

# 지역적 기상 차이에 의한 대류권 지연 변칙이 네트워크 RTK 환경에 미치는 영향 분석

## An Analysis for Irregularity of Tropospheric Delay due to Local Weather Change Effects on Network RTK

한 영 훈<sup>†</sup> · 신 미 영\* · 고 재 영\* · 조 득 재\*  
(Younghoon Han · Mi Young Shin · Jaeyoung Ko · Deuk Jae Cho)

**Abstract** - Network RTK generates spatial corrections by using differenced measurements from reference stations in the network, and the corrections are then provided to a rover. The rover, generally, uses linear interpolation, which assumes that the corrections at each reference station are spatially correlated, to obtain a precise correction of its location. However, an irregularity of the tropospheric delay is a real-world factor that violates this assumption. Tropospheric delay is a result of weather conditions, such as humidity, temperature and pressure, and it can cause spatial decorrelation when there are changes in the local climate. In this paper, we have defined the non-linear characteristics of the tropospheric delay between reference stations or user within a region as the "irregularity of tropospheric delay". Such an irregularity can negatively impact the network RTK performance. Therefore, we analyze the influence of the irregularity of tropospheric delay in network RTK based on meteorological data.

**Key Words** : Irregularity, Tropospheric delay, Meteorological data, Network RTK

### 1. 서 론

GNSS RTK는 반송파를 이용한 정밀 측위 시스템으로 과거에는 주로 고정밀도를 요구하는 측지, 측량 분야에서 많이 활용되었으나 최근에는 육상 교통 환경, 선박의 통항안전 등의 높은 정확도를 요구하는 항법 분야에서도 다양하게 활용되고 있다. RTK는 기준국과 사용자 수신기간 공통 위성에 대한 반송파 측정치의 이중차분 기법을 이용하여 공통 오차를 상쇄함으로써 수 cm 이내의 위치 정확도를 만족한다. 여기서 공통 오차란 위성 시계 오차, 위성 궤도 오차, 전리층 지연, 그리고 대류권 지연을 의미하며, 기준국과 사용자간 기저선 거리가 멀수록 공통 오차는 상쇄되지 않고 잔여 오차로 존재할 수 있다. 이때의 잔여 오차를 공간이격 오차라고 하며, 전리층 지연과 대류권 지연에 의한 영향이 대부분이다. 따라서 단일 기준국 기반의 RTK (이하 단일 RTK)는 수 cm 이내의 위치 정확도를 만족하기 위하여 환경에 따라 10km에서 20km 이내의 기저선 거리에 대한 제약을 갖는다[1]. 네트워크 RTK는 단일 RTK에서 기저선 거리 증가에 따라 발생하는 공간이격 오차를 다수의 기준국을

활용함으로써 보상하는 측위 시스템으로, 수 cm 이내의 위치 정확도를 만족하기 위한 기저선 거리가 50km에서 70km 이내로 단일 RTK 보다 더 넓은 영역을 서비스 할 수 있다. 따라서 네트워크 RTK는 단일 RTK 보다 더 적은 수의 기준국을 활용하여 넓은 범위를 서비스 할 수 있으므로 인프라 구축 측면에서도 이점이 있다[2].

네트워크 RTK와 단일 RTK는 공간이격 오차 이외에도 태양 활동으로 인한 흑점 폭발이나 국지적인 기상변화에 의하여 기준국간 또는 기준국과 사용자간 전파전달경로 상에 의한 오차의 비상관성이 발생할 수 있으며, 이는 GNSS RTK의 위치해 성능을 저하시킬 수 있다. 특히, 대류권 지연으로 인한 비상관성은 집중호우나 태풍 등을 원인으로 기준국 간 또는 기준국과 사용자 간 기상 차이에 의해 발생할 수 있다[3]. 대류권 지연의 비상관성에 대한 연구는 Skone, Lawrence, Ahn 등에 의해 진행되었다. Skone은 장거리 기저선을 대상으로 기저선 거리와 양각에 따른 대류권 지연의 비상관성을 분석하였다[4]. 또한, Lawrence와 Ahn은 단거리 기저선에서의 비상관성을 분석하였으며, 대류권 지연의 비상관성이 2km 이내의 기저선에서 집중호우나 태풍을 원인으로 반송파 한 파장 크기의 영향으로 나타났다[3][5]. 하지만 이와 같은 연구결과들은 단일 RTK만을 대상으로 하였으며, 네트워크 RTK 환경에서의 분석은 고려하지 않았다.

