

# Epoch-by-epoch GNSS 정밀 측위에서 실수해의 특성

## Characteristics of the Float Solutions in Epoch-by-epoch GNSS Precise Positioning

한 덕 희, 박 찬 식\*, 황 동 환, 이 상 정  
(Deokhee Han, Chansik Park, Dong-Hwan Hwang, and Sang-Jeong Lee)

**Abstract:** This paper describes characteristics of the float solutions of epoch-by-epoch GNSS precise positioning. It is shown that the accuracy of the floating solutions which are obtained using both code and carrier phase measurements are same as that of the code measurements only solution. It implies that to get more accurate floating position, the quality of code measurements are more important than that of carrier phase measurements. The results are expanded to multiple frequencies applications to get the same conclusions.

**Keywords:** floating solution, GNSS, code, carrier phase

### I. 서론

GNSS (Global Navigation Satellite System)은 SoS (System of System)으로 이미 항공, 해양, 차량항법, 네트워크의 시각동기 등 많은 시스템에서 필수적으로 사용되는 기반 시스템이다[1,2]. 현재 많은 GNSS 응용에서 코드측정치만을 이용해 수 평면에서 수 m의 정확도로 위치를 구할 수 있다. 더 정밀한 위치를 필요로 하는 정밀 항법, 측지, 측량 등의 응용에서는 코드측정치뿐만 아니라 반송파 위상측정치를 동시에 이용하여 mm ~ 수 cm의 정확도로 위치를 얻는다. 그러나 반송파 위상측정치를 이용하기 위해서는 미지정수 결정이 필요하며, 이는 복잡한 계산을 요구하는 미지정수 검색과정을 거쳐야 한다[3-5]. 특히 구해진 미지정수의 검증을 위해서 추가의 측정치를 필요로 하므로 많은 시간이 소요되어 실시간 구현이 쉽지 않다. 이에 따라 일부 수신기에서는 미지정수가 정수라는 제약조건을 완화한 상태에서 구한 실수해를 사용하며 수십 cm의 정확도로 위치를 구할 수 있음을 보였다[6].

그러나 이 결과는 정밀한 반송파 위상측정치의 영향으로 실수해의 정확도가 향상된 것으로 잘못 해석될 수 있다. 본 논문에서는 모든 epoch 측정치를 한꺼번에 사용하는 후처리(batch) 기법과는 달리 실시간 항법에서와 같이 매 epoch 측정치를 사용하는 epoch-by-epoch 기법에서는 반송파 위상 측정치의 해상도가 아무리 좋아도 코드측정치의 해상도가 나쁜 경우에는 실수해의 정확도를 향상시킬 수 없음을 보였다.

본 논문에서는 매 epoch 구해진 코드와 반송파 위상측정치를 이용하여 구한 실수해의 정확도를 해석하고 그 한계를 보인다. 이 결과로부터 실수해 사용시의 유의점과 정확도 향상을 위한 방법을 제시하였다. 또한 결과를 다중주파수인 경우로 확장하여 같은 결과를 얻음을 확인하였다.

### II. GNSS 정밀 측위 과정

먼저 매 epoch 새로운 코드와 반송파 위상측정치를 사용하는 정밀 측위 과정을 소개하고 실수해와 정수해의 정확도 차이를 소개한다.

#### 1. GNSS 측정치

GNSS를 이용하는 정밀 측위에서는 공통 오차를 제거하기 위하여 이중 차분된 측정치를 사용하여 해를 구하는 것이 일반적이다[7]. 식 (1)에 이중 차분된 코드( $\Psi$ )와 반송파 위상 측정치( $\Phi$ )를 나타내었으며, 이들 측정치는  $(m+1)$ 개의 위성이 관측된다면  $(m \times 1)$  차원의 벡터이다.

