

### GPS 수신기와 Dead Reckoning 센서를 결합한 위치 결정 (Position Location by Integration of GPS Receiver and Dead Reckoning Sensors)

노재선 \* (만도 기계 중앙 연구소), 오준호 (한국 과학 기술원)  
Noh Jac-Seon \* (Mando R&D Center), Oh Jun-Ho (KAIST)

Key Words : Dead reckoning, GPS, Kalman Filter(칼만 필터), Navigation(항법), Position Location(위치 결정)

ABSTRACT : The needs of vehicle navigation system are increasing and the accurate determination of position is still of primary importance. GPS (Global Positioning System) receiver and low cost dead reckoning sensors have been used for vehicle position location. The integration of these can improve the system performance to cope with accumulating errors and multipath problem in urban area. However, the implementation of integrated system of two sensors is not easy, for their real data have noises that are not apt to be modeled.

This paper discusses how to combine a GPS receiver and dead reckoning sensors. The characteristics of sensors and their data are investigated, and the system for field test is manufactured. The test results of a selected typical route are presented.

#### 1. 서론

##### 1.1 연구의 배경

차량 항법 장치는 효율적인 교통 관제를 통해 쾌적한 운전 환경을 제공함으로써 운행 비용을 절감하고 사고를 미연에 방지 할 수 있다. 자동차 산업은 각종 전자 장치가 결합되어 자동차가 고급화 되는 추세이므로, 이에 따라 차량 항법 장치는 차세대 자동차 산업의 필수품으로 될 전망이다. 이러한 차량 항법 장치의 기능 중 가장 중요한 부분은 차량의 위치를 정확하게 결정하는 것이며 이 기능이 없으면 다른 상세한 교통 정보와 편리를 제공한다 하더라도 의미가 없다.

일반적으로 위치 결정하는 방법은 크게 두 가지로 나누어 추측 항법(Dead Reckoning Navigation)과 전파 항법으로 나눌 수 있다. 추측 항법은 기존의 관성 항법 시스템(INS; Inertial Navigation System)에 해당되는 경우로서 진행 방향의 속도와 자세 각을 이용하여 항체의 위치를 계산하는 방법이며, 짧은 시간에 비교적 정확한 위치를 얻을 수 있으나 시간이 지남에 따라 오차가 누적되며, 초기화에 많은 노력이 필요하고 관성 센서의 경우 드리프트의 보정이 큰 문제가 된다.

반면 전파 항법(radio navigation)은 외부 전파 입력을 통하여 현재의 절대 위치를 계산하는 방법으로서, 추측 항법과는 달리 오차가 누적되지 않고 초기화 문제가 없으나, 정밀도에 한계가 있으며 다중 경로(Multipath)에 의하여 신호가 중단될 수 있다. 따라서, 두 시스템의 단점을 보완하여 오차가 누적되지 않고도 고주파에서도 정밀한 특성을 갖는 위치 데이터를 얻기 위해서, 기존의 관성 항법에 전파 항법 시스템을 외부 입력으로 하여 칼만 필터를 통해 결합한 보조 관성 항법 시스템(aided INS)에 관한 연구가 일찍부터 진행되어 왔다.<sup>1)</sup>

GPS(Global Positioning System)는 현재 가장 주목받고 있는 전파 항법 시스템으로서, 1973년 미 국방성에서 군사적인 항법 목적을 위해서 개발하였으며 민간용 수신기의 경우 군사적인 목적으로 정밀도를 제한한 SA(Selective Availability)때문에 약 100 m의 위치 오차를 갖는 비교적 정밀한 위치 결정 시스템이다. 따라서, 1990년대 들어서면서 미국, 일본 등에서는 중심으로 GPS 수신 데이터를 맵 매칭(map matching)과 결합하여 실용적인 차량 항법 장치에 이용하였다.

그러나 차량 항법에서 이러한 SA 오차를 갖는 위치 데이터를 단독으로 이용하는 경우, 그 정밀도가 맵 매칭하기에도 부적합한 정도이며, 또한 기존의 전파 항법 시스템과 마찬가지로 도심이나 터널에서 다중 경로(Multipath)로 인하여 전파가 중단되는 문제가 따른다. 때문에 최근에는 이를 보완하기 위하여 중 저가의 dead reckoning 센서와의 결합한 위치 결정 방법이 차량 항법에 응용되고 있다.