네트워크 RTK는 단일 RTK와는 다르게 주변 기준국의 공간적 상관성을 이용하여 오차를 보정하므로, 두 기법에서 다루는 대류권 지연의 비상관특성은 서로 다른 의미를 가진다. 네트워크 RTK는 일반적으로 네트워크 내에서 각 기준국의 보정정보를 사용자 위치에 맞게 보간하여 사용한다.

<sup>†</sup> Corresponding Author : Marine Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), Korea.

E-mail: yhhan@kriso.re.kr

\* Marine Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), Korea.

Received : July 08, 2014; Accepted : November 12, 2014

즉, 각 기준국과 사용자 위치에서의 보정정보가 거리의존적임을 가정한다[2]. 이때의 보정정보는 대류권 지연에 대한 보정정보를 포함하며, 따라서 대류권 지연의 비상관성에 의하여 보정정보 보간 시 가정한 거리의존성을 만족하지 못할 수 있으며, 결론적으로 위치해 성능을 저하시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 네트워크 RTK 환경에서 태풍이나 집중 호우 등으로 인한 국지적인 기상변화에 따른 기준국과 기준국, 또는 기준국과 사용자간 대류권 지연의 비상관성을 대류권 지연 변칙으로 정의하고, 네트워크 RTK에 미치는 영향을 거리 측정지 영역에서 분석한다. 논문의 결과는 단일 RTK 환경에서의 대류권 지연의 비상관성만을 고려하였던 기존의 연구결과와 달리, 네트워크 RTK로 확장하여 대류권 지연 변칙을 분석한 결과로서 의미를 가지며, 또한 네트워크 RTK의 위치해 성능에 영향을 미치는 대류권 지연 변칙 감시 연구의 기초자료로 활용될 수 있다.

## 2. 네트워크 RTK 개요

네트워크 RTK는 일반적으로 정밀한 항법을 위하여 다음의 세 과정이 필요하다. 첫 번째는 각 기준국에서의 보정정보를 생성하는 과정이고, 두 번째는 각 기준국의 보정정보 및 측정치를 사용자에게 전달하는 과정, 그리고 사용자 위치에 적합한 보정정보를 생성하는 과정이다. 각 기준국의 보정정보를 생성하는 과정에서는 정확한 보정정보 생성을 위한 미지정수 결정이 필요하다. 사용자에게 보정정보 및 측정치를 전달하는 과정에서는 RTCM SC-104 표준 메시지 형식을 이용한다. 그리고 사용자 위치에 적합한 보정정보를 생성하는 과정에서는 Distance Interpolation Method (DIM), LIM (Linear Interpolation Method), Low-order Surface Model (LSM)와 같은 보간 기법을 이용한다[2,6].

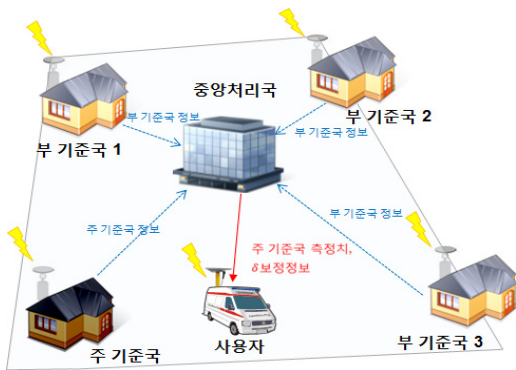


그림 1 MAC의 시스템 구조  
Fig. 1 System structure of MAC

그림 1은 네트워크 RTK 기법 중 하나인 Master Auxiliary Concept (MAC)의 시스템 구조로 주 기준국과 보조 기준국, 중앙처리국, 그리고 사용자로 구성된다. 중앙처리국은 네트워크 RTK를 위한 신호 처리를 담당하는 곳으로, 데이터 무결성 확인, 미지정수 레벨링, 보정정보 생성과 전송 등을 수행한다. 따라서 중앙 처리국은 네트워크 내 기준국으로부터 측정치 정보를 수집하여 주 기준국과 부 기준국간 보정정보

차이 값을 계산하고, 이를 RTCM 메시지 규격에 맞게 생성하여 사용자에게 전달한다. RTCM 메시지 버전 3.2에 따르면, MAC에서 사용자에게 전달되는 정보는 주 기준국의 측정치와 주 기준국과 보조 기준국 간 보정정보의 차이 값이다. 이때, 보정정보는 전파성 보정정보 (Dispersive correction)와 비전파성 보정정보 (Non-dispersive correction)로 구분되며, 전파성 보정정보는 전리층 지연을, 비전파성 보정정보는 위성 궤도 오차와 대류권 지연을 포함한다[7].

