

## 가중 평활화 기법을 이용한 GPS L1 단일 주파수 수신기의 상대 측위 정밀도 향상

최병규<sup>†</sup>, 박종욱, 조정호, 임형철, 박필호  
한국천문연구원 GPS 연구그룹

### THE IMPROVEMENT OF THE RELATIVE POSITIONING PRECISION FOR GPS L1 SINGLE FREQUENCY RECEIVER USING THE WEIGHTED SMOOTHING TECHNIQUES

Byung-Kyu Choi<sup>†</sup>, Jong-Uk Park, Jeong-Ho Joh, Hyung-Chul Lim, and Phi-Ho Park  
GPS Research Group, Korea Astronomy Observatory, 61-1 Hwaam, Yusong, Daejeon 305-348, Korea  
E-mail: bkchoi@kao.re.kr

(Received June 3, 2004; Accepted September 3, 2004)

#### 요 약

GPS 단일 주파수(L1) 수신기의 상대 측위 정밀도 향상을 위해 가중 평활화 기법(weighted smoothing technique)을 적용하고 다양한 기선에 대해 자료 처리를 수행하였다. C/A 코드를 이용한 의사거리의 측정 오차를 최소화하기 위하여 위상 가중 평활화 기법을 활용하였으며, 위상 신호의 끊김 현상으로 인한 결과를 보완하기 위해 위치 평활화 기법을 적용하였다. 대전에 위치한 IGS 기준점을 기점으로 중·장기선(5km, 10km, 30km, 40km, 150km)에 대해 자료 처리를 수행하였으며, 이때 기선에 따라 대기 모델(이온층·대류층)등 추가적인 오차 요인들을 고려하였다. 이 논문은 이러한 가중 평활화 기법을 활용하여 시간이 경과함에 따라 보다 안정적인 결과를 산출할 수 있었음을 제시하고 있으며, 사이클 슬립등 주의 환경에 민감한 오차들은 위치 평활화 기법을 써서 보완할 수 있음을 나타내고 있다. 이러한 결과들을 토대로 가중 평활화 기법을 실시간 응용분야는 물론 후처리 응용분야에도 적용이 가능함을 발견하였고, 이러한 기법들은 반송파 위상 자료를 이용하는 모호 정수 결정기술과 유사한 결과를 산출할 수 있어, 대체 기법으로 활용 가능 할 것으로 기대된다.

#### ABSTRACT

To improve the precision of relative positioning for GPS single frequency(L1) receiver, we accomplished the GPS data processing using the weighted smoothing techniques. The weighted phase smoothing technique is used to minimize the measurement error of pseudorange and position domain smoothing technique is adopted to make the complement of cycle-slip affection. we also considered some component errors like as ionospheric error, which are related with baseline length, and processed for several baselines (5, 10, 30, 40, and 150 km) to check the coverage area of this algorithm. This paper shows that weighted phase smoothing technique give more stable results after using this technique and the position domain smoothing technique can reduce the errors which are sensitive to the observational environment. Based on the results,

---

<sup>†</sup>corresponding author

we could find out that this algorithm is available for post-time and real-time applications and these techniques can be substitution methods which is able to get the high accuracy and precision without resolving the Integer ambiguity.

*Keywords:* weighted smoothing techniques, integer ambiguity, cycle-slip, position domain smoothing

## 1. 서 론

GPS를 이용한 고정밀 측위 기술은 측지·측량 분야뿐만 아니라 지구 물리학적 응용에 있어서 중요하며, 학술분야간의 융합 기술 발달과 통신 및 네트워크 환경의 지속적인 발전으로 인해 그 응용 범위가 점점 확대되고 있다. GPS 응용기술의 발전 및 응용분야의 확대는 보다 정밀하고 신속한 위치 정보 획득을 요구하고 있다.

GPS를 이용하여 정밀한 측위 해를 결정하기 위해서는 해상도가 높은 위상 자료(phase data)를 사용해야 한다. 하지만 일반적으로 반송파 위상을 이용한 정밀 측위에 있어서는 모호 정수(integer ambiguity)의 결정 문제를 반드시 해결해야 하는 어려움이 있다(Erickson 1992, Fotopoulos & Cannon 2001). 이를 해결하기 위하여 대부분 이중 주파수(L1/L2)를 모두 수신할 수 있는 고가의 장비를 사용하고 있다. 이것은 두 개의 반송파 위상 자료를 이용하여 보다 신속하게 모호 정수를 결정하고, 두 위상 자료를 조합함으로써 대기에 의한 오차를 최대한 줄이거나 제거하기 위한 목적이다. 반송파 위상 자료 처리에 대한 기본적인 모델 및 모호 정수 결정 방법(Teunissen & Kleusberg 1997)들은 현재까지도 지속적으로 연구되어지고 있다. 이 모델들을 기초로 다양한 자료 처리 방법이 가능하며, 이를 통해 정밀 실시간 측위(real time kinematic)와 고정밀 후처리 측위 해를 구할 수 있다.

