네트워크 1과 2의 미지정수 추정오차가 동일하게 된다. 따라서 네트워크 변경에 의해 보정정보에 발생했던 불연속 값이 제거된다.

한편, 네트워크 간 주 기준국이 동일한 경우에는 식 (4)의 네트워크 1, 2에 대한 식 중 마지막 항이 동일하기 때문에 미지정수 조정 과정을 거치지 않아도 된다. 만약, 다음 그림과 같이 네트워크 간 공유하는 기준국과 하나의 네트워크의 주 기준국이 동일한 경우에는 식 (9)과 같이 간단하게 두 네트워크의 미지정수 추정 오차를 계산할 수 있다.

$$x = {}^i \nabla_C^j \Delta_A N - {}^i \nabla_C^j \Delta_A \hat{N} = {}^i \nabla^j \delta N - {}^i \nabla^j \delta N_A \quad (9)$$

III. 실험 결과

3-1 네트워크 간 미지정수 수준 조정 검증

2-2에서 소개된 네트워크 미지정수 조정 방법의 검증을 위해, 다음 그림 5와 같이 한반도 전역에 대해 70개의 가상의 네트워크를 설정하였다. 기준국 네트워크 형태는 동일 영역을 담당하는 네트워크 수를 최대화 하는 삼각형 형태로 하였으며, 삼각형의 각 꼭짓점은 하나의 기준국을 나타낸다.

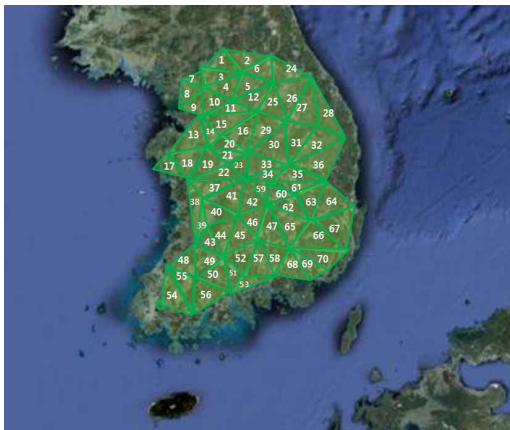


그림 5. 네트워크 미지정수 조정 검증을 위한 네트워크 배치

Fig. 5. Configuration of reference station networks over Korean peninsula

표 1. 선정된 네트워크의 위성 차분된 미지정수 오차
Table 1. Estimation error of modified single differenced integer ambiguities at selected networks.

Network	Selected satellites (PRN)				
	3	6	9	13	29
1	0	1	2	2	0
5	0	1	2	2	0
9	0	1	2	2	0
14	0	1	2	2	0
20	0	1	2	2	0
23	0	1	2	2	0
28	0	1	2	2	0
30	0	1	2	2	0
33	0	1	2	2	0
39	0	1	2	2	0
42	0	1	2	2	0
50	0	1	2	2	0

각 기준국에 대해 차분되지 않은 미지정수 참값과 차분되지 않은 미지정수 추정 값, 그리고 각 기준국 간 이중 차분된 미지정수를 생성하였다. 차분되지 않은 미지정수 참값은 실제 미지정수 수준 조정 과정에서는 알 수 없는 값이며, 본 시뮬레이션에서는 미지정수 조정 검증을 위한 차분되지 않은 미지정수 추정 오차 확인을 위해 생성하였다.

생성된 정보를 활용하여 전국단위의 네트워크에 대해 미지정수 조정 결과는 표 1과 같다. 미지정수 조정 결과, 네트워크의 위성 차분된 주 기준국 미지정수 추정 오차는 같은 위성에 대해 모든 네트워크에서 동일한 것을 확인할 수 있다. 즉, 식 (4)의 네트워크 1과 2에 대한 식 중 마지막 항이 동일하기 때문에 두 네트워크에서 생성된 보정정보는 서로 일관성을 유지하게 된다.