## 3. 대류권 지연 추정 방법

대류권에 의한 신호 지연은 대류권의 굴절률이 이상적인 대기상태인 진공상태 보다 크기 때문에 발생하는 현상으로, 전리층에 의한 신호지연과 달리 GNSS 방송 주파수에 관계 없이 동일한 영향을 주는 것이 특징이다. 대류권 지연은 대기 중의 수증기 변화에 기인하는 습윤 지연과 수증기 이외의 대기환경에 기인하는 건조 지연으로 구분할 수 있다[8,9]. 대류권 지연은 온도, 기압, 상대습도에 의존하는 굴절률에 의한 함수이므로 기상 정보로부터 모델 식을 이용하여 추정이 가능하다. 본 논문에서는 정확한 기상 정보를 활용하기 위하여 기상청에서 제공하는 지역별 상세 관측 자료 (AWS(Automatic Weather System))로부터 온도, 습도, 기압 정보를 수집하였으며, 대류권 지연 추정을 위한 모델은 Saastamoinen 모델[10]과 Niell 사상함수[11]를 이용하였다. 이때, 위성의 양각은 대류권 지연 변칙의 최댓값 확인을 위하여 10도로 가정하였다.

총 대류권 지연 량 ( $TD$ )은 식 (1)과 같다.

$$TD = ZHD \cdot MF_{dry} + ZWD \cdot MF_{wet} \quad (1)$$

여기서,  $ZHD$ 는 천정방향 대류권 건조 지연 량,  $ZWD$ 는 천정방향 습윤 지연 량,  $MF_{dry}$ ,  $MF_{wet}$ 은 Niell 사상함수로, 각각 건조 지연과 습윤 지연에 대한 시선각 방향 사상함수이다.

식 (1)에서  $ZHD$ 와  $ZWD$ 는 Saastamoinen 모델로부터 구할 수 있으며, 식 (2), (3)과 같다.

$$ZHD = 0.002277(1 + 0.0026\cos 2\phi + 0.00028h)P_0 \quad (2)$$

$$ZWD = 0.002277\left(\frac{1255}{T_0} + 0.05\right)e_0, \quad (3)$$

$$e_0 = H_0 \cdot e^{(-37.2465 + 0.213166(T_0 + K) - 0.000256908(T_0 + K)^2)}$$

여기서,  $\phi$ 는 위도,  $h$ 는 고도,  $T_0$ 는 온도,  $P_0$ 는 기압,  $H_0$ 는 습도,  $e_0$ 는 부분 수증기압, 그리고  $K$ 는 절대온도이다.

## 4. 대류권 지연 변칙 분석 환경

2장에서와 같이 네트워크 RTK 사용자는 기저선 거리 증가에 따른 공간이격 오차 보상을 위하여 네트워크 내의 기준국으로부터 받은 보정정보를 이용한다. 즉, 공간이격 오차가 거리 의존성임을 가정하여, 기준국의 보정정보를 사용자와 주변 기준국 간 기하학적 위치 관계를 고려하여 선형 보

간 함으로써 사용자 위치에 맞는 전리층, 궤도, 대류권 관련 보정정보를 생성한다. 하지만 실제 환경에서는 앞서 가정한 공간이격 오차의 거리 의존성이 만족하지 않는 경우가 발생한다. 대표적인 예로는 집중호우나 태풍 등의 국지적 기상 변화에 의한 대류권 지연 변칙이 있다. 특히, 주변 기준국들과 비교하여 사용자 환경에서의 기상 차이에 의한 대류권 지연 변칙은 네트워크 RTK 성능에 큰 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 논문에서는 실측 기상 정보를 이용하여 대류권 지연 변칙 발생 여부를 확인하고, 이를 분석한다.

4.1 실험 환경

대류권 지연 변칙 분석을 위한 원시 데이터로 기상청의 지역별 상세 관측 자료의 실측 기상 정보를 이용하였으며 [12], 이로부터 대류권 지연을 추정하였다. 그림 2는 대류권 지연 변칙 분석을 위한 네트워크 RTK 환경으로, 전국에 분포한 기상 관측소 중 기저선 거리 20km에서 70km를 만족하는 다섯 개의 관측소를 결정하고, 이 중에서 네 곳은 기준국으로, 가운데 한 곳은 사용자로 하였다. 청주, 대전, 문경, 상주는 기준국이며, 중앙에 위치한 보은은 사용자이다. 파란 실선은 기저선 거리를 의미한다.