수신기 제조 기술의 발전과 GPS 사용의 대중화로 증거가 이면서도 L1 반송파의 위상 편이 값(beat phase observation)을 정밀하게 측정할 수 있는 수신기들이 점점 증가하고 있다. 이와 동시에 L1 관측치만을 이용하여 신속한 모호 정수 결정 과정에 기여할 수 있는 자료 처리 기법과 이와 유사한 결과를 얻을 수 있는 대체 기법 연구가 이전부터 수행되어져 왔다(Goad 1990, Frei & Beutler 1990).

본 연구에서는 L1 단일 주파수 수신기만을 이용하여 신속하고도 정밀한 측위가 가능하도록 하기 위한 대체 기법의 한 형태로 의사 거리의 측정 오차를 최소화하기 위해 반송파 측정 자료를 활용하는 위상 가중 평활화(weighted phase smoothing)기법과 신호 끊김 현상(cycle slip)에 의한 자료 처리 오차를 보완하기 위한 위치 평활화(position domain smoothing) 기법을 적용하여 모호 정수를 결정하지 않고도 측위 정확도 및 정밀도를 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

## 2. 가중 평활화 적용 알고리즘

일반적으로 측정 지점의 정밀 위치는 기준국과의 공통 오차 항을 제거하는 상대 측위 기법을 통해서 얻어진다(Gao et al. 1997, Townsend et al. 1999, Hofman-Wellenhof et al. 1992). 즉, 측정 지점과 기준국과의 공통 오차 항이 제거된 이중 차분된(double-differenced) 관측 데이터를 이용하여 측정 지점의 정밀 위치를 구할 수 있는데, 기선이 가까우면 (< 5km) 대부분 이온층과 대류층에 의한 대기 오차를 공통 오차로 분류할 수 있지만, 기선이 길어지면 대기에 의한 오차 항을 고려해야만 한

다(Teunissen & Kleusberg 1997, Schaer et al. 1999). 일반적으로 위상 관측치를 이용하는 이중차분 관측 방정식은 식(1)과 같이 표현된다.

$$\nabla\Delta\Phi + \frac{1}{\lambda}(\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta\text{trop} - \nabla\Delta\text{Iono} - \nabla\Delta m + \nabla\Delta\varepsilon) + \nabla\Delta N \quad (1)$$

여기에서,  $\nabla\Delta\rho$ 는 이중 차분된 의사거리,  $\nabla\Delta\text{trop}$ 는 이중 차분된 대류층 오차,  $\nabla\Delta\text{Iono}$ 는 이중 차분된 이온층 오차,  $\nabla\Delta N$ 는 이중 차분된 모호 정수값,  $\nabla\Delta m$ 는 다중 경로 오차,  $\nabla\Delta\varepsilon$ 는 수신기 잡음,  $\lambda$ 는 반송파 파장 그리고  $\nabla\Delta\Phi$ 는 이중 차분된 위상 측정치를 나타낸다.

식(1)에서 볼 수 있듯이 반송파 위상 자료를 이용할 경우 반드시 모호 정수( $\nabla\Delta N$ )를 결정해야만 한다. 그러나 모호 정수를 결정하기 위해서는 많은 GPS 자료가 필요하고, 정확한 통계적 검증을 거쳐야 하므로 자료 처리 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 관측 자료의 오차를 줄여 모호 정수 결정 기술과 유사한 결과를 얻기 위해서 위상 가중 평활화 기법이 적용되었다. 코드의 의사 거리에 포함된 측정 오차를 최소화하기 위하여 위상 데이터를 이용한 위상 가중 평활화 기법이 적용된 의사 거리는 어느 시점(k)에서 다음과 같이 나타낼 수 있다(Ben et al. 2003).

$$\begin{aligned} \hat{P}_k &= w_{pk}P_k + w_{\Phi k}\{\hat{P}_{k-1} + \lambda(\Phi_k - \Phi_{k-1})\} \\ w_{pk} &= w_{pk-1} - 0.01 \quad (\text{e.q. } 0.01 \leq w_{pk} \leq 1.00) \\ w_{\Phi k} &= w_{\Phi k-1} - 0.01 \quad (\text{e.q. } 0.01 \leq w_{\Phi k} \leq 0.99) \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서,  $\hat{P}_k$ 는 가중 평활화된 의사거리 관측치,  $P_k$ 는 의사거리 관측치,  $w_{pk}$ 는 의사거리의 가중치,  $w_{\Phi k}$ 는 위상데이터의 가중치,  $\Phi_k$ 는 위상데이터 관측치이다.

