

## A GPS/DR Integration Scheme using Carrier Measurements

徐 興 碩\* · 成 泰 慶\*\* · 李 相 禎\*\*\*

(Hung Seok Seo · Tae Kyung Sung · Sang Jeong Lee)

**Abstract** - In conventional GPS/DR integration schemes, the GPS position (or pseudo-range) information is used in calibrating DR sensors. In those schemes, however, an inaccurate calibration may degrade the position accuracy when the GPS measurement is not available. This paper presents a new integration scheme where the GPS velocity information is used in calibrating DR sensors. Also proposed is a new error model of DR sensors for calibrating the bias error and the tilt error in dynamic environments. The proposed model makes it possible that the errors of both the DR sensor parameters and the velocity are calibrated using the GPS carrier-based velocity(or the pseudo-range rate) measurement while the DR position error is calibrated using the GPS position measurement. Since the DR sensors are calibrated accurately, the positioning accuracy is drastically improved when the GPS measurements are unavailable.

**Key Words** : GPS, Dead reckoning, GPS/DR integration

### 1. 서 론

GPS는 미국방성에서 구축한 24개의 위성을 이용하여 지구 전역에서 시간과 기상에 관계없이 항체의 절대 위치 등을 파악할 수 있는 측위 시스템이다[1]. GPS 수신기는 사용하기 쉽고 가격도 저렴하기 때문에 각종 항법 시스템에서 항체의 위치를 구하는 센서로 많이 활용되고 있다. 그러나 도심과 같이 충분한 가시위성의 확보가 어려운 지역에서는 GPS 만을 이용하여 측위를 하기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 외부의 환경에 영향을 받지 않고 항법을 수행할 수 있는 자립형 항법 시스템인 DR(Dead Reckoning)이나 INS(Inertial Navigation System)와 GPS 항법 시스템을 통합하는 것에 대한 연구가 널리 진행되고 있다[2-5]. 차량의 경우 일반적으로 자이로스코프(혹은 지자기센서)와 차속계(혹은 가속도센서)를 이용하여 DR을 구성하며, 초기 위치에 대한 상대적인 현재의 위치 및 자세를 계산한다. DR은 연속적이면서 단시간동안 비교적 정확한 위치 및 자세를 제공하지만 시간이 흐를수록 오차가 누적되는 단점이 있다. DR 시스템과 GPS를 통합한 GPS/DR 통합 시스템은 두 시스템간의 단점을 상호 보완하는 시스템이라 할 수 있다.

GPS/DR 통합 시스템을 구현하기 위해서는 먼저 DR 센서의 오차 모델을 세워야 한다. 본 논문에서는 차량에 널리 사용되는 진동형 자이로스코프와 차속계를 DR 센서로 사용

한다. 일반적으로 차량용 DR 센서에 대한 오차 모델을 세울 때는 자세각 오차와 차속계의 환산계수(scale factor) 오차를 상태 변수로 사용한다[6]. 본 논문에서는 자세각 오차와 차속계의 환산계수 오차 외에 자이로의 환산계수 오차 및 바이어스(bias) 오차를 포함한 오차 모델을 유도하였다. 제안된 오차 모델은 자세각 오차를 발생시키는 요소에 대한 오차 모델을 포함하고 있기 때문에 고속도로에서와 같이 장시간 연속 주행하는 경우나 DR 센서가 잘못 장착 되어 있는 경우에도 정확하게 항법 해를 추정하는데 유용하다.

기존의 GPS/DR 통합 시스템에서는 GPS 코드 위치 정보를 이용하여 DR 센서와 속도 및 위치를 보정(calibration) 하였다[6]. 그러나 기존의 방법은 오차가 큰 위치 정보를 이용하여 센서를 보정하기 때문에 정확한 보정이 어렵다. 본 논문에서는 기존 통합 방법의 단점을 보완하기 위해서 새로운 GPS/DR 통합 방법을 제안하였다. 제안한 통합 방법은 GPS 코드 위치 및 반송파 속도 정보를 이용하며, 특히 오차가 작은 GPS 반송파 속도 정보를 이용하기 때문에 DR 센서에 대한 정확한 오차 보정이 가능하다[7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 DR 센서에 대한 새로운 오차 모델과 GPS/DR 통합 방법에 대해서 설명한다. 3장에서는 실험을 통하여 제안된 통합 방법의 성능을 평가하고, 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

### 2. GPS 반송파 속도 정보를 이용한 GPS/DR 통합 방법

#### 2.1 DR 센서 오차 모델링

DR항법은 항체 진행 방향 속도 및 항체 자세각을 이용하

\* 正 會 員 : 忠南大 電子工學科 博士課程

\*\* 正 會 員 : 忠南大 電氣工學科 助教授 · 工博

\*\*\* 正 會 員 : 忠南大 電子工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1999年 3月 18日