본 시뮬레이션에서는 네트워크의 형태를 삼각형으로 고정하여 각 기준국이 주 기준국이 될 확률이 높다. 만약 네트워크를 구성하는 기준국 수가 증가한다면 하나의 기준국이 주 기준국이 될 확률이 감소하기 때문에, 기존 Leica 방식에 비해 계산량 관점에서 상당한 이점이 있다.

3-2 네트워크 보정정보 생성 및 사용자 성능 검증



그림 6. 미지정수 수준 조정 검증을 위한 네트워크 구성
Fig. 6. Configuration of networks for evaluating the proposed ambiguity leveling method

네트워크에 따른 보정정보 변화를 확인하기 위해 그림 6과 같은 2개의 기준국 네트워크를 설정하고 각 기준국에서 GPS 데이터를 수집하였다. 네트워크를 구성하는 기준국 중 파주, 인천, 수원 기준국은 국토 지리정보원에서 운영하고 있으며, NTRIP 서비스를 활용하여 1초 간격의 데이터를 2010년 8월 17일 13:00~14:00에 수집하였다. 나머지 기준국인 송파 기준국은 서울시에서 운영하는 기준국이며, 데이터 수집 일시는 동일하다. 사용자 1은 네트워크 1에서 2로 남쪽 방향으로 이동하도록 설정 하였다. 사용자2는 두 네트워크의 경계지점에 위치하는 서울시에서 운영하는 금천 기준국으로 설정하였으며, 데이터 획득 일시는 역시 동일하다. 모든 기준국의 수신기는 Trimble NetR 계열의 수신기이며, 네트워크 1과 2의 주 기준국은 각각 파주와 수원이고, 부 기준국은 인천과 송파로 동일하게 설정하였다.

한편, 미지정수 수준 조정 성능을 확인하기 위해, 사용자 1의 위치에 따른 위성 차분된 보정정보를 네트워크 경계점을 기준으로 사용자의 이동 거리에 대해 도시한 결과는 그림 7과 같다.

미지정수 수준을 조정하지 않고 보정정보를 생성한 경우에는 네트워크가 1에서 2로 변경될 때, 동일한 PRN에 대해 보정정보에 불연속이 존재하는 것을 확인할 수 있다. 반면, 미지정수 수준을 조정된 경우

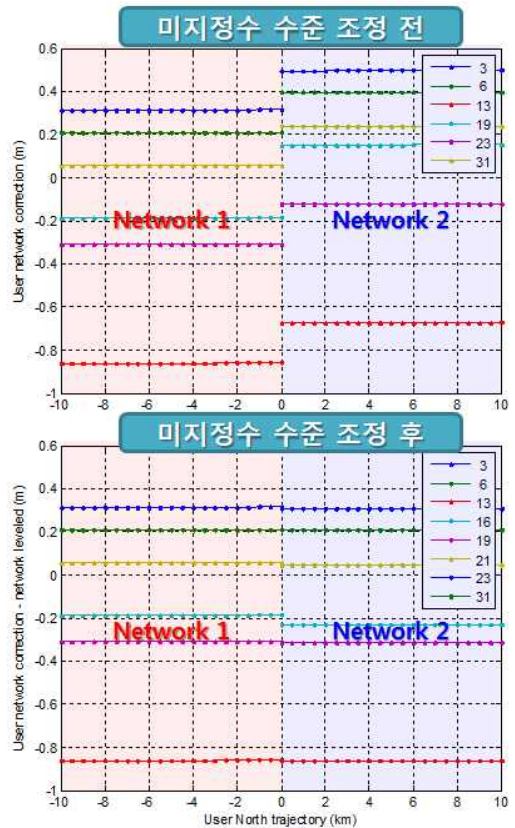


그림 7. 동적 사용자 위치에 따른 사용자 위치 보정정보
Fig. 7. Compact Network corrections at user position

에는 네트워크 변경과 무관하게 보정정보가 일관성을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 그림 8은 사용자 위치에 따른 보정정보 변화량이며, 미지정수 수준 조정 전에는 불연속 크기가 0.5 cycle 이내이므로 사용자의 미지정수를 변화시켜 사용자의 미지정수 추정 과정에 재 초기화를 유발할 수 있다. 반면, 미지정수 수준 조정 후에는 불연속 크기가 0.25 cycle 이내인 것을 확인할 수 있다.

