

네트워크 RTK 환경에서 이온층 지연 변칙현상 검출 기법

고재영* · 신미영 · 한영훈 · 조득재

A Detection Method for Irregularity of Ionospheric delay in Network RTK Environment

Jaeyoung Ko* · Mi Young Shin · Younghoon Han · Deuk Jae Cho

Marine Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

요 약

본 논문에서는 네트워크 RTK (Real Time Kinematic) 환경에서 기준국 간 이온층 지연 변칙현상에 대해 검출하는 기법을 제안한다. 태양흑점 폭발이나 지자기 폭풍 등으로 인해 이온층 지연의 시공간적 변화가 심해지면 네트워크 공간 안에서 이온층 지연의 선형성을 보장할 수 없게 된다. 이 때, 생성된 보정정보를 사용자가 사용하면 잘못된 미지정수를 결정하여 위치 오차가 증가하는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 신뢰성있는 보정정보를 사용자에게 제공하기 위해서 이온층 지연에 변칙현상을 검출하는 기법이 필요하다. 본 논문에서 제안한 기법은 보정정보의 전파성 향으로 이온층 지연 변칙현상을 검출하기 위한 지표를 계산하고, 이를 임계치와 비교해서 이온층 지연 변칙현상 발생을 판단한다.

ABSTRACT

This paper proposes a detection method for irregularity of ionospheric delay in network RTK (Real Time Kinematic) Environment. The linearity of network RTK correction provided to user can't be assured when a characteristic of temporal-spatial of ionospheric delay is rapidly changed due to geomagnetic storm or solar flare. Therefore, incorrect ambiguity can be resolved and positioning error can be increased. A detection method for irregularity of ionospheric delay is needed to provide reliable correction. In this paper, index to detect irregularity of ionospheric delay is calculated from dispersive corrections and occurrence of irregularity is judged by comparing index and thresholds.

키워드 : 네트워크 RTK, 이온층 지연 변칙, GNSS 무결성 감시, 지자기 폭풍

Key word : Network RTK, Irregularity of ionospheric delay, GNSS integrity monitoring, Geomagnetic storm

Received 23 September 2015, Revised 14 October 2015, Accepted 28 October 2015

* Corresponding Author Jaeyoung Ko(E-mail: jyko@kriso.re.kr, Tel:+82-42-866-3618)

Marine Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Daejeon 305-343, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.11.2562>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

네트워크 RTK는 반송파 측정치를 이용한 고정밀 측위 기술로 네트워크 안에 존재하는 사용자에게 보정정보를 전달하여 수 cm의 정밀도의 측위 성능을 제공한다. 컴퓨터 처리성능의 한계로 인해 과거에는 주로 후처리 기반의 측위·측량 분야에 주로 이용되었으나, 현재는 컴퓨터 처리성능의 향상으로 이동 중인 차량과 같이 동적이면서 실시간으로 측위 결과가 제공되어야 하는 분야에 적용하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 실시간으로 신뢰성 있는 측위 결과가 제공되기 위해서는 높은 품질의 보정정보가 제공되어야 한다. 사용자에게 전달된 보정정보는 주로 위성 궤도 오차와 대류층 지연 오차로 이루어진 비전파성(non-dispersive) 항과 이온층 지연 오차로 이루어진 전파성(dispersive) 항으로 나누어진다. 보정정보에 포함된 각각의 오차 성분은 네트워크가 형성된 공간 안에서는 선형적으로 증가 또는 감소한다는 가정 하에 사용자는 보정정보를 사용한다[1].

기준국 간 이온층 지연 변칙현상은 태양흑점 폭발이나 지자기 폭풍 등으로 인해 네트워크 공간 안에서 이온층 지연의 시공간적 변화가 커지는 현상이다. 이온층 지연 변칙현상이 발생하면 이온층 지연 오차가 네트워크 공간 안에서 선형적인 특성을 가진다는 가정을 할 수 없게 되어 보정정보의 신뢰성을 보장할 수 없게 된다. 따라서 네트워크 RTK 환경에서 신뢰성 있는 보정정보의 제공을 위해서 이온층 지연 변칙현상의 발생을 감시하고 사용자에게 제공하는 기법이 필요하다.