##### 1.2 연구의 목적

차량 항법에서 GPS 수신기와 dead reckoning 센서를 결합하는 방법은 보조 관성 항법에서와 주로 칼만 필터가 이용되나 실제 구현하는 과정은 잘 알려져 있지 않다.

본 연구에서의 목적은 GPS 수신기 및 각 dead reckoning 센서를 이용하여 시스템을 구성하고, 이를 통해 취득한 각 데이터를 결합하여 최적의 위치를 결정하는 과정을 구현함으로써 차량 항법 장치에서 이용되는 항법 필터의 특성을 이해하고자 한다.

#### 2. 시스템의 구성

본 연구의 시스템은 Fig.2.1과 같이 평면 상의 방위 및 속도 정보를 제공하기 위한 dead reckoning 센서와 GPS 수신기 및 이를 결합하기 위한 PC 및 인터페이스로 구성되어 있다.

##### 2.1 Dead reckoning 센서

차량 항법 장치에 이용되는 dead reckoning 센서는 크게 방위 센서와 거리 센서로 나눌 수 있다. 방위 센서는 지자기 센서를 이용하여 방위의 절대값을 직접 감지하거나, 또는 자이로스코프, 조향각 센서 등을 이용하여 방위의 상대적인 변화를 측정한다. 본 연구에서는 이 중 가장 감도가 좋고 외부의 변화의 영향을 적게 받는 자이로스코프를 방위 센서로 택하였다.

자이로스코프는 광파이버식, 진동식, 가스식 등이 있으며 이 중에서 압전 소자를 이용한 진동식 자이로스코프를 사용하였다. 비교적 저가의 중 저급의 정밀도를 가지면서 소형이므로 차량용으로 yaw-rate

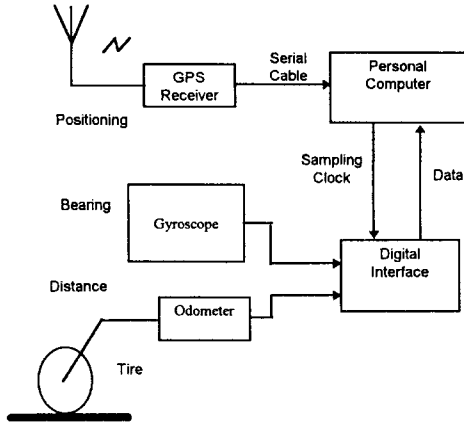


Fig.2.1 Hardware block diagram

센서로 많이 이용되나, 온도에 따라 변화하는 드리프트를 갖는 단점이 있다.

한편, 거리 센서는 차량 속도계를 접속하여 속도에 비례하는 디지털 펄스가 출력되는 센서를 이용하였다. 이는 기본적으로 타이어 회전 수를 계속하는 것이므로 타이어의 미끄럼, 공기압, 마찰 등이 오차 요인으로 작용한다. 보통 1% 미만의 오차를 갖고 있지만, 극히 저속의 경우에는 한 펄스에 해당되는 구간이 길어지므로 그만큼 오차의 크기가 커질 수 있다.

## 2.2 GPS 수신기

GPS 수신기는 위성 신호를 입력 받아 GPS 위성들과의 의사 거리(pseudo range)로부터 현재의 위치를 계산한다. dead reckoning 데이터와 결합을 위한 입력으로서 GPS의 위성과의 의사 거리를 이용하는 것은 기술적인 어려움이 따르므로, 본 연구에서는 보통 쉽게 다룰 수 있는 GPS 수신기의 출력 데이터를 이용하였다. GPS 수신기는 NMEA(National Marine Electronics Association) 표준에 따라 각 항법 정보블록별 통신을 통해 PC와의 접속이 가능하다. 수신기의 항법 정보는 WGS84(World Geodetic System) 좌표계를 기준으로 한 위도 및 경도, UTC(Universal Time Coordinated) 시각, DOP(Dilution Of Precision), 현재 가관측 위성의 수 등이며 매 2초마다 새롭게 제공된다.