最終完了 : 1999年 9月 22日

여 항체의 상대적인 위치 및 자세를 계산하는 방법이다. 차량의 경우 2차원 평면상에서 움직인다고 가정하면 2차원 평면상의 속도  $v(k)$ 는 다음과 같이 구할 수 있다[6].

$$v(k) = \begin{bmatrix} v_E(k) \\ v_N(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s(k) \cdot \sin \psi(k) \\ s(k) \cdot \cos \psi(k) \end{bmatrix} \quad (1)$$

식에서  $v(k)$ 의 원소인  $v_E(k)$ 와  $v_N(k)$ 는 각각 동쪽과 북쪽 방향의 속력이고  $s(k)$ 는 차량 진행 방향으로의 속력이며,  $\psi(k)$ 는 자세각이다. 차속계 및 자이로의 출력 전압으로부터 차량 진행 방향으로의 속력 및 차량 자세각은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$s(k) \cong \frac{Sf_N(k) \cdot N(k)}{\Delta t} \quad (2)$$

식에서  $Sf_N(k)$ 는  $\Delta t$ 동안 일정하다고 가정하여 근사화 하였으며,  $\Delta t$ 는 측정 주기,  $N(k)$ 은  $(k-1)\Delta t$ 에서  $k\Delta t$ 사이의 차속계 출력 펄스 개수,  $Sf_N(k)$ 은 차속계 환산계수이다. 차량 자세각은 이전 자세각과 측정 주기내에서의 순간 회전각 속도 값의 적분치로부터 구할 수 있으며, 이를 이산화하면 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} \psi(k) &\cong \psi(k-1) + \frac{\Delta t}{M} \left[ \sum_{i=1}^M \omega(k + \frac{i}{M}) \right] \\ &\cong \psi(k-1) + \frac{\Delta t}{M} \cdot Sf_G(k) \cdot \left[ \sum_{i=0}^{M-1} \left\{ V_g(k + \frac{i}{M}) - V_{nom}(k) \right\} \right] \\ &\cong \psi(k-1) + \Delta t \cdot Sf_G(k) \cdot (\overline{V_g}(k) - V_{nom}(k)) \end{aligned} \quad (3)$$

식에서  $Sf_G(k)$ ,  $V_{nom}(k)$ 는  $\Delta t$ 동안 일정하다고 가정하여 근사화 하였다. 그리고,  $M$ 은  $\Delta t$ 동안의 샘플링 횟수,  $\omega(\cdot)$ 는 각속도,  $Sf_G(k)$ 는 자이로 환산계수,  $V_g(\cdot)$ 는 자이로의 출력 전압,  $V_{nom}(\cdot)$ 은 자이로 바이어스 전압이며,  $\overline{V_g}(k)$ 는  $\Delta t$ 동안의 자이로 출력 평균 전압으로서 다음과 같이 정의한다.

$$\overline{V_g}(k) \equiv \frac{1}{M} \left[ \left( V_g \left( k + \frac{i}{M} \right) \right) \right] \quad (4)$$

일반적으로 DR 센서에 대한 모델을 세울 때는 자세각 오

차와 차속계의 환산계수 오차를 상태 변수로 사용한다. 이러한 경우 GPS를 이용하여 보정을 할 수 없는 구간에서는 자이로 바이어스 오차와 환산계수 오차로 인하여 위치 해의 오차가 커질 수 있다. 특히 자이로 바이어스 전압을 올바르게 알지 못하는 경우에는 자세각 오차가 지속적으로 발생하며, 이로 인하여 DR에서의 위치 오차가 크게 증가한다[3]. 자이로 바이어스 전압을 알아내기 위하여 기존에 널리 사용하던 방법으로는 차량이 정지하였을 때 자이로 바이어스 전압을 보정하는 영점 보정 방법이 대표적이다. 그러나 이 방법은 고속도로에서와 같이 장시간 정지하지 않고 주행하는 경우에는 보정이 이루어지지 않는다[8]. 한편 자이로 환산계수 오차로 인한 위치 해의 오차 증가는 자이로의 기울임 오차(tilt error)로부터 발생된다. 차량에 자이로를 장착할 때 정확한 설치가 어렵기 때문에 기울임 오차가 발생할 수 있으며, 차량의 하중 분포의 변화에 의해서도 오차가 발생할 수 있다. 이러한 경우 자이로에서 차량이 실제 회전한 각에 해당하는 출력을 제공할 수 없기 때문에 위치 해의 오차가 증가하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 자세각 오차와 차속계의 환산계수 오차 뿐만 아니라 자이로 바이어스 오차와 환산계수 오차를 포함하는 오차 모델을 제안한다. 제안된 오차모델을 이용하면 고속도로와 같이 차량이 정지하지 않고 장시간 주행하는 경우에도 자이로 바이어스 전압에 대한 보정을 해 줄 수 있으며, 자이로의 기울임 오차가 발생하는 경우에도 보다 정확한 항법 해를 구할 수 있다.

