

# 지능형 교통시스템에 적합한 위성항법 기반의 정밀측위 구조 설계

## GNSS Precise Positioning Design for Intelligent Transportation System

이 병 현, 임 성 혁, 허 문 범, 지 규 인\*  
(Byung-Hyun Lee<sup>1</sup>, Sung-Hyuck Im<sup>2</sup>, Moon-Beom Heo<sup>2</sup>, and Gyu-In Jee<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Konkuk University

<sup>2</sup>KARI (Korea Aerospace Research Institute)

**Abstract:** In this paper, a structure of precise positioning based on satellite navigation system is proposed. The proposed system is consisted with three parts, range domain filter, navigation filter and position domain filter. The range domain filter generates carrier phase-smoothed-Doppler and Doppler-smoothed-code measurements. And the navigation filter calculates position and velocity using double-differenced code/carrier phase/Doppler measurements. Finally, position domain filter smooth position error, and it means enhancement of positioning performance. The proposed positioning method is evaluated by trajectory analysis using precise map data. As a result, the position error occurred by multipath or cycle slip was reduced and the calculated trajectory was in true lane.

**Keywords:** precise positioning, ITS, RTK, doppler measurements, heading

### I. 서론

유비쿼터스 시대를 맞이하여 위치 정보에 대한 중요성이 재인식 되고 있다. 특히 기 구축되어 있는 인프라인 위성항법 시스템을 이용하여 보다 정확한 위치 정보를 얻고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다. 정부에서도 u-Transportation, 스마트 하이웨이 등과 같이 지능형 교통시스템(intelligent transportation system) 구축을 위해 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 무선 통신망의 발달로 인해 차량에서도 기준국 데이터를 수신할 수 있고, 차량에서 위치 정보를 가장 많이 요구하기 때문에 위치 서비스를 제공하는 사업자들의 관심이 증가하고 있다. 게다가 차량의 위치 정보를 차선 구분이 가능한 정도로 제공할 수 있다면 최근 많은 연구가 이루어지고 있는 u-City 또는 u-Transportation과 같은 지능형 교통시스템의 구축이 가능해진다. 즉, 위성항법 기반의 정밀 측위 기술은 지능형 교통시스템 구축을 위한 기반기술이라 할 수 있다.

위성항법 기반의 정밀 측위를 위해서는 반송파 측정치를 사용해야 한다. 일반적으로 반송파 측정치의 해상도는 약 0.1 mm이다[1]. 과거에는 반송파 측정치를 제공하는 수신기의 가격이 비쌌다. 하지만 기술의 발전으로 인해 반송파 측정치를 제공하는 저가형 수신기를 시장에서 구입이 가능해졌다. 하지만 이를 보다 정확하게 사용하기 위해서는 반송파의 미지정수 문제를 해결해야 한다. 그러나 차량이 고속으로 주행하는 환경에서는 미지정수가 거의 해결되지 않는다.

일반적으로 많이 사용하는 위성항법 기반의 정밀 측위 기

법 중 하나가 바로 RTK (Real-Time Kinematic) 기법이다. 이 기법은 지속적으로 움직이는 수신기로부터 획득한 측정치를 이용하여 실시간으로(OTF, On The Fly) 정밀 측위를 수행한다. 앞서 연구된 바에 의하면 수신 환경이 양호한 지역에서 차량 주행 시 측위 정확도는 차선 구분이 가능하다[2].

하지만 육상교통 환경의 대부분이 도심 지역과 같이 건물에 둘러싸여 있는 도로 위이다. 이로 인해 코드 측정치의 다중 경로 오차와 반송파 측정치의 사이클 슬립(cycle slip)이 위치 오차를 발생시킨다. 이는 위치 정보 서비스의 신뢰성에 위배되기 때문에 이러한 문제를 해결해야 한다.

본 논문에서는 위치 정보의 정확도를 높이기 위해 지능형 교통시스템에 적합한 위성항법 기반의 정밀 측위 구조를 제안하였다. 제안된 측위 구조는 도플러 측정치를 추가적으로 사용하는 구조를 가지고 있다. 그리고 정밀 지도가 있는 테스트 지역에서 실제 차량 주행 실험을 통해 지능형 교통시스템에 적합한 제안된 측위 구조의 성능을 분석하였다.

