

論文

GPS 반송파의 시각차분 특성

유 호*, 이은성*, 이영재*, 지규인*, 남기욱**, 전향식**

Time Difference Characteristics of GPS Carrier Phase

Ho You*, Eunsung Lee*, Young Jea Lee*, Gyu-In Jee*,
Gi-Wook Nam** and Hyang-Sig Jun**

ABSTRACT

As one of the methods that determine position using GPS carrier phase without the resolution of integer ambiguity, the characteristics of the time difference is analyzed in this paper. When determining position by the needed accuracy, the difference time gap becomes an important factor. It is said that accuracy is improved as the difference time gap is getting large, and finally the centimeter level accuracy is achieved after a certain difference time gap. In this paper, the characteristics of the time difference is analyzed using real data and a new parameter is proposed to predict the resulting position accuracy. The difference time gap when position error is converged to the centimeter level is estimated with the proposed parameter.

초 록

GPS반송파 위상을 이용한 측위시 미지정수 결정없이 위치해를 구하는 방법 중 하나인 시각차분의 특성을 분석한다. 필요로 하는 정확도의 위치해를 구할 때, 시각차분을 이용하게 되면 차분 시간간격이 중요한 판단요소가 된다. 차분 시간간격이 클수록 정밀도는 향상되고 일정 차분간격 이후부터는 수cm의 일정한 정밀도를 유지한다고 알려져 있는데, 본 논문에서는 실제 데이터로 이러한 시각차분의 특성을 파악하고, 시각차분의 정밀도를 알 수 있는 새로운 파라미터를 제안한다. 제안된 파라미터로 위치오차가 수cm로 수렴할 때의 차분 시간간격을 추정함을 확인한다.

Key Words : GPS Carrier Phase, Time Difference (시각 차분), Difference Time Gap (차분 시간 간격)

1. 서 론

GPS(Global Positioning System)는 정밀한 위치의 계산 및 정확한 시각을 알아내는 시스템으로 C/A(Coarse/Acquisition) 코드나 반송파 위상을 이용한다. 반송파 위상을 사용하면 보다 정밀한 위

치측위를 할 수 있지만 GPS반 송파 측정치의 미지정수를 해결해야만 하는 문제가 있다[1]. 미지정수 결정 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되어왔고 아직까지도 효율적이고 빠른 결정을 위해 여러 기관에서 연구 중에 있다. 본 논문에서는 미지정수를 결정하지 않고 높은 위치정확도를 알 수 있는 방법 중 하나인 시각차분을 다룬다. 미지정수 결정없이 위치해를 구할 수 있다는 이점에도 불구하고, 시각차분은 실제 GPS를 이용한 측위시 잘 사용되지 않는다. 그 이유는 GPS 반송파의 시각차분은 시각 t_1 과 t_2 의 수신기에서 같은 위성으로부터 측정된 신호에 대한 차분이므로 GPS 반송파의 자기상관

† 2005년 4월 6일 접수 ~ 2005년 5월 4일 심사완료

* 정회원, 건국대학교 차세대혁신기술연구원
연락처, E-mail : yonglee@konkuk.ac.kr

서울시 광진구 화양동 1번지

** 정회원, 한국항공우주연구원

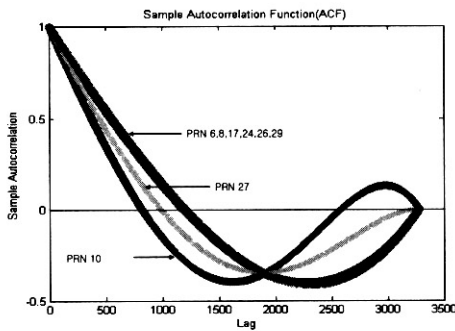


그림 1. GPS 반송파 위상의 자기상관도

(Autocorrelation)에 많은 영향을 받는다. 그림 1은 본 논문에서 쓰인 실제 GPS반송파 위상의 자기상관도를 나타낸다. 그림 1의 결과같이 일반적으로 약 1시간정도의 일정시간이 지나야지만 반송파 위상의 자기상관도가 적은 데이터를 얻을 수 있고 그 만큼 시각차분의 효과를 볼 수 있다.