INS의 경우에는 일반적으로 자세각의 오차요인을 자이로의 바이어스 오차, 환산계수 오차, 기울임 오차, g-sensitivity 오차, 그리고 그 외의 오차로 모델링한다[12]. INS와는 달리 DR에서는 저가의 자이로를 사용하기 때문에 INS에서 사용되어지는 자이로에 비하여 비교적 성능이 떨어진다. 따라서 본 논문에서는 INS에서 사용되어지는 자세각 오차 모델 중에서 자이로의 바이어스 오차와 환산계수 오차, 그리고 그 외의 오차 성분만을 이용하여 자세각 오차에 대한 모델을 설계하였다. 또한 센서가 기울어져 장착될 경우에 이로부터 발생하는 오차가 자이로 환산계수 오차로 포함되도록 설계하였다. 이러한 오차요인에 대하여 섭동(perturbation)시킨 후 선형화하면 식(5)와 같은 오차모델을 얻을 수 있다.

일반적으로 차속계의 환산계수 오차는 1차 마코프 프로세스(Markov process), 또는 랜덤워크로 가정한다[6,9,10]. 또한 차속계의 환산계수는 차량 타이어의 반경과 차량 속력에 의하여 그 값이 변화한다. 그러나 실험을 통하여 차량 속력에 의한 차속계 환산계수 값의 변화가 그다지 크지 않음을

$$\begin{aligned} \delta\psi(k+1) &= \delta\psi(k) + [\psi_{DR}(k) - \psi_{True}(k)] \cdot \Delta t + w_\psi(k) \\ &= \delta\psi(k) + [(Sf_G(k) + \delta Sf_G(k))(\overline{V_g}(k) - (V_{nom}(k) + \delta V_{nom}(k))) - \psi_{True}(k)] \cdot \Delta t + w_\psi(k) \\ &\cong \delta\psi(k) + [\delta Sf_G(k) \cdot (\overline{V_g}(k) - V_{nom}(k)) - \delta V_{nom}(k) \cdot Sf_G(k)] \cdot \Delta t + w_\psi(k) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \delta DR(k+1) &\equiv \begin{bmatrix} \delta\psi(k+1) \\ \delta Sf_G(k+1) \\ \delta V_{nom}(k+1) \\ \delta Sf_N(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & (\overline{V_g}(k) - V_{nom}(k)) \cdot \Delta t & -Sf_G(k) \cdot \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta\psi(k) \\ \delta Sf_G(k) \\ \delta V_{nom}(k) \\ \delta Sf_N(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_\psi(k) \\ w_{Sf_G}(k) \\ w_{V_{nom}}(k) \\ w_{Sf_N}(k) \end{bmatrix} \\ &\equiv \Phi_{DR}(k) \cdot \delta DR(k) + \mathbf{w}_{DR}(k) \end{aligned} \quad (6)$$

알수 있었다. 따라서 본 논문에서는 차속계 환산계수 오차를 랜덤워크로 가정하였다. 자이로 환산계수 및 바이어스도 그 값이 온도에 의하여 변하기는 하나 그 값이 아주 작으므로 이의 오차를 모두 랜덤워크로 가정할 수 있다. 따라서 식(5)를 이용하여 구한 DR 센서에 대한 오차 모델은 앞의 식(6)과 같다.

일반적으로 칼만 필터를 사용하여 상태를 추정할 때, 시스템의 가관측성이 매우 중요하다. 특히 상태 변수가 추가 될 때 가관측성이 성립되지 않을 경우가 있으므로 가관측성 여부의 판별은 필터 설계에 있어서 가장 중요한 요건 중의 하나이다. 본 논문에서는 기존의 가관측성 판별법 중에서 널리 사용되어지고 있는 가관측성 행렬을 이용한 판별방법을 이용하여 통합 필터의 가관측성 여부를 판별하였으며 [13], 그 결과 3개이상의 측정치를 연속적으로 얻을 수가 있다면 가관측성이 성립됨을 알 수 있었다.