네트워크 RTK 환경에서 이온층 지연 변칙현상 발생 시 성능평가지표에 대한 기존의 연구결과로 Wanninger는 VRS (Virtual Reference Station)에서 생성한 측정치와 VRS 근처의 실제 기준국에서 수신한 측정치의 차이인 I95_L 지표를 제안했으며[2], Chen은 보정정보를 사용자에게 적용하기 위해 선형화를 수행할 때 발생하는 선형화 오차를 모든 가시위성에 대해 하나의 값으로 통합하여 IRIU (Ionospheric Residual Interpolation Uncertainty) 지표로 제안했다[3]. Prochniewicz는 Chen과 유사하게 선형화 오차를 사용했지만 양각에 따른 영향을 없애기 위해 천정방향으로 선형화 오차를 변환하고 95% 신뢰수준에서 계산하여 좀 더 일반화된 형태의 ZIRIU₉₅ (Zenith Ionospheric Residual Interpolation

Uncertainty₉₅) 지표를 제안했다[4]. Wanninger이 제안한 지표는 성능을 평가할 위치에 실제 기준국이 있어야 하며, 네트워크 RTK의 보정정보 생성개념 중 하나인 VRS를 이용했을 때만 적용 가능하다는 단점이 있으며, Chen과 Prochniewicz가 제안한 지표는 선형화 오차만 사용함으로 이온층 지연 변칙현상에 의해 네트워크 안에서 발생할 수 있는 실제 바이어스 성분의 오차에 대해 고려할 수 없고, 가시위성 별로 확인이 불가능하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 연구결과가 VRS를 이용하는 환경에서만 적용되거나, 선형화 오차만 고려하여 실제 발생가능한 바이어스 성분의 오차에 고려하지 못하는 단점을 보완하기 위해, 실제 오차성분에 대해 추적이용이한 네트워크 RTK의 보정정보 생성개념 중 하나인 MAC (Master Auxiliary Concept)[5]을 이용하는 환경에서 이온층 지연 변칙현상 발생에 대한 검출을 수행할 수 있는 기법을 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 MAC에 대해 보정정보 생성 관점에서 기술하고, 실험을 위해 이온층 지연 변칙현상이 발생한 실제사례를 모델링한다. 다음으로 이온층 지연 변칙현상 검출을 위한 지표를 계산하고 임계치와 비교하는 부분에 대해 설명하고, 실험을 통해 검출 기법의 성능 분석 후 결론을 짓는다.

II. Mater Auxiliary Concept

네트워크 RTK의 보정정보 생성개념에는 VRS, FKP, MAC 등이 있으며[5], 본 논문에서는 MAC을 사용한다. MAC의 보정정보 생성은 그림 1과 같이 이루어진다. MAC의 주요 구성요소는 주 기준국, 부 기준국, 네트워크 프로세싱 센터이며, 그림 1과 같이 주 기준국과 네트워크 프로세싱 센터가 한 장소에 구성되기도 하고, 또는 주 기준국과 네트워크 프로세싱 센터가 분리되어 구성되기도 한다. ① 네트워크 프로세싱 센터에서는 주 기준국과 부 기준국의 원시 측정치(코드 측정치, 반송파 측정치)와 기 측위한 각 기준국의 정밀좌표를 이용한다. ② 주-부 기준국간의 이중차분 미지정수를 결정하고, 후에 주-부 기준국간에 대해 단일차분한 원시측정치에서 이중차분 미지정수를 제거하고 공통 미지정수 수준(Common Ambiguity Level)으로 계산한다.