$$\begin{aligned} \Psi &= r + v \\ \Phi &= r + \lambda a + w \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $r$ 는 이중차분된 위성과 수신기간 거리,  $a$ 는 이중차분된 미지정수,  $\lambda$ 는 파장을 나타낸다.  $v$ 는 이중차분된 코드 측정오차를 나타내며 평균은 0, 분산은  $\sigma_p^2 Q$ 인 AWGN (Additive White Gaussian Noise)이고,  $w$ 는 이중차분된 반송파 위상 측정오차를 나타내며 평균은 0, 분산은  $\sigma_s^2 Q$ 인 AWGN을 나타낸다.  $Q = D \cdot D^T$ 는 이중차분 연산자  $D$ 의 곱 형태 나타난다[7]. 차분되기 전의 GNSS 측정오차에는 수신기 시계오차, 이온층 지연, 대류권 지연 등 AWGN으로 보기 힘든 오차가 존재하지만 이들 오차는 이중차분에 의하여 제거되고 다중경로와 수신기 측정잡음만 남는다. 다중경로 오차는 수신 환경에 영향을 받으며 초크링이나 신호처리 기법을 이용하여 제거할 수 있다[1,2]. 따라서 본 논문에서는 다중경로 오차는 무시하며, 남은 오차는 수신기 측정잡음으로 이는 AWGN으로 가정할 수 있다.

수신기에 따라 측정오차의 크기가 달라지며 일반적인 항법용 수신기에서는  $\sigma_p, \sigma_s$ 가 각각 3m, 2mm 정도이며, 측지용 수신기인 경우 20cm, 2mm 정도이다[8].

#### 2. 실수해

식 (1)의 측정치를 선형화하여 다음 식 (2)를 얻는다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 8. 15., 수정: 2009. 9. 28., 채택확정: 2009. 10. 25.

한덕희, 박찬식: 충북대학교 전자정보대학

(hdhpob@cbnu.ac.kr/chansp@cbnu.ac.kr)

황동환, 이상정: 충남대학교 전기정보통신공학부

(dhwang@cnu.ac.kr/cesjl@cnu.ac.kr)

※ 이 논문은 한국항공우주연구원의 “육상교통 환경에서 위성항법 활용을 위한 인프라 구성기술 연구” 과제의 지원으로 연구되었음.

$$\begin{aligned} \rho &\equiv \Psi - r_0 = Hb + v \\ l &\equiv \Phi - r_0 = Hb + \lambda a + w \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $r_0$ 는 위성의 위치와 선형화 기준점을 이용하여 계산한 이중차분된 거리,  $H$ 는 선형화 기준점에서 위성으로의 시선벡터의 단일차분으로 구한 행렬,  $b$ 는 기준안테나에서 사용자 안테나 간의 기저선 벡터를 나타낸다[5,6]. 식 (2)는 식 (3)의 벡터 형식으로 나타낼 수 있고, 다시 식 (4)의 간략한 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} l \\ \rho \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H \\ H \end{bmatrix} b + \begin{bmatrix} \lambda l \\ 0 \end{bmatrix} a + \begin{bmatrix} w \\ v \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$y = Bb + Aa + \varepsilon = \begin{bmatrix} B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} + \varepsilon \quad (4)$$

측정잡음의 특성은 식 (5)로 나타난다.

$$\varepsilon \sim N(0, \begin{bmatrix} \sigma_l^2 Q & 0 \\ 0 & \sigma_\rho^2 Q \end{bmatrix}) \equiv N(0, Q_y) \quad (5)$$

식 (4)에  $a$ 가 정수라는 조건을 무시하고 가중 최소자승법 (weighted least squares)을 적용하면 식 (6) 실수해와 식 (7)의 공분산을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = ([B \ A]^T Q_y^{-1} [B \ A])^{-1} [B \ A]^T Q_y^{-1} y \quad (6)$$

$$\text{cov} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_b & Q_{b\hat{a}} \\ Q_{\hat{a}b} & Q_{\hat{a}} \end{bmatrix} = ([B \ A]^T Q_y^{-1} [B \ A])^{-1} \quad (7)$$

### 3. 정수해

식 (6)의 실수해와 식 (7)의 공분산을 이용하여 최종 정수해를 구한다. 정수해를 구하기 위해서는 미지정검색 기법[3-7]이 사용되며, LAMBDA (Least Squares Ambiguity Decorrelation Adjustment)나 ARCE (Ambiguity Resolution with Constraint Equation) 등이 대표적인 기법이다.

