

## 약결합 방식의 GPS/INS 통합시스템 설계 Design of a loosely-coupled GPS/INS integration system

김 종 혁\*                      문 승 욱\*                      김 세 환\*\*                      황 동 환\*  
Jong-Hyuk Kim, Sung Wook Moon, Se Hwan Kim, Dong-Hwan Hwang,  
이 상 정\*                      오 문 수\*\*                      나 성 웅\*  
Sang Jeong Lee, Moon-Su Oh, Sung-Woong Ra

### ABSTRACT

The GPS provides data with long-term stability independent of passed time and the INS provides high-rate data with short-term stability. By integrating these complementary systems, a highly accurate navigation system can be achieved. In this paper, a loosely-coupled GPS/INS integration system is designed. It is a simple structure and is easy to implement and preserves independent navigation capability of GPS and INS. The integration system consists of a NCU, an IMU, a GPS receiver, and a monitoring system. The navigation algorithm in the NCU is designed under the multi-tasking environment based on a real-time kernel system and the monitoring system is designed using the Visual C++. The integrated Kalman filter is designed as a feedback formed 15-state filter, in which the states are position errors, velocity errors, attitude errors and sensor bias errors. The van test result shows that the integrated system provides more accurate navigation solution than the inertial or the GPS-alone navigation system.

주요기술용어 : Navigation(항법), GPS(위성항법시스템), INS(관성항법시스템), Integrated Navigation System(통합항법시스템), GPS/INS integrated System(GPS/INS 통합시스템), Loosely-coupled Method(약결합방식)

### 1. 머리말

INS(Inertial Navigation System)는 자이로(Gyroscope)와 가속도계(Accelerometer)로부터의 관성정보를 이용하여 외부의 도움 없이 항체의 위치, 속도 및 자세를 결정하는 항법시스템인데, 짧은 시간동안은 매우 정확한 항법해를 제공하지만 시간이 지남에 따라 센서의 바이어스 오차, 환산계수 오차, 비정렬 오차 그리

고 초기정렬 오차등의 여러가지 요인에 의해서 항법 오차가 급격히 증가하는 단점을 가진다<sup>(1)</sup>.

GPS(Global Positioning System)는 위성으로부터 수신되는 신호의 전달시간으로부터 구하는 의사거리(Pseudorange)와 의사거리율(Pseudorange Rate)을 이용하여 항체의 위치 및 속도를 제공하는 시스템으로 시간경과에 따른 오차누적이 없으므로 장시간동안 정확한 항법해를 제공하지만 가시위성수에 따라 항법해를 구할 수 없는 경우가 발생하기도 하고 외부 교란신호(Jamming)에 의하여 정상동작이 불가능한 경우도 중

\* 충남대학교 전자공학과

\*\* 국방과학연구소

종 발생한다. 또한 수 Hz대의 낮은 데이터 전송속도를 가지므로 항공기와 같이 빠른 동특성을 가지는 항체에는 적용하기 어려운 단점도 있다<sup>(2)</sup>.

이와같이 INS와 GPS는 상호보완적인 오차특성을 가지므로 통합에 의하여 INS의 단기안정성을 가지면서 GPS의 장기안정성도 가지는 고정밀한 항법시스템을 구성할 수 있다. 통합시스템을 구성하는 방법은 두 시스템의 결합정도에 따라 강결합방식(Tightly-coupled Method)과 약결합방식(Loosely-coupled Method)으로 구분할 수 있으며 오차보정방식에 따라 피드포워드방식(Feedforward Method)과 피드백방식(Feedback Method)으로 구분할 수 있다<sup>(3,4)</sup>.

본 논문에서는 GPS에서 추정된 위치 및 속도정보를 사용하는 약결합 방식의 GPS/INS 통합시스템을 설계하였다. 본 논문에서 설계한 약결합 방식의 통합은 측정방정식이 간단하고 상용의 다양한 GPS와 INS를 사용하여 쉽게 구현할 수 있다. 또한 GPS와 INS가 각각 독립적인 항법기능을 수행할 수 있는 중첩성(Redundancy)을 가진다.

먼저 GPS/INS의 모듈을 이용한 통합시스템을 구현하기 위하여 통합 하드웨어를 설계하고 통합 알고리즘을 구현하기 위한 소프트웨어를 설계하였다. 통합 알고리즘을 설계하기 위하여 IMU의 관성데이터로부터 위치, 속도 및 자세를 계산하는 INS의 항법방정식을 도출하고 항법오차를 추정하는 통합칼만필터의 설계를 위한 INS의 오차모델을 도출하였다. 통합시스템의 하드웨어는 항법컴퓨터 (Navigation Compute rUnit, NCU), 관성센서(Inertial Measurement Unit, IMU), GPS 수신기 및 모니터링(Monitoring) 시스템으로 구성하였다. 항법컴퓨터는 ARM 계열의 RISC CPU를 사용하여 구현하였고 관성센서로는 미국 하니웰(Honeywell)사의 HG1700 IMU를 사용하였으며 모니터링 시스템은 노트북 PC를 이용하여 구현하였다. 소프트웨어는 실시간 커널(Real-Time Kernel)을 이용하는 멀티태스킹