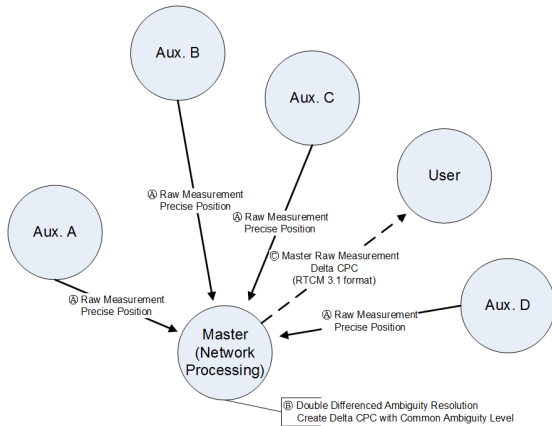


Fig. 1 Concept art of MAC

© 앞서 계산한 결과를 통해 보정정보(Delta CPC)을 생성하고 사용자에게 전달한다. 생성된 보정정보는 위성 궤도 오차와 대류층 지연 오차로 이루어진 비전파성 성분과 이온층 지연 오차로 이루어진 전파성 성분이 합쳐진 형태로 존재한다. 보정정보는 비전파성 성분과 전파성 성분이 합쳐진 형태로 제공하거나, 비전파성 성분과 전파성 성분을 분리한 형태의 보정정보로 제공한다 [6]. MAC은 사용자에게 RTCM 3.1 메시지 규격으로 앞서 언급한 보정정보와 주 기준국의 원시측정치를 전달한다[6]. 사용자는 자신의 위치에 맞게 보정정보를 선택형 보간하여 적용 후, 미지정수 결정을 통해 정밀 측위를 수행한다.

III. 이온층 지연 변칙현상 사례 모델링

태양흑점 폭발, 지자기 폭풍, 태양폭풍 등이 일어나면 이온층에 존재하는 전하의 밀도가 급격하게 변화하는 현상이 일어난다. 이로 인해 전파가 이온층을 통과할 때, 경로에 따라 발생하는 지연의 시공간적 편차가 커지게 되고 네트워크 RTK 환경에서는 네트워크 공간 안에서 이온층 지연 오차의 선형성을 보장할 수 없게 된다[7, 8]. 따라서 보정정보의 신뢰성이 떨어지게 되며, 이러한 보정정보를 사용자가 이용하면 잘못된 미지정수를 결정하여 위치오차가 증가하는 현상이 발생할 수 있다.

그림 2는 이온층 지연 변칙현상을 분석하기 위해 실

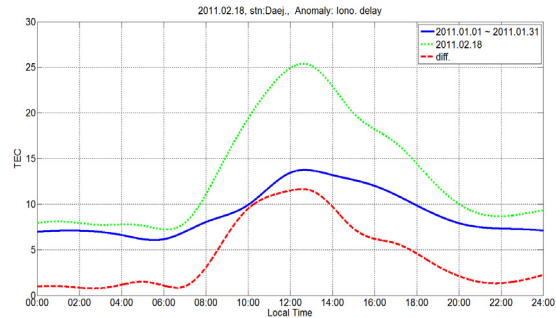


Fig. 2 Modeling for TEC

제 X급 태양폭풍에 의해 이온층에 영향이 있었던 2011년 2월 18일과 이온층 폭풍이 없었던 2011년 1월 1일부터 2011년 1월 31일에 대해 나타낸 그림이다. IGS에서 제공하는 IONEX 데이터를 이용하여 대전에서 이온층 내 총 전하량인 TEC (Total Electron Contents) 값을 계산하고, 이온층 폭풍이 있었던 2월 18일을 녹색 실선, 이온층 폭풍이 없었던 1월 1일부터 1월 31의 평균값을 파란 실선으로 나타냈다. 빨간 실선은 두 TEC 값의 차이를 나타낸다. 밤에 해당하는 시간에는 변칙 현상이 발생한 날과 발생하지 않은 날의 TEC 차이가 크지 않지만, 오전 8시부터 차이가 증가하기 시작하고 오후 1시 근처에서 차이가 최대로 보이다가 오후 8시까지 차이가 점차 작아지는 것을 볼 수 있다. 오후 1시 근처에서 TEC 차이가 가장 큰 시간에 대해 이온층 지연차는 천정방향으로 약 2m로 계산된다. 이온층 지연 변칙현상에 대해 그림2에 나타낸 TEC 차이인 빨간 점선 값을 다항식으로 모델링했으며, 모델 식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 TEC_{err}(t) = & (4.1222 \times 10^{-49})t^{11} \\
 & - (2.0915 \times 10^{-43})t^{10} + (4.5802 \times 10^{-38})t^9 \\
 & - (5.6580 \times 10^{-33})t^8 + (4.3237 \times 10^{-28})t^7 \\
 & - (2.1088 \times 10^{-23})t^6 + (6.5417 \times 10^{-19})t^5 \\
 & - (1.2506 \times 10^{-14})t^4 + (1.3851 \times 10^{-10})t^3 \\
 & - (7.9282 \times 10^{-7})t^2 + 0.0019t - 0.0237
 \end{aligned} \tag{1}$$