한편, 근래의 GPS 수신기는 대부분 4개 이상의 채널로써 4개의 위성을 동시에 추적하는 연속 수신기이므로 빠르게 이동하는 물체에도 사용이 가능하다. 또한 위치 정밀도는 SA(Selective Availability)로 인하여 약 100m의 오차를 가지며, 수신기 내부에 칼만 필터를 내장하고 있으므로 출력 데이터들 간의 시간에 따르는 상관 관계를 갖는다.<sup>[4]</sup>

DOP(Dilution Of Precision)는 수신기가 선택한 위성들의 기하학적 인 위치 배열로 인한 오차를 가리키며, GPS 수신기의 알고리즘은 위성을 추적하는 초기에 이 DOP 값이 작은 위성의 조합을 선택하게 된다.

## 3. 칼만 필터의 적용

선형 시스템에서의 최적 추정 문제는 일반적인 경우에 연속 시간 시스템 모델과 이산 시간 측정 모델로 가정하여 식 (3.1)-(3.2)과 같이 나타낼 수 있으며, 각각의 노이즈는 식 (3.3)-(3.4)의 상호 분산 값을 갖는 영 평균 white-Gaussian 프로세스로 가정한다.

$$\dot{x}(t) = F(t)x(t) + B(t)u(t) + G(t)w(t) \quad (3.1)$$

$$z(t) = H(t)x(t) + v(t) \quad (3.2)$$

$$E(w(t)w^T(t+\tau)) = Q(t)\delta(\tau) \quad (3.3)$$

$$E(v(t_i)v^T(t_j)) = \begin{cases} R(t_i) & t_i = t_j \\ 0 & t_i \neq t_j \end{cases} \quad (3.4)$$

이와 같은 white Gaussian 노이즈를 갖는 선형 시스템에서 칼만 필터는 상태 변수의 최적값을 추정하는 필터로 알려져 있다. 이 때 시스템의 상호 분산의 전달식과 칼만 게인은 식 (3.5)-(3.10)의 과정으로 구할 수 있다.

$$\hat{P}(t/t_{i-1}) = F(t)P(t/t_{i-1}) + P(t/t_{i-1})F^T(t) + G(t)Q(t)G^T(t) \quad (3.5)$$

$$E\{x(t_0)\} = \bar{x}_0 \quad (3.6)$$

$$E\{[x(t_0) - \bar{x}_0][x(t_0) - \bar{x}_0]^T\} = P_0 \quad (3.7)$$

$$K(t_i) = P(t_i^-)H^T(t_i^-)\{H(t_i^-)P(t_i^-)H^T(t_i^-) + R(t_i^-)\}^{-1} \quad (3.8)$$

$$x(t_i^+) = x(t_i^-) + K(t_i)\{z_i - H(t_i)x(t_i^-)\} \quad (3.9)$$

$$P(t_i^+) = P(t_i^-) - K(t_i)H(t_i)P(t_i^-) \quad (3.10)$$

비선형 시스템을 갖는 경우에는 최적 추정 값을 기준으로 하여 선형화시킨 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter)를 이용한다.

한편, 보조 관성 항법의 형태로는 total state-space formulation, error state-space formulation의 두 가지 방법이 있다. 대부분의 보조 관성 항법 시스템에서는 error state-space formulation을 적용하고 있으나, 본 연구에서는 시스템의 구조가 간단하고 외부 입력과 시스템 추정 값 사이에 오차가 크므로 total state-space formulation을 이용하여 시스템을 모델화 하였다.

## 3.2 시스템의 모델화 및 칼만 필터의 적용

본 연구에서 dead reckoning 시스템의 기본 모델은 각속도와 속도를 입력으로 하고 현재의 위치와 자세 각을 상태 변수로 하는 식 (3.11)과 같은 비선형 형태로 나타낼 수 있다.

$$(3.11)$$

$$\dot{x} = f(x, u, t) = \begin{bmatrix} v \cos \theta \\ v \sin \theta \\ \omega \end{bmatrix}$$

$$x = [x \quad y \quad \theta]^T \quad u = [\omega \quad v]^T$$

$x, y$  : 평면 직각 좌표계에서의 2차원 상의 위치

$\theta$  : 동경을 기준으로 한 자세 각

$\omega, v$  : 2차원 상의 각속도 및 속도

확장 칼만 필터를 적용하기 위해 선형화 하던 식 (3.12)과 같이 되며, 이 때 각 상태 변수의 값은 이전 단계에서의 추정 값을 따른다.