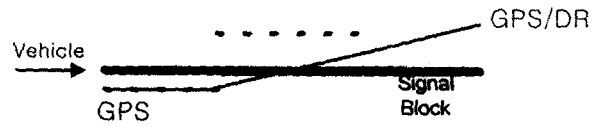
2.2 오차 방정식 및 측정 방정식

오차 방정식을 세우기 위해서는 식(6)의 DR 센서에 대한 오차 모델 뿐만 아니라 차량 속도 또는 위치에 포함되어 있는 오차 요인을 모델링하여야 한다. 기존의 GPS/DR 통합 방법에서는 차량 위치에 포함되어 있는 오차를 센서 오차에 대하여 모델링하여 식(7)과 같이 오차 방정식을 구성하였다 [6]. 식에서 프로세스 잡음  $w(k)$ 는 백색잡음으로 가정하고,  $\delta p_E(k)$ 와  $\delta p_N(k)$ 는 각각 동쪽과 북쪽 방향으로의 DR 위치 해의 오차이다.

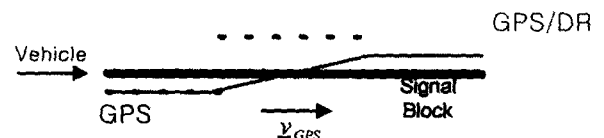
기존의 통합방법에서 GPS 코드 위치 정보를 이용하여 DR 센서 오차를 보정하는 이유는 식(7)에서 보는 바와 같이 DR 센서의 오차가 위치 오차에 연관되도록 모델링하였기 때문이다. 이러한 기존의 통합 방법은 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째, 100m(2dRMS)의 위치 오차를 포함하는 GPS 위치 정보만으로는 DR 센서에 대한 정확한 보정이 어렵다. 둘째, 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 가시위성이 바뀌거나 가시위성의 개수가 변화하여 GPS 코드 위치 정보에 포함되어 있는 편향오차가 변경되는 경우에 DR 센서의 잘못된 보정이 이루어질 수 있다. 그림 1에서 굵은 실선으로 표시된 주행 궤적은 차량이 그림의 왼쪽 지점에서 오른쪽 지점으로 진행하는 경우를 표시하며, 가는 실선은 통합 필터로 추정된 차량의 위치, 점선은 GPS에서 측정된 차량의 위치를 나타내며,  $v_{GPS}$ 는 GPS 반송파 속도 측정치이다.

정확한 DR 센서 보정을 위해서 GPS 코드 위치 정보보다 랜덤 오차가 작고 편향되지 않은 다른 정보가 필요하다. GPS 반송파 속도 정보는 GPS 코드 위치 정보에 비하여 상대적으로 매우 작은 약 0.5m/sec (SPS, Standard Positioning Service) 정도의 오차를 가지므로[11], 이를 이용하면 DR센서를 보다 정확하게 보정할 수 있다. 또한 반송파

를 이용하여 구한 속도 정보는 편향 오차가 매우 작기 때문에 이를 이용하여 DR 센서를 보정하면 그림 1(b)와 같이 GPS 코드 위치 정보에 포함되어 있는 편향오차가 변경된 후 위성 신호가 차단된 경우에도 정확한 항법 해를 제공할 수 있다.



(a) GPS 코드 위치 정보를 이용한 DR 보정  
(a) DR calibration using the GPS position



(b) GPS 속도 정보를 이용한 DR 보정  
(b) DR calibration using the GPS velocity

그림 1 가시 위성 환경 변화후 GPS 신호 차단시 위치 항법 해의 비교

Fig. 1 Comparison of positioning in GPS signal blocking after the visible satellites changing

이와 같은 개념으로부터 본 논문에서는 GPS 코드 위치 정보 뿐만 아니라 반송파 속도 정보를 이용하는 새로운 GPS/DR 통합 방법을 제안한다. DR 센서 및 속도는 GPS 반송파 속도 정보를 이용하여 보정하고 DR 위치는 GPS 위치 정보를 이용하여 보정한다. GPS 반송파 속도 정보를 이용하여 DR 센서를 보정하기 위해서는 오차 방정식에서 속도오차가 DR 센서 오차와 연관되어야 하며, 이에 대한 유도는 다음과 같다.

차량의 속도 벡터의 변화율  $\dot{v}(k)$ 의 오차는 식(8)과 같이 DR을 이용하여 구한 가속도  $a_{DR}(t)$ 와 실제 가속도  $a_{True}(t)$ 의 차로 표현된다.

$$\delta \dot{v}(t) = a_{DR}(t) - a_{True}(t) + w_v(t) = \begin{bmatrix} a_{E,DR}(t) - a_{E,True}(t) \\ a_{N,DR}(t) - a_{N,True}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{v_E}(t) \\ w_{v_N}(t) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\delta x(k+1) \equiv \begin{bmatrix} \delta p_E(k+1) \\ \delta p_N(k+1) \\ \delta \psi(k+1) \\ \delta Sf_N(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & s(k) \cdot \cos \psi(k) \cdot \Delta t & s(k) \cdot \sin \psi(k) \cdot \Delta t / Sf_N(k) \\ 0 & 1 & -s(k) \cdot \sin \psi(k) \cdot \Delta t & s(k) \cdot \cos \psi(k) \cdot \Delta t / Sf_N(k) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta p_E(k) \\ \delta p_N(k) \\ \delta \psi(k) \\ \delta Sf_N(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{p_E}(k) \\ w_{p_N}(k) \\ w_\psi(k) \\ w_{Sf_N}(k) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\equiv \Phi(k) \cdot \delta x(k) + w(k)$$