본 논문에서는 이러한 시각차분의 특성을 수식전개 과정을 통해서 규명하고 실제 데이터로 실험함으로써 그 효용성을 입증한다.

II. 차분의 수학적 모델링과 특성

시각차분은 많은 차분기법 중의 하나로써 먼저 차분기법에 대하여 간략하게 살펴보면, GPS반송파 위상을 이용한 정밀측위시 차분기법은 두 개의 다른 관측환경에서의 측정치를 서로 차분함으로써 공통 오차나 미지정수를 제거하는 것이다. GPS측정값 차분기법은 코드에도 적용할 수 있으나, 차분에 의한 수신기 측정잡음의 증폭으로 많이 사용되지는 않는다. 반송파 위상 차분기법에는 크게 세가지로 수신기간, 위성간, 시각간 차분으로 분류된다[2].

각각의 차분기법은 그림 3과 같이 단일, 이중, 삼중차분의 형태를 가지고 있다. 본 논문에서 말하는

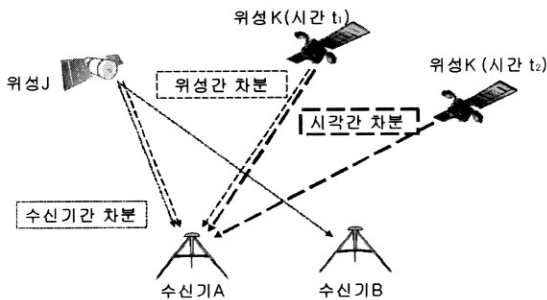


그림 2. 차분기법의 종류

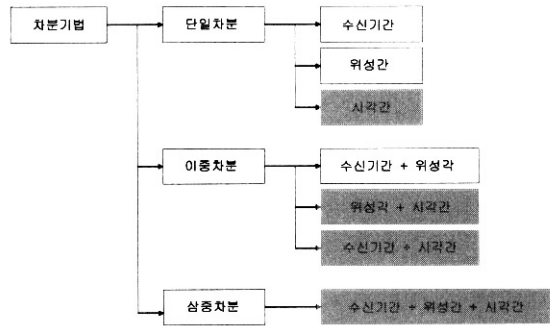


그림 3. 차분의 여러 형태

시각차분은 시각간 차분을 이용한 형태, 즉 단일시각차분, 위성+시각 이중차분, 수신기+시각 이중차분, 그리고 세가지 차분을 동시에 적용한 삼중차분을 말한다. 이 4가지의 형태의 시각차분에서 각각 모델링을 세우고 특성을 파악한다[3].

2.1 단일시각차분

GPS 반송파 측정식은 (1)과 같다. 이 측정방정식으로 단일시각차분 방정식을 유도한다[2].

$$\Phi_A^j(t) = \rho_A^j(t) + \lambda N_A^j + cB_A^j(t) + I_A^j(t) + T_A^j(t) + M_A^j(t) \quad (1)$$

식(1)을 선형화하면

$$l_A^j(t) = \Phi_A^j(t) - \rho_{0A}^j(t) = H_A^j(t)\Delta x(t) + \lambda N_A^j + cB_A^j(t) + I_A^j(t) + T_A^j(t) + M_A^j(t) \quad (2)$$

와 같이 나타 낼 수 있다.