표 2는 미지정수 수준 조정 전과 후의 두 네트워크 간 보정정보 불연속 크기를 나타낸 것이다. 미지정수 수준 조정 전, 수 cycle에 해당하는 불연속 크기가 약 0.25 cycle 이내로 감소한 것을 확인할 수 있다.

미지정수 수준 조정 여부가 사용자 위치 정확도에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위해, 사용자 2의 측정치를 활용하였다. 1시간 중 처음 30분은 네트워크 1의 보정정보를 사용하고, 나머지 30분은 네트워크 2의 보정정보를 사용하였다. 미지정수 수준 조정

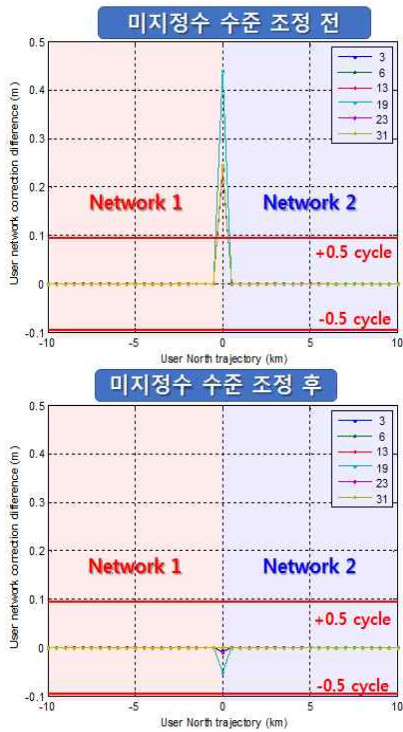


그림 8. 동적 사용자 위치에 따른 사용자 위치 보정정보 변화량

Fig. 8. Compact Network corrections variation at user position

표 2. 두 네트워크 보정정보 불연속 크기
Table 2. Value of discontinuity between corrections from two networks

PRN	3	6	13	19	23	31
미지정수 수준 조정 전	0.182	0.189	0.186	0.333	0.183	0.183
미지정수 수준 조정 후	-0.008	-0.002	-0.005	-0.057	-0.007	-0.007

의 성능을 살펴보기 위해 사용자의 미지정수 재초기화는 없다고 가정하였다. 보정정보 적용 후 사용자의 이중 차분된 잔여오차는 그림 9과 같다.

미지정수 수준 조정을 하지 않은 경우는, 식 (4)에서와 같이 두 네트워크 주 기준국의 미지정수 추정 오차 차이에 의해 네트워크 1에서 네트워크 2의 보정정보로 변경되는 순간 미지정수 추정오차 차이만큼의 불연속이 발생한다. 반면에, 미지정수 수준 조정을 한 경우에는 네트워크 변경 여부와 관계없이 사용자는 일관된 정확도로 연속적인 위치 정확도 달성이 가능한 것을 알 수 있다.

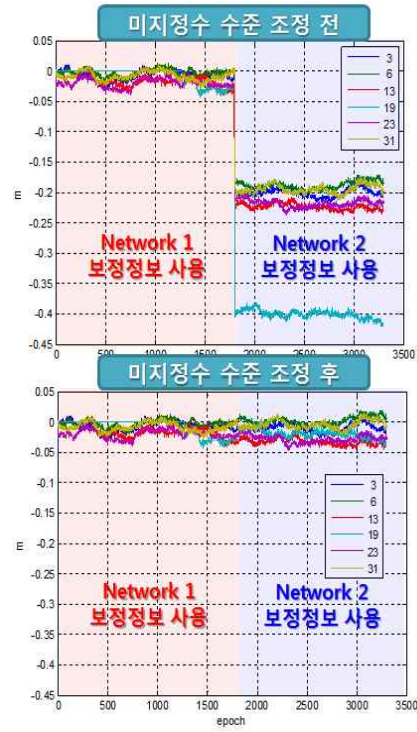


그림 9. 금천 사용자 잔여오차

Fig. 9. Residual errors for GUMC user.