### II. 도플러 측정치의 장점

일반적으로 많이 사용하는 정밀 측위 알고리즘 중 하나인 RTK 알고리즘은 차분 항법을 기반으로 한다. 이 기법은 측정치의 차분을 통해서 수신기 및 위성의 시계 오차 성분을 제거하고, 대기권 오차 성분을 완화시켜 측정치의 질을 향상 시킴으로써 정밀한 측위 정보를 도출한다. 높은 측위 정확도를 위해서는 미지정수 문제(integer ambiguity)를 해결해야 한다. 그러기 위해서는 반송파 측정치의 연속성이 유지되어야 한다. 하지만 도심 환경에서는 연속성이 깨지기 쉽기 때문에 (그림 1) 미지정수를 추정하는 것이 매우 어렵다.

또한 주변 환경에 의한 사이클 슬립이 빈번히 발생하여 항법 필터의 성능이 열화된다. 따라서 일반적인 RTK 알고리즘은 반송파 측정치의 연속성이 보장되지 않는 도심환경에서는 적합하지 않다.

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 8. 27., 수정: 2012. 9. 14., 채택확정: 2012. 9. 25.

이병현, 지규인: 건국대학교 전자공학부

(maximan@konkuk.ac.kr/gijee@konkuk.ac.kr)

임성혁, 허문범: 한국항공우주연구원 위성항행항법팀

(ish@kari.re.kr/hmb@kari.re.kr)

\* 본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비 지원(06 교통핵심 A03)에 의해 수행되었음.

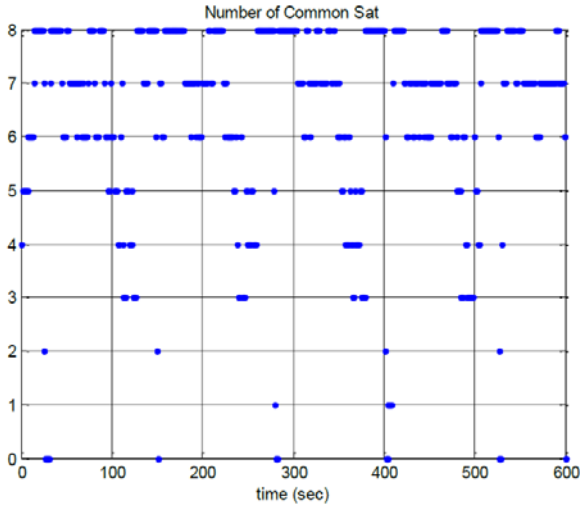


그림 1. 도심 지역에서의 가시 위성 수.  
Fig. 1. Number of visible satellites in urban area.

결국 지능형 교통시스템을 구축하기 위한 정밀 측위 기법에서는 측정치의 연속성을 기대할 수 없다. 따라서 도심 환경에서의 정밀 측위를 위해서는 측정치의 질이 향상된 단일 순간의 측정치를 사용하는 것이 적합하다.

도플러 측정치는 수신기에서 얻어지는 순간적인 위성과 수신기의 움직임에 의해 얻어진다. 일반적으로 도플러 측정치를 시간에 대해 적산하게 되면 반송파 측정치가 된다. 그렇기 때문에 반송파 측정치를 ADR (Accumulated Doppler Range)라고 표현한다. 도플러 측정치를 속도 성분으로 표시하면 다음과 같다[3].

$$\dot{\phi}_u^s = h_u^s (v_u - v^s) + \dot{B}_u + \epsilon_u^s \quad (1)$$

여기에서  $\dot{\phi}_u^s$ 는 도플러 측정치[m/s],  $h_u^s$ 는 사용자 u와 위성 s 사이의 단위 벡터,  $v_u$ 와  $v^s$ 는 사용자/위성 속도,  $\dot{B}_u$ 는 수신기 시계 표류(drift), 그리고  $\epsilon_u^s$ 는 대기권 지연 변화율과 위성 속도 계산 오차와 수신기 잡음을 의미한다.

식 (1)에서 알 수 있듯이, 위성의 속도 성분은 정확하게 위성 궤도 정보를 통해 추정 가능하기 때문에 도플러 측정치는 사용자의 속도에 대한 직접적인 측정치가 된다. 이는 곧 단일 순간의 도플러 측정치를 통해 변화량에 대한 정보를 얻을 수 있음을 의미한다.