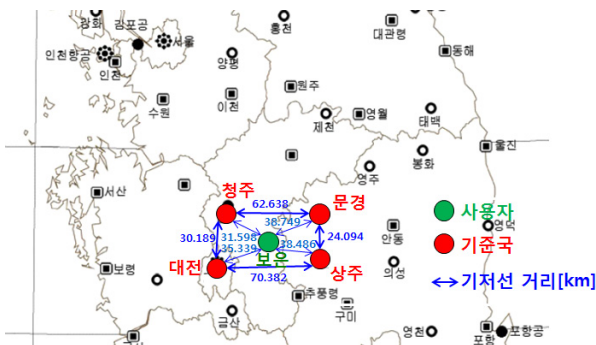


그림 2 네트워크 RTK 실험 환경  
Fig. 2 Test environment of Network RTK

기상 정보는 최근 3년간의 데이터를 수집하였으며, 수집 환경은 표 1과 같다. 기상 정보는 온도, 습도, 기압 정보를 포함하며, 기상 정보의 출력 주기는 1분이고, 업데이트를 위한 지연 시간은 2분이다.

표 1 기상정보 수집 환경  
Table 1 Meteorological data description

기상정보 수집 기간	2011년 1월 1일 ~ 2013년 12월 31일 (3년)
기상정보 출력 주기	1분
기상정보 업데이트 지연 시간	2분

4.2 대류권 지연 변칙 분석 방법

네트워크 RTK 환경에서의 대류권 지연 변칙 분석을 위

한 절차는 그림 3과 같다. 먼저 그림 2와 같이 네트워크를 구성한다. 다음으로는 사용자 위치에서 수집한 실측 기상 정보를 기반으로 3장의 방법을 이용하여 사용자의 대류권 지연 실측 값을 계산한다. 그리고 각 기준국 위치에서 수집한 실측 기상 정보를 기반으로 기준국의 대류권 지연 실측 값을 계산하고, 이를 이용하여 사용자 위치에 맞게 보간 함으로써 대류권 지연 보간 값을 구한다. 네트워크 RTK 환경에서 보간을 위한 여러 기법들이 연구되었지만, 보간 기법에 따른 네트워크 RTK 성능 차이는 크지 않다[2,6]. 따라서 본 논문에서는 기본적인 기법이고, 일반적으로 많이 사용하는 DIM[6]을 사용하였으며, 이는 식 (4)와 같다. 여기서,  $d_i$ 는  $i$ 번째 기준국과 사용자 사이의 거리,  $TD_i$ 는  $i$ 번째 기준국의 대류권 지연 실측 값, 그리고  $\widehat{TD}$ 은 대류권 지연 보간 값이다.

$$\widehat{TD} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} TD_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad (4)$$

마지막으로, 사용자 위치에서의 대류권 지연 실측 값과 대류권 지연 보간 값 간의 차이로부터 대류권 지연 변칙을 계산할 수 있으며, 본 논문에서는 대류권 지연 변칙이 GPS L1 반송파의 한 파장 길이 이상으로 발생한 경우를 대상으로 한다. 위 과정으로부터 구한 대류권 지연 변칙은 그 크기만큼 거리 측정치에 오차로 반영되므로, 이를 이용하여 대류권 지연 변칙이 네트워크 RTK 환경에 미치는 영향을 측정치 영역에서 분석한다.

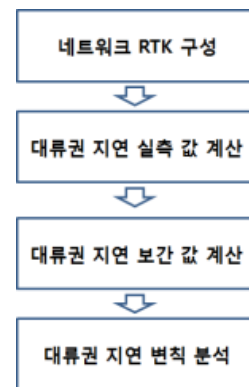


그림 3 대류권 지연 변칙 분석 절차  
Fig. 3 Processing strategy of irregularity of tropospheric delay