구해진 정수해 미지정수  $\hat{a}$ 를 이용하여 식 (8)의 최종 위치  $\hat{b}$ 와 식 (9)의 최종 공분산  $Q_{\hat{b}}$ 을 얻는다.

$$\hat{b} = \hat{b} - Q_{b\hat{a}} Q_{\hat{a}}^{-1} (\hat{a} - \hat{a}) \quad (8)$$

$$Q_{\hat{b}} = Q_b - Q_{b\hat{a}} Q_{\hat{a}}^{-1} Q_{\hat{a}b} \quad (9)$$

식 (9)에서 실수해를 이용한 경우의 위치정확도에 비하여 정수해를 이용하면  $Q_{b\hat{a}} Q_{\hat{a}}^{-1} Q_{\hat{a}b}$ 만큼의 정확도가 향상됨을 확인할 수 있다. 즉 정수 미지정수의 결정에 의하여 위치 정확도의 향상을 얻을 수 있다.

### III. 실수해의 정확도

미지정수의 결정은 실수해의 정확도에 영향을 받으며 많은 위성이 관측될수록, 측정치의 정확도가 높을수록, 더 많은 시간 동안 측정치를 획득할수록, 더 많은 주파수를 이용할수록 실수해의 공분산을 줄일 수 있다[9]. 특히 코드측정만을 사용하는 경우에 비하여 반송파 위상측정치를 동시에 사용하는 경우 높은 정밀도의 반송파 위상측정치의 영향으로 구

해진 위치의 정확도도 향상될 것으로 기대할 수 있다. 그러나 이 장에서는 반송파 위상측정치의 추가가 코드측정만을 이용하는 경우의 실수해와 차이가 없음을 밝혔다. 먼저 식 (7), (6)을 정리하면 식 (10)과 (11)을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} Q_b & Q_{b\hat{a}} \\ Q_{\hat{a}b} & Q_{\hat{a}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sigma_l^2 + \sigma_\rho^2) H^T Q^{-1} H & \lambda \sigma_l^2 H^T Q^{-1} \\ \lambda \sigma_l^2 Q^{-1} H & \lambda^2 \sigma_l^2 Q^{-1} \end{bmatrix}^{-1} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_b & Q_{b\hat{a}} \\ Q_{\hat{a}b} & Q_{\hat{a}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_l^2 H^T Q^{-1} & \sigma_\rho^2 H^T Q^{-1} \\ \lambda \sigma_l^2 Q^{-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ \rho \end{bmatrix} \quad (11)$$

식 (10), (11)로부터 다음을 얻는다.

$$\begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sigma_l^2 Q_b H^T Q^{-1} + \lambda \sigma_l^2 Q_{b\hat{a}} Q^{-1}) l + \sigma_\rho^2 Q_b H^T Q^{-1} \rho \\ (\sigma_l^2 Q_{\hat{a}b} H^T Q^{-1} + \lambda \sigma_l^2 Q_{\hat{a}} Q^{-1}) l + \sigma_\rho^2 Q_{\hat{a}b} H^T Q^{-1} \rho \end{bmatrix} \quad (12)$$

식 (10)에 역행렬 정리[10]를 적용하면 다음을 얻는다.

$$\begin{aligned} Q_{\hat{a}} &= \frac{1}{\lambda^2} [\sigma_l^2 Q + \sigma_\rho^2 H [H^T Q^{-1} H]^{-1} H^T] \\ Q_b &= \sigma_\rho^2 [H^T Q^{-1} H]^{-1} \\ Q_{\hat{a}b} &= -\frac{\sigma_\rho^2}{\lambda} H [H^T Q^{-1} H]^{-1} \\ Q_{b\hat{a}} &= -\frac{\sigma_\rho^2}{\lambda} [H^T Q^{-1} H]^{-1} H^T \end{aligned} \quad (13)$$