일반적으로 알려진 바에 의하면 측정치의 잡음 특성은 반송파, 도플러, 의사거리 측정치 순으로 우수하다. 즉, 이중 차분된 도플러 측정치는 측정치의 질이 향상된 단일 순간의 측정치를 의미하며 이는 곧 도심 환경에 적합한 측정치로서 적합함을 의미한다.

### III. 제안된 정밀 측위 구조

본 논문에서는 도심 환경에 적합한 측정치인 도플러 측정치를 활용하는 정밀 측위 구조를 제안하였다. 제안된 정밀 측위 구조는 크게 거리영역 스무딩(smoothing), 항법 필터, 그리고 위치영역 스무딩 부분으로 총 세 개의 부분으로 나뉜다.

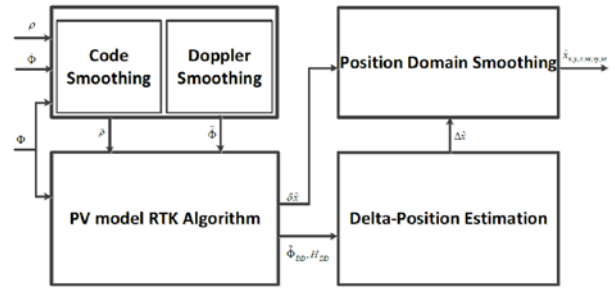


그림 2. 제안된 정밀 측위 구조.

Fig. 2. Proposed system structure.

#### 1. 거리영역 스무딩부

거리영역 스무딩 부분은 크게 두 부분으로 나뉜다. 하나는 반송파 측정치를 이용한 도플러 측정치를 스무딩 부분이고, 다른 하나는 도플러 측정치를 이용한 의사거리 측정치 스무딩 부분이다. 이러한 거리영역에서 스무딩을 통해 측위 정확도 향상이 가능한 이유는 측정치의 잡음 특성이 반송파, 도플러, 의사거리 측정치 순으로 좋기 때문이다.

본 논문에서는 칼만 필터를 사용하여 측정치를 스무딩하였다. 먼저 반송파 측정치를 이용한 도플러 측정치 스무딩부는 도플러 측정치의 질을 보다 향상시키기 위한 방법으로 수식은 아래와 같다[2].

$$\begin{aligned} \hat{x}_k^{(-)} &= -\hat{x}_{k-1} + \frac{2}{dt}(\phi_k - \phi_{k-1}) \\ \hat{P}_k^{(-)} &= \hat{P}_{k-1} + Q \\ K_k &= \frac{\hat{P}_k^{(-)}}{\hat{P}_k^{(-)} + R} \\ \hat{x}_k^{(+)} &= \hat{x}_k^{(-)} + K_k(\phi_k - \hat{x}_k^{(-)}) \\ \hat{P}_k^{(+)} &= (1 - K_k)\hat{P}_k^{(-)} \end{aligned} \quad (2)$$

여기에서  $\phi_k$ 와  $\dot{\phi}_k$ 는 각각 수신기에서 제공하는 반송파 측정치와 도플러 측정치[m]를 의미한다.

스무딩 된 도플러 측정치를 항법 필터에 사용하게 되면 아래 표와 같이 속도 추정 성능이 향상된다. 이는 도플러 측정치의 질이 향상됨을 의미한다.

이 기법을 사용하기 위해서는 시간에 대해 연속적인 반송파 측정치가 필요하다. 하지만 그림 1과 같이 도심지역에서는 빈번한 가시 위성 수의 변화가 발생한다. 따라서 반송파 측정치를 이용한 스무딩 기법의 효율성은 떨어진다.

다음으로는 도플러 측정치를 이용한 의사거리 스무딩부이다. 마찬가지로 칼만 필터를 이용하여 스무딩을 수행하였다. 필터의 식은 상태 업데이트 식만 달라진다.

$$\hat{x}_k^{(-)} = -\hat{x}_{k-1} + \dot{\phi}_k \quad (3)$$

표 1. 정지 상태에서 속도 오차.

Table 1. Velocity error in static.

사용된 측정치	속도 오차[m/s]
의사거리+도플러	0.063
의사거리+반송파 스무딩 된 도플러	0.034

표 2. 도플러 스무딩 된 의사거리를 이용한 측위 정확도.  
Table 2. Positioning error using Doppler smoothed pseudorange.