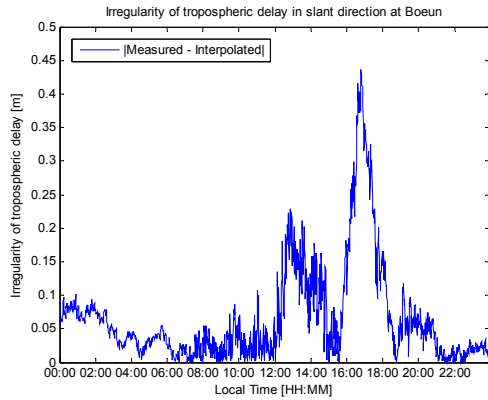
5. 대류권 지연 변칙이 네트워크 RTK 환경에 미치는 영향 분석

5.1 대류권 지연 변칙 사례 분석

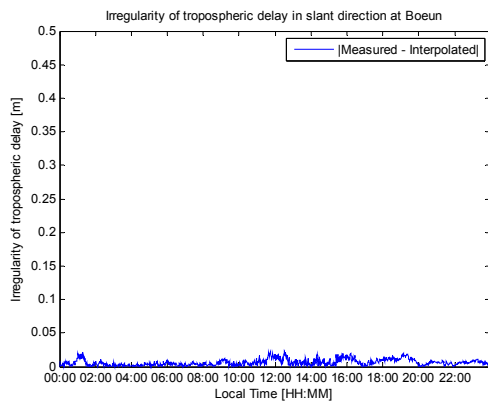
본 논문에서는 4월부터 9월까지를 하계, 1월부터 3월, 그리고 10월부터 12월까지를 동계로 구분하고, 대류권 지연 변칙을 분석하였다. 그림 4는 하계 (좌)와 동계 (우) 기간 동

안의 대류권 지연 변칙 발생 사례 중 하나로 하계는 2013년 5월 23일, 그리고 동계는 2013년 1월 25일의 실측 기상 정보이다. 하계 기간인 5월 23일 17시 부근에서는 대류권 지연 변칙이 45cm 이상 발생하였으며, 이는 하계 기간 동안 대류권 지연 변칙이 GPS L1 신호 파장 길이의 두 배 이상 발생할 수 있음을 보여준다. 반면, 동계 기간인 1월 25일 결과에서는 대류권 지연 변칙이 발생하지 않았다.

낮다. 이로 인하여 그림 5 (d)에서와 같이 17시 근방에서 분홍 실선으로 표시한 사용자 위치에서의 대류권 지연 실측값 (Boeun)과 검정 실선으로 표시한 대류권 지연 보간값 (Interpolated) 간 차이가 생겼으며, 따라서 반송파 두 파장 길이 이상의 대류권 지연 변칙이 발생하였다. 이 결과는 네트워크 RTK 환경에서 지역적 기상 차이를 원인으로 대류권 지연 변칙이 발생할 수 있음을 보여준다. 또한, GPS L1 반송파 한 파장 크기 이상의 대류권 지연 변칙이 발생한 사례의 경우에 기준국 간 대류권 지연의 비선형 문제 보다는 그림 5 (d)에서와 같이 특정 시간에 사용자 위치에서의 급격한 기상 변화로 인한 비선형 문제가 대부분이었다.



(a) 하계 (2013년 5월 23일)  
(a) Summer season (May 23, 2013)

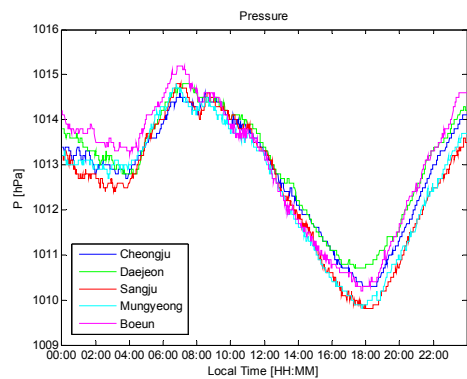


(b) 동계 (2013년 1월 25일)  
(b) Winter season (January 25, 2013)

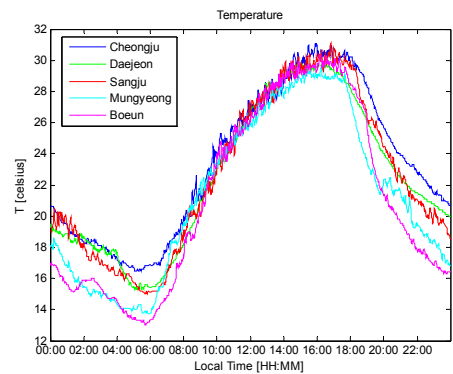
그림 4 대류권 지연 변칙 사례  
Fig. 4 Case study of irregularity of tropospheric delay