환경하에서 구현하였다. 설계한 통합시스템은 부동소수점 처리기를 내장하여 고속의 연산능력을 가지고 있으며 여러가지 GPS와 IMU와의 인터페이스가 가능하도록 다양한 입출력 포트를 가지고 있다. 또한 소프트웨어는 모듈화(Modularzation)하여 확장이 용이하도록 설계하였다. 본 논문의 구성은 먼저 INS 항법방정식과 도출한 오차모델을 제시한다. 그리고 항법 모델의 상태방정식과 측정방정식을 사용한 통합칼만필터의 설계에 관하여 서술하고 통합시스템의 하드웨어와 소프트웨어 설계에 대하여 이야기한다. 본 논문에서 설계한 통합시스템의 성능을 보이기 위하여 수행한 차량탐재 실험 결과를 제시하고 마지막으로 맺음말에서 본 논문의 결론 및 추후 연구과제를 제시한다.

## 2. INS 항법방정식 및 오차모델

통합항법을 수행하기 위하여 IMU의 관성데이터로부터 위치, 속도 및 자세를 계산하는 INS의 항법방정식이 필요하며 항법오차를 추정하는 통합칼만필터의 설계를 위한 INS의 오차모델이 필요하다. 본 논문에서 사용한 항법 방정식과 오차모델은 다음과 같다.

### 2.1 INS 항법방정식

INS 항법방정식은 크게 자세계산 알고리즘과 위치 및 속도계산 알고리즘으로 구성된다. 자세계산 알고리즘은 자이로에서 출력되는 동체의 회전각속도를 이용하여 동체좌표계와 항법좌표계간의 좌표변환행렬을 구하는 것이다. 일반적으로 많이 사용되는 좌표변환방법으로는 오일러각 방법, 방향코사인행렬 방법, 쿼터니언 방법이 있는데 쿼터니언 방법이 수치적으로 안정하고 계산량도 적으므로 현재 가장 많이 사용되는 방법이다<sup>(1,5)</sup>. 본 논문에서는 쿼터니언을 자세변수로 사용하였으며 항체의 실제 회전순서와 컴퓨터에서 처리하는 회

전순서가 다르기 때문에 발생하는 비교환 오차(Non-Commutativity Error)를 줄일 수 있는 것으로 알려진 회전 벡터를 이용한 쿼터니언 갱신 알고리즘을 사용하였다<sup>(6)</sup>.

스트랩다운(Strapdown) INS에서는 가속도계가 동체에 직접 부착되어 있으므로 먼저 가속도계에서 측정된 선형가속도  $f^b$ 를 항법좌표계의  $f^n$ 으로 변환한 다음 식 (1)과 같은 속도에 관한 미분방정식을 이용하여 속도를 계산한다. 여기서 항법좌표계는 NED(North East Down)좌표계를 사용하였다.

$$\frac{d}{dt} V^n = C_b^n f^b - (2\omega_{ie}^n + \omega_{en}^n) \times V^n + g^n \quad (1)$$

여기서,  $V^n$ 은 NED 좌표계에서의 항체의 속도이고  $C_b^n$ 은 동체좌표계에서 항법좌표계로의 좌표변환행렬이며  $\omega_{ie}^n$ 과  $\omega_{en}^n$ 은 지구의 자전각속도와 지구에 대한 항법좌표계의 회전을으로써 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\omega_{ie}^n = [\Omega \cos L, 0, -\Omega \sin L]^T \quad (2)$$

$$\omega_{en}^n = [\rho_N \ \rho_E \ \rho_D]^T = \left[ \frac{V_E}{R_t + h} \quad -\frac{V_N}{R_m + h} \quad -\frac{V_E \tan L}{R_t + h} \right]^T \quad (3)$$

여기서,  $\Omega$  는 지구 자전각속도,  $L$ 은 위도,  $[\rho_N \ \rho_E \ \rho_D]$ 는 지구에 대한 항법좌표계의 회전 각속도를 나타낸다.  $[V_N \ V_E \ V_D]$ 는 항법좌표계로 표현된 속도,  $R_m$ 은 남북방향으로의 지구 자오반지름(Meridian Radius),  $R_t$ 는 동서방향으로의 지구 접선반지름(Tangential Radius)을 나타낸다.

위치에 관한 미분방정식은 다음과 같다.

$$\dot{L} = \frac{V_N}{R_m + h} \quad (4)$$

$$\dot{l} = \frac{V_E}{(R_t + h) \cos L} \quad (5)$$

$$\dot{h} = -V_D \quad (6)$$

여기서,  $h$ 는 항체의 고도를 나타낸다.

## 2.2 INS 오차모델

칼만필터를 사용하여 GPS와 INS의 정보를 통합하기 위해서는 GPS와 INS의 수학적 오차모델이 필요하다. INS의 오차모델은 여러가지 형태로 발전되어 왔는데<sup>(6,9)</sup>, 대표적인 것으로  $\Phi$ (PHI)-모델과  $\Psi$ (PSI)-모델이 있으며 이들은 서로 동등함이 확인되었고 유도할 수 있음이 알려져 있다<sup>(10)</sup>.  $\Phi$ -모델은 주로 시물레이션에 많이 사용되며  $\Psi$ -모델은 실제 항법시스템 구현시 많이 사용된다.

