

## 論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(7), 550-557(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.7.550

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

## 협역 전리층의 일관성을 이용한 다중 기준국 기반 전리층 이상 현상 감시 기법

송충원\*, 장진혁\*, 성상경\*, 이영재\*\*

### Based on Multiple Reference Stations Ionospheric Anomaly Monitoring Algorithm on Consistency of Local Ionosphere

Choongwon Song\*, JinHyeok Jang\*, Sangkyung Sung\* and Young Jae Lee\*\*

Konkuk University\*·\*\*

#### ABSTRACT

Ionospheric delay, which affect the accuracy of GNSS positioning, is generated by electrons in Ionosphere. Solar activity level, region and time could make change of this delay level. Dual frequency receiver could effectively eliminate the delay using difference of refractive index between L1 to L2 frequency. But, Single frequency receiver have to use limited correction such as ionospheric model in standalone GNSS or PRC(pseudorange correction) in Differential GNSS. Generally, these corrections is effective in normal condition. but, they might be useless, when TEC(total electron content) extremely increase in local area. In this paper, monitoring algorithm is proposed for local ionospheric anomaly using multiple reference stations. For verification, the algorithm was performed with specific measurement data in Ionospheric storm day (20. Nov. 2003). this algorithm would detect local ionospheric anomaly and improve reliability of ionospheric corrections for standalone receiver.

#### 초 록

GNSS 측위 정확도에 영향을 주는 전리층 오차는 전리층에 존재하는 전자로 인해 위성의 전파가 굴절됨에 따라 발생하는데 태양활동 정도, 지역, 시간에 따라 그 값이 변한다. 정밀한 전리층 오차 추정이 가능한 이중주파수 수신기와 달리 단일 주파수 수신기의 경우에는 전리층 오차 모델이나 인근 고정기준국을 통해 제공 받는 의사거리 보정정보에 의존해야 한다. 하지만 일반적인 전리층 오차 경향과 달리, 국지적으로 전리층 총 전자수의 급격한 변화가 발생하는 경우 전리층 오차모델을 통한 오차 보정이 어려우며 만약 전리층의 변화가 고정기준국 상공의 전리층과 상이하다면, 의사거리 보정정보를 이용하여도 전리층 오차를 보정하지 못한다. 본 논문에서는, 이런 위협에 대처하기 위한 국지적 전리층 이상 현상에 대한 감시 기법에 대해 제안하고 실제 전리층 이상 현상이 발생한 데이터를 이용해 이를 검증하였다. 제시된 기법을 통해 전리층 이상 현상 발생 여부를 파악하고 단일 주파수 수신기 사용자의 항법해에 대한 신뢰도를 증가시킬 수 있을 것이다.

**Key Words** : Ionospheric Anomaly(전리층 이상 현상), Multiple Reference Stations(다중 기준국), Monitoring(감시), TEC(전리층 총 전자수)

† Received : March 16, 2017      Revised : June 28, 2017      Accepted : June 28, 2017

\*\* Corresponding author, E-mail : younglee@konkuk.ac.kr

## I. 서론

전리층 오차는 신호 지연에 미치는 영향이 크고 그 정도가 유동적이기 때문에 GNSS (Global Navigation Satellite System)의 측위 성능의 향상을 위해서 정확한 오차를 추정하는 것이 중요하다. 전리층은 고도 약 50~1000km에 해당하는 영역의 대기층으로 태양복사선으로 인해 이온화가 된 대기이다. 위성신호가 전리층을 지날 때 전자로 인한 굴절이 발생하여 의사거리의 왜곡이 발생하고 이는 사용자 측위 정확도에 악영향을 미치게 된다. 전리층오차 크기는 전리층 총 전자수 (TEC, Total Electron Contents)에 따라 결정되는데 다시 말해 TEC값이 높을수록 큰 오차가 발생하게 된다.

이중주파수 수신기 사용자는 서로 다른 주파수 간 신호의 굴절률이 다른 특성을 이용하여 매우 정밀하게 전리층 오차를 추정할 수 있다. 하지만 단일주파수 수신기 사용자는 위 방법을 사용할 수 없기 때문에 Klobuchar Model (GPS) 같은 오차모델을 이용하여 오차를 추정하게 된다. Klobuchar Model의 경우 약 50% 정도의 전리층 오차를 제거할 수 있다고 알려져 있다[1, 7]. 또한 기준국으로부터 의사거리 보정정보 (PRC, Pseudo Range Correction)를 제공받는 DGPS의 경우 전리층 오차 모델보다 효과적으로 전리층 오차를 제거할 수 있다. 하지만 전리층 폭풍과 같이 TEC가 급격히 증가 하는 전리층 이상 현상 (Ionospheric Anomaly)의 경우 전리층 오차 모델을 이용한 보정이 어렵다. 또한 Fig. 1과 같이 좁은 지역에 전리층 폭풍이 발생하기도 하는데 이때 기준국과 사용자간의 전리층 환경이 다른 경우 DGPS 역시 전리층 오차를 효과적으로 제거할 수 없다[9, 10].