### 5.2 대류권 지연 변칙 발생 요인 분석 (기상 분석)

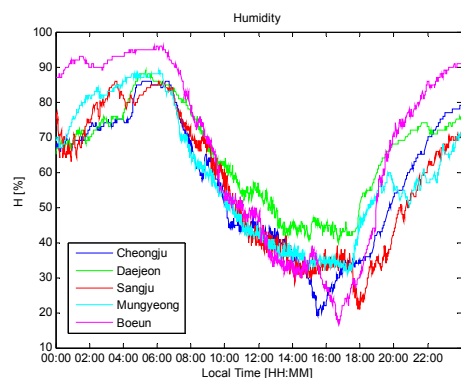
그림 5는 대류권 지연 변칙 발생 사례 중 하계 기간인 2013년 5월 23일에 대한 각 기준국 및 사용자 위치에서의 기상정보와 이를 이용하여 계산한 대류권 지연 실측값과 보간값이다. 그림 5 (a), (b)에서 기압과 온도는 하루 동안 기준국과 사용자 간에 유사한 추이를 보인다. 반면에 그림 5 (c)에서 습도는 15시부터 18시 사이에 기준국과 사용자 간 서로 다른 추이를 보인다. 특히, 17시 근방에서는 사용자 (Boeun)의 습도가 주변 기준국들보다 20%에서 30% 정도



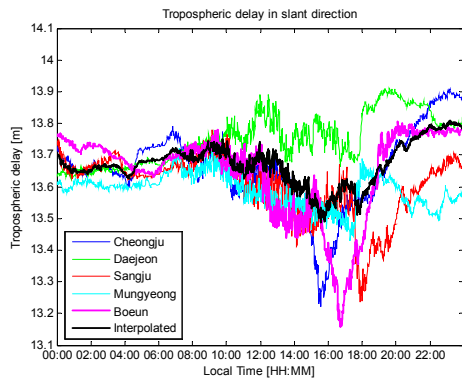
(a) 기압 (Pressure)



(b) 온도 (Temperature)



(c) 습도 (Humidity)



(d) 대류권 지연 (Tropospheric delay)

그림 5 기상정보 및 대류권 지연 (2013년 5월 23일)

Fig. 5 Meteorological data and tropospheric delay (May 23, 2013)

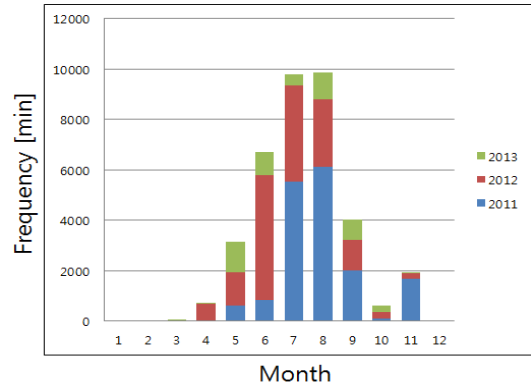


그림 6 최근 3년간의 대류권 지연 변칙 발생 사례

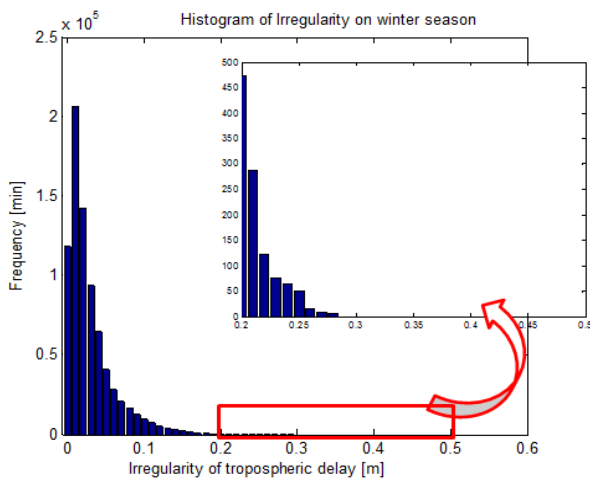
Fig. 6 Irregularity of tropospheric delay during 3 years

5.3 통계적 분석

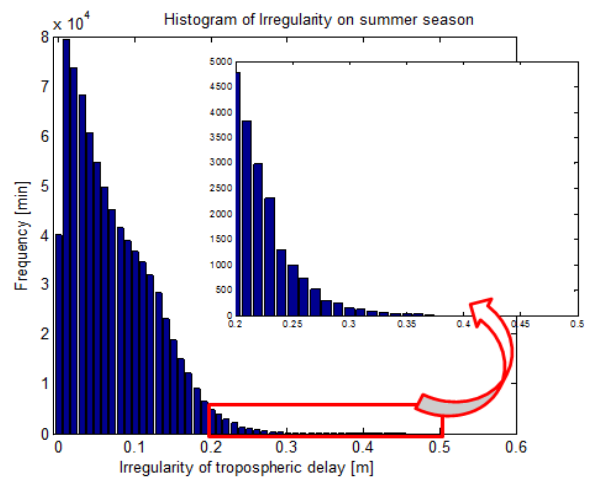
그림 6은 그림 2의 네트워크 환경에서 2011년부터 2013년까지 최근 3년간 발생한 대류권 지연 변칙의 발생 사례에 대한 통계 결과이다. 대류권 지연 변칙은 최근 3년 동안 총 367,212분 정도 발생하였으며, 이는 약 7%의 확률이다. 더욱 주목해야 할 점은 대류권 지연 변칙의 대부분이 하계 기간 중에서도 6월에서 8월 사이 발생한 것으로, 해당 기간 동안의 대류권 지연 변칙 발생 확률은 더 높아진다. 따라서 6월에서 8월 동안은 대류권 지연 변칙으로 인한 네트워크 RTK의 성능 저하가 빈번하게 발생할 것으로 예상된다.