여기서, Φ = GPS 반송파 위상

ρ_0 = 위성과 선형화 기준점까지의 거리

H = 측정행렬

Δx = 기저선 벡터

λ = GPS 반송파 파장

N = 미지정수

c = 광속

B = 수신기 시계 바이어스오차

I = 전리층 지연 오차

T = 대류권 지연 오차

M = 다중경로 오차

\square_A = 안테나 A 관련 항

\square^j = 위성 j 관련 항

식(1)에서 정적인 위치일 때에는 $\Delta x(t)$ 는 Δx 가 되고 시각간 차분을 위해 $t + dt$ 시각에서 t 시각을

차분하여 정리하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} l'_A(t+dt) - l'_A(t) &= (H'_A(t+dt) - H'_A(t))\Delta x \\ &+ cB'_A(t+dt) - cB'_A(t) + l'_A(t+dt) - l'_A(t) \\ &+ T'_A(t+dt) - T'_A(t) + M'_A(t+dt) - M'_A(t) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, 짧은 시간동안에는 전리층 지연오차와 대류권 지연오차가 같고 다중경로 오차가 없다고 가정하면 식(4)과 같이 간략하게 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} l'_A(t+dt) - l'_A(t) &= (H'_A(t+dt) - H'_A(t))\Delta x \\ &+ cB'_A(t+dt) - cB'_A(t) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} l'_A(t+dt) - l'_A(t) \\ \vdots \\ l''_A(t+dt) - l''_A(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H'_A(t+dt) - H'_A(t) \\ \vdots \\ H''_A(t+dt) - H''_A(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta cB \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(4)에서 보면 시간간 차분을 함으로써 단순히 미지정수 N 은 소거됨을 알 수 있다.

$$\Delta x = (G^T G)^{-1} G^T L \quad (6)$$

식(5)의 왼쪽행렬을 L 로, 오른쪽 행렬을 G 로 치환해서 식(6)과 같이 최소사승법으로 위치해를 구한다.

2.2 위성+시각간 이중차분

단일차분 기법을 서로 결합함으로써 이중차분을 정의할 수 있다. 이중차분에서 실제로는 수신기+위성간 이중차분으로 사용되고 시각간의 결합 이중차분은 측정시간이 길어야 한다는 단점으로 잘 사용되지 않는다. 본 논문에서는 위성+시각간, 수신기+시각간 이중차분을 살펴보고 각 이중차분이 갖은 특성을 알아본다. 먼저 위성+시각간 이중차분의 방정식을 반송파 측정방정식 식(1)으로부터 유도하면 다음 식(7)이 된다.

$$\begin{aligned} l'_A(t+dt) - l'_A(t) - l^k_A(t+dt) + l^k_A(t) \\ = (H'_A(t+dt) - H'_A(t) - H^k_A(t+dt) + H^k_A(t))\Delta x \end{aligned} \quad (7)$$

시각간 차분으로 미지정수가 소거되고 위성간 차분으로 수신기 시계바이어스오차가 제거됨을 알 수 있다.

2.3 수신기+시각간 이중차분

위성간 시각간 이중차분과 같이 반송파 측정방정식으로부터 수신기+시각간 이중차분을 유도해보면 다음 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} l'_A(t+dt) - l'_A(t) - l'_B(t+dt) + l'_B(t) \\ = (H'_A(t+dt) - H'_A(t) - H'_B(t+dt) + H'_B(t))\Delta x \\ + cB'_A(t+dt) - cB'_A(t) - cB'_B(t+dt) + cB'_B(t) \end{aligned} \quad (8)$$

수신기 + 시각간 이중차분은 크게 미지정수와 위성의 궤도오차를 제거한다. 짧은 시간동안 전리층 오차, 대류권 오차가 같다는 가정이 없어도 공통 오차 성분을 제거할 수 있다.

2.4 삼중차분

같은 방식으로 반송파 측정방정식 (1)으로부터 모든 차분을 이용하는 삼중차분의 방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} l'_A(t+dt) - l^k_A(t+dt) - l'_B(t+dt) + l^k_B(t+dt) \\ - l'_A(t) + l^k_A(t) + l'_B(t) - l^k_B(t) \\ = (H'_A(t+dt) - H^k_A(t+dt) - H'_B(t+dt) + H^k_B(t+dt) \\ - H'_A(t) + H^k_A(t) + H'_B(t) - H^k_B(t))\Delta x \end{aligned} \quad (9)$$

위성+시각간 이중차분같이 미지정수와 수신기 시계오차가 제거되었음을 알 수 있다. 수신기간 차분도 더해짐으로 공통오차들도 소거가 되었다. 이렇게 삼중차분을 하면 대부분의 일반적인 오차들은 제거할 수 있지만, 수신기 잡음이나 다중경로오차 (Multipath Error)와 같이 공통오차가 아닌 경우는 제거될 수 없다.