	반송파 스무딩 된 의사거리[m]	도플러 스무딩 된 의사거리[m]
측위 정확도	2.3966	2.4166

표 3. 미지정수 결정 확률.  
Table 3. Probability of identifying integer ambiguities.

측정치	의사거리, 반송파 측정치[epoch]	도플러 스무딩 된 의사거리, 반송파 측정치[epoch]
미지정수 결정 확률	8/500	12/500

도플러 스무딩 된 의사거리를 사용하게 될 때의 장점은 현재 순간에서의 측정치를 이용한다는 점이다. 이는 빈번한 가시 위성의 변화가 발생하는 도심 환경에서 매우 큰 강점을 보인다. 또한 정지 상태에서의 실험 결과 반송파 스무딩 된 의사거리 측정치를 사용한 측위 결과와 거의 유사한 성능을 갖는다. 그리고 일반적인 LAMBDA 기법을 사용한 미지정수 추정 성공률이 높아진다(표 2,3)[4].

2. 항법 필터 부

거리영역 스무딩 부에서 생성된 새로운 측정치들을 이용하여 위치 결정을 위한 항법 필터를 구성해야 한다. 본 논문에서 제안하는 측위 구조는 차량 항법을 목표로 한다. 따라서 위치 및 속도 정보를 추정하는 PV (Position, Velocity) 모델의 EKF (Extended Kalman Filter)를 사용한다. 그리고 사용하는 측정치는 기준국 데이터를 사용하여 이중 차분된 의사거리, 도플러, 그리고 반송파 측정치를 사용한다[5]. 일반적인 RTK 기법에 추가적으로 이중 차분된 도플러 측정치를 사용하는 구조이다. 아래 식은 이중 차분된 도플러 측정치를 나타낸다.

$$\hat{\phi}_{r,u}^{i,j} = h_{r,u}^i v^j - h_{r,u}^j v^i + h_u^{i,j} v_u + \xi \quad (4)$$

여기에서  $(\cdot)_{r,u}^{i,j}$  는 위성 i, j와 기준국 r, 사용자 u의 이중 차분을 의미하며,  $v^i, v^j$  는 위성 i, j의 속도로 위성 궤도 정보를 통해 계산이 가능하다. 그리고  $v_u$  는 사용자 속도를 의미한다.

도플러 측정치를 추가한 항법 필터는 칼만 필터를 기반으로 하였고, 그 식은 다음과 같다[5].

상태 모델:

$$F = \begin{bmatrix} F_{pp} & F_{pn} \\ F_{np} & F_{nn} \end{bmatrix}$$

$$F_{pp} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$F_{pn} = 0_{6 \times m}, \quad F_{np} = 0_{m \times 6}, \quad F_{nn} = I_{m \times m}$$

측정치 모델:

$$z = [P^T \quad f^T \quad \Phi^T]^T$$

$$P = [P_{r,u}^{1,2} \quad P_{r,u}^{1,3} \quad \dots \quad P_{r,u}^{1,m}]^T$$

$$f = [f_{r,u}^{1,2} \quad f_{r,u}^{1,3} \quad \dots \quad f_{r,u}^{1,m}]^T$$

$$\Phi = [\Phi_{r,u}^{1,2} \quad \Phi_{r,u}^{1,3} \quad \dots \quad \Phi_{r,u}^{1,m}]^T \quad (6)$$

관측 모델:

$$h(\hat{x}) = [h_\rho^T \quad h_\phi^T \quad h_f^T]$$

$$h_\rho = [\rho_{r,u}^{1,2} \quad \rho_{r,u}^{1,3} \quad \dots \quad \rho_{r,u}^{1,m}]^T \quad (7)$$

$$h_f = h_\rho, \quad h_\phi = \begin{bmatrix} \rho_{r,u}^{1,2} + \phi_{r,u}^{1,2} \\ \rho_{r,u}^{1,3} + \phi_{r,u}^{1,3} \\ \vdots \\ \rho_{r,u}^{1,m} + \phi_{r,u}^{1,m} \end{bmatrix}$$

이중 차분된 도플러 측정치를 추가한 항법 필터를 사용했을 때의 장점은 속도 추정 성능의 향상이다. 그림 3, 4는 속도 추정 결과를 로컬 좌표계(ENU 좌표계)에서 나타낸 것이다. 그림 3에서는 순간적으로 잘못된 속도 추정이 발생했다.