식 (2)에서 의사 거리 가중치는( $w_{pk}$ )는 점차 1에서 0.01(즉, 100%에서 1%)로 감소하게 된다. 그리고 의사거리 가중치와 위상 자료 가중치는 항상 다음과 같은 등식이 성립하도록 설정하였다.

$$w_{pk} + w_{\Phi k} = 1 \quad (3)$$

한편, 다중 경로(multipath) 오차는 관측치 자체의 질(quality)을 감소시키기 때문에 위상 가중 평활화 기법만을 이용하여 정밀한 위치해를 구하는데 많은 영향을 미친다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 상대 기선 성분만을 이용하는 위치 평활화 기법을 적용하였다. 식(4)는 GPS 관측치를 이용하여 위치해를 구하는 일반적인 선형 방정식이며, 여기에서  $H$ 와  $\hat{Y}$ 는 각각 디자인 행렬과 관측 행렬이다(Hofman-Wellenhof et al. 1992).

$$\hat{X}_i = (H^T C H)^{-1} H^T C \hat{Y} \quad (4)$$

위의 식에서 디자인 행렬과 관측 행렬은 식(5)와 같다.

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_r} & \frac{\partial f_1}{\partial y_r} & \frac{\partial f_1}{\partial z_r} & 1 & 0 & \dots \\ \frac{\partial f_1}{\partial x_r} & \frac{\partial f_1}{\partial y_r} & \frac{\partial f_1}{\partial z_r} & 0 & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad \hat{Y} = \begin{bmatrix} \dots \\ \Delta\nabla_{AB}^{jk} P - \Delta\nabla_{AB}^{jk} \Phi \\ \dots \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기에서  $A$ (기준점),  $B$ 는 각각 관측 지점(또는 수신기)을 나타내며,  $j$ (기준 위성)와  $k$ 는 위성을 나타낸다. 이때 위치 평활화를 위해 다음과 같이 정의되는 변형된 가중행렬( $C$ )을 사용하였다.

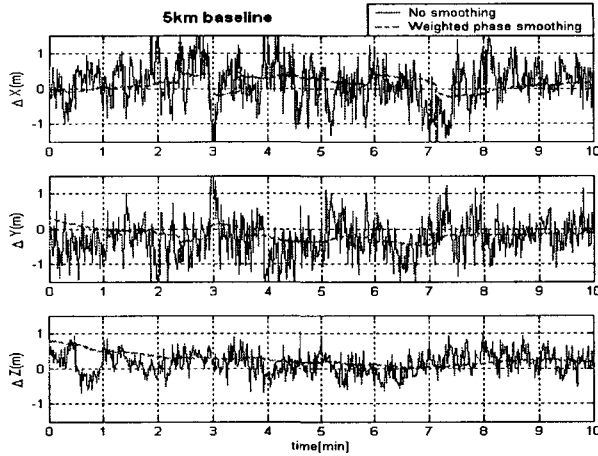


그림 1. 위상 가중 평활화 기법 적용 전·후의 결과 비교.

$$C = \sigma_0^2 \cdot vcv\sigma_0^2 \cdot [a_1 a_2 \dots a_n] \begin{bmatrix} \sigma_{x_1}^2 & \sigma_{x_1 x_2} & \dots & \sigma_{x_1 x_n} \\ \sigma_{x_1 x_2} & \sigma_{x_2}^2 & \dots & \sigma_{x_2 x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{x_1 x_n} & \sigma_{x_1 x_n} & \dots & \sigma_{x_n}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기에서  $vcv$ 는 분산-공분산 행렬이고,  $a$ 는 관측 값,  $\sigma_0^2$ 은 초기 분산 값이다(0.05). 식(6)에 의해 지속적으로 갱신되는 가중 행렬을 이용하여 상대기선 벡터 성분( $x_i$ )이 계산되고, 이 때 결정된 상대기선 벡터 성분은 식(7)에 의해 다시 갱신되게 된다.

$$S_{xi} = \left( \sum_{i=1}^{E-1} S_{xi-1} + \hat{x}_i \right) / E \quad (7)$$

여기에서  $S_x$ 는 갱신된 상대 기선 벡터 성분이고,  $E$ 는 관측 자료의 기산점 갯수이다.

### 3. 기선별 자료 처리 결과 분석

제안된 가중 평활화 기법의 상대 측위 정밀도를 비교 검증하기 위해 서로 다른 여러 기선을 설정하여 자료 처리에 이용하였다. 단기선(5km 이하) 보다는 실제 필드에서 수행될 수 있는 중·장기선(5km, 10km, 30km, 40km, 150km)을 채택하여 대략 10여분간의 관측을 수행하였다. 각 지점에서 수신된 이중 주파수(L1/L2) 데이터를 모두 사용하여 상용 고정밀 GPS 자료처리 프로그램인 GPSURVEY Ver 2.3(Trimble 1999)에 의해 정밀한 위치해(그림 1~ 10에서 0지점을 의미)를 산출하고 본 논문에서 제안한 L1 단일 주파수만을 활용한 가중 평활화 기법의 결과와 비교하였다. 상대 측위를 이용하여 관측 시간별(epoch-by-epoch) 자료 처리가 가능하도록 하기 위해, 본 논문에서 자료 처리에 사용된 자료는 1Hz의 L1 위상 자료와 C/A 코드 자료이다.