III. 실험 결과 및 분석

각각의 시각차분 수학적 모델링을 통한 특성들을 알아보았다. 본 절에서는 실제데이터를 가지고 2절에서 설명한 시각차분들의 특성들과 비교하고 분석한다.

사용된 실제 데이터는 정적인 위치에서 얻었고 기준국 위치는 이동국에서 북서쪽으로 94m, 고도는 5.1m 높은 지점에서 관측하였다.

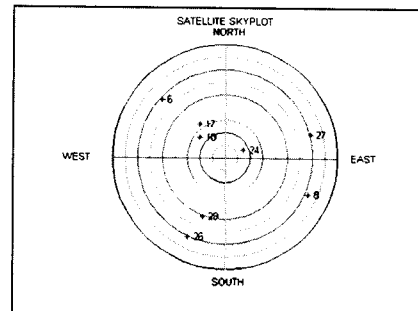


그림 4. 이동국 관측위성 Sky

관측일시: GPS Week (1256),
 Sec (40830~44110)
 관측위치: 건국대학교 공과대학 옥상
 관측위성: 8개(그림3과 같이 PRN 6, 8, 10, 17, 24,
 26, 27, 29번 위성들이 관측됨)
 사용된 수신기: Novatel Oem4 수신기

3.1 시각차분 실험 및 특성 분석

그림 5~8의 가로축은 시간간격(Differenced Time)을 나타내고 세로축은 시간간격에 따른 위치 오차를 나타낸다. 실험 결과는 고도RMS와 수평면 RMS로 나타냈다.

단일시각차분 결과인 그림 4에서 보면 시간간격이 증가할수록 수평면, 고도RMS가 1~2m정도 위치오차를 나타낸다. GPS코드를 이용한 측위보다는 정밀도가 높지만 반송파의 정밀도에는 못 미침을 알 수 있다. 그런데 위성+시각간 이중차분 결과인 그림 5를 보면 오히려 단일시각차분 결과보다 정밀도가 떨어지게 나온다. 단순히 미지정수만 소