### 3. 실험 결과

도로 주행 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 GPS/DR 통합 방법과 2.2절의 식(7)의 오차 모델과 GPS 코드 위치정보를 이용하는 기존 통합 방법의 성능을 비교하였다. 실험 결과에 대한 오차 분석을 위하여 시간에 따른 기준 위치 궤적이 필요하며, 본 논문에서는 DGPS를 이용하여 이를 구하였다. 특히 GPS 신호가 차단된 지역에서는 DGPS/DR을 이용하여 연속적인 기준 위치 데이터를 구하였다. 또한 GPS/DR 및 DGPS에 필요한 각종 데이터를 주행 실험 시 저장하고 이를 이용하여 후처리로 결과를 분석하였다.

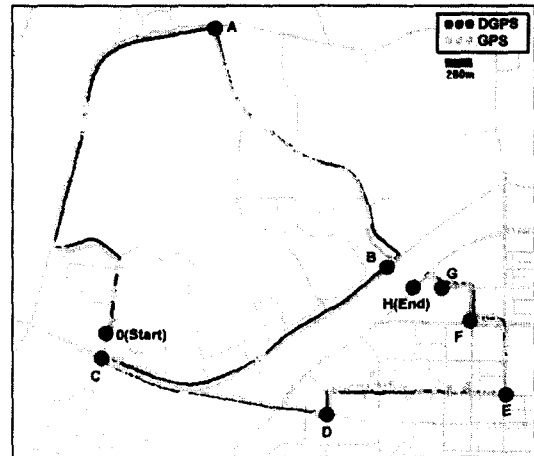
다양한 환경 조건에서의 성능을 알아보기 위하여 주변에 가로수가 우거진 도로, 주변 장애물이 없는 도로, 아파트 단지 내 도로 등을 포함하는 코스를 실험 구간으로 선정하였다. 선정된 주행 코스는 대전광역시 충남대학교 부근이며, 실험 구간의 총 주행 거리는 약 13km, 총 주행 시간은 약 32분이다. 그림 3(a)는 GPS 단독 주행 궤적 및 DGPS 기준 궤적을 도시한 것이다. 주행 실험을 하는 동안 시간에 따른 가시 위성 수 및 DOP의 상태는 그림 3(b)와 같다. 그림에서 A-B 구간은 가로수가 우거진 도로이고, B-C-D 구간은 가시 위성의 확보가 용이한 도로, D-E 구간 및 F-G-H 구간은 아파트 단지 내 도로이다. 그림에서 보는 바와 같이 아파트 단지 내 도로를 지날 때인 1200초에서 1900초 시간 구간에서는 가시위성의 개수가 현저히 줄고 DOP도 나빠짐을 알 수 있다. 그러므로 이 구간에서는 GPS에서 측정치를 제공하지 못하는 경우도 자주 발생하며, 측정치를 구할 수 있는 경우에도 DOP이 좋지 않기 때문에 정확도가 저하된다. DGPS 기준 궤적은 지도의 도로 상에 정확히 위치하였으며, GPS 신호가 차단된 지역에서 DGPS/DR을 이용하여 구한 궤적도 10m이내의 오차를 갖는다.

본 논문에서 제안한 GPS/DR 통합 방법의 성능을 확인하기 위하여 다음과 같은 세 가지 경우의 실험 결과를 분석하였다.

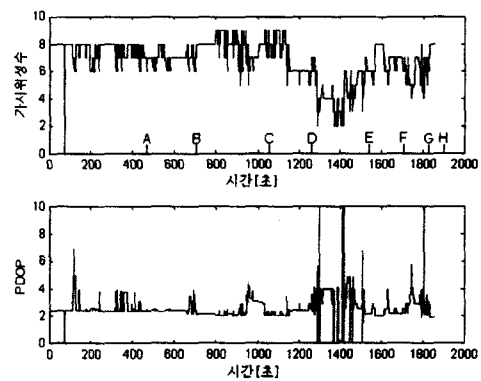
- Case 1 : 센서의 장착 오차가 없는 정상적인 상태에서의 실험
- Case 2 : 위성 상태 변경 후 위성 신호가 차단되는 경우의 실험
- Case 3 : 자이로를 임의로 기울여 장착한 경우의 실험

Case 2는 Case 1의 주행 실험 데이터에 대하여 임의의 구간에서 GPS 신호가 차단되어 GPS 측정치가 없다고 가정하고 수행하였다. Case 3는 자이로를 기울여 장착하고 새로운 주행 실험을 하였다. Case 1의 실험은 출발지점 O로부터 최종지점 H까지 주행실험을 하였으며, 그림 4는 DGPS 항법 해를 기준으로 시간에 따른 두 가지 방법의 위치 오차 추이를 나타낸 것이다. 두 가지 통합 필터 모두 상태변수 초기 추정치를 대략적으로 설정하였다.