이러한 전리층 이상 현상은 사용자 위치해 정확도를 크게 저해하는 요인이므로 반드시 감지해야 한다. 이를 감지하기 위한 지표로 전리층 기울기 (Ionospheric spatial gradient)가 있다[2, 8, 10]. 전리층 기울기는 수신기간 거리대비 전리층 지연 값의 차이를 통해 계산되며 이를 이용해 전리층 이상 여부를 판단한다. 하지만, TEC는 지역별(위도별), 시간별(태양활동주기) 편차가 크기 때문에 지역, 시기에 따라 정상상태의 전리층 기울기 값 역시 편차가 크다. 때문에 전리층 기울기를 이용한 검출을 위해서는 해당 지역, 기준국들의 정상상태 및 전리층 이상 현상에 대한 다량의 데이터 베이스가 구축되어야만 한다[2].

본 논문에서는 다중 기준국에서 계산된 TEC를 이용하여 전리층 기울기를 계산하지 않고 국지적 전리층 이상 현상을 검출할 수 있는 알고리즘을

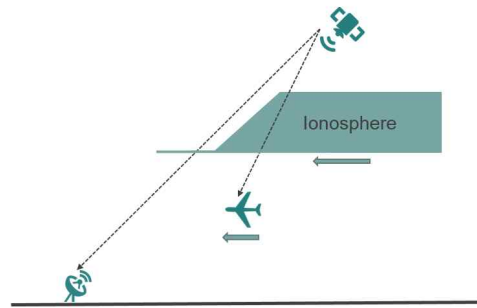


Fig. 1. Hazard of local ionospheric anomaly in differential GNSS

제시하였다. 이를 이용하면 지역별, 시간별 제약이 완화되어 범용적으로 적용, 전리층 이상 현상을 검출할 수 있다. 또한 실제 전리층 폭풍 및 이상 현상이 보고된 2003년 11월 20일의 데이터를 통해 알고리즘에 대한 검증을 수행하였다.

## II. 본론

### 2.1 전리층 오차 계산

#### 2.1.1 전리층 총 전자수

전리층 영역에 있는 총 전자수를 말하는 TEC는 전리층에서 발생하는 신호지연을 나타내주는 척도로서, 단위로 TECU( $10^{16}el/m^2$ )를 사용한다.

$$Iono = \frac{40.3}{f^2} TECU \quad (1)$$

식 (1)은 TECU와 주파수간의 관계를 나타내는데 L1(1.575GHz)의 경우 1TECU당 0.1624m의 지연거리를 갖는다[1]. IGS에서는 IONEX를 통해 전지구 지역에 대한 TEC를 산출하여 그 값을 공개하고 있다.

#### 2.1.2 전리층 총 전자수 계산

전리층 총 전자수는 위성의 코드나 반송과정을 이용하여 계산할 수 있는데 위 식(1)을 통해 확인할 수 있듯이 주파수가 다른 경우 지연 크기가 달라지므로 서로 다른 주파수간 Geometry-Free 선형조합을 통해 TEC를 추정할 수 있다[3, 4].

$$TEC_P = \frac{2(f_1 f_2)^2}{k(f_1^2 - f_2^2)} (P_2 - P_1) + b^s + b_r + \epsilon \quad (2)$$

$$TEC_L = \frac{2(f_1 f_2)^2}{k(f_1^2 - f_2^2)} (L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2) + b^s + b_r + \epsilon \quad (3)$$

위 식에서  $TEC_p$ 와  $TEC_L$ 은 각각 코드와, 반송파로 계산한 TEC를 의미하며  $f_1, f_2$  는 각각 L1, L2파의 주파수를 의미한다.  $b^s$ 는 위성 바이어스,  $b_r$ 은 시계바이어스,  $\epsilon$ 는 잡음이며  $k$ 는 전리층 굴절과 관련된 값으로 약  $80.62(m^3/s^2)$ 이다.

### 2.1.3 DCB (Differential Code Bias) 추정

앞서 확인 했듯이 식(2)나 (3)을 이용하면 쉽게 TEC를 추정할 수 있다. 하지만 TEC 추정에 앞서 DCB (Differential Code Bias)에 대한 고려가 필요하다. DCB란 서로 다른 두 개의 신호를 생성, 수신함에 따라 발생하는 기계적 바이어스를 말하며 C/A, P코드 같은 상호 다른 코드 간 P1, P2같은 서로 다른 주파수간에 존재 한다. 이중 주파수를 이용하여 TEC를 추정할 때 DCB를 고려해야 정확한 결과를 얻을 수 있다[4].