각 기선별 자료 처리 결과, 전체적으로 위상 가중 평활화 기법 적용 후 향상된 정밀도를 보였지만 관측 환경이 좋지 않은 5km 지점과 10km 지점은 다른 지점(30km, 40km)보다 정밀도가 약간 더 떨

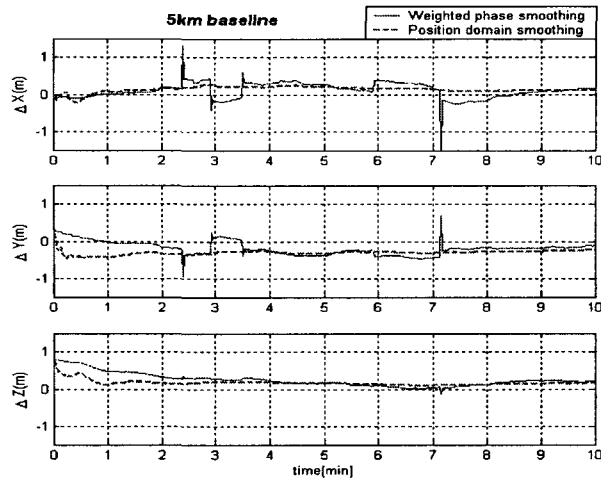


그림 2. 위상 가중 평활화와 위치 평활화의 결과 비교.

어짐을 알 수가 있었다. 또한 본 논문에서는 위상 신호 끊김 현상등 민감한 오차에 의한 자료 처리 결과를 보완하기 위해 위치 평활화 기법을 적용하여 위상 가중 평활화 기법 적용에 의한 결과와 비교하였다. 그리고 각 기선별 자료 처리에 대한 분석을 위해 평균 오차(mean error)와 표준 편차(standard deviation)를 계산하고, 다양한 결과에 대한 분석 및 추가적인 설명을 하였다.

### 3.1 5km 자료 처리 결과

대전 상시관측소 기준점으로부터 직선거리로 5km 떨어진 지점에서 10여분간의 관측된 자료를 이용하여 위상 가중 평활화 기법을 적용한 결과를 적용 전 결과와 비교하였다. 그림 1은 도심지역에서 측정된 자료로써 신호 끊김 현상이 빈번히 발생했음을 자료 처리 결과로 알 수 있는데 신호 끊김 발생시에는 그림 2처럼 위치 평활화 기법 적용이 더 안정적인임을 알 수 있다.

5km지점의 자료 처리결과, 표준 편차는 위상 가중 평활화 적용 이전에 0.9162에서 적용 이후 0.3142 그리고 위치 평활화 기법을 적용한 결과 0.1105로 향상되었다.

### 3.2 10km 자료 처리 결과

GPS 관측 환경이 다른 지점보다 열악한 곳(도로 옆, 남쪽이 산으로 막힘)에서 관측된 자료를 이용하였다. 차량 등에 의한 다중 경로 오차와 주위의 다양한 환경적 요소로 인하여 자료 처리 결과(그림 3, 4)가 좋지 않았으며, 관측치 자체의 길이가 떨어지기 때문에 가중 평활화 기법을 사용해도 커다란 정밀도 향상효과가 나타나지 않았다.

10km 지점의 자료 처리 결과, 평균 오차는 오히려 위상 가중 평활화 적용 이후 더 안 좋은 결과가 산출되었고, 반면 표준 편차는 위상 가중 평활화 적용 이전에 0.8799에서 적용 이후 0.4157 그리고 위치 평활화 기법을 적용한 결과 0.2042로 향상되었다.

### 3.3 30km 자료 처리 결과

기준점으로부터 직선거리로 대략 30km 지점으로 관측 환경이 비교적 좋은 곳에서 관측이 수행

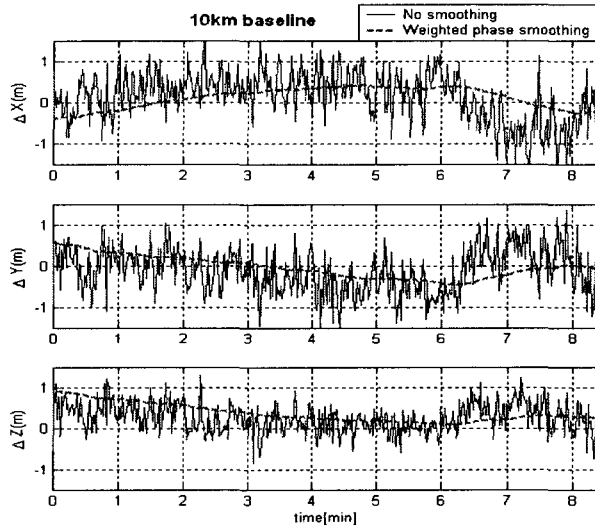


그림 3. 위상 가중 평활화 기법 적용 전·후의 결과 비교.