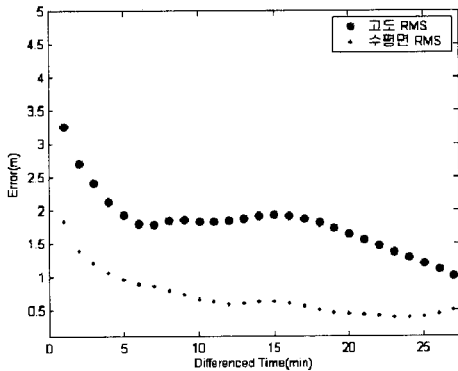


그림 5. 단일시각차분에서 시간간격에 따른 오차변화량

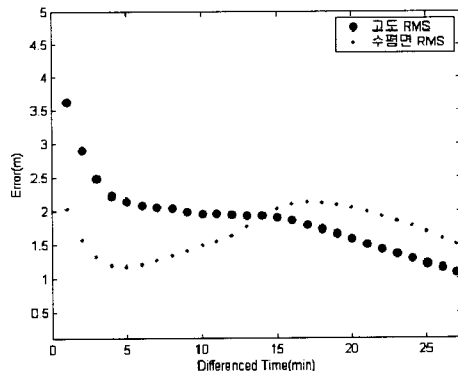


그림 6. 위성+시각간 이중차분에서 시간간격에 따른 오차변화량

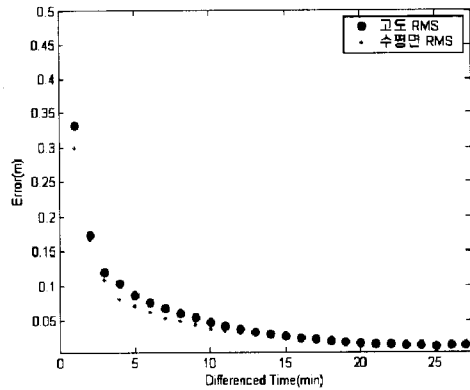


그림 7. 수신기+시각간 이중차분에서 시간간격에 따른 오차변화량

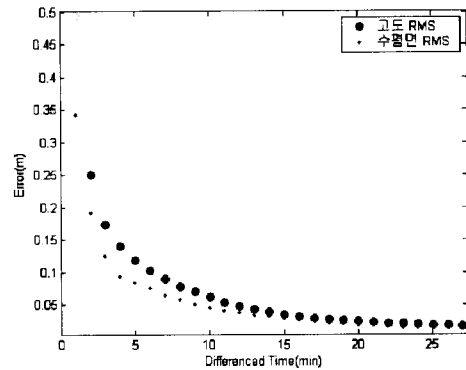


그림 8. 삼중차분에서 시간간격에 따른 오차변화량

거하는 단일시각차분보다, 미지정수와 수신기의 시계오차를 소거하는 위성+시각간 이중차분의 위치오차가 큰 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다.

반송파 측정식(1)에서 미지정수를 알고 있고 수신기 시계오차를 제외한 다른 오차는 측정된 반송파 위상에 묻어있다는 가정하에 식(10)과 같이 간략하게 정리할 수 있다.

$$\lambda \Phi^i(t) - \lambda N^i = \rho^i(t) + c \Delta \delta^i(t) \quad (10)$$

여기서 i 는 관측 위성 인덱스이다. ${}^i(t)$ 를 테일러 정리 통해서 선형화하면,

$$\lambda \Phi^i - \lambda N^i = \hat{\rho}^i - \frac{\hat{x}^i - \hat{x}_u}{\hat{r}} \Delta x_u - \frac{\hat{y}^i - \hat{y}_u}{\hat{r}} \Delta y_u - \frac{\hat{z}^i - \hat{z}_u}{\hat{r}} \Delta z_u + c \Delta \delta^i \quad (11)$$

여기서, $\hat{\rho}^i$ 를 좌변으로 이항해서

$Y = \lambda \Phi^i - \lambda N^{i-} \hat{\rho}^i$ 로 치환하고 정리하면,

$$Y = a'_x \Delta x_u + a'_y \Delta y_u + a'_z \Delta z_u + c \Delta \delta^i \quad (12)$$

여기서,

$$\left(a'_x = -\frac{x' - \hat{x}_u}{\hat{r}}, a'_y = -\frac{y' - \hat{y}_u}{\hat{r}}, a'_z = -\frac{z' - \hat{z}_u}{\hat{r}} \right)$$

$$Y = H \Delta X \quad (13)$$

여기서, $H = [a'_x \ a'_y \ a'_z \ 1]$,

$$\Delta X = [\Delta x \ \Delta y \ \Delta z \ c \Delta \delta]$$

최소자승법으로 ΔX 을 추정하면 위치해 뿐만 아니라, 수신기 시계오차까지 계산되어진다. 그래서 단일시각차분시 이미 수신기 시계오차가 제거된 위치를 계산하므로 위성+시각간 이중차분의 효과를 갖게 된다. 그러나 위성+시각간 이중차분은 차분을 두 번 함으로써 소거되지 않은 오차들은 단일시각차분 오차보다 더 증폭되므로 오히려 단일시각차분보다 정밀도가 떨어지는 결과가 된다.

수신기+시각간 이중차분시 공통오차를 소거함으로써 단일시각차분과 위성+시각간 이중차분보다 높은 정밀측위를 함을 알 수 있다. 그러나 삼중차분시, 수신기+시각간 이중차분과 비교할 때 큰 차이를 나타내지 않지만 정밀도가 수신기+시각간 이중차분보다 떨어진다. 그 이유는 위성+시각간 이중차분이 단일시각차분보다 정밀도 떨어지는 이유와 같다. 즉, 수신기+시각간 이중차분시 수신기 시계오차를 제거함으로써 삼중차분의 위성간 차분 효과를 나타내기 때문이다. 만약, 반송파 측정식을

$$\Phi(t) = \frac{1}{\lambda} \rho(t) + N \text{ 으로 놓으면, 반송파 관측 행렬은 } H' = [a'_x \ a'_y \ a'_z], \text{ 이에 따른 상태 벡터는 } \Delta X' = [\Delta x \ \Delta y \ \Delta z] \text{ 와 같이 되어, 위성간 차분이 되었을 때 수신기 시계 바이어스 오차성분을 소거됨을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서는 이러한 차분 과정을 통해 시각 바이어스를 소거하는 방식을 이용하지 않고 있으므로 좀 더 일반적인 식(1)과 같은 반송파 측정식을 이용하였다.}$$