GPS/DR 통합 필터를 이용하여 항법을 수행하면 GPS 단독 항법에 비하여 위치 해의 분산이 작고 연속적인 위치정보를 제공한다. 두 가지 통합 방법을 비교하면 그림에서 보는 바와 같이 제안한 방법이 기존 방법보다 우수한 성능을 나타내며, 구간별 위치오차의 평균 및 분산은 표 1과 같다.



(a) 주행 궤적  
(a) vehicle trajectory



(b) GPS 가시 위성의 개수 및 PDOP  
(b) The number of satellites in view and PDOP

그림 3 주행 실험 구간의 궤적 및 GPS 위성상태  
Fig. 3 Horizontal reference trajectory

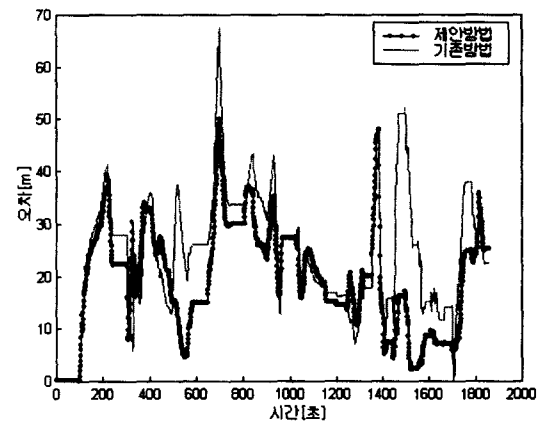


그림 4 Case 1에서의 위치 오차 비교  
Fig. 4 Comparison of the position error in Case 1

전체 구간에 대하여 제안한 방법이 기존 방법의 약 70%의 위치 오차를 가짐을 알 수 있으며, 특히 GPS 신호 상태가 불량한 D-E 구간에서도 제안한 방법은 작은 분산과 오차 평균을 갖는다.

표 1 Case 1에서의 구간별 오차 비교  
Table 1 Comparison of the position error by course

주행 구간	제안 방법		기존 방법	
	평균[m]	분산[m <sup>2</sup> ]	평균[m]	분산[m <sup>2</sup> ]
O-A	26.3	267.0	20.1	160.9
A-B	18.6	133.5	31.2	153.0
B-C	28.7	19.7	32.7	36.9
C-D	18.1	12.8	18.2	8.1
D-E	14.8	115.1	25.4	187.6
E-F	7.5	2.7	14.3	17.2
F-G	23.7	5.9	33.7	21.1
G-H	28.1	13.9	26.2	21.0
전구간	19.3	103.2	26.1	125.5

본 논문에서 제안한 오차 모델 및 통합 방법의 타당성을 검토하기 위하여 Case 2에서는 일정 구간에서 GPS 위성 신호를 의도적으로 단절하는 실험을 수행하였다. 즉 Case 1의 실험 데이터에 대하여 B-C 구간에서의 GPS 측정치를 삭제한 후 두 가지의 통합 필터에 대하여 성능을 비교하였으며, A-C 구간에서의 위치오차는 그림 5와 같다.

위성 신호의 단절이 시작된 B지점(700초 부근) 이후의 구간에서는 위치 오차가 증가한다. 이는 DR 센서의 계수 오차에 의한 센서 출력의 오차 누적에 의한 것이며, 제안한 방법의 오차 증가율이 기존 방법의 증가율의 1/2이하이다. 오차 증가율이 작기 위해서는 위성 신호 단절 직전에 추정된 항체의 위치 및 자세각의 오차가 작아야 할 뿐만 아니라 그