DCB는 아래 식 (4)의 관계식을 이용하여 추정할 수 있는데 식(2), (3)을 통해 TEC를 추정한 다음 식(5)와 같이 가중 최소자승법을 통해 DCB를 산출 한다.

$$\sec\chi_k^j \times TEC_{verial} + b^{s,j} + b_{r,k} = TEC_{slant} \quad (4)$$

$\chi$ 는 전리층 투과지점 (IPP, Ionospheric Pierce Point)에서의 천정각,  $b^s$ 는 위성DCB,  $b_r$ 는 수신기 DCB이며, 첨자  $j, k$ 는 각각 위성, 수신기에 대한 식별 첨자이다.

$$x = \left( \sum_{i=1}^n H_i^T W_i H_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^n H_i^T W_i y_i \quad (5)$$

$H$ 는 디자인 행렬,  $y$ 는  $TEC_{slant}$ (경사방향 TEC),  $W$ 는 위성 양각에 따른 가중치,  $x$ 는  $TEC_{verial}$ 와 DCB이다.

DCB는 시간에 따라 급격히 변하지 않기 때문에 하루, 혹은 수일간의 데이터를 이용하여 추정할 수 있다. 또한 특정 지역에 밀집된 다수의 수신기를 이용하면 보다 정확한 값의 DCB를 얻을 수 있다[4].

## 2.2 전리층 이상 현상 감시 기법

본 논문에서 제시하는 전리층 이상 현상 감시 기법은 크게 두 검사 항목으로 나뉜다. 첫째, 다중 기준국간 이중주파수로 추정된 TEC의 비교를 통해 전리층 이상 현상 발생을 판별하는 일관성 검사와 둘째, TEC로 인한 실질적 위협 수준 유무를 확인하는 위치오차 검사 이다.

### 2.2.1 일관성 검사(Consistency Check)

일관성 검사는 추정된 TEC의 값이 기준국간

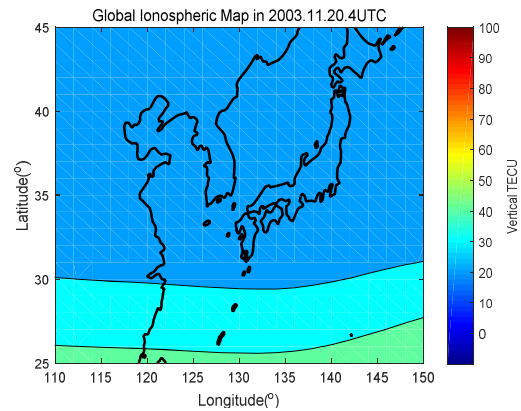


Fig. 2. Ionospheric Map in Korea (2003.11.20. 4:00 UTC )

에 서로 유사한 여부를 판단하는 것이다.

Figure 2에서 볼 수 있듯이 일반적으로 협역 지역에서의 전리층 환경이 유사하기 때문에 인근 기준국간의 TEC 값은 서로 유사하다. 따라서 특정 TEC만 증가하는 경우 국지적 전리층 이상 현상이 발생했다고 판단할 수 있으며 그 위치는 전리층을 단층으로 모델링 하였을 때 위성 신호의 투과지점을 의미하는 IPP (Ionospheric Pierce Point)를 통해 추정이 가능하다. 일관성 검사는 국지적 전리층 이상을 검출하기 위하여 GBAS (Ground-Based Augmentation System) 의 B-Value기법을 응용한 식 (6)을 통해 검정통계량을 생성하여 판단한다. 식에서  $I_k^j$ 는  $k$ 기준국,  $j$ 위성에 대해 계산된 TEC를 의미한다. 생성된 검정 통계량은 기준국들간 전리층 오차의 유사성 척도이며 0에 가까울수록 유사하다는 것을 의미한다. 이는 시간, 지역에 따라 정상상태의 값이 다른 전리층 기울기와는 달리 평균 값이 항상 0 이므로 전리층 이상 현상 판별에 더 용이 하다. 일관성 검사는 다중 기준국간 전리층 오차의 유사성을 확인하는 것이므로 모든 기준국의 전리층 오차 수준이 유사하다면 전리층 이상 발생여부를 구분할 수 없다. 따라서 전리층 이상 현상이 다중 기준국 전반에 걸쳐 영향을 주는 경우에는 일관성 검사를 통과하게 된다. 즉, 전리층 이상 현상이 광역에 걸쳐 발생, 지속되는 경우 발생한 전리층 이상 현상의 소멸여부에 대한 판단을 하기 어려운 점이 있다.

