

# GIS DB 구축을 위한 4S-VAN 설계

## The design of 4s-van for GIS DB construction

이승용\* · 김성백\* · 이종훈\*\*

Lee, Seung-Yong · Kim, Seong-Baek · Lee, Jong-Hun

### 요 旨

4S(GNSS, SIIS, GIS, ITS) 기술의 핵심이 되는 공간정보의 상호 공유 극대화를 위하여 원격지 공간 데이터 공유 및 제공을 위하여 4S-Van 시스템을 개발해오고 있다. 4S-Van 시스템은 GPS/IMU, 레이저, CCD 영상, 무선통신기술을 통합 연계하여 현장에서 GIS용 DB 정보 등과 같은 4S 핵심 DB정보 및 정확한 위치 정보를 직접 획득·생산이 가능하다. 즉, 4S-Van은 GPS와 IMU의 통합으로 카메라의 위치 및 자세를 결정하며, 두 대의 CCD카메라로 전방을 촬영하여, 공간전방 교회법(Space Intersection)으로 피사체의 위치해석을 하게 되고 기존의 벡터 DB 체계와 호환됨으로써 데이터베이스의 구축 및 현장활용이 가능하도록 할 수 있는 기술이다. 또한 적외선 카메라 및 무선 통신 기술을 활용한 다양한 응용이 가능하다. 본 논문에서는 GPS, CCD 카메라, IMU의 차량 탑재에 의한 4S-Van 설계와 기능에 대하여 살펴본다.

### Abstract

We have developed the 4S-Van system in order to maximize the interoperability of spatial data in 4S(GNSS, SIIS, GIS, ITS) by sharing and providing spatial data of remote site. The 4S-Van system enables to acquisition and production of information for GIS database and the accurate position information by combining and connecting GPS/IMU, laser, CCD(charged-coupled device) image, and wireless telecommunication technology. That is, 4S-Van system measures its position and attitude using integrated GPS/IMU and takes two photographs of the front scene by two CCD cameras, analyzes position of objects by space intersection method, and constructs database that has compatibility with existing vector database system. Furthermore, infrared camera and wireless communication technique can be applied to the 4S-Van for a variety of applications. In this paper, we discuss the design and functions of 4S-Van that is equipped with GPS, CCD camera, and IMU.

## 1. 서론

4S-Van은 4S 연계기술을 응용한 모바일 매핑 시

스템으로 지리정보시스템(GIS), 지능형교통시스템(ITS), 위성측위시스템(GNSS), 위성영상처리시스템(SIIS)등으로 구성된 공간정보의 효율적인 상호연계

\* ETRI 연구원, 042) 860-1693

\*\* ETRI 공간정보기술센터 센터장

와 공동 활용을 위하여 다양한 센서들을 차량에 부착한 첨단정보시스템이다. 즉, 지상공간에 존재하는 다양한 지형지물의 위치정보와 속성정보를 현장에서 실시간으로 획득하여 GIS용 데이터를 신속하고 정확하게 구축하는 최신 측량기술이며, 기존 GIS DB와 연계하여 효율적으로 각종 의사결정 및 계획 수립을 지원하도록 설계되어진 시스템이다.

4S-Van은 GPS, INS, 흑백 CCD, 칼라 CCD, IR카메라를 장착하고 있으며 추가로 레이저 스캐너를 장착 중에 있다. 먼저 4S-Van으로부터 생성되는 다양한 자료의 정확성을 결정짓는 가장 기본적이고도 핵심적인 기술로써 실시간으로 차량의 위치 및 자세정보를 제공해주는 GPS, INS에 대하여 알아본다면, INS는 외부의 도움 없이 항체의 위치, 속도 및 자세를 결정할 수 있는 항법 시스템으로 짧은 시간동안은 매우 정확한 항법해를 제공하지만 시간이 지남에 따라 센서의 바이어스 오차, 환산계수 오차, 비정렬 오차 그리고 초기정렬 오차 등의 여러 가지 요인에 의해서 항법오차가 급격히 증가하는 단점을 가지고 있다. 반면, GPS는 위성으로부터 수신되는 신호의 전달시간으로부터 구하는 의사거리를 이용하여 항체의 위치 및 속도를 제공하는 시스템으로 시간경과에 따른 오차누적이 없으므로 장시간동안 정확한 항법해를 제공하지만 가시위성에 따라 항법해를 구할 수 없는 경우가 발생하기도 하고 외부 교란에 의하여 정상동작이 불가능한 경우도 종종 발생한다[3][4].