여기서  $Q_b$ 은 반송파 위상측정치에 영향을 받지 않으며, 코드 측정치만으로 구한 것과 같은 결과임을 알 수 있다. 또 식 (13)을 (12)에 대입하면 다음을 얻는다.

$$\begin{aligned} \hat{b} &= [H^T Q^{-1} H]^{-1} H^T Q^{-1} \rho \\ \hat{a} &= \frac{1}{\lambda} (l - H [H^T Q^{-1} H]^{-1} H^T Q^{-1} \rho) = \frac{1}{\lambda} (l - H\hat{b}) \end{aligned} \quad (14)$$

식 (14)은 코드측정치만으로 위치를 구하고, 구해진 위치를 반송파 위상측정치에 대입하여 미지정수를 구하는 과정과 동일함을 알 수 있다. 즉 실수해를 구하기 위하여 식 (10)의  $(2m \times 2m)$ 이 아닌 식 (14)의  $(m \times m)$ 의 역행렬을 계산해도 같은 결과를 얻을 수 있으므로 계산량을 줄일 수 있다.

또 실수해의 위치정확도는 코드측정치에만 영향을 받으며 특히 실수해만을 이용하여 위치를 구하는 응용에서는 정확도의 향상을 위해서는 코드측정치의 정확도 향상이 필수적임을 알 수 있다.

모든 측정치를 사용하는 후처리 기법에서는 미지정수가 상수라는 조건으로 인하여 매 epoch 측정치를 사용하는 경우에 비하여 정확한 실수해를 얻을 수 있다. 그러나 후처리 기법은 주로 실시간 요구가 심하지 않은 측지에서 사용되며, 실시간이 강조되는 항법에서는 적용에 제약이 있으므로 본 논문에서는 매 epoch의 측정치만을 사용하는 경우만 고려하였다.

### IV. 다중 주파수에서의 실수해

GPS 현대화에서는 L1, L2, L5의 주파수를 사용할 예정이며, Galileo에서 E1, E5, E6의 주파수를 사용할 예정이다[2]. 다중

주파수를 사용하면 미지정수 검색이 용이해져서 정확도와 가용성이 향상되므로 정밀측위에서는 다중주파수를 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 이 경우에도 실수해의 정확도는 코드측정치에만 영향을 받음을 다음의 과정을 통하여 확인할 수 있다. 본 논문에서는 삼중 주파수인 경우에 대한 결과를 나타내었으며 이는 쉽게 다른 주파수로 확장될 수 있다.

식 (15)에 삼중주파수를 사용하는 경우의 측정식을 식 (16)에 간략한 형태를 나타내었다. 측정치 잡음은 식 (17)과 같은 특성을 갖는다. 여기서 하첨자 1, 2, 3은 각각 L1, L2, L3 (Galileo인 경우 E1, E5, E6) 주파수 측정치를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H \\ H \\ H \\ H \\ H \\ H \end{bmatrix} b + \begin{bmatrix} \lambda_1 I_{m \times m} & 0_{m \times m} & 0_{m \times m} \\ 0_{m \times m} & \lambda_2 I_{m \times m} & 0_{m \times m} \\ 0_{m \times m} & 0_{m \times m} & \lambda_3 I_{m \times m} \\ 0_{m \times m} & 0_{m \times m} & 0_{m \times m} \\ 0_{m \times m} & 0_{m \times m} & 0_{m \times m} \\ 0_{m \times m} & 0_{m \times m} & 0_{m \times m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} \mathbf{l} \\ \boldsymbol{\rho} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H} \\ \mathbf{H} \end{bmatrix} b + \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Lambda} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{a} + \begin{bmatrix} \mathbf{w} \\ \mathbf{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H} & \boldsymbol{\Lambda} \\ \mathbf{H} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ \mathbf{a} \end{bmatrix} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (16)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} \sim N\left(0, \begin{bmatrix} \sigma_{l_1}^2 Q & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{l_2}^2 Q & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{l_3}^2 Q & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\rho_1}^2 Q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\rho_2}^2 Q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\rho_3}^2 Q \end{bmatrix}\right) \quad (17)$$

$$\equiv N\left(0, \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_l & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{Q}_\rho \end{bmatrix}\right)$$