본 논문에서는 실제 항법시스템을 구현하는 경우가므로  $\Psi$ -모델을 사용하였으며 속도, 위치 및 자세에 대한 오차모델식은 다음과 같다<sup>(9)</sup>.

$$\delta \dot{v} = -(2\omega_{ie} + \omega_{en}) \times \delta v + \omega_s \delta r - \phi \times f + \nabla \quad (7)$$

$$\delta \dot{r} = -\omega_{en} \times \delta r + \delta v \quad (8)$$

$$\dot{\phi} = -\omega_{in} \times \phi + \epsilon \quad (9)$$

여기서,  $\delta v$ ,  $\delta r$  그리고  $\phi$ 는 속도오차, 위치오차 그리고 자세오차를 나타내며  $\nabla$ 과  $\epsilon$ 은 가속도계와 자이로의 바이어스를 나타낸다.  $\omega_{ie}$ 과  $\omega_{en}$ 은 지구의 자전각속도와 지구에 대한 항법좌표계의 회전을으로서 식 (2) 및 식 (3)과 같으며  $\omega_{in}$ 은 관성좌표계에 대한 항법좌표계의 회전을으로서  $\omega_{ie}$ 과  $\omega_{en}$ 의 합이 된다.  $\omega_s$ 는 슬러진동수를 나타내는 대각행렬이며  $f$ 는 관성센서에서 측정된 비력(Specific Force)를 나타낸다.

### 3. GPS/INS 통합시스템 구성

일반적으로 GPS와 INS의 통합방식은 어떠한 측정 데이터를 이용하는가에 따라 강결합방식 또는 약결합 방식으로 구분한다. GPS에서 추정된 항법결과를 이용하는 약결합방식은 2-필터 또는 중첩필터 구조라고 한다. 이 방식은 측정방정식이 간단하게 표현되고 구현에 용이한 장점을 가진다. 반면 GPS에서 추정된 값들 서로간에 상관관계를 가지므로 백색잡음이 입력이라는 칼만필터의 가정에 위배되어 준최적 필터가 된다. 먼저 통합 칼만필터에 대해 기술하고 통합시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 구성에 대해서 서술한다.

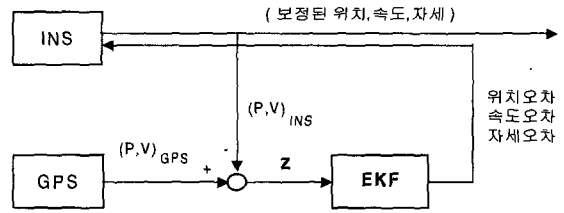
#### 3.1 통합 칼만필터의 구성

통합 칼만필터는 항법오차를 선형적으로 유지하여 비선형 모델의 선형화에 따른 오차를 줄인수 있는 피드백방식으로 구성하였다. 피드백방식의 통합 칼만필터는 그림 1과 같으며 칼만필터에서 추정된 항법오차를 INS로 피드백하여 보정한다.

통합 필터의 상태방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{nav} \\ \dot{x}_{sensor} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} \\ 0_{6 \times 9} & 0_{6 \times 6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{nav} \\ x_{sensor} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w \\ 0_{6 \times 1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$F_{11} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{v_E \tan L}{R_i+h} & \frac{v_N}{R_m+h} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{v_E \tan L}{R_i+h} & 0 & \frac{v_E}{R_i+h} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{v_N}{R_m+h} & -\frac{v_E}{R_i+h} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{g_n}{R_i+h} & 0 & 0 & 0 & -2\Omega \sin L - \frac{v_E \tan L}{R_i+h} & \frac{v_N}{R_m+h} & 0 & -f_D & f_E \\ 0 & \frac{g_e}{R_i+h} & 0 & 2\Omega \sin L + \frac{v_E \tan L}{R_i+h} & 0 & 2\Omega \cos L + \frac{v_E}{R_m+h} & f_D & 0 & -f_N \\ 0 & 0 & \frac{2g_n}{R_i+h} & -\frac{v_N}{R_m+h} & -2\Omega \cos L - \frac{v_E}{R_i+h} & 0 & -f_E & f_N & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\Omega \sin L - \frac{v_E \tan L}{R_i+h} & \frac{v_N}{R_m+h} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Omega \sin L + \frac{v_E \tan L}{R_i+h} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{v_N}{R_m+h} & -\Omega \cos L - \frac{v_E}{R_i+h} \end{bmatrix} \quad (11)$$



(그림 1) 피드백 방식의 통합 칼만필터의 구성

여기서,  $x_{nav}$ 는 위치, 속도 및 자세에 대한 오차상태변수이며  $x_{sensor}$ 는 관성센서의 오차상태변수로 바이어스 성분을 랜덤상수(Random Constant)로 모델링하여 사용하였다.  $w$ 는 공정잡음(Process Noise)으로 평균이 영(Zero)이며 가우시안(Gaussian) 분포를 가지는 백색잡음이다. 상태전이행렬을 구성하는  $F_{11}$ 과  $F_{12}$ 는 각각 다음과 같다.