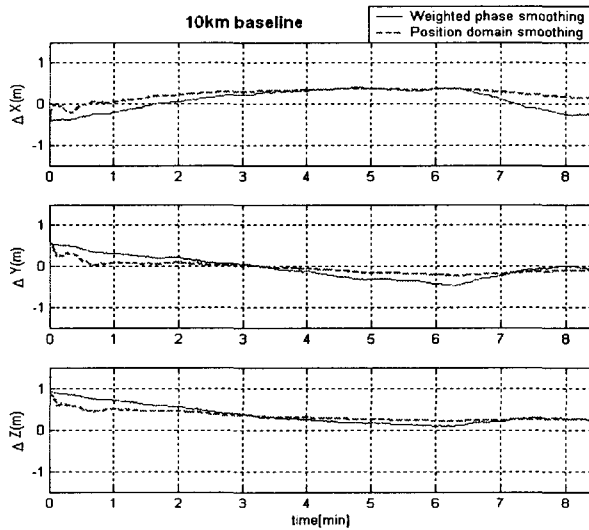


그림 4. 위상 가중 평활화와 위치 평활화의 결과 비교.

되었으며 신호 끊김 현상과 GPS 위성의 변화 없이 자료가 전체적으로 안정적이었다. 30km 지점 자료 처리 결과(그림 5, 6)는 이전에 자료 처리된 두 지점(5km, 10km) 보다 상대적으로 기선 거리가 멀지만 관측 환경이 좋기 때문에 안정적인 결과가 산출되었다.

좋은 관측 환경으로 인해 30km 지점의 자료 처리 결과, 표준 편차는 위상 가중 평활화 적용 이전에 0.7739에서 적용 이후 0.2370, 그리고 위치 평활화 기법을 적용한 결과 0.0984로 향상되었다.

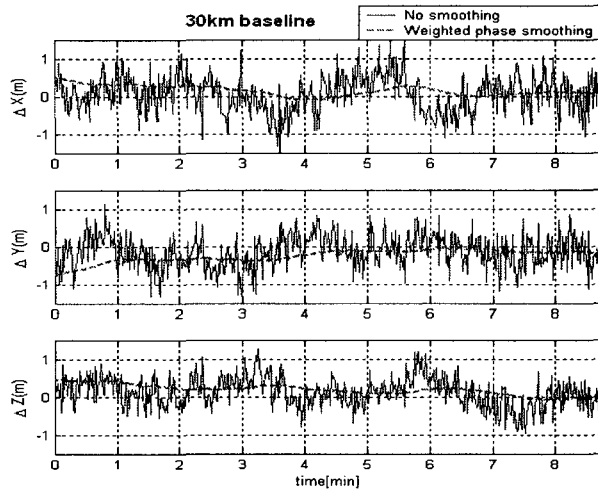


그림 5. 위상 가중 평활화 기법 적용 전·후의 결과 비교.

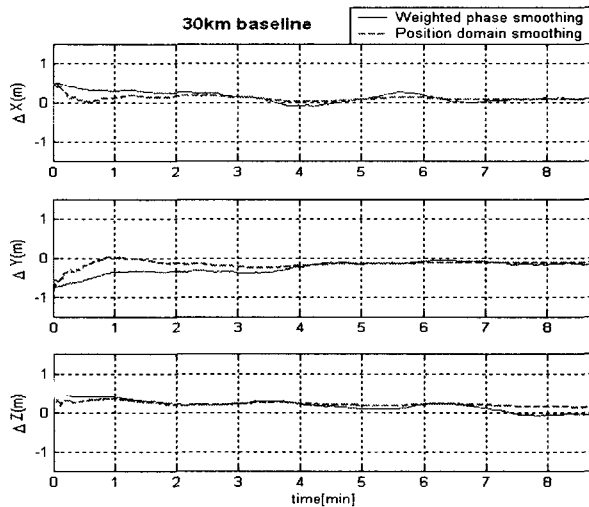


그림 6. 위상 가중 평활화와 위치 평활화의 결과 비교.

### 3.4 40km 자료 처리 결과 분석

30km 지점과 마찬가지로 안정적인 결과(그림 7, 8)를 보이고 있다. 즉, L1 RTK에 있어서 40km 지점도 대기(이온층, 대류층)에 의한 오차만 충분히 보정된다면 좋은 결과를 산출할 수 있다. 상대적으로 기선이 위의 세 지점보다 멀지만 가장 안정적인 결과를 산출하였다. 이처럼 실제 필드테스트 수행에 있어서 상대 기선 증가에 따른 여러 오차 요인뿐만 아니라 주위 환경에 의한 오차도 충분히 고려되어야 할 필요성이 있다.