그림 7의 수신기+시각간 이중차분 실험 결과를 보면 단일시각차분과 위성+시각간차분 이중차분과 비교해볼 때 현저하게 위치정밀도가 높아 짐을 알 수 있다. 이는 기준국 수신기의 설치에 따른 앞에 설명한 여러 오차를 제거하기 때문이다. 그러나 삼중차분의 결과인 그림 8를 보면 단일시각차분과 위성+시각간차분 이중차분보다는 높은 정확도를

갖지만 수신기+시각간 이중차분보다는 약간 낮은 정밀도가 낮음을 알 수 있다. 그 이유는 단일시각차분과 위성+시각간 이중차분의 관계와 같다. 즉, 수신기+시각간 이중차분과 비교해볼 때, 삼중차분의 위성간 차분 효과가 그 효력을 발휘하지 않기 때문이다.

IV. TDDOP

GPS 위성들은 항상 움직이고 있으므로 구해지는 위치의 정확도는 시간과 장소에 따라 달라진다. 특히 채널 수가 적은 수신기를 사용하는 경우에는 보이는 위성 중 어떤 위성을 선택하여 위치를 구하는가에 따라서 정확도가 달라지게 된다. DOP (Dilution of Precision)은 이러한 GPS의 특성을 대변해 주는 무차원의 계수이다. 즉, 위성들의 상대적인 기하학이 위치결정에 미치는 오차를 나타낸다. 가장 일반적인 DOP는 Geometric DOP (GDOP) 이고 이외에, Position DOP (PDOP), Horizontal DOP (HDOP), Vertical DOP (VDOP) 등이 있다. 다음 식 (14)은 DOP을 표현하는 식이다[2].

$$DOP = \sqrt{\text{trace}(H^T H)^{-1}} \quad (14)$$

여기서 H 는 측정방정식 식(2)의 관측행렬이다.

4.1 TDDOP의 정의

시각차분을 이용한 정밀측정시 1시간 시간간격으로 측위를 해야한다고 알려져 있다. 이러한 사실을 정량적으로 설명하기 위해서, 본 논문에서는 다음과 같이 TDDOP (Time Difference Dilution of Precision)를 제안한다.

$$TDDOP = \sqrt{\text{trace}(G^T G)^{-1}} \quad (15)$$

여기서 G 는 식(5)에서와 같이 단위행렬 I 이 포함된 측정행렬 H 이다. 즉, H 가 위성배열의 함수라면, TDDOP에서 G 는 위성배열의 변화에 대한 함수이다. 일반적인 DOP은 다음 식(16)과 같이 위치오차에 깊이가 관여해 있음을 보여준다[4].

$$\sigma_p = DOP \times \sigma_m \quad (16)$$

여기서, σ_p 는 위치오차, σ_m 는 측정오차이다. 차분형태에 따라 σ_m 는 다음과 같이 쓰여진다.

$$\sigma_{m1} = \sqrt{2} \sigma_m, \sigma_{m2} = 2 \sigma_m, \sigma_{m3} = 2\sqrt{2} \sigma_m \quad (17)$$

아래첨자 $m1$ 은 단일차분시, $m2$ 는 이중차분시, $m3$ 는 삼중차분시 일 때이고, σ_m 는 일반적인 오차들이 제거된 상태에서 약 3mm정도이다. 식(17)에서

