

## Doppler frequency를 이용한 Kinematic 자료의 Cycle-Slip 보정 The Cycle-Slip Correction of Kinematic Data using Doppler frequency

손홍규<sup>1)</sup>, Hong-Gyoo Sohn · 김종경<sup>2)</sup>, Jung-Kyung Kim · 신대호<sup>3)</sup>, Dae-Ho Shin

<sup>1)</sup> 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수

<sup>2)</sup> 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정

<sup>3)</sup> 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정

**개요(SYNOPSIS)** : The occurrence of cycle slips is a major limiting factor to attain high precision positioning and navigation results with GPS. Cycle slips must be correctly repaired at the data processing stage. In this study, the technique to find cycle slips in the processing of data collected with Trimble 4700 GPS receivers is suggested. The use of Kalman filtering techniques is used in an attempt to reduce the effect of the noise in the different quantities involved and to improve the accuracy in cycle slip correction.

**주요어(Key words)** : cycle slips

### 1. 서론

인공위성을 이용한 위치결정시스템인 GPS(Global Positioning System)는 mm 단위의 정밀도로 정적, 동적 위치관측이 가능한 시스템으로 현재 여러 분야에서 활용이 증가하고 있다. 특히 교량, 댐 등 안전이 요구되는 사회기반 시설물의 동적 거동을 기록하고 감시하는데 있어서 GPS가 새로운 관측시스템으로 주목받고 있으며 이를 실용화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 Kinematic GPS 측량은 한점 고정에 의한 상대측위방식으로 높은 정밀도의 관측을 수초 안에 신속히 수행할 수 있기 때문에 고층건물이나 교량 등 대형건물의 거동을 모니터링 하는데 유용한 기법으로 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 Kinematic GPS 관측시 위치정확도에 가장 많은 영향을 미치는 Cycle slip의 검출 및 보정에 관하여 고찰해 보았다.

### 2. Kinematic GPS 측량

#### 2.1 연구지역

본 연구의 대상구조물은 지상 70층인 초고층빌딩이다. 기지국은 초고층빌딩에서 약 600m 떨어진 주공 APT 옥상을 선택하였다.

## 2.2 GPS 관측



그림 1. 기지국의 GPS 안테나 설치모습

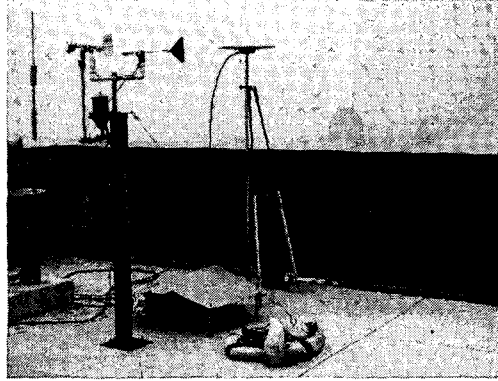


그림 2. 이동국의 GPS 안테나 설치모습

기지국은 그림 1과 같이 삼각을 이용하여 GPS 안테나를 설치하였고, 이동국은 그림 2와 같이 건물 옥상 모서리 부분에 Trimble 4700 전용 삼각을 이용하여 안테나를 설치하였고, 이동국은 GPS 안테나가 빌딩의 거동과 동일하게 거동할 수 있도록 그림에서 보듯이 보조 장치를 설치하여 안테나를 고정시켰다.

본 연구에서 사용한 GPS 모델은 Trimble사의 Trimble 4700 두 대를 사용, 5Hz의 sync Rate로 연속적으로 관측하였다.

## 3. Cycle slip의 검출 및 보정

### 3.1 Phase-range Combination

이동국에서 관측된 위상값에서 수신기의 이동량을 제거하기 위해 C/A 코드에 의해 관측된 값을 이용하여 수신기의 이동량을 제거한다.

$$\Delta\nabla\rho = \lambda(\Delta\nabla\phi(t) - \Delta\nabla\phi(t_1)) - (\Delta\nabla P(t) - \Delta\nabla P(t_1)) \quad (3-1)$$

여기서,  $\Delta\nabla$ 는 이중차분을 의미하며,  $\lambda$ 는 파장길이,  $\phi(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 위상값,  $\phi(t_1)$ 는 관측 최초의 위상값,  $P(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 C/A 코드에 의해 관측된 값,  $P(t_1)$ 는 관측 최초의 C/A 코드에 의해 관측된 값이다.

### 3.2 Phase-integrated doppler phase Combination

Rinex file에 기록된 Doppler frequency를 이용하여 Integrated doppler 위상값을 계산하여 C/A 코드에 의한 관측값 대신 Integrated doppler 위상값을 이용하여 수신기의 이동량의 제거한다.

$$\Delta\nabla\rho = \lambda(\Delta\nabla\phi(t) - \Delta\nabla\phi(t_1)) - (\Delta\nabla D(t) - \Delta\nabla D(t_1)) \quad (3-2)$$

여기서,  $\Delta\nabla$ 는 이중차분을 의미하며,  $\lambda$ 는 파장길이,  $\phi(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 위상값,  $\phi(t_1)$ 는 관측 최초의 위상값,  $D(t)$ 는 시간  $t$ 에서의 Integrated doppler 위상값,  $D(t_1)$ 는 관측 최초의 Integrated doppler 위상값으로 항상 0이다.