$$TS_i^j = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_k^j - \frac{1}{N-1} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{N-1} I_k^j \quad (6)$$

### 2.2.2 위치오차 검사(Position Error Check)

위치오차 검사는 현재  $I_k^j$ 로 인한 실질적 위협

수준 파악을 위해 수행한다. 즉, 위치오차 검사를 통과하는 경우 일관성 검사에 관계없이 전리층 오차로 인한 사용자 위치해의 왜곡은 정상수준이라고 말할 수 있다. 식 (7)에서 보는 것처럼 위치오차 검사는 최소자승법을 적용하여  $I_k^j$ 로 인해 발생하는 위치오차의 크기 수준을 확인한다. 기법 적용 시에는 운용환경에 따라 요구되는 적절한 한계치를 설정, 실질 위험수준의 척도로 사용할 수 있다.

$$PE_k = (H^T H)^{-1} H^T I_k^j \quad (7)$$

### 2.2.3 알고리즘 구성 및 이상 판별

앞서 설명한 내용을 토대로 알고리즘이 진행되는 과정은 Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. 데이터 수집-전처리-DCB계산-TEC계산 과정이 각 기준국에서 이루어지며, 이 값이 통합되어 일관성 검사, 위치 오차 검사를 수행하는 순으로 이루어진다. 각 검사는 적절한 한계치 값을 지정, 비교하여 통과/실패의 여부를 결정하며 두 검사결과와 조합을 통해 Table 1과 같은 판단을 내린다.

먼저, 두 검사 모두 통과하는 경우는 정상적인 상태이다. 둘째, 일관성 검사를 통과하지 못한 경우, 해당 위성의 IPP 인근에 국지적 전리층 이

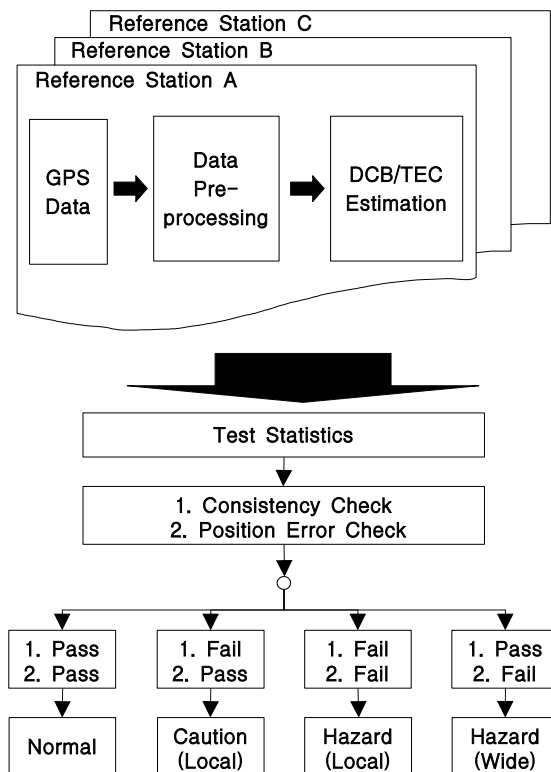


Fig. 3. Algorithm Flow Chart

Table 1. Types of Ionospheric Anomaly Check Results

Type	Consistency Check	Position Error Check
Normal	pass	pass
Local Ionospheric Anomaly(Caution)	fail	pass
Local Ionospheric Anomaly(Hazard)	fail	fail
Wide Ionospheric Anomaly(Hazard)	pass	fail

상 현상이 존재한다고 할 수 있다. 이때, 위치오차 검사를 통과한 경우는 전리층 오차 수준이 실제 위치해에 위험을 줄 만큼 크지 않다라는 것을 의미하며 이때를 (주의), 위치오차 검사를 통과하지 못한 경우를 실질적 위험 단계인 (경고)로 분류 하였다. 마지막으로, 일관성 검사만 통과한 경우는 다중 기준국간 IPP 영역내 범위 전반에 걸쳐 전리층 이상 현상이 존재하는 것으로 광역 전리층 이상 현상을 의미한다.