5.4 계절에 따른 대류권 지연 변칙의 특성 분석

그림 7은 최근 3년간의 계절에 따른 대류권 지연 변칙의 분포도이다. 앞서 결과에서와 같이 그림 7 (a)의 동계 기간에 비하여 그림 7 (b)의 하계 기간에 대류권 지연 변칙의 발생 빈도가 높은 것을 확인할 수 있다. 하계 기간 동안에는 20cm에서 50cm 크기의 대류권 지연 변칙을 다수 확인할 수 있는 반면, 동계 기간 동안에는 20 cm 이상의 변칙을 거의 확인할 수 없다. 그림 8은 동계와 하계 기간 중 하루 동안의 청주 기준국의 대류권 지연 실측 값으로 그림 8 (a)의 동계와 비교하여 그림 8 (b)의 하계 기간의 대류권 지연의 변화량이 큰 것을 볼 수 있다. 이는 동계보다 하계 기간 동안에 기상의 변화 폭이 크기 때문이며, 따라서 하계 기간 동안에는 대류권 지연 변칙이 네트워크 RTK에 미치는 영향이 커질 수 있으므로, 이에 대한 고려가 필요하다.



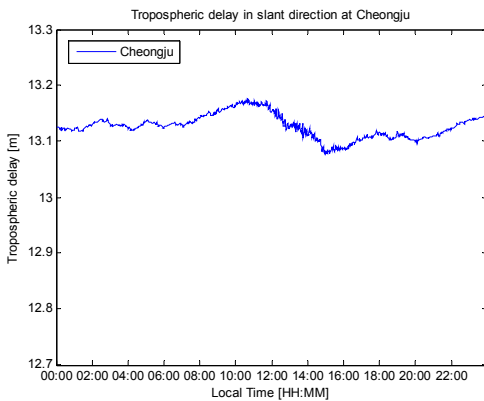
(a) 동계 (Winter season)



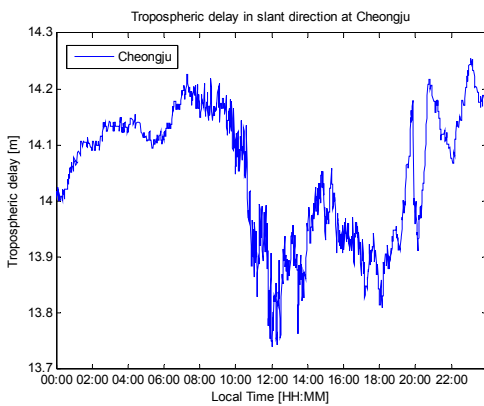
(b) 하계 (Summer season)

그림 7 계절에 따른 대류권 지연 변칙 분석 결과 (2011년 ~ 2013년)

Fig. 7 Analysis of seasonal irregularity of tropospheric delay (From 2011 to 2013)



(a) 동계 (2013년 1월 8일)  
(a) Winter season (January 8, 2013)



(b) 하계 (2013년 7월 27일)  
(b) Summer season (July 27, 2013)

그림 8 계절에 따른 대류권 지연 변화 비교 (청주)  
Fig. 8 Variation of seasonal tropospheric delay (Cheongju)

## 6. 결 론

본 논문에서는 네트워크 RTK 성능에 영향을 줄 수 있는 요인 중 하나로 국지적 기상 변화에 의한 기준국과 기준국, 또는 기준국과 사용자간 대류권 지연의 비상관성을 대류권 지연 변칙으로 정의하고, 네트워크 RTK 환경에 미치는 영향을 측정치 영역에서 분석하였다. 이를 위하여 우리나라의 기상 관측소를 대상으로 네트워크 RTK 환경을 구성하고, 기상 관측소의 지역별 상세 관측 자료로부터 실측 기상정보를 수집하여 대류권 지연 변칙을 분석하였다. 대류권 지연 변칙 사례분석을 통해 지역적 기상 차이에 의한 대류권 지연 변칙이 실제 발생할 수 있음을 확인하였으며, 본 논문상의 실험환경 (기저선 거리 20km에서 70km)에서는 GPS L1 반송파 두 파장 크기 이상의 오차가 발생하였다. 또한, 최근 3년간의 통계 결과, 전체 기간 중 약 7%에 해당하는 기간 동안 대류권 지연 변칙이 발생하였으며, 이 중 대부분이 기상의 변화 폭이 큰 6월에서 8월 사이에 발생하였음을 확인하였다. 따라서 고정밀의 위치 해를 요구하는 분야에서 네트워크 RTK 활용 시에 특히, 하계 기간 동안에는 대류권