가중 최소자승법을 적용하면 식 (18), (19)의 추정치와 식 (20), (21)의 공분산을 얻는다.

$$\hat{b} = [\mathbf{H}^T \mathbf{Q}_\rho^{-1} \mathbf{H}]^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{Q}_\rho^{-1} \boldsymbol{\rho} = (\mathbf{H}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{Q}^{-1} \left( \frac{\rho_1}{\sigma_{\rho_1}^2} + \frac{\rho_2}{\sigma_{\rho_2}^2} + \frac{\rho_3}{\sigma_{\rho_3}^2} \right) \quad (18)$$

$$\hat{a}_i = \frac{1}{\lambda_i} (l_i - H\hat{b}), i = 1, 2, 3 \quad (19)$$

$$\text{cov}(\hat{b}) = [\mathbf{H}^T \mathbf{Q}_\rho^{-1} \mathbf{H}]^{-1} = \frac{\sigma_{\rho_1}^2 \sigma_{\rho_2}^2 \sigma_{\rho_3}^2}{\sigma_{\rho_1}^2 \sigma_{\rho_2}^2 + \sigma_{\rho_2}^2 \sigma_{\rho_3}^2 + \sigma_{\rho_3}^2 \sigma_{\rho_1}^2} (\mathbf{H}^T \mathbf{Q}^{-1} \mathbf{H})^{-1} \quad (20)$$

$$\text{cov}(\hat{a}_i) = \frac{1}{\lambda_i^2} [\sigma_{l_i}^2 Q + \sigma_{\rho_i}^2 H [H^T \mathbf{Q}^{-1} H]^{-1} H^T], i = 1, 2, 3 \quad (21)$$

식 (20)으로부터 다중주파수인 경우  $\hat{b}$  은 3개 주파수의 코드 측정치만으로 구한 것과 같은 결과임을 확인할 수 있다. 이때의 실수해의 정확도는 한 개의 주파수만을 사용하는 것에 비하여 향상됨을 알 수 있다. 만약 3개 주파수에 대한 측정잡음의 크기가 모두 같다면  $\hat{b}$  의 공분산이 1/3로 줄어들음을 확인할 수 있다. 각 주파수에 대한 실수 미지정수는 구해진  $\hat{b}$  을 각각의 반송파 위상측정치에 대입하여 구한 것과 같다.

V. 수치 예

충북대학교에서 2대의 NovAtel ProPak-V3 GNSS 수신기를 이용하여 측정치를 수집하였다. 두 안테나 사이의 거리는 13.97m 이고 7개의 위성이 관측되었다. L1 C/A 코드 오차의 표준편차는 20cm ( $\sigma_{\rho_1}$ ), Y코드는 20cm ( $\sigma_{\rho_2}$ ), L1 반송파는 2mm ( $\sigma_{l_1}$ ), L2 반송파는 2.4mm ( $\sigma_{l_2}$ ) 로 두었다[8]. 선형화된 측정치와 측정행렬은 다음과 같다.