### 2.2.4 검사 한계치 설정

해당 알고리즘 적용을 위해서는 정상상태를 판별할 수 있는 일관성 검사와 위치오차 검사에 대한 한계치가 필요하다. 한계치는 생성한 일관성, 위치오차 검사에 대한 검정통계량 결과를 토대로 설정 하였다. 일관성 검사는 식 (6)을 이용한 검정통계량의 평균( $\mu_c$ )과 표준편차( $\sigma_c$ )를 이용해 양각에 따른 한계치를 생성하였으며 이는 식 (8)과 같다. 이때 설계변수 K는 3.29를 사용하였다.

$$Th_c = \mu_c + K \cdot \sigma_c \quad (8)$$

위치오차검사는 식(9)과 처럼 위치오차 평균( $\mu_p$ )과  $I_k^j$ 의 표준편차 ( $\sigma_I$ )를 이용하여 한계치를 생성하였다. 그리고 PDOP을 이용하여 위성 배치에 따른 오차수준을 반영할 수 있도록 하였다.

$$Th_p = \mu_p + PDOP \cdot \sigma_I \quad (9)$$

### 2.3 전리층 이상 현상 감시 기법 검증

본 논문에서 제시한 알고리즘에 대한 검증을 위해 실제 전리층 이상 현상이 보고된 2003년 11월 20일의 데이터를 이용하여 알고리즘을 적용해 보았다. 해당 날짜는 태양의 활동이 활발한 극대기 시기이며, 지자기 활동지수가 매우 큰 시기로 (kp: 8.7, Dst: -427) 전리층 폭풍이 관측된 대표

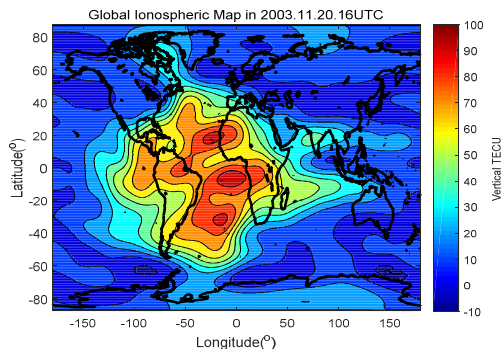


Fig. 4. GIM in 2003.11.20. (16:00 UTC)

적인 날짜이다[5, 6, 11]. Fig. 4는 해당일의 16시(UTC)의 TEC를 GIM(Global Ionospheric Map) 데이터를 통해 나타낸 것이다. 검사한계치는 전리층 폭풍일 전후 4일 동안(2003년 11월 18일~22일)의 정상데이터를 사용하여 적용하였다.

2.3.1 기준국 선정

알고리즘을 적용하기에 앞서 기준국을 선정하여야 하는데 일관성 검사를 적용하기 위해서는 기준국간 거리가 멀지 않아 정상상태(전리층이 안정화 된 상태)에서 오차 크기가 서로 유사해야 한다. 본 논문에서는 전리층 이상 현상이 관측되었다고 보고된 기준국을 참조하여[5, 6] 오하이오 주변의 기준국 7개소를 선정하였다. 데이터 수집

Table 2. Station Information

Station	Lat/Long(°)	Baseline
GARF	41.42/-81.61	137.4km
COLB	39.96/-83.05	65.4km
MTVR	40.38/-82.51	0km
GUST	41.46/-80.72	193.0km
TIFF	41.08/-83.15	94.0km
KNTN	40.63/-83.61	97.6km
SIDN	40.31/-84.17	141.3km

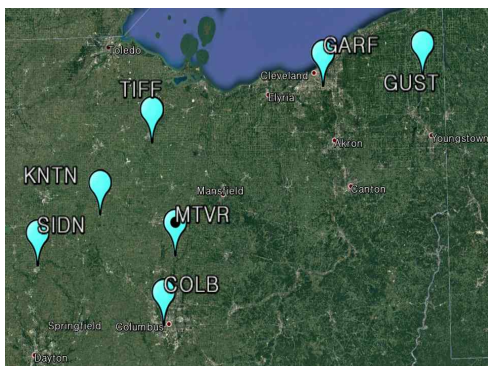


Fig. 5. Station Map (by Google Earth)

주기는 30sec이며 Mask Angle은 15도를 적용하였다. 각 기준국의 정보는 Table 2와 같다. Baseline은 MTRV기준국을 기준으로 하여 떨어진 3차원 거리를 표기하였다. 시간에 대한 표기는 UTC를 사용하였다.

2.3.2 DCB, TEC 추정

확보된 데이터를 이용하여 DCB를 추정하였다. 위성 DCB는 IGS에서 제공하는 2003년 11월의 값을 사용하였으며 수신기DCB는 2003년 11월 18일~22일의 평활화 된 코드 측정값을 사용하여 1시간 간격으로 추정 그 평균을 구하였다. TEC는 추정된 DCB를 식(2)에 적용하여 계산하였다.

2.3.3 일관성 검사

각각 가시위성에 대해 일관성 검사를 수행하였다. Fig. 6은 위성 PRN 17에 대한 결과이다. 해당 시간은 전리층의 활동이 적은 밤 시간대로 전리층 오차 크기 역시 비슷하여 일관성 검사를 통과하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 7은 위성 PRN 13에 대한 결과로 지역시간 10시~15시에 해당하는 낮 시간이지만 기준국간 편차가 증가하는 저양각의 경우에도 모두 일관성 검사를 만족하였다.