$$F_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & & & \\ 0 & 0 & 0 & & & -C_b^n \\ 0 & 0 & 0 & & & \end{bmatrix} \quad (12)$$

통합 필터의 측정방정식은 다음과 같다.

$$z = [ H_1 \ 0_{6 \times 9} ] \begin{bmatrix} x_{nav} \\ x_{sensor} \end{bmatrix} + \nu \quad (13)$$

여기서,  $z$ 는 측정치로 칼만필터의 입력이 되며  $\nu$ 는 측정잡음(Measurement Noise)으로 평균 영이며 가우시안분포를 가지는 백색잡음이다. 측정행렬을 구성하는  $H_1$ 은 다음과 같다.

$$H_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{R_m + h} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_t + h} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

전술한 필터를 구현하기 위하여 이산화하면 다음과 같은 이산 상태방정식과 측정방정식을 얻을 수 있다.

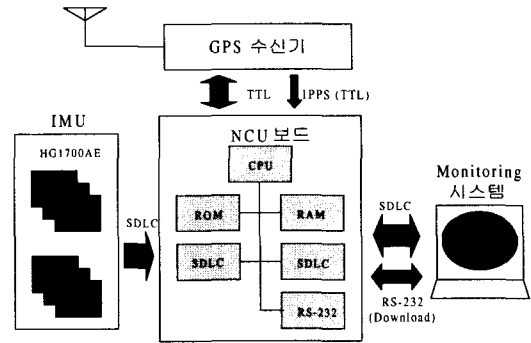
$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \quad (15)$$

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (16)$$

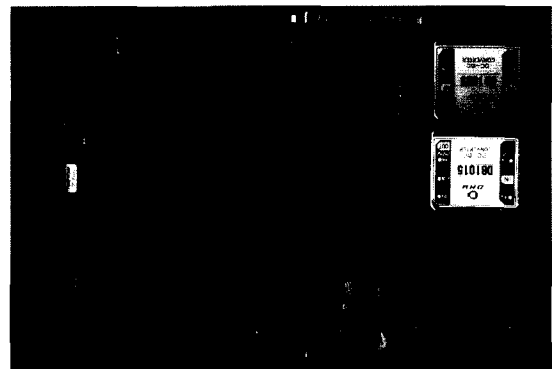
칼만필터의 시간전파 및 측정치 갱신식은 다음과 같으며 실시간 구현시 수치적 안정성을 보장하기 위하여 U/D 오차공분산 분해필터(U/D Covariance Factorization Filter)를 사용하여 구현하였다<sup>(4)</sup>.

### 3.2 통합시스템의 하드웨어 및 소프트웨어의 구성

통합시스템의 하드웨어는 그림 2와 같이 IMU, GPS 수신기, 항법컴퓨터, 모니터링 시스템으로 구성하였다. IMU로부터의 고속 데이터를 수신하기 위한 SDLC(Synchronous Data Link Communication) 포트를 구성하였다. 컴퓨터와 GPS 수신기는 RS-232와 TTL 레벨의



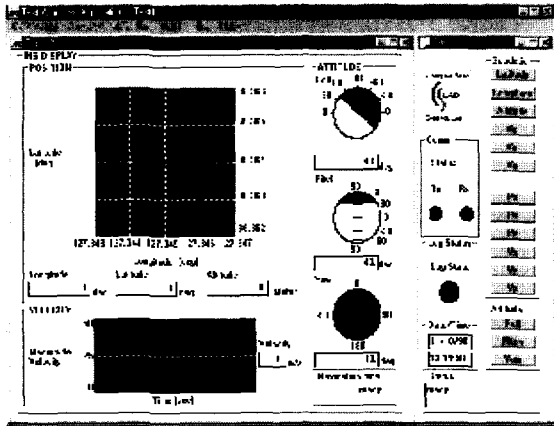
(그림 2) 항법시스템 하드웨어 구성도



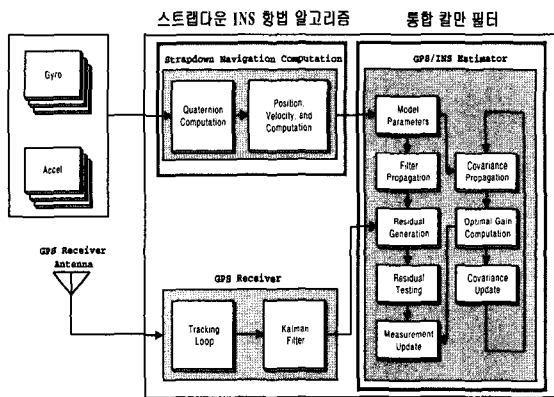
(그림 3) 항법컴퓨터 보드

통신이 모두 가능하며 GPS 데이터와 IMU 데이터간의 시간동기는 GPS의 IPSS 신호를 이용하여 보정할 수 있다.