차분이 될 때마다 계수가 커지는 것은 차분으로 통한 비공통오차인 잡음이 증폭하기 때문이다. 일반적인 오차들이 제거된 시각차분은 수신기+시각 이중차분과 삼중차분이고, 이 시각차분들을 TDDOP 관점에서 다시 정리하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_{p(m2)} &= TDDOP \times \sigma_{m2} \\ \sigma_{p(m3)} &= TDDOP \times \sigma_{m3} \end{aligned} \quad (18)$$

만약 5cm 이내 정밀도의 측위를 한다고 하면, TDDOP 은 수신기+시각 이중차분시 8.3333, 삼중차분시 5.8926 이하의 값을 가져야 한다. 그리고 식 (18)이 식 (16)과 같은 경향을 가지고 있다면, 요구하는 측위정도에 따라 차분시간간격을 알 수 있고 필요한 관측시간간격을 예측가능 할 것이다.

4.2 TDDOP과 시각차분과의 관계

TDDOP의 값에 따라 정밀도를 예측할 수 있는 지, 수신기+시각 이중차분과 삼중차분을 가지고 TDDOP과 시각차분과의 관계를 살펴본다.

그림 11과 12에서 TDDOP과 시각차분의 그래프

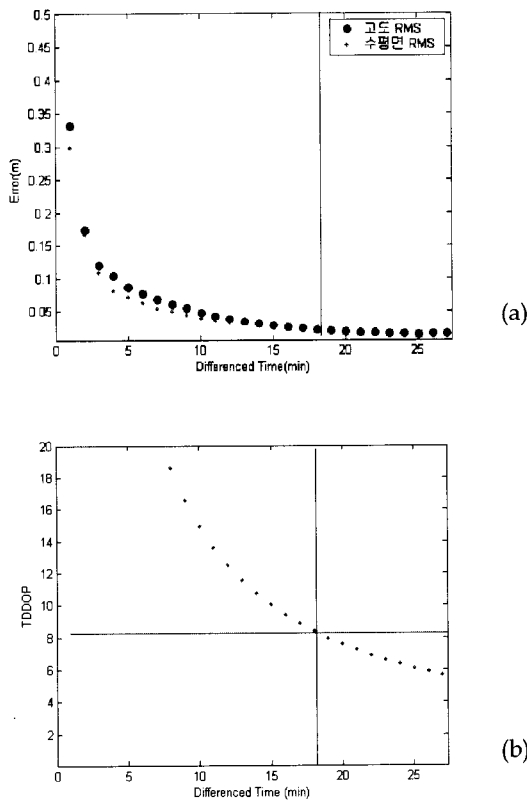


그림 11. 수신기+시각 이중차분시 차분시간간격에 따른 위치오차값(a)과 TDDOP(b)

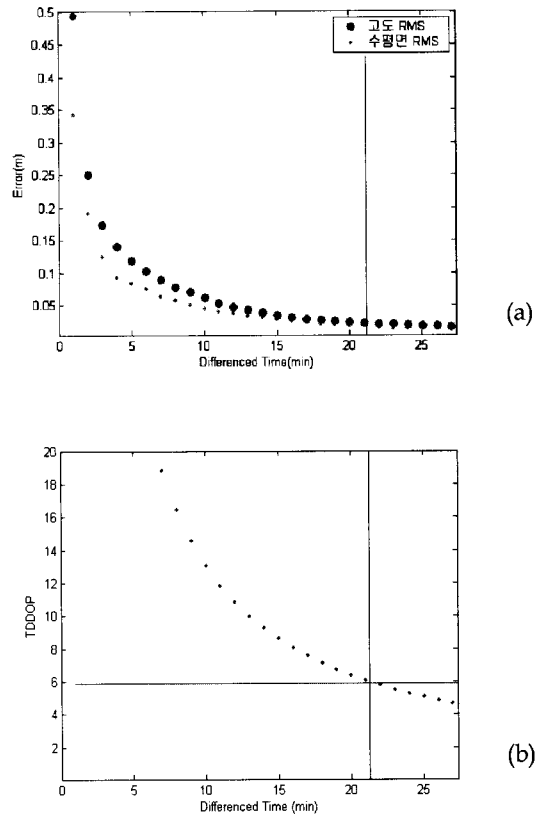


그림 12. 삼중차분시 차분시간간격에 따른 위치오차값(a)과 TDDOP(b)