### 3.3 Kalman filtering을 이용한 Cycle Slip의 검출 및 보정

$\Delta\nabla\rho$ 는 다음과 같은 다항식으로 정의할 수 있다.

$$\Delta\nabla\rho(k) = \Delta\nabla\rho(k-1) + \Delta\nabla\dot{\rho}(k-1)\Delta t + \frac{1}{2}\Delta\nabla\ddot{\rho}(k-1)\Delta t^2 \quad (3-4)$$

$$Z_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \Delta\nabla\dot{\rho} \\ \Delta\nabla\ddot{\rho} \end{bmatrix} + V_k \quad (3-5)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t & \frac{1}{2}\Delta t^2 \\ 0 & 1 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \vec{q} = \begin{bmatrix} \frac{1}{20}\Delta t^5 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{3}\Delta t^3 & 0 \\ 0 & 0 & \Delta t \end{bmatrix} \quad (3-6)$$

또한  $\Delta\nabla\rho$ 의 관측방정식은 식(3-5)와 같고 상태방정식의 천이행렬과 공분산 행렬은 식(3-6)과 같다.

Kalman filtering을 이용한 Cycle slip의 원리는 측정된 순간에서의 상태변수 추정값과 식 (3-1)에서 구한  $\Delta\nabla\rho$ 값 혹은 식 (3-2)에서 구한  $\Delta\nabla\rho$ 값의 차이가 측정된 위상의 신호잡음의 신뢰구간을 벗어나면 Cycle slip이 발생하였다고 판정하는 것이다. 만약 Cycle slip이 발생된 것으로 판정되면, 실제의 측정값을 상태변수의 추정값으로 대체시킴으로써 Cycle slip정도를 결정하게 된다.

## 4. 자료처리 및 결과 분석

### 4.1 Phase-range Combination vs Phase-Integrated doppler phase Combination

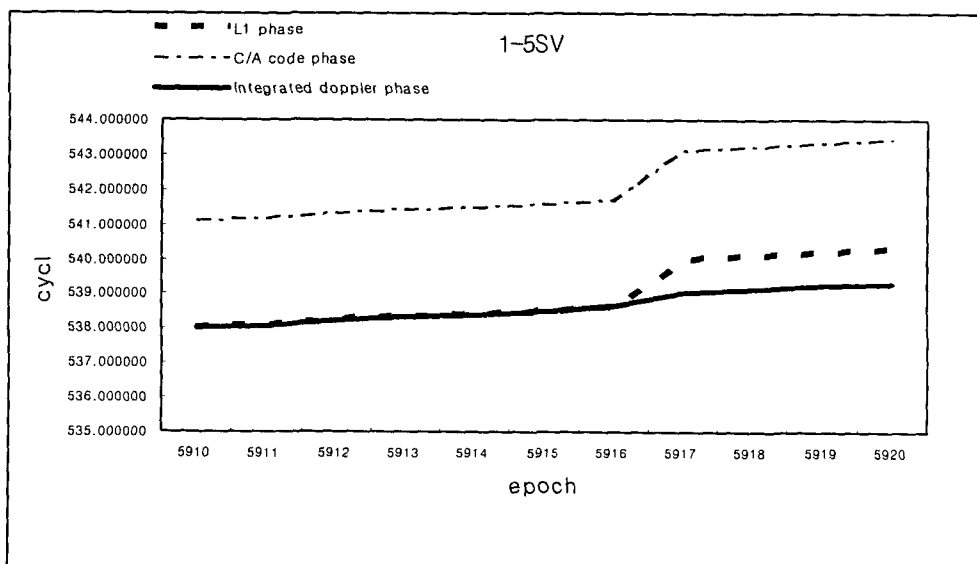


그림 3. L1, C/A code. Integrated doppler phase

그림 3에서 보듯이 L1 반송파에서 Cycle slip 발생하였을 때 C/A code 관측값 역시 Cycle slip정도만큼 변화가 일어나지만, Integrated doppler 위상값에서는 변화가 일어나지 않는다. 이는 Kinematic 관측 시 epoch간의 시간 간격이 0.2초로 짧아 L1 반송파에서 Cycle slip이 발생하였을 때 C/A code 관측값에도 변화가 생긴 것으로 사료된다. 하지만 Doppler frequency는 Cycle slip에 영향을 받지 않으므로 Integrated doppler 위상값에서는 Cycle slip 현상이 발생하지 않는다.