IMU는 미국 하니웰(Honeywell)사의 HG1700을 사용하였는데 3개의 RLG(Ring Laser Gyro.)와 3개의 가속도계를 사용한 전술 등급(Tactical Grade)으로 1°/h의 자이로 바이어스와 1mg의 가속도계 바이어스를 가진다. 스트랩다운 항법과 칼만필터를 실시간으로 수행하기 위해서는 많은 계산량이 필요하므로 이를 위하여 부동소수점 처리기를 내장한 CPU를 항법컴퓨터에 사용하였으며 IMU 및 GPS 수신기로부터의 데이터 처리를 위한 시리얼 통신 인터페이스부도 포함하고 있다. 설계한 항법컴퓨터는 그림 3과 같다. GPS 수신기는 모토롤라사의 8-채널 수신기를 사용하였으며 위치 및 속도정보와 함께 의사거리 및 의사거리율에 관한



(그림 4) 모니터링 시스템



(그림 5) GPS/INS 통합시스템 소프트웨어 구성

정보도 제공한다. 모니터링 시스템은 그림 4와 같이 구성하였으며 전체시스템을 관장하고 디스플레이 기능과 데이터 로깅(Logging) 기능을 가지고 있다.

전체 소프트웨어는 모듈화하여 확장 가능하도록 하였는데 멀티태스킹 환경하에서 동작하도록 pSOS+실시간 커널(Real-time Kernel)을 사용하였다. 그림 5에서 전체 통합시스템의 소프트웨어를 보였는데 크게 스트랩다운 항법을 수행하는 태스크와 칼만필터링을 수행하는 태스크로 이루어져 있다. 스트랩다운 항법을 수행하는 태스크는 다시 동체의 자세를 계산하는 부태스크와 위치 및 속도를 계산하는 부태스크로 나누어

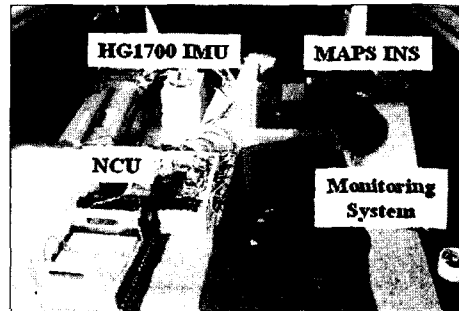
진다. 칼만필터는 1Hz로 수행되며 GPS와 INS로부터의 이벤트(Event) 신호에 의해서 구동된다. 이외에도 초기정렬을 수행하는 태스크와 모니터링부로부터 명령을 받아 처리하는 태스크가 있다. 각 태스크간의 동기는 단방향 세마포어(Semaphore)를 사용하였다<sup>(11)</sup>.

#### 4. 차량실험 및 성능평가

##### 4.1 차량실험 환경

그림 6과 같이 항법컴퓨터와 모니터링 시스템을 차량에 탑재하여 성능평가실험을 수행하였다.

0.0024°/h의 자이로 드리프트와 56 μg의 가속도계 바이어스를 가지며 영속도(Zero-Velocity) 보정기법을 이용하여 주행거리에 대해서 약 0.01%의 수평축 위치 오차를 가지는 고정밀한 시스템인 하니웰사의 MAPS (Modular Azimuth Position System) INS를 기준시스템으로 두고 설계한 통합항법시스템의 성능을 평가하였다.



(그림 6) 차량 탑재 실험

### 4.2 초기위치 및 주행코스

출발지점의 위치로 충남대학교 남부 운동장의 한 지점을 DGPS(Differential GPS)를 사용하여 1시간동안 측정하였으며 결과는 표 1과 같다.

[표 1] DGPS에 의한 초기위치 측정값

구 분	측 정 값
위도(도)	36.36508
경도(도)	127.34502
고도(m)	74.99851

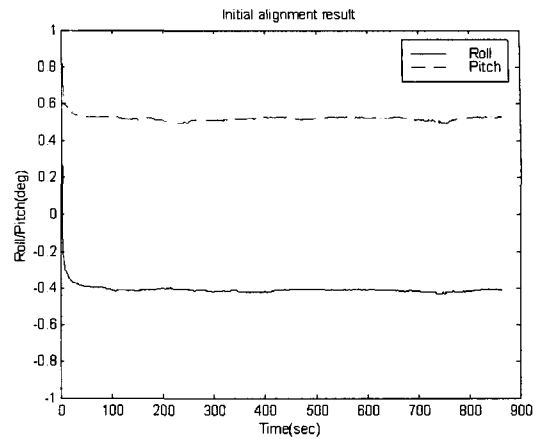
주행코스는 충남대 남부운동장 → 과학기술원 앞 → 엑스포전시장 남문 앞 → 원촌 삼거리 → 전력연구 원 앞 → 대덕롯데호텔 앞 → 화암 사거리 → 충남대 서문 → 충남대 남부운동장으로 설정하였으며 전력연구 원 앞과 대덕롯데호텔 앞 사이에는 터널이 있으며 화암사거리에서 충남대 서문까지는 가로수가 많은 도로이다. 주행 소요시간은 약 28분이다.