Figure 8은 PRN 11에 대한 검사 결과이다. 19

Table 3. Station's DCB in 2003. 11. 20.

Station	DCB(ns)
GARF	51.7940
COLB	33.3058
MTVR	42.5686
GUST	43.5457
TIFF	20.4153
KNTN	39.7324
SIDN	23.0253

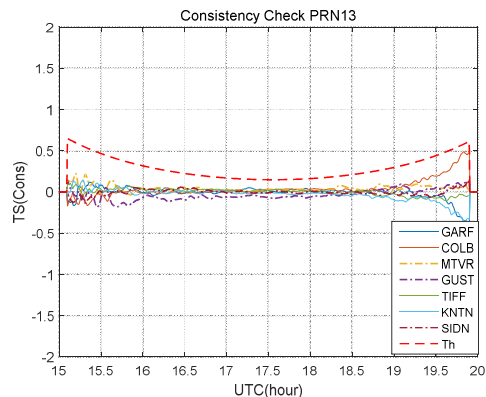


Fig. 6. Consistency Check (PRN 17)

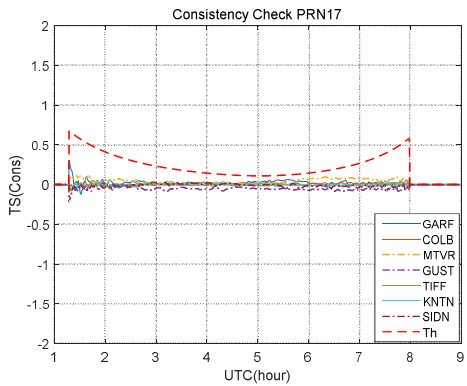


Fig. 7. Consistency Check (PRN 13)

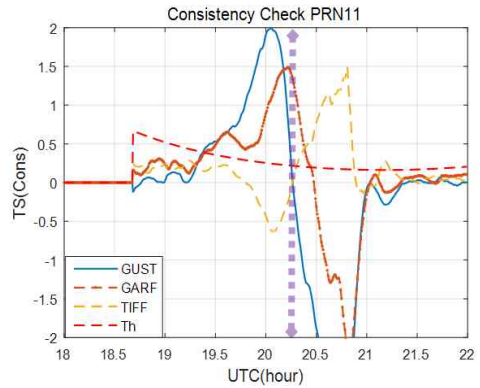


Fig. 9. Consistency Check(PRN 11) Group A

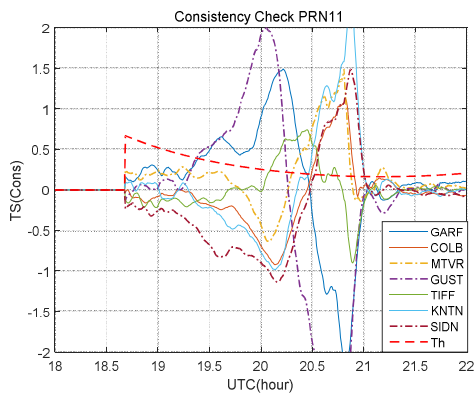


Fig. 8. Consistency Check (PRN 11)

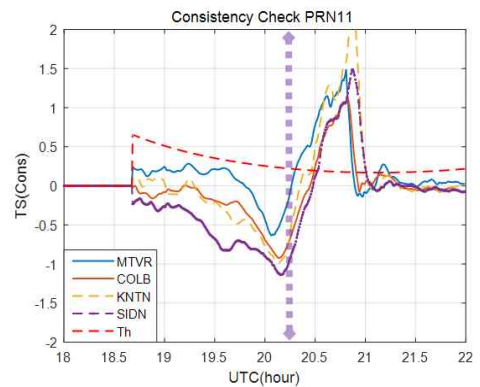


Fig. 10. Consistency Check(PRN 11) Group B

시 반 경부터 일관성 검사를 통과 못하는 기준국이 나타났으며 21시 이후로는 모든 기준국이 일관성 검사를 통과하였다. 그래프에서 20시 반 경 일관성 검사에서 먼저 반응한 GUST, GARF 기준국의 값만 급격히 감소는 것은 전리층 오차가 정상 수준으로 감소한 것을 의미한다. 이를 통해 국지적 전리층 이상 현상 이라는 것을 추정할 수 있다.

일관성 검사 결과와 기준국 위치간의 영향을 명확히 하기 위해 PRN 11번의 기준국을 A Group (GUST, GARF, TIFF), B Group (MTRV, COLB, KNTN, SIDN)로 나누어 확인해 보았다. A Group은 경도에 따른 차이, B Group은 위/경도에 따른 종합적 이동 경향을 보기 위해 나누었다. Fig. 9는 A Group의 결과로서 그림에서 보는 것처럼 가장 동쪽에 위치한 GUST 기준국부터 서쪽의 기준국으로 순차적으로 반응하는 것을 알 수 있다.