$$\delta \mathbf{x} = \mathbf{F}(\mathbf{x}_n, t) \delta \mathbf{x} + \mathbf{B}(\mathbf{x}_n, t) \delta \mathbf{u} + \mathbf{G}(\mathbf{x}_n, t) \mathbf{w} \quad (3.12)$$

$$\mathbf{F}(\mathbf{x}_n, t) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\mathbf{x}=\mathbf{x}_n} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -v \sin \theta_n \\ 0 & 0 & v \cos \theta_n \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}(\mathbf{x}_n, t) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)}{\partial \mathbf{u}} \right|_{\mathbf{x}=\mathbf{x}_n} = \begin{bmatrix} 0 & \cos \theta_n \\ 0 & \sin \theta_n \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G}(\mathbf{x}_n, t) = \left. \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)}{\partial \mathbf{u}} \right|_{\mathbf{x}=\mathbf{x}_n} = \begin{bmatrix} 0 & \cos \theta_n \\ 0 & \sin \theta_n \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$\mathbf{x}_n$  : 이전 단계에서의 추정 값

한편, GPS 측정 변수의 상태 방정식은 식 (3.13)과 같이 주어진다.

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}(\mathbf{x}_n, t) \mathbf{x} + \mathbf{v} \quad (3.13)$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{x}_n, t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

시스템 노이즈 및 측정 노이즈  $\mathbf{w}$ ,  $\mathbf{v}$  는 식 (3.14) - (3.15)와 같은 상호 분산 값을 갖는 white Gaussian 노이즈로 간주된다.

$$E(\mathbf{w}(t)\mathbf{w}^T(t+\tau)) = \mathbf{Q}(t)\delta(t) \quad (3.14)$$

$$E(\mathbf{v}(t)\mathbf{v}^T(t+\tau)) = \begin{cases} \mathbf{R}(t_i) & t_i = t_j \\ 0 & t_i \neq t_j \end{cases} \quad (3.15)$$

이상의 모델을 확장 칼만 필터에 적용하여 최적의 위치 및 자세 각을 추정하였다.

## 4. 주행 실험 및 결과 분석

### 4.1 지상 주행

차량에 본 연구의 시스템을 장착한 다음, 한국 과학 기술원 대전 캠퍼스 내의 도로에서 전형적인 한 경로를 선택한 다음, 20-40 km/h의 속도로 주행하였다(Fig.4.1). 실험 환경은 주행 도로가 포장이 잘 되어 있고 높은 건물이 적어 도로 면적이나 위성에 대한 관측성이 비교적 좋은 환경이며, 곳곳에 급회전 도로를 첨가하여 dead reckoning 센서에 의한 고주파의 정밀도를 관측하고자 하였다.

한편, GPS에 적용되는 WGS84(World Geodetic System 84) 좌표계는 국내에서 적용되고 있는 Bessel 타원체에 의거한 local 좌표계와 차이가 있으므로 우리나라 지도 좌표와 높은 정확도로 일치시키기 위해서는 두 좌표계 간의 변환이 반드시 필요하다. 또한 현재 국가 기본도에서는 평면 직각 좌표계인 TM (Transverse Mercator) 좌표계가 적용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 GPS의 위도 및 경도 데이터를 local 좌표계로 변환한 다음, 다시 이 값을 TM (Transverse Mercator) 좌표계로 변환하여 국가 기본도를 기준으로 위치 대 위치의 평가를 하였다.

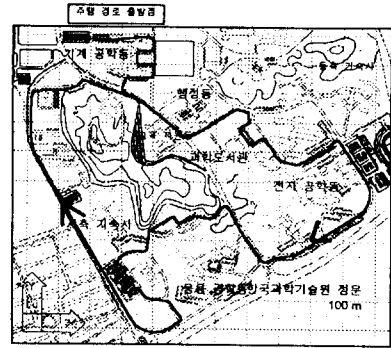


Fig.4.1 Ground test course in KAIST

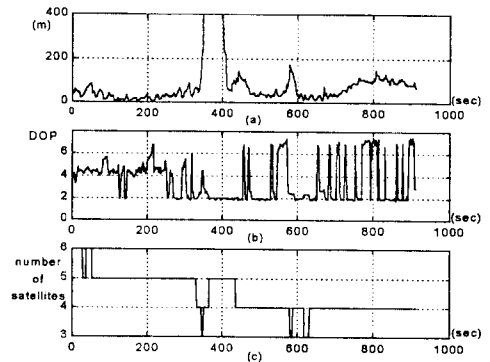


Fig.4.2 GPS data at test course (a) position error (b) DOP (c) the no. of visible satellites