$$\rho_1 = \begin{bmatrix} 0.047 \\ -0.329 \\ 0.273 \\ -0.281 \\ -0.062 \\ 0.162 \end{bmatrix}, \quad \rho_2 = \begin{bmatrix} -0.229 \\ 0.057 \\ -0.556 \\ 0.536 \\ 0.169 \\ 0.240 \end{bmatrix}$$

$$l_1 = \begin{bmatrix} -0.074 \\ -831533.303 \\ -566177.967 \\ 1397711.193 \\ -0.217 \\ 0.309 \end{bmatrix}, \quad l_2 = \begin{bmatrix} -568205.691 \\ -266304.644 \\ -568201.467 \\ 1402711.893 \\ -0.028 \\ -834506.226 \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0.328 & 0.713 & 0.357 \\ -0.553 & -0.992 & 0.672 \\ -1.000 & 0.038 & -0.705 \\ 0.537 & 0.073 & -0.467 \\ 0.610 & 0.964 & -0.063 \\ 0.424 & -0.340 & 1.002 \end{bmatrix}, \quad Q = \begin{bmatrix} 4 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & 4 & -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 4 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 4 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2 & 4 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 4 \end{bmatrix}$$

먼저 L1 측정치만 이용하여 식 (10), (11)을 적용하면 다음을 얻는다. 식 (13)과 (14) 이용하여 구해도 같은 결과를 얻으며, 이로부터 실수해에는 반송파 위상 측정치가 영향을 주지 않음을 확인할 수 있다.

$$\hat{b}_1 = \begin{bmatrix} 0.017 \\ -0.019 \\ 0.005 \end{bmatrix},$$

$$Q_{\hat{b}_1} = \begin{bmatrix} 0.111 & -0.105 & -0.052 \\ -0.105 & 0.166 & 0.063 \\ -0.052 & 0.063 & 0.088 \end{bmatrix},$$

$$\hat{a}_1 = \begin{bmatrix} -0.358 \\ -4369737.070 \\ -2975285.187 \\ 7345021.865 \\ -1.097 \\ 1.526 \end{bmatrix},$$

$$Q_{\hat{a}_1} = \begin{bmatrix} 2.153 & -0.928 & 0.535 & -1.401 & 1.754 & -0.021 \\ -0.928 & 2.074 & -0.780 & -0.328 & -1.593 & 1.381 \\ 0.535 & -0.780 & 2.375 & -0.928 & 0.477 & -1.750 \\ -1.401 & -0.328 & -0.928 & 1.812 & -0.576 & -0.195 \\ 1.754 & -1.593 & 0.477 & -0.576 & 1.875 & -0.556 \\ -0.021 & 1.381 & -1.750 & -0.194 & -0.556 & 1.940 \end{bmatrix}$$

L1, L2 측정치에도 식 (15) 적용하여 다음의 결과를 얻을 수 있으며 이는 식 (18)과 (19)을 적용하여 얻은 결과가 일치한다.

$$\hat{b} = \begin{bmatrix} 0.306 \\ -0.132 \\ -0.081 \end{bmatrix}, a_1 = \begin{bmatrix} -0.270 \\ -4369736.516 \\ -2975283.966 \\ 7345020.880 \\ -1.479 \\ 1.135 \end{bmatrix}, a_2 = \begin{bmatrix} -2326707.224 \\ -1090472.620 \\ -2326688.983 \\ 5743869.926 \\ -0.378 \\ -3417163.876 \end{bmatrix}$$

참고로 후처리 기법을 이용하여 구한 참 미지정수는 다음과 같으며 이중주파수를 이용하여 구한 실수해가 참값에 더 근접함을 확인할 수 있다.

$$a_{1\_true} = \begin{bmatrix} 0 \\ -4369737 \\ -2975284 \\ 7345021 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}, a_{2\_true} = \begin{bmatrix} -2326707 \\ -1090473 \\ -2326689 \\ 5743870 \\ 0 \\ -3417164 \end{bmatrix}$$