### 4.3 초기정렬 결과

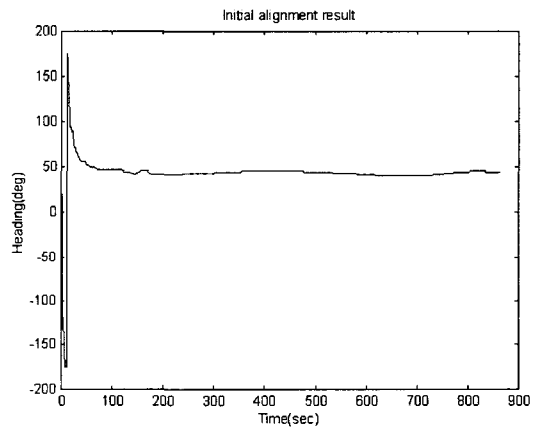
차량 실험 출발 전 15분간의 초기정렬을 수행하였다. 초기정렬 결과는 그림 7, 그림 8 및 표 2와 같으며 기준 시스템으로 사용한 MAPS INS에서 수행한 초기정렬 결과와 비교할 때 피치각에 비하여 롤각의 오차가 크게 발생함을 알 수 있다.

[표 2] 초기정렬 결과

	기준 INS (A)	GPS/INS (B)	정렬오차 (B-A)
롤 각(도)	0.034	-0.412	-0.446
피치각(도)	0.529	0.532	0.003
요 각(도)	40.736	43.858	3.122



(그림 7) 초기정렬시 롤각 및 피치각 변화



(그림 8) 초기정렬시 방위각 변화

요각은 약 4.0°의 오차를 가지는 것을 볼 수 있는데 이는 1°/h의 자이로 바이어스에 의해서 예상되는 요각 오차인 4.7°이내의 오차값으로 초기정렬을 제대로 수행함을 알 수 있다<sup>(12)</sup>.

### 4.4 차량실험 결과

차량실험을 수행한 주행경로는 크게 4구간으로 구분할 수 있는데 각 구간별 특징과 GPS 수신상태는 표 3과 같으며 구간별 위치 및 속도 오차는 표 4와 같다.

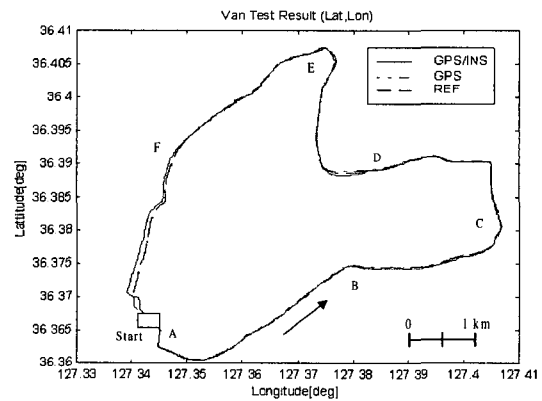
(표 3) 차량실험 구간별 특징

구분	구간	경로 특징	GPS 수신상태
A-D	충남대 정문~터널 입구	강변도로	양호
D	터널 구간	터널	차단
D-E	터널 출구~화암 사거리	개활지	양호
E-A	화암사거리~충남대 서문	가로수지역	불량

여기서 A-E는 그림 9에 나타낸 주행 경로상의 각지점을 나타낸다.

그림 9~11은 위치, 속도 및 자세에 대해 GPS/INS와 GPS 그리고 기준 INS를 비교한 결과이다. 그림 12~17은 그림 9에 나타낸 항수행결과를 각 부분별로 확대한 결과이다. A-D 구간은 GPS 수신상태가 양호한 지역으로 GPS/INS 통합시스템은 기준 INS와 거의 동등한 항법 성능을 보였다. D 지점은 터널 통과 구간으로 GPS 신호가 차단되므로 측정치 갱신이 시간 전파만 수행하였다. 터널 통과 시간은 약 30초인데 그림 15를 보면 GPS신호가 차단되어도 통합시스템은 항법을 계속 수행함을 알 수 있다. D-E 구간은 GPS 수신상태가 양호한 지역이며 그림 16에서와 같이 GPS 오차범위내로 항법을 수행한다. E-A 구간은 도로변에

많은 가로수에 있는 지역으로 가시위성수가 감소되어 GPS 신호가 종종 차단되는 지역이다. 그림 17에서 보듯이 이 지역을 통과하면서 통합시스템의 위치오차가 증가된다. 본 논문에서 구현한 약결합 방식의 통합시스템은 GPS의 추정결과를 이용하는 구조로서 추적(Tracking) 위성수가 4개 이하로 감소하면 측정치 갱신을 수행할 수 없기 때문에 이와같은 성능저하가 일어난다고 볼 수 있다. 따라서 구조적으로 복잡하고 구현의 어려움이 있지만 추적위성수가 4개 이하일 경우에도 통합필터의 측정치 갱신이 가능한 강결합 방식으로 통합시스템을 구성한다면 이러한 문제는 해결 가능할 것이다.