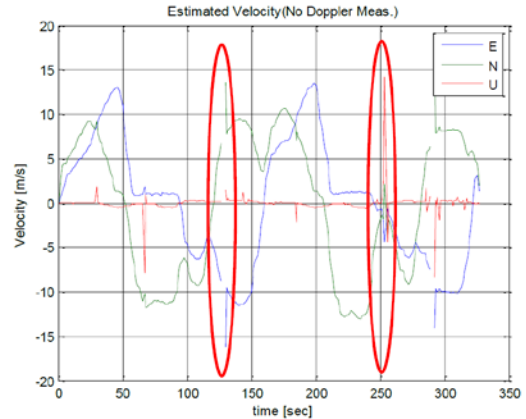


그림 3. 일반적인 RTK 알고리즘의 속도 추정 결과.  
Fig. 3. Velocity estimation results of conventional RTK.

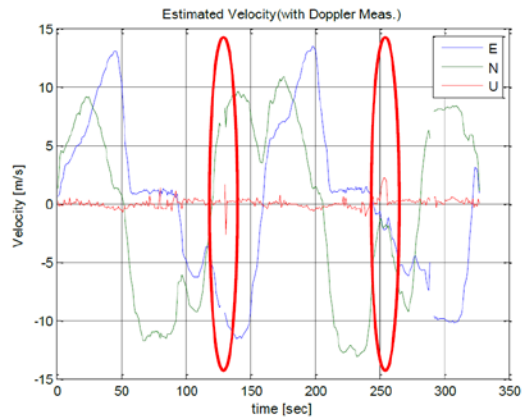


그림 4. 이중 차분된 도플러 측정치를 추가한 RTK 알고리즘의 속도 추정 결과.  
Fig. 4. Velocity estimation results of Doppler aided RTK.

하지만 그림 4와 같이 도플러 측정치가 추가됨에 따라 순간적으로 발생하는 큰 속도 추정 성분이 완화되는 것을 볼 수 있다. 이는 항법필터에서 상태 업데이트의 성능 향상으로 결국 차량 주행 환경에서의 성능 향상으로 나타난다.

3. 위치영역 스무딩 부

보다 높은 위치 정확도를 얻기 위해 연구되어 온 기법 중 하나가 바로 스무딩 기법이다. 앞서 언급한 거리영역 스무딩 기법과는 다르게 이 기법은 위치영역에서 스무딩을 수행한다. 대표적인 방법으로는 PDP 필터[6]와 도플러 측정치를 이용한 위치영역 스무딩 기법[7] 등이 있다. 본 논문에서는 도플러 측정치를 이용하여 위치의 변화량(Delta-position)을 구하는 기법을 사용한다.

문헌 [7]에서는 도플러 측정치의 누적을 통해 위치의 변화량을 계산한다(식 8). 그 이유는 도플러 측정치의 누적을 통해 측정치의 잡음 특성을 향상시키기 위해서이다.

$$\begin{aligned} \tilde{g}_u &= \lambda \frac{\dot{\phi}^i(t_k) + \dot{\phi}^i(t_{k-1})}{2} dt \\ &+ h_u^i(t_k) \left( \frac{v^j(t_k) + v^j(t_{k-1})}{2} dt \right) \end{aligned} \quad (8)$$

하지만 이 기법은 시간에 대해 연속적인 도플러 측정치를 요구한다. 하지만 도심 환경에서는 측정치의 연속성이 깨지기 쉽다. 반면 제안된 정밀 측위 시스템은 기준국 정보를 활용하기 때문에 이중 차분된 도플러 측정치를 사용할 수 있다. 이중 차분된 도플러 측정치를 위치의 변화량에 대한 식으로 정리하면 식 (9)와 같다.

$$h_u^{i,j} v_u = \dot{\phi}_{r,u}^{i,j} - (h_{r,u}^i v^j - h_{r,u}^j v^i) = \tilde{g}_u = \delta \mathbf{x}_k \quad (9)$$

이는 이중 차분을 통해 도플러 측정치의 오차 성분이 제거 및 완화 됨으로써 측정치의 질이 향상되고, 단일 순간의 측정치로 위치의 변화량이 계산 가능함을 의미한다. 즉, 단일 순간의 측정치로 신뢰할 만 한 위치 변화량 계산이 가능함을 의미한다.