이온층 지연 변칙현상 재현을 위해 식 (1)의 모델 식과 변칙을 인가할 위성의 양각 정보를 이용하여 식 (2)의 지연 크기를 계산한다.

$$Iono_{err} = \frac{1}{\sin E} \times \frac{40.3}{f_{L1}^2} \times TEC_{err}(t) \tag{2}$$

여기서 E 는 양각, f_{L1} 는 L1 반송파 주파수를 의미한다. 계산된 지연 크기는 변칙 인가 위성의 코드 측정치에는 가산하고, 반송파 측정치에는 차분하게 된다.

IV. 이온층 지연 변칙현상 검출 기법

이온층 지연 변칙현상이 발생하면 네트워크 안에서 보정정보의 선형성을 보장할 수 없게 된다. 따라서 이온층 지연 변칙현상의 발생을 감시하고 검출하는 기법이 필요하다. 본 장에서는 MAC을 이용할 때를 기준으로 이온층 지연 변칙현상 검출 기법을 설명한다.

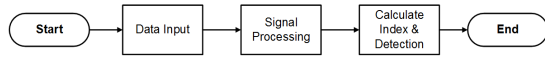


Fig. 3 Block diagram of the detection method

그림 3은 이온층 지연 변칙현상 검출 기법의 흐름도로 데이터 입력부, 신호처리부, 지표계산 및 검출부로 나뉜다. 입력부에서는 MAC 보정정보를 입력받는다. 신호처리부에서는 입력부에서 받은 보정정보가 비전파성 부분과 전파성 부분으로 나뉘어 있지 않다면 다음 식으로 전파성 항에 대해 계산한다.

$$iono_n^{\delta CPC^k} = \frac{f_{L2}^2}{(f_{L2}^2 - f_{L1}^2)} \delta CPC_{L1_n}^k - \frac{f_{L2}^2}{(f_{L2}^2 - f_{L1}^2)} \delta CPC_{L2_n}^k \quad (3)$$

여기서 f 는 반송파 주파수, L1, L2는 반송파 대역을 나타내는 지시자, δCPC 는 비전파성과 전파성 부분이 합쳐진 보정정보, n 는 주-기준국과 부-기준국 간의 n 번째 기지선, k 는 k 번째 위성 위성을 나타낸다. 지표계산 및 검출부에서는 식 (3)에서 구한 전파성 항[6]으로 이온층 지연 오차에 대한 기울기를 계산하고 지표를 생성한 후, 임계치와 비교를 통해 검출을 수행한다. 우선, 기울기를 계산하기 위해 기준국 3개씩 조합하여 면을 구성한다. 그림 4는 총 4개의 기준국이 있는 경우에 2개의 조합에 대해 예시로 나타내고 있다. 그림 4와 같이 총 4개의 기준국이 있는 경우에 3개로 이루어진 가능한 조합은 ${}_4C_3$ 으로 총 4개이다. 여기에 추가로 모든 기준국

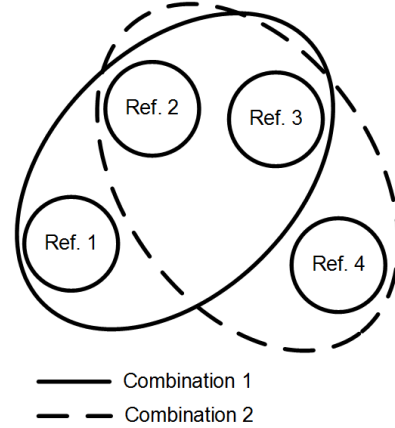


Fig. 4 Combination of Reference Station

을 사용했을 때, 기울기까지 계산한다. 기울기와 전파성 항의 관계는 식 (4)와 같이 정리된다.

$$\begin{bmatrix} iono_1^{\delta CPC^k} \\ \vdots \\ iono_N^{\delta CPC^k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x_1 & \Delta y_1 \\ \vdots & \vdots \\ \Delta x_N & \Delta y_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} grad X_i^k \\ grad Y_i^k \end{bmatrix} = HG_i^k \quad (4)$$