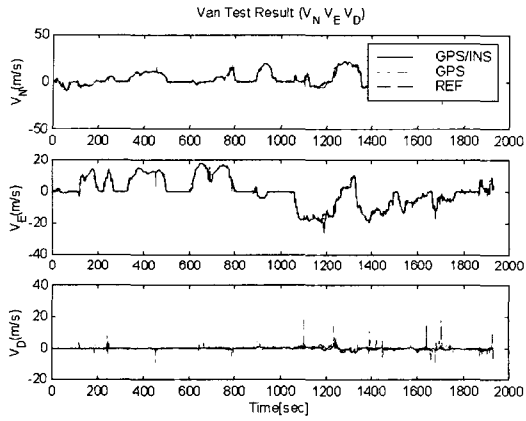


(그림 9) 차량실험결과 (위도-경도)

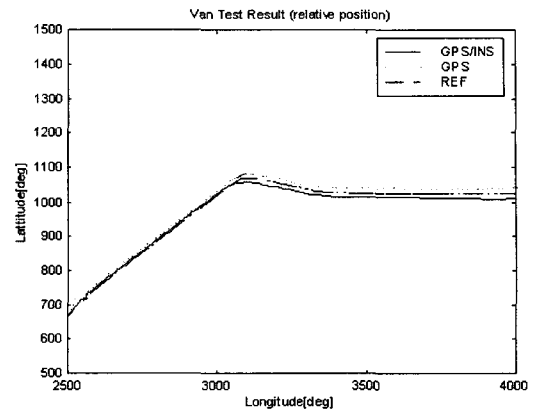
(표 4) 차량실험 위치 및 속도오차

구간	오차	수평 위치오차(m)				수평 속도오차(m/s)			
		북쪽방향		동쪽방향		북쪽방향		동쪽방향	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
A-D		20.7	13.3	15.6	25.4	0.005	0.9	0.08	1.1
D-E		76.6	18.7	-10.9	41.6	-0.3	1.7	0.63	1.6
E-F		-3.7	11.1	0.2	18.2	-0.3	1.3	0.27	1.2
F-A		-39.1	14.2	96.4	38.6	0.03	1.6	0.5	1.2
합계(A-F)		11.6	32.3	25.5	44.1	-0.05	1.2	0.2	1.2

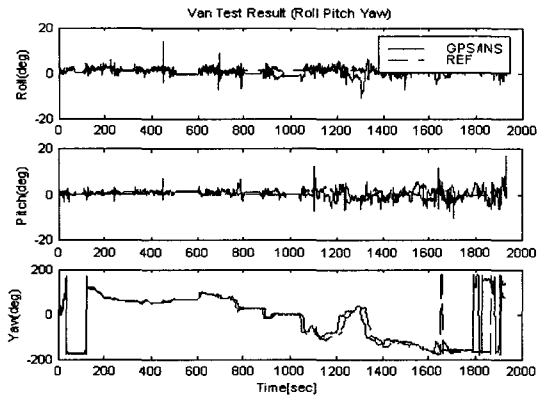




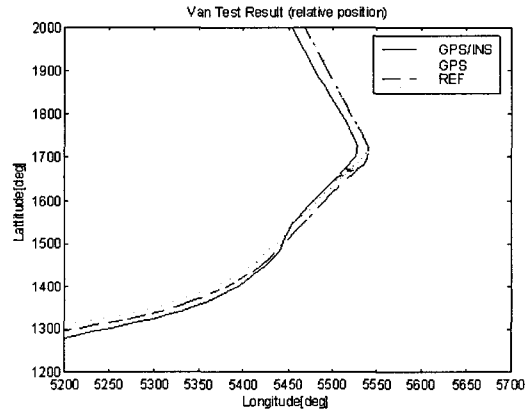
(그림 10) 차량실험결과 (속도변화)



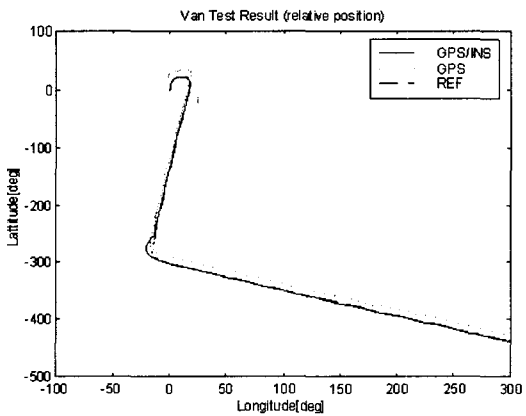
(그림 13) 위치변화 (B 지역)



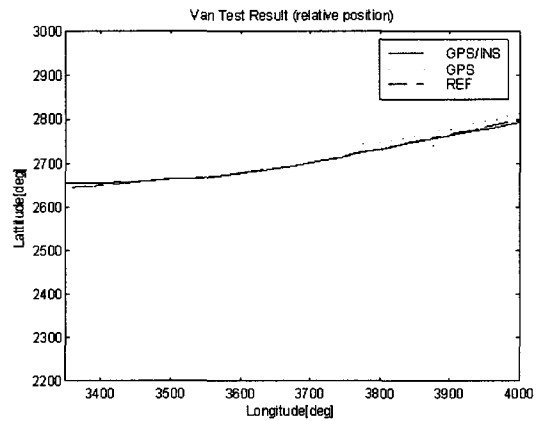
(그림 11) 차량실험결과 (자세각 변화)