Figure 10은 Group B에 대한 결과로서 수직 점선은 TIFF 기준국이 일관성 검사를 통과 못한 시점을 나타낸다. Table 2에서 확인할 수 있는 것처럼 TIFF 이 위치가 MTRV, COLB에 비해 서

쪽에 위치함에도 일관성 검사가 먼저 반응한 것으로 보아 발생한 전리층 이상 현상이 북쪽에서 남쪽으로 향하는 것을 알 수 있다. 즉, Fig. 9과 종합하면 지리적으로 북동쪽 기준국부터 남서쪽 방향의 기준국들이 순차적으로 반응 하고 있다는 것을 알 수 있다.

### 2.3.4 위치오차 검사

위치오차 검사결과인 Fig. 11을 보면 18시 이

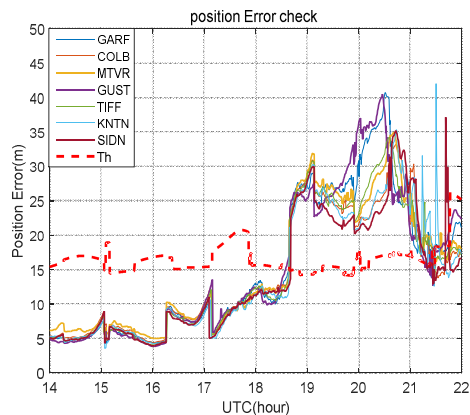


Fig. 11. Position error Check

전의 결과와 같이 정상적인 상태에선 기준국 간 값은 유사한 것을 알 수 있다. 하지만 전리층 이상 현상이 발생한 후 위치오차의 증가 경향이 시간에 따라 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 가시 위성군이 동일할 때 오차수준이 차이가 나는 것은 동일 위성에 대해 기준국간 IPP에서의 전리층 오차 크기에 차이가 있기 때문이다.

**2.3.5 전리층 이상 현상 분석**

두 검사의 결과를 통해 전리층 이상 현상에 대한 판정을 수행 하였다.

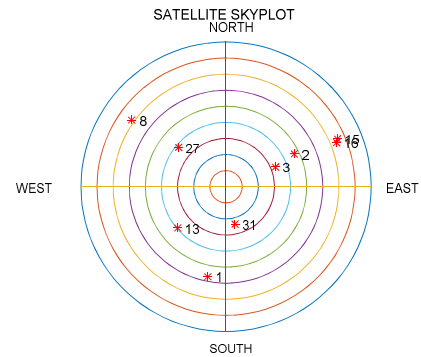
먼저, 두 검사를 통과하지 못한 위성 및 시간은 Table 4, 5 과 같으며, 전리층 이상 현상의 이동 경향을 알기 위해 GUST, TIFF, COLB 기준국에 대해 확인하였다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 GUST-TIFF는 경도상, TIFF-COLB는 위도상 차이가 큰 기준국이다. UTC 18시경 GUST 기준국부터 일관성 검사를 통과하지 못하는 위성이 발생하였다. Fig. 12를 통해 가시 위성군을 확인해 볼 때, 일부 위성에서만 반응한 것으로 보아 국지적 전리층 이상 현상이 발생한 것을 알 수 있다. 또한, 위치 오차검사를 통해 오차 수준이 사용자에게 위협이 되는 Table 1의 '경고' 단계로 판단하였다. 21시 이후로 일관성 검사를 통과하는 위성들이 관측되는데 이 경우 해당위성은 전리층 이상 현상의 영향에서 벗어났다고 할 수 있으며, 위치오차 검사를 통과하는 경우 해당 기준국이

**Table 4. Detection time of ionospheric anomaly by consistency check(UTC)**

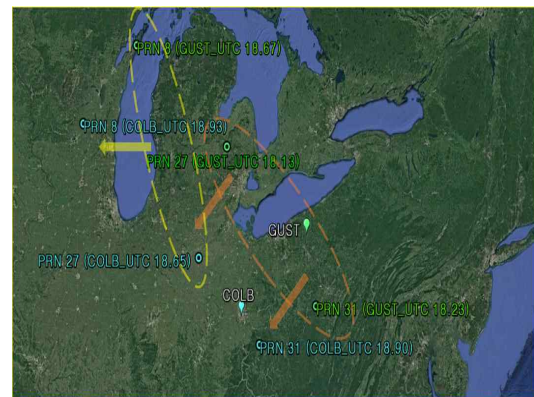
	GUST	TIFF	COLB
PRN7	20.76	21.32	21.53
PRN8	18.67	19.10	18.93
PRN11	19.37	20.31	20.48
PRN26	x	21.31	20.80
PRN27	18.13	18.78	18.95
PRN28	19.80	20.56	20.60
PRN29	20.20	19.90	x
PRN31	18.23	18.80	18.90