가 같은 경향을 가짐을 알 수 있다. 시각차분의 위치해나 TDDOP의 수치는 같은 측정치변화를 행렬 G에서 나왔기 때문이다. 그림 11의 오른쪽 그림은 수신기+시각 이중차분의 TDDOP를 나타내는데 TDDOP값이 8.3333일 때 차분시간간격이 약18분이다. 그림 11의 왼쪽그림에서 차분시간간격이 18분 이상일 때에 수평면, 고도 위치오차를 보면 5cm 이내의 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 그림 12의 삼중차분을 보면 TDDOP이 5.8926이하 일 때, 차분시간간격은 22분 이상이 필요하고 위치오차는 5cm이내로 수렴함을 알 수 있다.

GPS 반송파를 이용한 측위시, 정밀한 측위를 위치오차가 5cm 이내라고 정의한다면 수신기+시각 이중차분과 삼중차분시 차분시간간격이 30분 이내로 정밀측위가 가능하다. 또한 기존의 적어도 1시간 정도의 차분시간이 필요하다는 막연한 개념보다 적은 차분시간으로도 가능함을 보여 주고 있으며, TDDOP이 적당한 차분시간을 결정함을 알 수 있다.

V. 결 론

GPS반송파 위상을 이용한 측위시 미지정수 결정은 풀기 힘든 문제이지만, 본 논문에서는 미지정수 결정없이 위치해를 알 수 있는 방법의 하나인 시각차분에 대하여 알아보았다. 시각차분은 일정시간이 지나야지만 정밀 측위를 할 수 있고 그 차분시간간격마저 불투명하게 알려져 있어, 현재까지 GPS를 이용한 측위시 관심 밖의 대상이었다.

본 논문에서는 이러한 시각차분의 특성을 정확하게 규명하기 위하여, 시각차분의 개념을 정리하고 각각의 시각차분에 대하여 특징을 알아보았다. 단일시각차분은 단순히 미지정수를 제거만을 제거하지만 GPS 코드 보다 높은 정밀도를 나타내었고, 위성+시각간 차분은 미지정수와 수신기 시계오차를 제거하지만 단일시각차분보다 낮은 정확도를 나타내었다. 이는 위성간 차분의 효력이 상쇄되고 차분에 따른 비공통오차의 증폭임을 확인하였다. 수신기+시각간 이중차분은 여러 공통오차를 소거함으로써 다른 시각차분보다 높은 정확도를 나타내었지만, 이에 반해 삼중차분은 수신기+시각간 이중차분보다 낮은 정확도를 나타내었다. 그 이유는 단일시각차분과 위성+시각간 이중차분의 관계와 같음을 알았다.

막연하게 알려져 있는 차분시간간격을 DOP의 개념을 이용한 TDDOP를 제시함으로써 차분시간간격에 따른 각각의 시각차분의 정확도를 알 수 있

었고, TDDOP과 시각차분과의 연관성을 실제 데이터로 증명하였다. 실시간 정보를 요구하지 않는 정적 정밀측위의 경우에는 TDDOP을 이용해서 차분시간 간격을 효율적으로 정할 수가 있다. 또한 정밀 측위를 위해 다른 많은 알고리즘들이 사용되고 있지만 컴퓨터 메모리에 저장된 만큼의 데이터만큼 시각차분의 정밀도가 높아지므로 비상사용으로도 사용할 수 있다.

후 기

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심기술개발사업 "항공용 위성항법시스템 기반기술 개발"에 의해 연구비 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) B. Hofmann-Wellenhof, H.Lichtenegger, and J.Collins "GPS Theory and Practice" Springer Wien NewYork.
- 2) Alfred Leick. "GPS Satellite surveying third edition" John Wiley&Sons.
- 3) 강준목, 정용식, 김홍진, 최중현, "GPS 반송파 위상의 차분법에 의한 절대위치 결정" 제3차 GPS workshop 1996.
- 4) Gilbert Strang, Kai Borre "Linear Algebra, Geodesy, and GPS" Wellesley-Cambridge Press.