여기서 $\Delta x_n, \Delta y_n$ 은 각각 n 번째 기지선에 대한 x 축, y 축 방향의 기준국 간 거리 차이, $grad X_i^k, grad Y_i^k$ 는 각각 k 번째 위성에 대해 i 번째 기준국 조합의 x 축, y 축 방향에 대한 기울기이다. 식 (4)에 최소자승법을 적용하여 기울기에 대한 추정치를 식 (5)로 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} grad \widehat{X}_i^k \\ grad \widehat{Y}_i^k \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T \begin{bmatrix} iono_1^{\delta CPC^k} \\ \vdots \\ iono_n^{\delta CPC^k} \end{bmatrix} \quad (5)$$

다음으로 식 (5)에서 계산한 기울기로 식 (6)과 같이 각 위성 별로 이온층 지연 변칙현상 감시를 위한 지표를 계산한다. 여기서 $grad \widehat{X}_{total}^k, grad \widehat{Y}_{total}^k$ 는 모든 기준국을 사용했을 때 최소자승법으로 추정된 기울기, $|\cdot|$ 은 절대 값을 의미한다.

$$idx_i^k = \left| \frac{\sqrt{(grad \widehat{X}_i^k)^2 + (grad \widehat{Y}_i^k)^2}}{\sqrt{(grad \widehat{X}_{total}^k)^2 + (grad \widehat{Y}_{total}^k)^2}} \right| \quad (6)$$

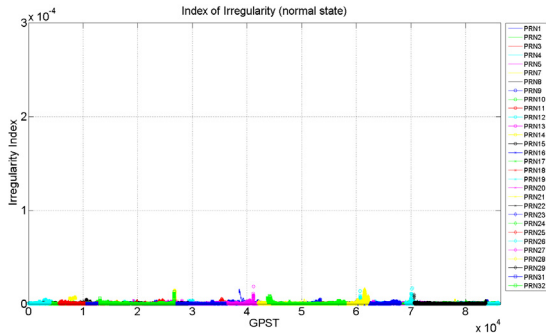


Fig. 5 Index of normal state

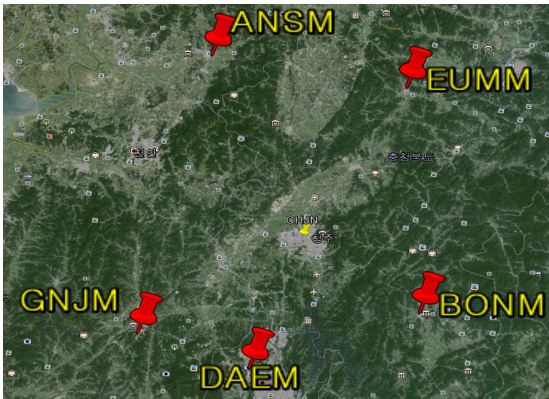


Fig. 6 Position of reference stations

그림 5는 변칙현상이 없을 때 계산된 지표를 나타냈다. 변칙현상이 없을 때에는 모든 기준국을 사용했을 때와 각 조합을 사용했을 때 기울기의 차이가 크지 않아 이온층 지연이 공간적으로 안정되어 있는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 앞서 계산된 지표와 임계치를 식 (7)과 같이 비교하여 변칙현상의 발생 여부를 판단한다.

$$\text{이상플래그} = \begin{cases} 1 & \max(id x_1^k, id x_2^k, \dots, id x_i^k) > threshold \\ 0 & \max(id x_1^k, id x_2^k, \dots, id x_i^k) \leq threshold \end{cases} \quad (7)$$

i 개의 조합의 지표 중에 최대값을 임계치와 비교하는 방법으로 변칙현상을 판단하며, 임계치보다 큰 경우는 이상플래그가 “1”, 임계치보다 작거나 같은 경우에 이상플래그는 “0”으로 설정된다. 일련의 과정은 모든 가시위성에 대해 반복하여 수행하여 각 위성마다 변칙현

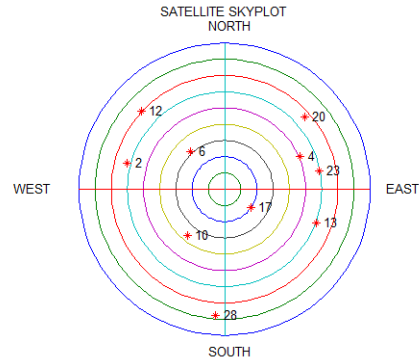


Fig. 7 Arrangement of Satellite

상 발생여부를 감시해야 한다. 임계치는 이온층 지연에 변칙현상이 일어나지 않은 날들의 데이터를 장기간 분석하여 각 네트워크 환경에 적합하게 설정한다.