그림 10는 사용자 위치 오차의 2DRMS 예측치로, 측정치 영역의 잔여오차를 위치 영역으로 변환하기 위해 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$\delta x = (H^T H)^{-1} H^T \delta z$$

where H : observation matrix (10)

$$\delta z = \nabla (\delta \phi_{user} - \delta \hat{\phi}_{user})$$

δz 는 사용자 위치의 참 GPS 오차요소와 Compact Network RTK 보정정보로부터 추정된 사용자 위치의 GPS 오차요소 간의 차이를 위성간 차분한 값으로 사용자의 위치 정확도에 영향을 미치는 값이다. δx 는 시선벡터로 구성된 관측행렬 H 를 이용하여 측정치 잔여오차 벡터 δz 를 위치 영역의 오차로 변환한 값이다.

미지정수 수준을 조정한 경우는 수평 위치 오차가 2DRMS 8 cm 이하를 항상 유지하는 반면에, 미지정수 수준을 조정하지 않은 경우에는 주 기준국 미지정수 추정 오차가 그대로 사용자 위치 정확도에 영향을 미쳐, 위치 오차에 불연속이 발생하여 위치 정확도가 급격히 증가한 것을 알 수 있다. 따라서 사용자의 균

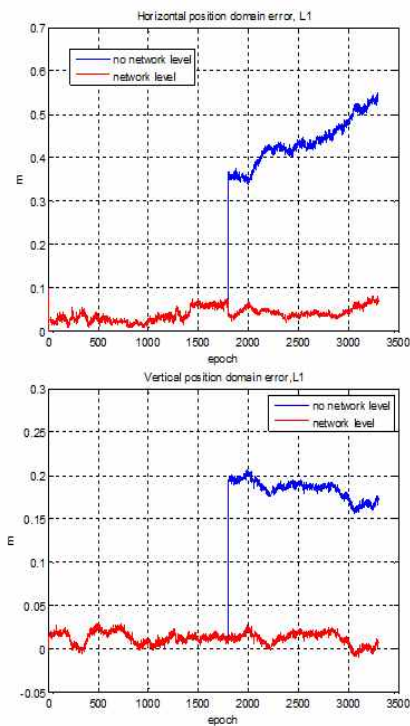


그림 10. 금천 사용자 위치영역 오차 (상: 수평오차, 하: 수직오차)
Fig. 10. Residual errors for GUMC user in position domain

일한 정확도의 연속적인 확보를 위해서는 보정정보의 미지정수 수준 조정이 필수적이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Compact Network RTK의 동적 사용자 적용을 위해 미지정수 수준 조정이 고려된 보정정보 생성 방법에 대해 소개하였다. 미지정수 수준 조정 방법 검증에 위해, 한반도 전역에 대한 네트워크를 가정하고 미지정수 수준 조정 방법을 검증하였다. 또한, 실측 GPS 데이터 습득을 통해 미지정수 수준 조정 전과 후의 이웃한 두 네트워크의 보정정보 경향을 확인하였으며, 그 결과 미지정수 수준 전 수 cycle에 해당하는 두 네트워크 간 보정정보 불연속이 0.25 cycle 이내로 감소함을 검증하였다. 이와 같은 두 네트워크 간 보정정보 불연속을 위치 영역으로 변환시켜 사용자 위치 정확도를 예측해 보았다. 그 결과, 미지정수 수준을 조정하지 않은 경우는 주 기준국의 미

지정수 추정 오차가 사용자 위치 정확도에 영향을 미쳐 2DRMS 4~50 cm의 정확도를 보인 반면, 미지정수 수준을 조정한 경우에는 수평위치 정확도 2DRMS 8 cm 이하를 유지하였다.

본 논문에서 제안된 방식은 미지정수 수준 조정이 각 네트워크의 주 기준국에서만 이루어지기 때문에 기존 방식에 비해 처리 정보량이 감소하는 이점이 있다. 특히, 네트워크의 수가 증가할수록, 그리고 네트워크 구성 기준국 수가 증가할수록 계산량에 있어서의 이점이 명확하다. 이는, 미지정수 수준 조정을 위한 처리 장치 구축비용에 있어서 유리할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 정밀기계공동연구소를 통해 계약된 국토해양부 위성항법기반 교통인프라 기술개발의 연구비지원(06교통핵심A03)에 의해 수행되었습니다.