**Table 5. Detection time of ionospheric anomaly by position error check (UTC)**

Station	Start (hour)	End (hour)
GUST	18.60	21.27
TIFF	18.65	21.43
COLB	18.64	21.43



**Fig. 12. GUST Skyplot (UTC 18.5)**



**Fig. 13. Flow Direction of Ionospheric Anomaly**

영향에서 벗어났다 할 수 있다. 국지적 전리층 이상 현상의 이동경향은 관측된 시점의 위성 IPP를 이용하여 파악 할 수 있다. Fig. 13은 GUST-COLB 기준국간 각 위성의 IPP와 관측 시간을 이용하여 이동경향을 파악해 본 것이다. 이를 통해 전리층 이상 현상은 시간이 지남에 따라 남서쪽 방향으로 이동중이라는 것을 파악할 수 있으며, 이는 Fig. 9, 10으로 확인한 기준국 반응 순서와도 같다.

**III. 결 론**

본 논문에서는 인접한 지역의 다중 기준국을 이용하여 이중주파수를 이용한 TEC를 계산하고 그 값을 이용해 국지적 전리층 이상 현상 감시를 위한 알고리즘을 제안하였다. 또한, 제안한 알고리즘의 검증에 위하여 실제 전리층 이상 현상이 보고된 2003년 11월 20일 CORS의 기준국 데이터를 이용하여 알고리즘에 대한 검증을 수행하였다. 제안한 알고리즘은 기존의 전리층 기율기를 통한 판단에 필요한 지역, 시간에 따른 각 기준

국 조합별 경향성 정보 없이 전리층 오차 수준이 유사한 범위 내에 존재하는 다중기준국 망을 이용하여 전리층 이상 현상의 검출이 가능하다. 추가적으로 감시결과를 바탕으로 인근 사용자에게 대해 의사거리 보정정보에 대한 신뢰도를 보장하거나, 검출 위성을 제거하여 위치해를 구하는 등 전리층 이상 현상 대처를 위한 자료로 이용될 수 있을 것이다. 또한 본 감시 기법은 해당 지역 상공의 전리층 상태 연구에 대한 참고자료로서도 활용될 수 있을 것이다.

## 후 기

이 논문은 2016학년도 건국대학교의 연구년교원 지원에 의하여 연구되었음

## References

- 1) B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and E. Wasle, *GNSS-global navigation satellite systems : GPS, GLONASS, Galileo, and more* Wien; New York: Springer, 2008.
- 2) Myeong-Sook Jung and Jeong-Rae Kim, "Analysis of Ionospheric Spatial Gradient Over Korea Using GPS Measurement", *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.25, No.5 2009, pp. 391 ~ 398
- 3) Blewitt. G, "An Automatic editing algorithm for GPS data," *Geophysical Research Letters*, Volume 17, No.3 1990, pp. 199~202
- 4) Byung-Kyu Choi, Sung-Ki Cho, and Sang-Jeong Lee, "GPS Receiver and Satellite DCB Estimation using Ionospheric TEC," *J. Astron. Space Sci.* Volume 26, No.2, 2009 pp. 221~228
- 5) Sungwook Jung and Jiyun Lee, "Long-term ionospheric anomaly monitoring for ground based augmentation systems," *Radio Science*, Volume. 47, Issue.4, August, 2012, pp. 1~12
- 6) Sam Pullen, Per Enge, "An overview of GBAS integrity monitoring with a focus on ionospheric spatial anomalies," *Indian Journal of Radio & Space Physics*, Volume. 36, August 2007, pp. 249~260
- 7) Klobuchar, J., "Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users," *IEEE Transactions Aerospace Electronic Systems AES-23*, pp. 325~331.
- 8) G. Xie, "Optimal On-airport Monitoring of the Integrity of GPS-Based Landing System," Doctorial Dissertation of Stanford University, March 2004
- 9) M. Takashi, MA Guanyi and N. Maho, "Observations of TEC Disturbances with GEONET", *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, Vol. 56, Nos. 1-4 2009, pp. 349~368
- 10) Seebany Datta-Barua, "Ionospheric Threats to the Integrity of Airborne GPS Users", Doctorial Dissertation of Stanford University, June 2008
- 11) C. Borrles, J. Berdermann, N.Jakowski, and V.Wilken, "Ionospheric storms-A Challenge for Empirical Forecast of the Total Electron Content," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, Vol. 120, Issue.4, April, 2005, pp. 3175~3186