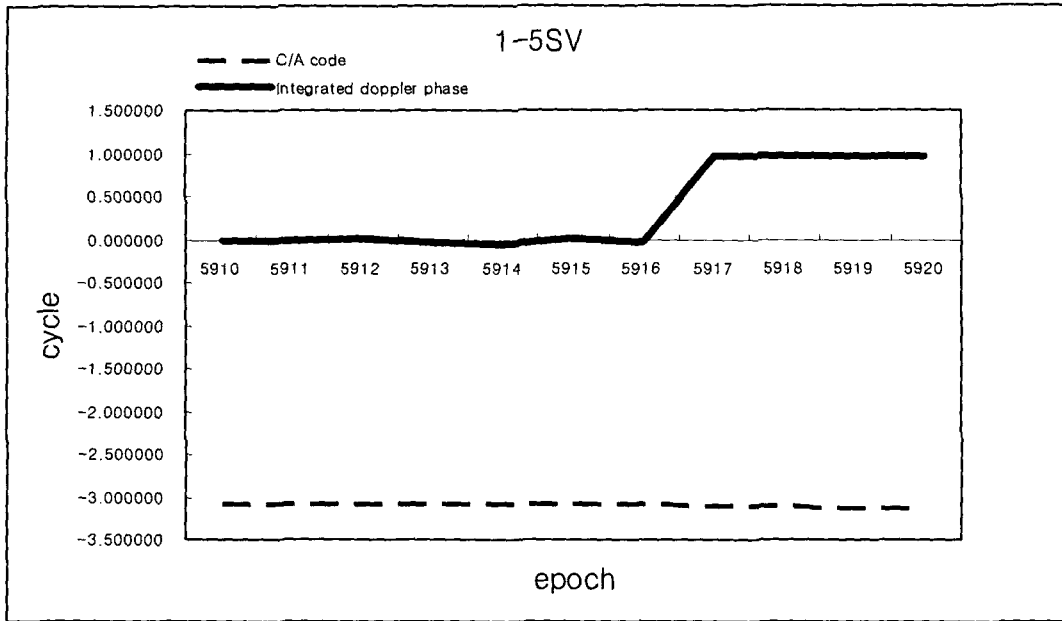


그림 4. Combination 방법별 Cycle slip 검출

그러므로 그림 4에서 나타나듯이 Phase-range Combination 방법을 사용할 경우 Cycle slip이 발생하더라도 검출이 안 될 수 있다. 그림 4에서 Phase-range Combination 방법을 사용할 경우 나타난 값이 약 -3 cycle 정도 이동된 것은 Multipath에 의한 영향과 수신기 오차에 의한 영향으로 사료된다.

#### 4.2 Kalman filtering을 이용한 Cycle slip의 검출 및 보정

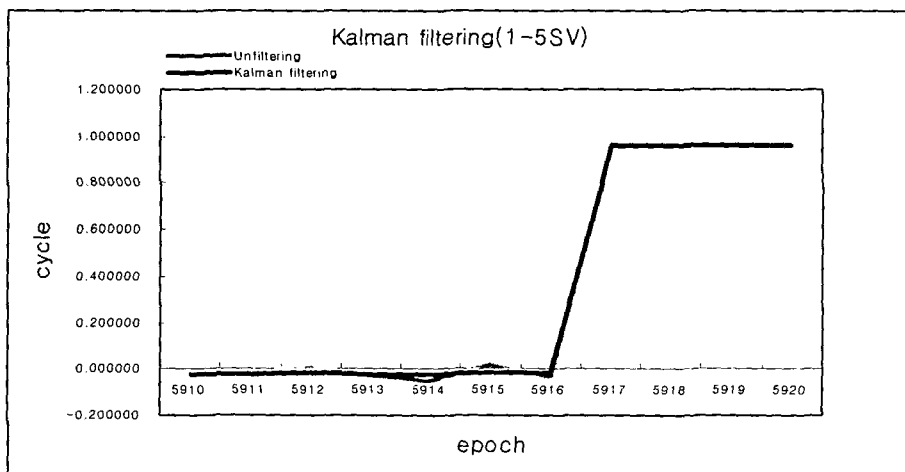


그림 5. Kalman filtering에 의한 Cycle slip 검출 및 보정

그림 5에서 보듯이 Phase-Integrated doppler phase Combination 방법에 의해 구한  $\Delta\nabla\rho$ 값을 Kalman filtering에 이용하여 Cycle slip을 검출하고 그 크기를 구할 수 있었다. 그림 5에서는 5917 epoch에서 1cycle의 Cycle slip이 일어난 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 Kinematic 자료의 Cycle slip을 검출하고 보정하는데 있어서 epoch간의 시간간격이 짧으면 짧을수록 일반적으로 사용하는 Phase-range Combination 방법보다는 Doppler frequency을 이용한 Phase-Integrated doppler phase Combination 방법에 의해 구한 값을 Kalman filtering을 이용하여 Cycle slip을 검출하고 보정하는 것이 더 좋은 방법이라고 사료된다.

## 참고문헌

1. Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins. (2001), "GPS Theory and Practice.", 5th Edition, SpringerWineNewYork, pp.205-212.
2. Leick, A. (1995), "GPS Satellite Surveying.", 2th Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, pp.352-357.
3. Bastos, L. and H. Landau (1998), "Fixing cycle slip in dual-frequency kinematic GPS-applications using Kalman filtering.", Manuscripta Geodaetica, Vol. 13, No. 4, pp.249-256.