지연 변칙에 대한 고려가 필요하다. 따라서 이에 대한 대책으로 네트워크 RTK 환경에서의 대류권 지연 변칙에 대한 감시가 필요하며, 추후 연구를 통하여 방안을 모색할 계획이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부의 지원에 의하여 이루어진 연구입니다 (06교통핵심A03).

## References

- [1] J. Aponte and X. Meng, "Quality assessment of a network-based RTK GPS service in the UK". *Journal of Applied Geodesy*. vol. 3, no. 1, pp. 25-34, 2009.
- [2] N. Zinas, "Development and assessment of a new rover-enhanced network based data processing strategy for Global Navigation Satellite Systems", PhD Thesis, UCL (University College London), 2010.
- [3] Y.W. Ahn, D. Kim and P. Dare, "Local tropospheric anomaly effects on GPS RTK performance", *ION GNSS*, Fort Worth, Texas, U.S.A, pp. 1925-1935, 2006.
- [4] S. Skone, "Propagation Environmental Effects on GPS", *ION GNSS*, Navtech Tutorial Notes, 2005.
- [5] D. Lawrence, "Decorrelation of Troposphere Across Short Baselines", *IEEE/ION PLANS*, pp. 94-102, 2006.
- [6] L. Dai, S. Han, J. Wang and C. Rizos, "A Study on GPS/GLONASS Multiple Reference Station Techniques for Precise Real-Time Carrier Phase Based Positioning", *ION GPS*, September 11-14, 2001.
- [7] 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.
- [8] E.D. Kaplan and C.J. Hegarty, "Understanding GPS Principles and Application", 2nd Ed., Artech House, 2006.
- [9] P.Mista and P.Engel, "Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance", Ganga-Jamuna Press, Lincoln, Massachusetts, 2006.
- [10] J. Saastamoinen, "Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites", in *The Use of Artificial Satellites for Geodesy*, *Geophys. Monogr. Ser.*, volume 15, pp. 247-251, AGU, Washington, D.C. 1972.
- [11] A.E. Niell, "Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths", *Journal of Geophysical Research*, Volume 10, No. B2, pp.3227-3246.
- [12] KMA, "AWS data", [http://203.247.66.10/weather/observation/aws\\_table\\_popup.jsp](http://203.247.66.10/weather/observation/aws_table_popup.jsp).

## 저 자 소 개



### 한 영 훈(Younghoon Han)

2010년 충남대학교 전기정보통신공학부 졸업. 2012년 동 대학원 전자전파정보통신공학과 석사 졸업. 2012년~현재 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부 연구원. 관심분야는 정밀측위, 신호이상감시, 보강항법시스템

Tel : 042-866-3677

E-mail : yhhan@kriso.re.kr



### 신 미 영(Mi Young Shin)

2004년 배재대학교 정보통신공학부 졸업. 2006년 충남대학교 대학원 전자공학과 석사 졸업. 2011년 동 대학원 전자공학과 박사 졸업. 2011년~현재 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부 선임연구원. 관심분야는 정밀측위, 신호이상감시, 보강항법시스템

Tel : 042-866-3668

E-mail : myshin@kriso.re.kr



### 고 재 영(Jaeyoung Ko)

2010년 충남대학교 전기정보통신공학부 졸업. 2012년 동 대학원 전자전파정보통신공학과 석사 졸업. 2012년~현재 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부 연구원. 관심분야는 정밀측위, 신호이상감시

Tel : 042-866-3618

E-mail : jyko@kriso.re.kr



### 조 득 재(Deuk Jae Cho)

1999년 충남대학교 전자공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전자공학과 석사 졸업. 2005년 동 대학원 전자공학과 박사 졸업. 2005년~현재 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부 선임연구원. 관심분야는 정밀측위, 신호이상감시, 보강항법시스템

Tel : 042-866-3683

E-mail : djcho@kriso.re.kr