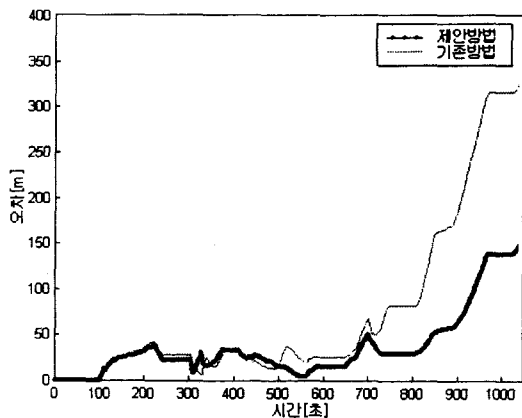


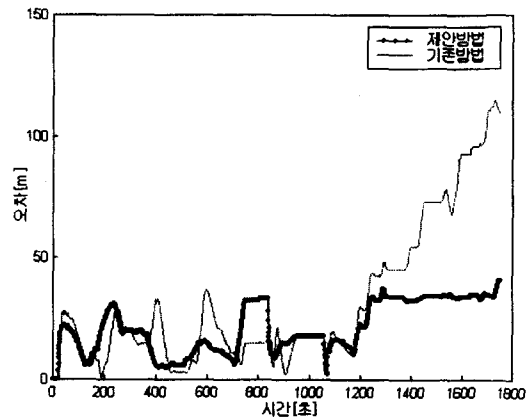
그림 5 Case 2에서의 위치 오차 비교  
Fig. 5 Comparison of the position error in Case 2

당시의 DR 센서 계수를 정확히 추정해야만 한다. 본 논문에서 제안한 통합 방법에서는 자세각의 오차를 유발하는 자이로 계수를 오차 모델에 포함하고 있고 또한 GPS 반송파 속도 정보를 이용하여 센서를 보정하기 때문에 위성 신호가 차단된 이후에도 보다 정확하게 항법 해를 추정할 수 있다. 표 2는 위성 신호가 단절된 B-C 구간에 대하여 두 가지 통합 방법의 위치 오차를 비교한 것이다.

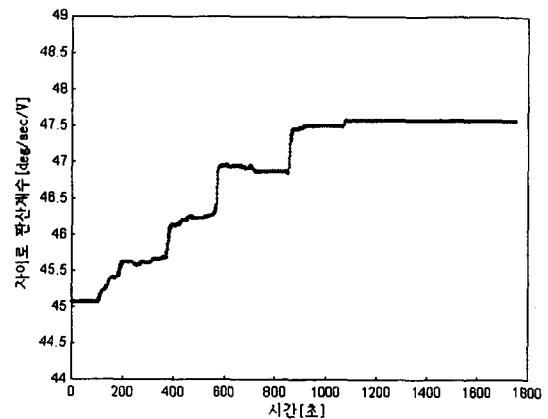
표 2 Case 2에서의 B-C 구간의 위치 오차 비교  
Table 2 Comparison of the position error by course

주행 구간	제안 방법		기존 방법	
	평균[m]	분산[m <sup>2</sup> ]	평균[m]	분산[m <sup>2</sup> ]
B-C	74.2	1966.1	186.9	9394.6

마지막으로, Case 3에서는 자이로를 장착할 때 기울임 오차가 발생하는 경우 본 논문에서 제안한 오차모델이 이에 적절히 대처하는가를 살펴보기 위하여 자이로를 약 20° 기



(a) Case 3에서의 위치 오차 비교  
(a) Comparison of the position error in Case 3



(b) 제안한 방법의 환산계수 추정 결과  
(b) Estimated gyro scale factor

그림 6 Case 3에서의 주행 실험 결과  
Fig. 6 Comparison of the position error in Case 3

표 3 Case3에서의 구간별 오차 비교

Table 3 Comparison of the position error by course

주행 구간	제안 방법		기존 방법	
	평균[m]	분산[m <sup>2</sup> ]	평균[m]	분산[m <sup>2</sup> ]
0-A	17.5	61.0	15.4	77.4
A-B	8.5	16.0	11.9	92.5
B-C	19.7	102.3	17.8	61.3
C-D	15.5	12.2	14.1	24.8
D-E	24.6	82.9	31.0	196.1
E-F	33.7	0.7	66.4	94.1
F-G	34.0	0.3	91.4	55.9
G-H	36.3	6.1	111.1	6.8
전구간	24.0	106.8	39.2	1031.8