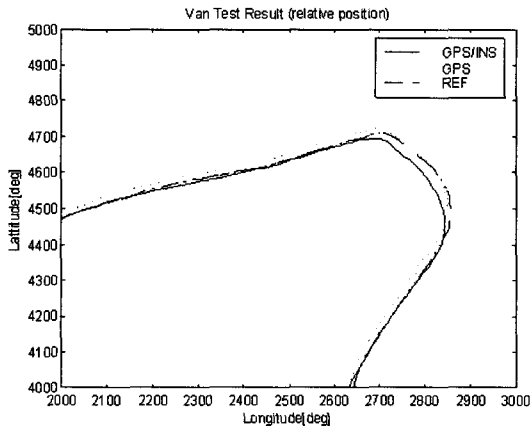
(그림 14) 위치변화 (C 지역)



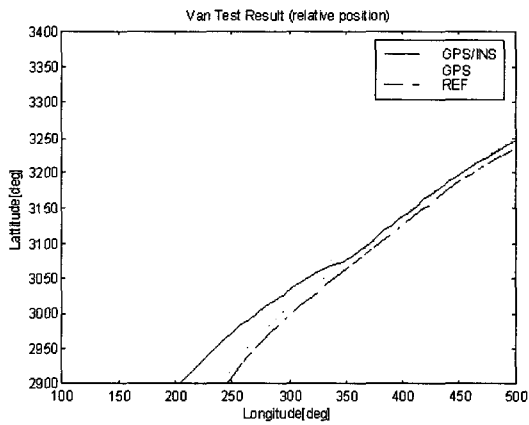
(그림 12) 위치변화 (A 지역)



(그림 15) 위치변화 (D 지역)



(그림 16) 위치변화 (E 지역)



(그림 17) 위치변화 (F 지역)

## 6. 맺음말

본 논문에서는 약결합 방식의 GPS/INS 통합시스템을 설계하였다. 통합 칼만필터는 위치오차, 속도오차, 자세오차 그리고 센서의 바이어스를 오차상태변수로 가지는 피드백 방식의 15차 필터이다. 통합시스템을 실시간으로 구현하기 위하여 항법컴퓨터를 제작하였으며 항법 알고리즘을 포함한 운용 소프트웨어를 멀티태스킹 환경하에서 모듈별로 구현하였다. 또한 전체 시스템을 관장하고 실험 결과를 디스플레이 하기

위하여 모니터링 시스템을 구현하였다. GPS/INS 통합시스템의 성능을 평가하기 위하여 차량탑재 실험을 수행하였다. 통합시스템의 항법성능을 평가하기 위하여 고정밀한 INS를 기준시스템으로 사용하였는데 차량탑재 실험결과 평균 수평측 위치오차는 28.01m, 수평측 속도오차가 0.20m/s를 가짐을 볼 수 있었다. 이로부터 단독의 INS나 GPS보다 향상된 항법성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그런데 이 약결합 방식의 통합방식은 위성신호의 차단에 의해서 항법성능이 저하될 수 있으며 입력이 백색잡음이라는 칼만필터의 기본가정을 위반하므로 준최적 필터가 되는 단점을 가진다. 따라서 이를 보완하기 위한 강결합 방식의 통합이 고려되어야 할 것이다.

앞으로 본 논문에서 구현한 항법시스템을 기반으로 강결합 방식의 GPS/INS 통합시스템, DGPS/INS 통합시스템, 반송파 위상을 사용한 GPS/INS 통합시스템 그리고 GPS를 이용한 INS 초기정렬 시스템을 구현하는 것등은 추후 계속 연구해야할 과제들이다.

## 후 기

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 대학부설연구소과제 연구비에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

1. D. H. Titterton, J. L. Weston, Strapdown Inertial Navigation Technology, Peter Peregrinus, United Kingdom, 1997.
2. R. L. Greenspan, "GPS and Inertial Integration," in Global Positioning System : Theory and Applications II, AIAA, Washington DC, 1996, pp. 187-220.
3. R. E. Philips, G. T. Schmidt, "GPS/INS Integration", AGARD Lecture Series 207, France, July 1-2, 1996.

4. P. S. Maybeck, Stochastic models, Estimation, and Control, Vol 1, Academic Press, New York, 1979.
5. R. B. Miller, "A New Strapdown Attitude Algorithm," Journal of Guidance, Vol. 6, No. 4, 1983, pp. 287-291.
6. K. R. Britting, Inertial Navigation Systems Analysis, Wiley & Sons, 1971.
7. J. R. Huddle, "Inertial Navigation System Error Model Considerations in Kalman Filter Applications," Journal of Control and Dynamic Systems, Vol. 20, No.2, 1983, pp. 294-340.
8. G.Arshal, "Error Equations of Inertial Systems," Journal of Guidance, Navigation and Dynamics, Vol. 10, No. 4, 1987, pp. 351-358.
9. Bar-Itzhack, I. Y. and Berman, N., "Control Theoretic Approach to Inertial Navigation Systems," AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol.11, No.3, 1988, pp. 237-245.
10. D. G. Meskin, Itzhack, Y. B. Itzhack, "A Unified Approach to Inertial Navigation System Error Modeling," Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 15. No. 3, May-June, 1992.
11. pSOSystem User's Guide, Integrated Systems, 1997.
12. G.R.Pitman, Inertial Guidance, John Wiley & Sons Inc., New York, 1962.