이렇게 계산된 위치의 변화량을 이용하여 위치영역 스무딩을 수행한다. 위치영역 스무딩은 항법 필터 부에서 추정된 측위 결과의 이전 순간 위치로부터의 변화량과 도플러 측정치를 통해 계산된 위치 변화량을 결합함으로써 수행된다. 결합 필터는 칼만 필터를 사용하였으며 상태 추정값은 위치의 변화량을 사용하였고, 측정값으로는 항법 필터의 측위 결과를 사용하였다.

상태 업데이트:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_k^- &= \delta \mathbf{x}_k \\ \mathbf{P}_k^- &= \mathbf{P}_{k-1} + \mathbf{Q}_{k-1} \end{aligned} \quad (10)$$

측정치 업데이트:

$$\begin{aligned} \mathbf{K}_k &= \mathbf{P}_k^- [\mathbf{P}_k^- + \mathbf{R}_k]^{-1} \\ \hat{\mathbf{x}}_k^+ &= \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}_k (\bar{\mathbf{x}}_k - \hat{\mathbf{x}}_k^-) \\ \mathbf{P}_k &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k) \mathbf{P}_k^- (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k)^T \\ &+ \mathbf{K}_k \mathbf{R}_k \mathbf{K}_k \end{aligned} \quad (11)$$

추가로 사용할 수 있는 정보로는 차량의 동적 특성이 있다. 차량은 위.경도 방향으로의 변화가 크고 고도 방향으로의 변화는 매우 작다. 이러한 정보를 이용하기 위해 결합 필터의 좌표계를 기존 ECEF-xyz 좌표계에서 로컬 좌표계로 변환하여 결합하면 위치영역 스무딩 기법의 성능이 향상된다[8].

IV. 실험 결과

제안된 정밀 측위 구조의 성능을 분석하기 위해 실제 차량 주행 실험을 통해 성능을 분석하였다. 동적 환경에서의 실험이기 때문에 정확한 참 위치를 알 수 없어 정량적인 분석이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 전자지도가 있는 지역에서의 데이터 수집과 주행 궤적을 통해 그 성능을 분석하였다. 주행 궤적은 동일 차선을 2회 주행함으로써 측위 결과 실제 차선 내에 2회 주행 궤적이 나타나는지에 대한 여부로 성능을 평가하였다.

그림 5는 신호 수신 환경이 양호한 구간에서의 측위 결과를 비교한 그림이다. 실제 차량은 3차선을 2회 주행하였고 측위 결과도 실제 주행 차선 위에 궤적을 나타내었다.

그림 6은 도심 지역인 구간에서 1차선 주행 실험의 측위 결과이다. 일반적인 RTK 측위 결과 위치 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안된 측위 시스템을 통해 위치 오차가 완화되는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 위치 오차가 발생하는 구간에서 신호의 고장 검출을 수행하여[9] 고장이라고 판단되는 위성 신호를 차단하여 측위를 수행한 결과이다.

그림 8과 같이 고장 검출을 수행하게 되면 일반적인 RTK 측위 결과 위치 오차가 줄어들지만 고장 검출 과정에서 검출되지 않는 열화 정도가 작은 신호에 의해 여전히 위치 오차

표 4. 실험 환경.

Table 4. Experimental Environment.

실험 일시	2011년 3월 21일
실험 장소	사용자: 충북 오창 호수공원 주변도로
	기준국: 충북 진천
사용 수신기	Novatel OEM-V
데이터 수집 주기	1Hz

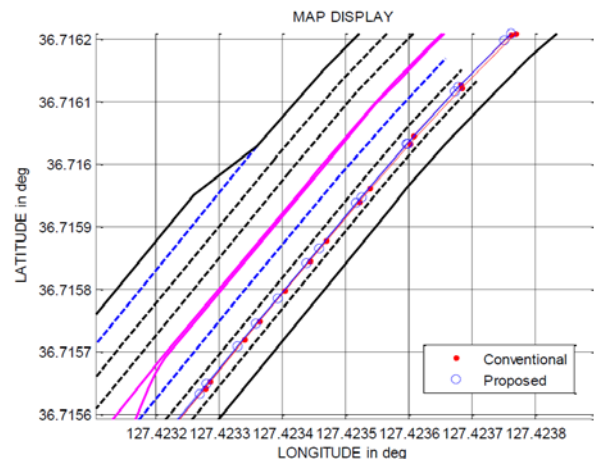


그림 5. 수신 환경이 양호한 구간에서의 측위 결과.