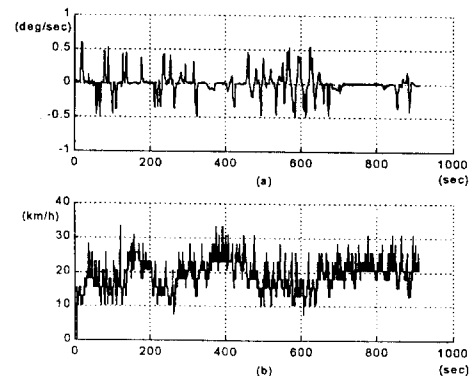


Fig.4.3 Dead reckoning data (a) angular velocity (b) speed

### 4.2. 실험 및 결과

선택한 경로에 대한 GPS 데이터 및 dead reckoning 센서의 데이터

측 위성의 수가 4 개 미만이거나 그 근처에서 바뀔 때에는 위치 오차가 크게 증가함을 알 수 있다. 그리고, DOP에 의한 영향은 많이 받지 않는데 이것은 SA(Selective Availability)나 다중 경로(multipath)에 의한 오차의 영향이 크기 때문에 잘 나타나지 않는 것으로 보여진다. 따라서, 모든 모의 실험에 대해서 가관측 위성의 수가 4 개 미만인 구간에서는 항상 dead reckoning 만의 정보를 이용하도록 하였다.

자이로스코프의 드리프트에 대한 고려 없이 기본 모델을 적용한 결과를 Fig. 4.4 에 나타내었다. 초기 값에 관계 없이 곧 GPS의 값에 근사하면서도 고주파의 특성을 유지하는 것을 볼 수 있으나 GPS의 중심을 따라가지 않는 경향을 보인다. 이러한 경향이 나타나는 이유는 자이로스코프의 드리프트를 고려하지 않아서 시스템 노이즈의 상호 분산 값이 평가하는 오차에 비하여 훨씬 더 큰 오차가 누적되었기 때문이다. Fig. 4.5 과 같이 자이로스코프의 드리프트를 초기에 적절히 보정하면 필터의 추정치는 비교적 GPS의 중심을 잘 따르면서 dead reckoning 센서가 갖는 고주파에서의 동적 특성 또한 유지하게 된다.

전체적인 결과로서 GPS 단독의 위치 데이터는 짧은 시간 대에서 위치 변화에 대한 추정을 할 수 없지만, dead reckoning 센서와 결합된 데이터는 고주파 영역에서의 특성을 잃지 않는 것을 볼 수 있다. (Fig.4.6) 이러한 특성은 비록 정밀도 면에서 많은 향상이 없더라도 맵 매칭을 하는 차량 항법 등에 이용할 경우에 올바른 매칭을 선택하는 데에 중요한 역할을 할 수 있다. 또한, 300-500 sec 사이의 다중 경로(multipath) 구간에서도 GPS를 대신하여 비교적 정밀한 위치 데이터를 제공하였다.

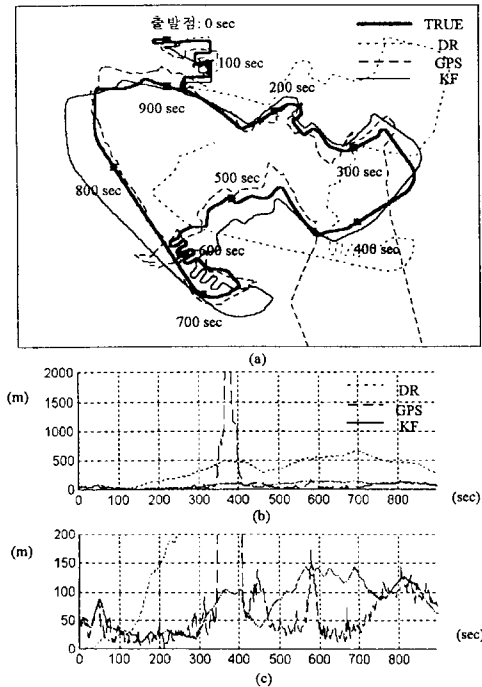


Fig.4.4 Test result for basic system model (a)2d plot (b)position error (c) range 0~200m