올여 장착한 후 같은 구간에 대해서 다시 주행 실험을 수행하였다. 시간에 따른 두 가지 통합 방법의 위치 오차 및 제안한 방법에서의 환산계수 추정치 추이는 그림 6과 같다. 위성 상태가 양호한 0-A-B-C-D 구간(0초 ~ 1100초 부근)에서는 두 가지 통합 필터의 성능이 유사하지만 가시 위성의 확보가 어려운 D구간 이후의 지역에서는 제안한 DR 센서 모델을 이용한 통합 필터의 성능이 월등히 우수함을 알 수 있으며, 두 가지 통합 방법의 구간별 위치 오차의 평균과 분산은 표 3과 같다. 이와 같은 결과가 나타나는 이유는 제안한 DR 센서 모델의 경우 자이로의 기울임 오차를 추정할 수 있고 그 결과 GPS 신호 상태가 불량하여 DR 단독으로 항법을 수행할 때 회전각을 정확히 구할 수 있기 때문이다. 그림 6 (b)로부터 제안한 통합 방법에서 추정된 환산계수 오차가 수렴하기 위해서는 약 900초의 긴 시간이 필요함을 알 수 있으나, 최초 자이로를 장착하여 오차 추정치를 구한 후에는 이 값을 저장하여 다음 주행 시 초기값으로 사용할 수 있으므로 필터 수렴시간 동안의 오차는 센서의 초기 장착 시에만 발생하며 이후에는 발생하지 않는다. 또한 실험에서 사용한 자이로의 정상적인 환산계수(45.045 deg/sec/V)를 이용하여 20° 기울어 졌을 때의 환산계수를 계산하면  $45.045 / \cos(20^\circ) = 47.936$  이 되며, 장착의 정확도를 고려할 때 그림에서 수렴한 후의 환산계수 추정치가 이론치와 일치함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 GPS 반송파 속도 정보를 이용한 새로운 GPS/DR 통합 방법을 제안하였다. 자이로의 자세각 오차를 유발하는 요소들을 오차모델에 고려함으로써 자이로의 장착 시 기울임 오차가 있는 경우나 동적 환경에서 DR센서를 보정할 수 있도록 하였다. 또한 센서 보정 시 GPS 반송파 속도 정보를 이용함으로써 정확도를 향상시킬 수 있는 통합 방법을 제안하였다. 주행 실험 결과 제안한 통합 방법은 기존의 방법보다 우수한 성능을 보였으며, 특히 GPS 위성신호가 장시간 차단되거나 자이로가 기울어져 장착되었을 경우에 기존의 방법 보다 2배 이상 우수한 성능을 나타내었다. 제안한 GPS/DR 통합 방법은 빌딩, 나무 숲 등에 의하

여 GPS 위성 신호가 장시간 동안 차단되거나 위성신호가 빈번히 차단될 수 있는 지상 환경에서의 차량 항법 시스템 등에 유용하게 적용할 수 있을 것이다.

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 대학부설연구소 과제연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] B. W. Parkinson, J. J. Spilker, *Global Positioning System : Theory and Applications vol. I II*, AIAA, Washington, 1996.
- [2] Elliott D. Kaplan, *Understanding GPS : Principles and Applications*, Artech House, MA, 1996.
- [3] George M. Siouris, *Aerospace Avionics Systems*, Academic Press, California, 1993
- [4] Mohinder S.Grewal, Angus P. Andrews, *Kalman Filtering Theory and Practice.*, Prentice-Hall, New Jersey, 1993
- [5] R. G. Brown, Patric Y. C. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, John Wiley & Sons, Canada, 1997.
- [6] R. Zickel et al., "GPS aided Dead Reckoning Navigation," Proceedings of the 1994 National Meeting - Navigating the Earth and Beyond, pp. 577-586, 1994.
- [7] Parick Y.C Hwang, "Kinematic GPS for Differential Positioning: Resolving Integer Ambiguities on the Fly," ION 91, vol. 38, No. 1, Spring 1991.
- [8] Takahiro Oikawa et al. "Development of Vibrational Rate Sensor and Navigation System," SAE paper 870215, 1987.
- [9] Ren Da and George Dedes, "Nonlinear Smoothing of Dead Reckoning Data With GPS Measurements," ION GPS-95, pp. 1285-1294.
- [10] L. W. Stimac, Greg Routson, and John Washburn, "An Integrated Land Navigation Solution," PLANS-88, pp. 221-229.
- [11] Yilin Zhao, *Vehicle Location and Navigation Systems*, Artech House, Inc., Boston, 1997.
- [12] Jay Farrell and Matthew Barth, *The Global Positioning System and Inertial Navigation*, McGraw-Hill, New York, 1999.
- [13] G. Minkler and J. Minkler, *Theory and Application of Kalman Filtering*, Magellan, FL.

저 자 소 개



**서 흥 석 (徐興碩)**

1974년 1월 20일 생. 1997년 충남대학교 전자공학교육과 졸업. 1999년 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1999년~현재 충남대학교 대학원 전자공학과 박사과정



**이 상 정 (李相禎)**

1957년 8월 15일 생. 1979년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1981년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1987년 서울대학교 제어계측공학과 졸업(박사). 1988년~현재 충남대학교 전자공학과 교수



**성 태 경 (成泰慶)**

1961년 4월 12일 생. 1984년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1986년 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1992년 서울대학교 제어계측공학과 졸업(박사). 1997년~현재 충남대학교 전기공학과 조교수