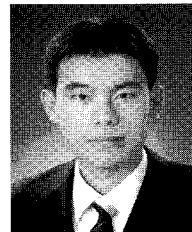
**VI. 결론**

본 논문에서는 epoch-by-epoch 정밀측위에서 코드측정치와 반송파 위상측정치를 모두 사용하여 구한 실수 위치해의 정확도는 코드측정치만을 이용하여 구한 것과 같음을 보였다. 이는 먼저 코드측정치만을 이용하여 위치를 구하고, 순차적으로 구해진 위치를 대입하여 실수 미지정수를 구하는 결과와 일치함을 나타낸다. 이 결과는 실수해를 구하는 과정에서 계산량을 감소시키는데 사용될 수 있으며, 실수해 만으로 최종위치를 제공하는 일부 항법시스템의 성능의 한계를 보여준다. 실수해 만을 이용하는 시스템의 정확도 향상을 위해서는 코드측정치의 정확도 향상이 필수적이며, 이에 따른 칼만 필터 등 효과적인 신호처리 방법이 요구된다.

**참고문헌**

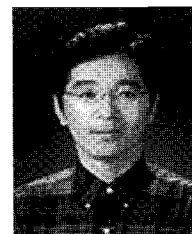
[1] B. W. Parkinson and J. J. Spilker Jr., *Global Positioning System: Theory and Applications*, AIAA, Washington, 1966.  
 [2] P. Misra, and Per Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*, 2nd Ed., Ganga-Jamuna Press, 2006.  
 [3] R. R. Hatch and H. J. Euler, "Comparison of several kinematic techniques," *Proceedings of ION GPS-94*, Salt Lake City, Utah, USA. pp. 363-370, Sep. 20-23, 1994.  
 [4] P. J. Jong de, and C. C. J. M., *The LAMBDA Method for Integer Ambiguity Estimation: Implementation Aspects*, Delft Geodetic Computing Centre LGR series, no. 12, 1996.  
 [5] C. Park, I. Kim, G. I. Jee, and J. G. Lee, "Efficient technique to fix GPS carrier phase integer ambiguity on-the-fly," *IEE Proceedings, Radar, Sonar and Navigation*, vol. 144, no. 3, 1997.

[6] P. J. G. Teunissen, *Least-Squares Estimation of the Integer Ambiguities*. Delft Geodetic Computing Centre LGR series, no. 6, 1993.  
 [7] 박찬식, P. J. G. Teunissen, "GNSS 자세결정시스템의 미지정수 결정을 위한 기저선 제약을 갖는 LAMBDA 기법," *제어·로봇·학회 논문지*, 제14권 제6호, pp. 587-594, 2008.  
 [8] <http://www.novatel.com>  
 [9] M. E. Cannon, G. Lachapelle, and G. Lu, "Kinematic ambiguity resolution with a high precision C/A code receiver," *Journal of Surveying Engineering*, vol. 119, no. 5, 1993.  
 [10] G. H. Golub and C. F. van Loan, *Matrix computations*. 2nd Ed., The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA, 1998.



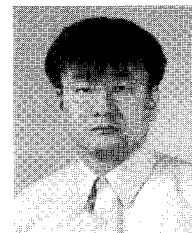
**한 덕 희**

2008년 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2008년~현재 충북대학교 대학원 제어계측공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 GNSS, WSN.



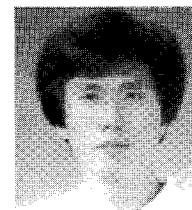
**박 찬 식**

1984년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1986년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사). 1984년~1997년 삼성전자 연구원. 1997년 서울대학교 제어계측공학과(공학박사). 1997년~현재 충북대학교 교수. 관심분야는 GNSS, SDR, AJ, ITS 및 WSN.



**황 동 환**

1985년 서울대학교 전기공학과(공학사). 1987년 한국과학기술원 전기공학과(공학석사). 1991년 한국과학기술원 전기공학과(공학박사). 1996년~현재 충남대학교 교수. 관심분야는 GNSS/INS integration, 항법 및 산업제어.



**이 상 정**

1979년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1981년 서울대학교 전자공학과(공학석사). 1987년 서울대학교 제어계측공학과(공학박사). 1988년~현재 충남대학교 교수. 관심분야는 강인제어 및 항법시스템 설계.