본 연구에 사용된 GPS 데이터를 제공해주신 국토지리정보원과 서울시에 감사드립니다.

Reference

- [1] A. Goodliss *et al*, "Cooperative High-Accuracy Location (C-HALO) Service for Intelligent Transportation Systems: A Cost Benefit Study", *ION GNSS 2011*, Portland, OR, pp.2220-2232, September 2011.
- [2] R. J. P. van Bree *et al*, "Lane Identification with Real Time Single Frequency Precise Point Positioning - A Kinematic Trial", *ION GNSS 2011*, Portland, OR, pp.314-323, Sept., 2011.
- [3] C. Kee, J. and Kim, "RTK-GPS correction generation technique for low-rate data-link", *Journal of Navigation*, vol. 57, no. 3, pp.465-477, Sept, 2004.
- [4] B. Park, and C. Kee, "The Compact Network RTK Method: An Effective Solution to Reduce GNSS Temporal and Spatial Decorrelation Errors", *Journal of Navigation*, vol. 63, no. 2 pp.343-362, 2010.

- [5] J. Song *et al*, "Development of Compact Network RTK for Land Vehicle Users and Performance Evaluation for Selected Networks in South Korea", *ENC 2012*, Gdansk, Poland April, 2012.
- [6] *National Geodetic Survey Guideline for Real Time GNSS Networks Draft v2.0*, NGS, March 2011.
- [7] F. Takac, "The relationship between network RTK solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX", *ION GNSS 2008*, Savannah, GA., pp.348-355, September 2008.
- [8] J. Song *et al*, "Ambiguity Level Adjustment Among Networks of Compact Network RTK for Land Vehicle Users", *ION 2013 Pacific PNT Meeting*, Honolulu, Hawaii, pp.138-145, April 2013.
- [9] P. Alves, and P. M. Grgich, "Transferring Ambiguity Levels Between Network Corrections", *ION GNSS 2008*, Savannah, GA, pp.368-375, Sept. 2008.
- [10] L. Dai, *et al*, "Compason of Interpolation Algorithms in Network-based GPS Techniques", *Navigation*, vol.50, no.4, pp.277-293, 2004.
- [11] B. Park, *et al*, "Study on the Ambiguity Difference Adjustment between Reference Station Cells for the Improvement in Rover's Continuous Network-RTK Positioning", *Journal of Korea Navigation Institute*, vol.16, no.4, pp.619-626, 2012.
- [12] J. Song, *et al*, "Generation of Ambiguity Leveled Corrections from Compact Network RTK for Land Vehicle Users", *Spring Conference of The Korean Society for Aeronautical and Space Science*, pp.663-666, 2012.

송 준 솔 (June-Sol Song)



2008년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)
 2008년 9월 ~ 현재 : 서울대학교 기계항공공학부 (박사과정)
 관심분야 : 위성항법, RTK, 측량

박 병 운 (Byung-Woon Park)



2001년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학사)
 2003년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학석사)
 2008년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)

2008년 2월 ~ 2010년 5월 : 서울대학교 차세대 기계항공시스템 창의설계 인력양성사업단BK21 연수연구원
 2010년 5월~2012년 8월 : 대한지적공사 지적연구원 선임연구원, 책임연구원
 2012년 8월~현재 : 세종대학교 기계항공우주공학부 조교수
 관심분야 : 위성항법, RTK, 측량

기 창 돈 (Chang-Don Kee)



1984년 2월 : 서울대학교 항공공학 (공학사)
 1986년 2월 : 서울대학교 항공공학 (공학석사)
 1994년 1월 : 미국 Stanford University 항공우주공학 (공학박사)
 1996년 9월~현재 : 서울대학교 기계

항공공학부 교수
 관심분야 : 위성항법, WADGPS, RTK, 의사위성, 무인항공기, 수신기