Fig. 5. Positioning results at open area.

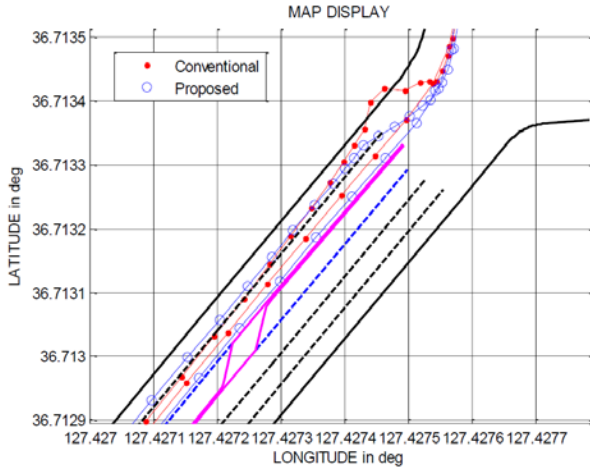


그림 6. 도심 환경에서의 측위 결과.  
Fig. 6. Positioning results at urban area.



그림 7. 실험 환경 (도심 지역).  
Fig. 7. Experimental Environment (Urban Area).

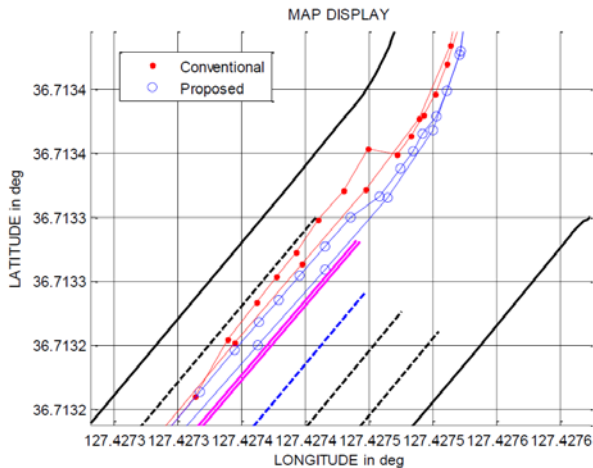


그림 8. 고장 검출 후 측위 결과.  
Fig. 8. Positioning result with fault detection.

가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 제안된 측위 시스템의 결과 위치 오차가 완화되어 실제 차량의 주행 궤적과 동일한 궤적을 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 보다 신뢰도 있고 정확성 높은 측위 결과를 통해 지능형 교통시스템에 적용할 수 있도록 도심 지역에 적합한 정밀 측위 구조를 제안하였다. 제안된 구조에서는 거리 영역에서 측정치를 스무딩 함으로써 측정치의 질을 향상시키고, 향상된 측정치를 이용하여 항법 필터를 통해 보다 정확한 위치와 속도 정보를 추정하였다. 또한 미지정수 결정 확률도 향상되었다. 그리고 마지막으로 위치영역 스무딩을 통해 위치 오차를 완화시켰다. 특히 이중 차분된 도플러 측정치는 지능형 교통시스템에서 요구되는 단일 순간의 신뢰 할 수 있는 측정치로써 사용되어 측위 성능을 크게 향상시켰다.