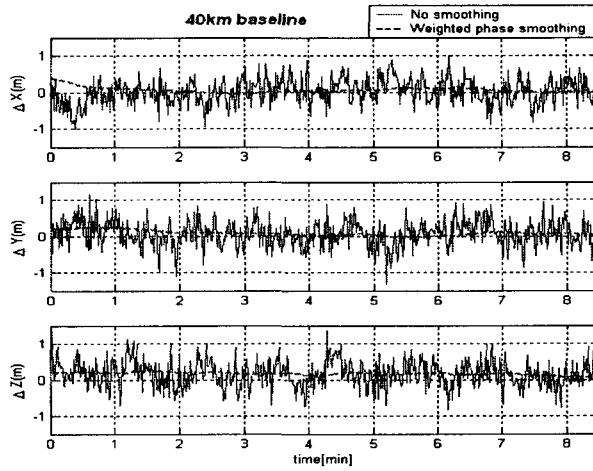


그림 7. 위상 가중 평활화 기법 적용 전·후의 결과 비교.

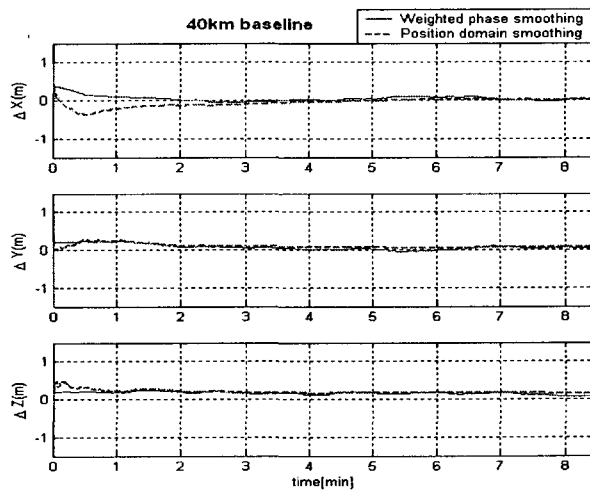


그림 8. 위상 가중 평활화와 위치 평활화의 결과 비교.

40km 지점의 관측 자료를 이용한 처리 결과, 평균 오차는 이전 세 지점(5km, 10km, 30km)보다 가장 작게 산출되었고, 표준 편차는 위상 가중 평활화 적용 이전에 0.6375에서 적용 이후 0.1063, 그리고 위치 평활화 기법을 적용한 결과 0.1233로 향상되었다.

### 3.5 150km 장기선 자료 처리 결과

그림 9와 10은 두 상시관측소(대전, 보현산)간의 24시간 관측치를 이용하여 처리한 결과를 보이고 있다. 두 상시관측소간의 GPS 공통 위성 수의 변화(그림 11)로 인해 위상 가중 평활화 기법을 적용해도 정확도는 이전의 결과보다 크게 향상되지 않음을 나타내고 있다. 그러나 그림 10에서 볼 수



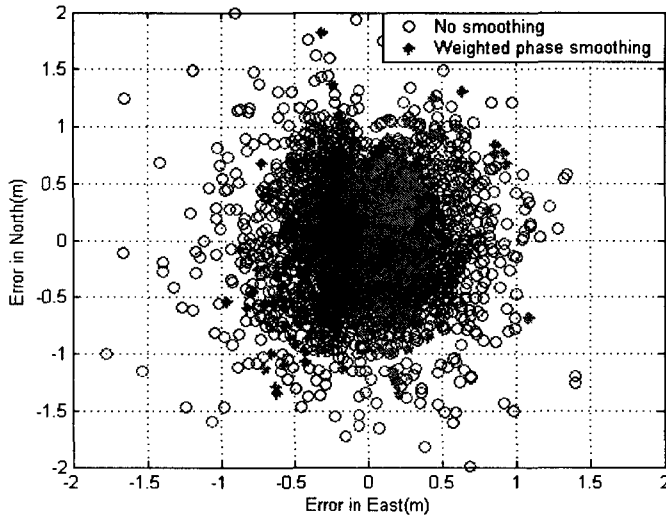


그림 9. 위상 가중 평활화 기법 적용 전·후의 수평·수직 변화 결과 비교.