V. 실험

5.1. 실험환경 및 방법

검출 기법의 성능을 분석하기 위해 다음과 같은 실험 환경을 구성했다. 그림 6은 실험에서 사용한 기준국의 위치이다. 대전을 주 기준국으로 공주, 안성, 음성, 보은을 부 기준국으로 설정하여 MAC 보정정보를 생성했다. 실험 데이터는 2014년 8월 20일에서 21일까지 수집한 데이터를 사용했으며 3장에서 모델링한 변칙현상을 모든 기준국의 PRN 4, 23의 원시측정치에 인가했다. 모델링한 변칙현상은 위성이 기준국의 가시구간에 들어오는 시점부터 빠져나가는 시간까지 인가했으며, 그림 9의 양각정보를 참조하면 PRN 4는 약 7시간, PRN 23은 약 3시간 30분을 지속했다. 모델 식 인가 당시 위성 배치는 그림 7과 같다. 실험에 필요한 MAC 보정정보를 생성하기 위해 MATLAB을 이용한 구성된 네트워크 RTK 플랫폼[9]을 이용했다.

5.2. 실험결과

그림 8에 이온층 지연 변칙현상 검출 기법에 대한 결과를 나타냈다. 임계치는 5×10^{-5} 으로 설정했다. 그림 8에서 모델 식을 인가한 PRN 4와 PRN 23 위성의 최대 지표 값이 다른 위성에 비해 큰폭으로 흔들리고 있는

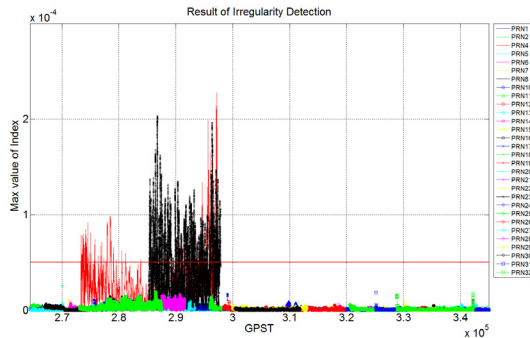


Fig. 8 Result of detection method

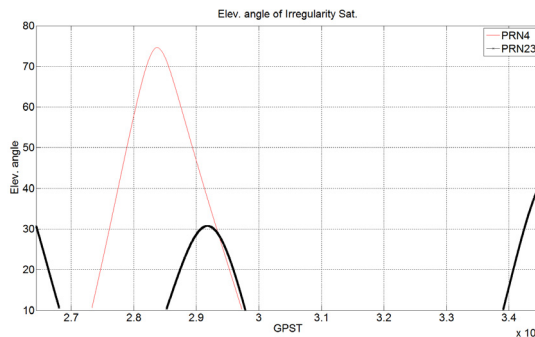


Fig. 9 Elevation Angle of Irregularity Satellite

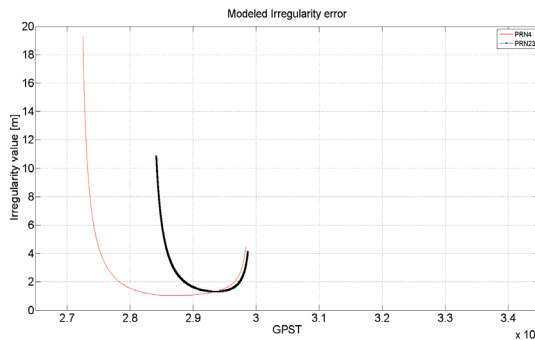


Fig. 10 Modeled Irregularity error at DAE station

것을 볼 수 있다. 그림 9의 양각 정보와 비교하면 PRN 4 위성의 경우에 40도 이하의 낮은 양각에서는 검출이 빈번하게 되고 있으나 40도 이상의 양각을 가지는 부분에서는 임계치를 넘지 못해 검출이 되지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 10과 같이 인가한 모델 식으로 인한 지연 변칙의 크기가 높은 양각으로 갈수록 작아지기 때문으로 판단된다. PRN 23 위성의 경우에 모든 가시 구간