특히 고장 검출에서 검출하지 못하는 열화 정도가 작은 오차 성분을 제안된 측위 구조를 통해 완화시켜 측위 성능을 향상시키는 것을 확인하였다. 일반적으로 고장 검출은 문턱치 설정을 통해 수행하게 되는데, 제안된 측위 구조를 사용하면 고장 검출의 문턱치를 낮추어 설정 함으로써 가용 위성 신호가 많아지고, 위치 오차가 완화되기 때문에 가용성을 증대시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 위성항법 기반의 가용성이 증대된 정밀 측위 구조를 제안하였다. 위치 정보에 대한 가용성의 향상은 곧 사용자에게 안정적인고 정확한 위치 정보를 제공함을 의미한다. 이는 지능형 교통시스템을 구축함에 있어 물류 및 교통량 관리 등에 중요한 정보로 사용될 수 있다. 그러나 위성항법 기반의 측위 시스템의 단점인 가시 위성이 부족한 음영 지역에서는 위치 정보를 제공할 수 없다. 따라서 향후 연구에서는 추가적인 센서를 결합하여 음영지역에서의 가용성을 향상시키는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, Wasle, *GNSS - Global Navigation Satellite Systems, GPS, GLONASS, Galileo & more*, Springer Wien NewYork, 2008.
- [2] G I. Jee, Y. S. Kim, and B. H. Lee, "Development of integrated car navigation system for u-transportation" Konkuk University (in Korean), Korea, Report, 2010.
- [3] L. Serrano, D. Kim, and R. B. Langley, "A single GPS receiver as a real-time, accurate velocity and acceleration sensor," *ION GNSS 17th ITM*, Long Beach, CA., USA, pp. 2021-2034, Sep. 2004.
- [4] M. Bahrami and M. Ziebart, "Instantaneous doppler-aided RTK Positioning with single frequency receivers," *In Position Location and Navigation Symposium (PLANS), 2010 IEEE/ION*, Indian Wells, CA, USA, pp. 70-78, 4-6 May 2010.
- [5] B. H. Lee and G I. Jee, "A study on precise positioning with doppler measurements for ground transportation system," *The Korea Navigation Institute (in Korean)*, vol. 14, no. 5, pp. 632-639, Oct. 2010.
- [6] T. J. Ford and J. Hamilton, "A new positioning filter: phase smoothing in position domain," *Journal of The Institute of Navigation*, vol. 50, no. 2, 2003.
- [7] H. Leppakoski, J. Syrjarinne, and J. Takala, "Complementary Kalman filter for smoothing GPS position with GPS velocity," *ION GPS/GNSS 2003*, Portland, OR, USA, pp. 1201-1210, Sep. 2003.
- [8] B. H. Lee and G I. Jee, "Smoothing technique for enhanced

performance in position domain using vehicle dynamics,” *The 18<sup>th</sup> GNSS Workshop (in Korean)*, Jeju, Korea, 2011.

- [9] D. H. Won, J. S. Ahn, S. K. Sung, and Y. J. Lee, “User oriented GPS carrier phase fault detection in dynamic condition,” *The Korea Society for Aeronautical & Space Sciences (in Korean)*, Jeju, Korea, 2010.
- [10] H. S. Kim and H. K. Lee, “Design and implementation of receiver network elements for real-time precise GPS/GNSS,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 2, pp. 126-133, Feb. 2010.
- [11] W. Y. Kang, E. S. Lee, G. W. Lee, J. I. Park, K. S. Choi, and M. B. Heo, “A study on the performance requirement of precise digital map for road lane recognition,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 1, pp. 47-53, Jan. 2011.



#### 이 병 현

2007년 건국대학교 전자공학과(공학사). 2009년 건국대학교 전자공학부(공학석사). 2009년~현재 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 GNSS 수신기 신호처리, 소프트웨어 GNSS 수신기, 재밍 대응 기법, GNSS 정밀 측위 등.



#### 임 성 혁

2003년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학사). 2005년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학석사). 2011년 건국대학교 전자정보통신공학과(공학박사). 2011년~현재 한국항공우주연구원 선임연구원. 관심분야는 소프트웨어 GPS, GPS

anti-jamming, GPS 신호처리, 결합항법 등



#### 허 문 범

1992년 경희대학교 기계공학과 학사 졸업. 1997년 Illinois Institute of Technology 항공기계공학과 석사 졸업. 2004년 동대학원 박사 졸업. 2005년~한국항공우주연구원 선임연구원. 관심분야는 GNSS, 위성항법, 항행시스템 등.



#### 지 규 인

1982년 서울대학교 제어계측공학과(공학사). 1984년 서울대학교 제어계측공학과(공학석사). 1989년 Case Western Reserve University. System and Control Engineering(공학박사). 1992년~현재 건국대학교 전자공학부 교수. 관심분야는

GPS/INS 결합항법, GPS 수신기 신호처리, 재밍 대응 기법 등.