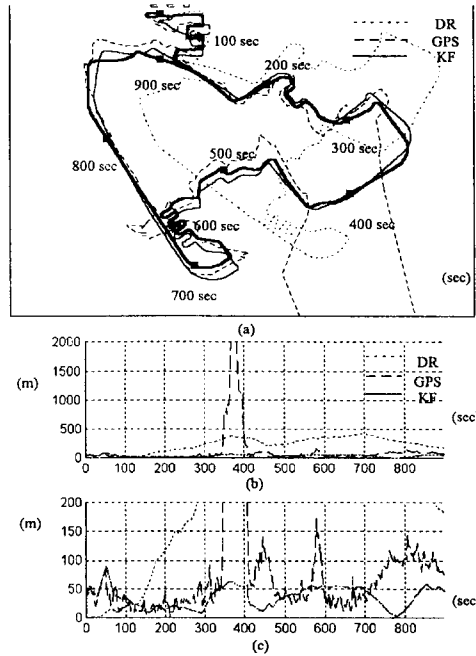


Fig.4.5 Test result for basic system model after compensation about gyroscope drift (a)2d plot (b)position error (c) range 0~200m

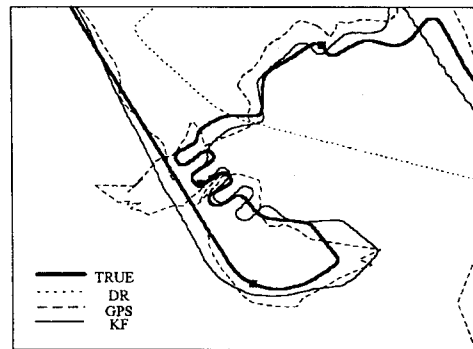


Fig.4.6 Characteristics of high frequency data

## 5. 결론

GPS 수신기 데이터와 dead reckoning 센서와 결합하기 위해 칼만 필터를 적용한 결과로서 위치 정밀도가 나가지는 않았으나 고주파와 저주파의 위치 변화를 잃지 않는 데이터를 얻을 수 있었으며, 이는 추후에 맵 매칭과 결합하여 응용될 때에는 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 또한, GPS의 신호가 중단되거나 가관측 위성의 수가 4 개 미만일

로서 위치 추정을 함으로써 해결할 수 있었다. 이를 통해 GPS 방법과 Dead Reckoning 방법의 단점을 서로 보완한 위치 결정이 가능함을 보였다.

한편, 위치의 정밀도에 관련한 시스템의 성능은 자이로스코우프의 드리프트에 의하여 크게 영향을 받으므로, 추후 연구 과제로는 자이로스코우프의 영 각속도 드리프트를 더욱 정밀하게 보정하기 위한 알고리즘이 연구되어야 하고, 자이로스코우프 정도의 정밀도 및 감도를 가지면서도 드리프트를 갖지 않는 센서의 개발이 요구된다.

그리고, GPS 수신 데이터와 dead reckoning 데이터 뿐만 아니라 지도 데이터 및 그 대응되는 결과를 칼만 필터의 입력으로 포함시킨 연구가 이루어져야 할 것이다.

#### 참고문헌

- (1) 김진원, "주행거리계와 GPS를 이용한 보조 스트랩다운 관성항법 시스템의 구성 및 성능 분석", 서울 대학교 제어 계측 공학과, 1994
- (2) Lawrence E. Sweeney, Jr., Walter B. Zavoli, "Comparative Performance of Various Autonomous Navigation Technologies", IEEE VNIS, 1993
- (3) Thomas W. Lezniak, "A Dead Reckoning/Map Correlation System for Autonomous Vehicle Tracking", IEEE Trans. Vehicular Technology, 1977
- (4) Spirio P. Karatsinides, "Enhancing Filter Robustness in Cascaded GPS-INS Integrations", IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems. Vol. 30, October 1994
- (5) Peter S. Maybeck, "Stochastic Models, Estimations, and Control", Vol 1,2, Academic Press, 1982
- (6) 편무욱, "GPS를 이용한 자동차 위치 결정 시스템 (AVLS)의 개발에 관한 연구", 서울 대학교 토목 공학과, 1991