에서 30도 이하의 낮은 양각을 가지기 때문에 모든 구간에서 수월하게 검출되는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결론

본 논문은 네트워크 RTK 환경에서 사용자에게 제공하는 보정정보에 악영향을 미칠 수 있는 이온층 지연 변칙현상을 검출하는 기법을 제안하였다. MAC을 사용하는 환경에서 모든 기준국의 정보를 활용하여 기울기를 계산하고 지표를 생성하여 이온층 지연의 공간적 차이가 커지는 현상을 감시하였으며, 실험결과로 높은 양각보다 지연 변칙의 영향을 크게 받는 40도 이하의 낮은 양각에서 높은 검출 성능을 나타내는 것을 보였다. 차후에 이온층 변칙현상이 발생하지 않은 날의 데이터를 정밀 분석하여 적절한 임계치를 설정하면 검출 성능에 향상이 있을 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(06-COREA-03).

REFERENCES

- [1] Introduction to network RTK [Internet]. Available: <http://www.networkrtk.info/intro/introduction.html/>.
- [2] L. Wanninger, "Ionospheric disturbance indices for RTK and network RTK positioning," *Proceedings of the National Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GPS 2004*, Long Beach, CA, USA, pp. 2849-2854, 2004.
- [3] X. Chen, H. Landau, and U. Vollath, "New tools for Network RTK integrity monitoring," *Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation ION GPS/GNSS*, pp. 1355-1360, 2003.
- [4] D. Prochniewicz and J. Walo, "Quality Indicator for Ionospheric Biases Interpolation in the Network RTK," *Reports on Geodesy* vol. 92, pp. 7-21, 2012.

- [5] Takac, Frank, and O. Zelzer, "The relationship between network RTK solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX," *Proceedings of ION GNSS 2008*, pp. 348-355, 2008.
- [6] Radio Technical Commission for Maritime Services, "RTCM Standard 10403.1 for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services - Version 3", *RTCM Paper 150-2007-SC104-STD*, 2007.
- [7] Knut Stanley Jacobsen and Sebastian Schafer, "Observed effects of a geomagnetic storm on an RTK positioning network at high latitudes", *J. Space Weather Space Clim.* vol. 2 A13, pp. 1-12, 2012
- [8] Volker Janssen, "Likely Impact of the Approaching Solar Maximum on GNSS Surveys: Be Alert but Not Alarmed", *Proceedings of the 17th Association of Public Authority Surveyors Conference*, Wollongong, New South Wales, Australia, pp. 66-82, 2012.
- [9] Jaeyoung Ko, Mi Young Shin, Younghoon Han and Deuk Jae Cho, "A Design of MAC for High-precision positioning", *Proceedings of The Korea Institute of Military Science and Technology 2015*, Jeju, Korea, pp. 420-421, 2015.



고재영(Jaeyoung Ko)

2010년 : 충남대학교 전기정보통신공학부 학사
2012년 : 충남대학교 대학원 전자공학과 제어전공 석사
2012년~현재 : 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부 연구원
※관심분야 : 정밀측위, 신호이상감시



신미영(Mi Young Shin)

2004년 : 배재대학교 정보통신공학부 학사
2006년 : 충남대학교 대학원 전자공학과 제어전공 석사
2011년 : 충남대학교 대학원 전자공학과 제어전공 박사
2011년~현재 : 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부 선임연구원
※관심분야 : 정밀측위, 신호이상감시, 보강항법시스템



한영훈(Younghoon Han)

2010년 : 충남대학교 전자전파공학과 학사
2012년 : 충남대학교 대학원 전자공학과 제어전공 석사
2012년~현재 : 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부 연구원
※관심분야 : 정밀측위, 신호이상감시, 보강항법시스템



조득재(Deuk Jae Cho)

1999년 : 충남대학교 전자공학과 학사
2001년 : 충남대학교 대학원 전자공학과 제어전공 석사
2005년 : 충남대학교 대학원 전자공학과 제어전공 박사
2005년~현재 : 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부 선임연구원
※관심분야 : 정밀측위, 신호이상감시, e-Navigation