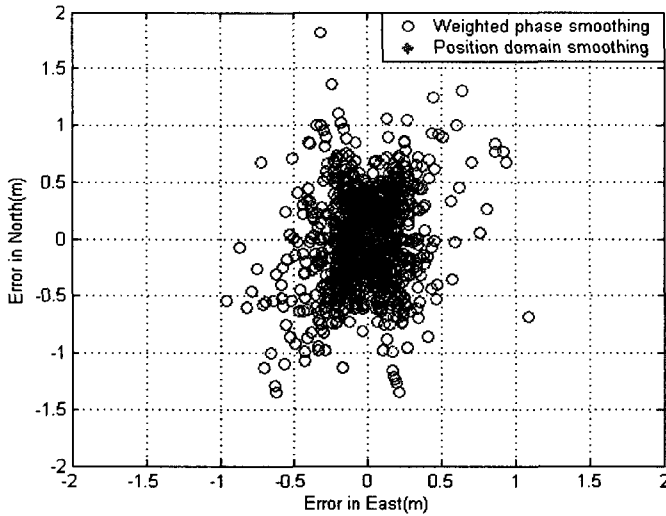


그림 10. 위상 가중 평활화와 위치 평활화의 수평·수직 변화 결과 비교.

있듯이 위성의 변화가 자주 일어나는 경우에는 위치 평활화 기법 적용이 보다 안정적인 결과를 산출할 수 있다.

장기선인 150km지점의 자료 처리결과, 표준 편차는 위상 가중 평활화 적용 이전에 1.149에서 적용 이후 1.017로 커다란 차이점이 없었고 그러나 위치 평활화 기법을 적용한 결과 0.1139로 많이 향상되었다.

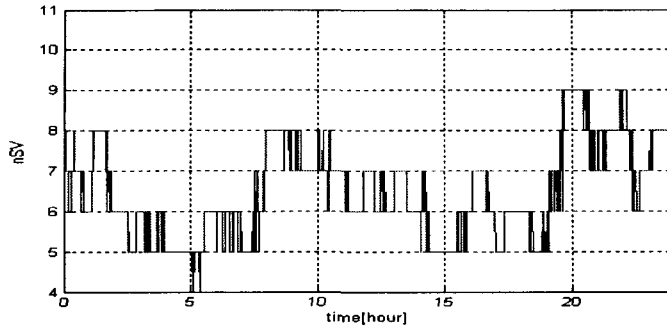


그림 11. 두 상시관측소(대전, 보현산)의 시간에 따른 공통 위성 수 변화.

표 1은 각 기선에 따른 자료 처리 결과와 자료 형태에 따른 결과를 각각 나타낸다. 서로 다른 기선·자료 처리 형태에 따른 평균 오차와 평균 오차에 대한 표준 편차를 서로 다르게 표기를 했으며 전체적으로 평균값에서는 커다란 차이점이 없으나 표준편차는 자료 처리 형태에 따라 많은 차이점을 보이고 있다. 자료 처리 결과를 보면 위치 평활화 기법 적용이 위상 가중 평활화 기법 적용 보다 안정적인 결과를 산출하였는데, 이것의 차이는 위상 가중 평활화 기법이 신호 끊김 현상과 같은 민감한 사항에 대해 영향을 많이 받기 때문이다.

#### 4. 결론 및 토의

GPS 관측 자료를 이용한 가중 평활화 기법 적용으로 L1 수신기만을 사용하는 상대측위에서도 1m 이내의 정밀도를 갖는 안정적인 결과를 얻을 수 있었다. 표 1의 자료 처리 결과에서 보듯이 비교적 중·장기선임에도 불구하고 대부분 각 성분별 평균 오차가 30cm 이내로 향상된 측위 정밀도를 보였으며 특히 이러한 측위 정밀도 향상과 함께 주목할 것은 표준 편차의 급격한 감소이다. 위상 가중 평활화 기법 적용 후 표준 편차는 적용 전보다 50% 이상 향상되었고, 위치 평활화 기법은 평균적으로 70~80%가 향상되었다.

다양한 상대 기선 처리와 서로 다른 관측 환경이 오히려 자료 처리에 많은 도움을 주었으며 향후 많은 분야에 적용 가능할 것으로 판단된다. 그러나 아직도 많은 부분에 대해 보완해야 될 점이 있다. 특히 실시간 응용에 있어서의 통신 문제 해결과 신호 끊김 등에 대한 반응 고려 그리고 비교적 안정적인 형태로 산출된 결과를 모호 정수 결정에 어떻게 응용하여 정밀한 측위 해를 산출할 것인지 많은 부분이 고려되어야 한다(Petrovski et al. 2000).

또한 대기 모델(이온층, 대류층)에 대한 보다 정밀한 모델 개발이 필수적이며, 위의 고려 사항들과 잘 접목이 된다면 충분히 L1 RTK의 측위 정밀도를 개선시킬 수 있을 것이다. 앞에서 언급하였듯이 위상 가중 평활화 기법은 모호 정수 결정으로 인한 결과 보다는 상대적으로 위치 결정 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 신호 끊김과 같은 현상에 민감하다는 유사성을 갖고 있지만, 본 논문에서는 그러한 부분을 위치 평활화 기법을 적용해 어느 정도 해결되었다고 판단된다. 앞으로 보다 향상된 위상 가중 평활화 기법과 위치 평활화 기법의 개발과 이들의 적절한 활용 방법에 대한 연구를 통해 더욱 향상된 측위 정밀도를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

표 1. 각 기선과 자료 처리 형태에 따른 결과 비교.

상대기선		자료처리방법					
		적용이전		위상 가중 평활화 기법 적용		위치 평활화 기법 적용	
5km	3D	0.3279	x: 0.1432	0.3261	x: 0.1116	0.3724	x: 0.1352
	mean(m)	±	y: -0.2591	±	y: -0.1909	±	y: -0.3102
	±	0.9162	z: 0.1410	0.3142	z: 0.2397	0.1105	z: 0.1556
	std(m)		x: 0.6365		x: 0.2081		x: 0.0814
			y: 0.5692		y: 0.1664		y: 0.0480
			z: 0.3323		z: 0.1665		z: 0.0572
10km	3D	0.3121	x: 0.1440	0.3691	x: 0.1114	0.4068	x: 0.2414
	mean(m)	±	y: -0.1380	±	y: -0.0527	±	y: -0.0620
	±	0.8799	z: 0.2420	0.4157	z: 0.3480	0.2042	z: 0.3216
	std(m)		x: 0.6039		x: 0.2438		x: 0.1256
			y: 0.5304		y: 0.2582		y: 0.1241
			z: 0.3581		z: 0.2162		z: 0.1027
30km	3D	0.1847	x: 0.0455	0.3296	x: 0.1327	0.2729	x: 0.0822
	mean(m)	±	y: -0.1326	±	y: -0.2466	±	y: -0.1632
	±	0.7739	z: 0.1203	0.2370	z: 0.1740	0.0984	z: 0.2028
	std(m)		x: 0.4989		x: 0.1283		x: 0.0470
			y: 0.4375		y: 0.1432		y: 0.0678
			z: 0.3983		z: 0.1386		z: 0.0537
40km	3D	0.1616	x: 0.0126	0.1834	x: 0.0438	0.2262	x: -0.0713
	mean(m)	±	y: 0.0655	±	y: 0.0742	±	y: 0.0976
	±	0.6375	z: 0.1473	0.1063	z: 0.1619	0.1233	z: 0.1912
	std(m)		x: 0.3559		x: 0.0648		x: 0.0969
			y: 0.3736		y: 0.0742		y: 0.0586
			z: 0.3745		z: 0.0402		z: 0.0489
150km	3D	0.3573	x: 0.1383	0.3751	x: 0.1123	0.3452	x: 0.0821
	mean(m)	±	y: 0.0837	±	y: -0.1046	±	y: -0.1563
	±	1.149	z: -0.3186	1.017	z: 0.3423	0.1139	z: -0.2967
	std(m)		x: 0.6128		x: 0.5223		x: 0.0817
			y: 0.6900		y: 0.6039		y: 0.0565
			z: 0.6846		z: 0.6300		z: 0.0558

## 참고 문헌

- Ben, K., Soon, H., & Poh, E. K. 2003, Preliminary Results of the Carrier-Smoothed Code Phase Differential GPS/Pseudolite System (Sydney: GPS Society)
- Erickson, C. 1992, IONGPS, 43, 753
- Fotopoulos, G., & Cannon, M. E. 2001, GPS Solutions, 4, 1
- Frei, E., & Beutler, G. 1990, Rapid static positioning based on the fast ambiguity resolution approach 'FARA' (Berlin: Springer-Verlag), pp.325-356
- Gao, Y., Li, Z., & McLellan, J. F. 1997, in Proceedings of the 11th International Technical Meeting

- of the Satellite Division of the Institute of Navigation (California: ION), pp.1305-1313
- Goad, C. C. 1990, JIN, 37, 3
- Hofman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. 1992, in GPS Theory and Practice (Wien: Springer-Verlag), pp.256-264
- Petrovski, I., Kawaguchi, S., Ishii, M., & Torirnoto, H. 2000, New Flexible Network-based RTK Service in Japan (Salt Lake City: ION), pp.289-296
- Schaer, S., Beulter, G., Rothacher, M., Brockmann, A., Wiget, A., & Wild, U. 1999, IAG Symposium of Positioning (Birmingham: IAG), pp.335-350
- Teunissen, P. J. G., & Kleusberg, A. 1997, GPS for Geodesy 2nd Edition (New York: Springer-Verlag), pp.233-245
- Trimble 1999, 4000SSi GPS Receiver User's Guide (California: Trimble Navigation Ltd.)
- Townsend, B., Lachapelle, G., Fortes, L. P., Melgard, T., Norbech, T., & Raquet, J. 1999, New Concepts for a Carrier Phase Based GPS Positioning Using a National Reference Station Network (California: ION NTM), pp.319-326