이와같이 INS와 GPS는 상호보완적인 오차특성을 가지므로 통합에 의하여 고정밀한 항법 시스템을 구성할 수 있다. 통합 방법시스템을 구성하는 방법은 두 시스템의 결합정도에 따라 약결합 방식(Loosely-coupled)과 강결합 방식(Tightly-coupled)으로 구분할 수 있으며 오차보정방식에 따라 피드포워드(Feedforward)와 피드백(Feedback) 방식으로 구분할 수 있다. 입체 영상을 얻기 위하여 장착되어진 CCD카메라는 중복된 도로와 그 주변의 영상을 얻기 위하여 미리 설정된 간격으로 차량에 부착되어 사용되어지며 사진측량방법에 의하여 두 장의 영상에 나타나 있는 대상물의 위치를 구할 수 있다. 그러나 정확한 좌표 계산을 위해서는 CCD카메라 렌즈 제조사

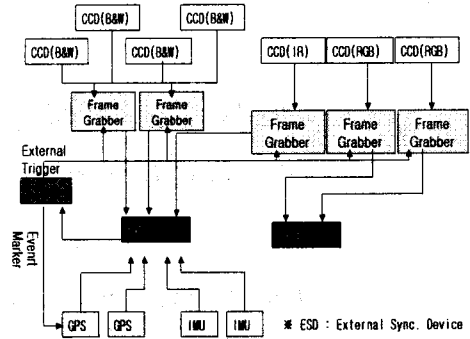


그림 1. 4S-VAN Hardware Integration 구성도

의 문제나 조립상의 불일치로 인한 오차를 보정하여야 한다. 레이저 스캐닝 기술은 자동화의 가능성 및 정도를 크게 향상시킬 수 있으며, 무선통신기술을 이용하여 실시간으로 다양한 정보를 제공할 수 있다.

본 논문에서는 GPS에서 추정된 위치 및 속도 정보를 사용하는 후처리 약결합 방식의 GPS/INS 통합 시스템과 초점거리, 주점위치, 렌즈 왜곡 계수뿐만 아니라 외부표정요소까지 함께 얻을 수 있는 Self-Calibration방법을 이용한 4S-Van 시스템을 설계하였다. 먼저 GPS/INS 통합알고리즘 구현을 위한 항법 오차 추정 통합 칼만필터의 설계를 위해 INS의 오차모델을 구현하였고, GPS, INS의 데이터는 GPS의 1PPS신호에 동기되도록 하였으며 GPS는 반송파 위상을 이용한 CDGPS기법을 이용하여 보정되도록 설계하였다. 또한 Self-Calibration을 위해 ETRI 주차장에 보정타겟을 설치한 후, 이를 토달 스테이션을 이용한 정밀 측량을 통하여 각 타겟에 대한 정확한 위치를 측정하도록 설계하였다.

본 논문의 구성은 먼저 INS항법 방정식과 도출한 오차모델을 제시하고 항법 모델의 측정방정식과 측정방정식을 사용한 통합칼만필터의 설계에 관하여 서술하고 Self-Calibration 알고리즘에 대하여 이야기한다. 본 논문에서는 설계한 GPS/INS 및 CCD카메라의 성능을 보이기 위하여 차량 탑재 실험결과를 제시하고 마지막으로 맺음말에서 본 논문의 결론 및 추후 연구과제를 제시한다.

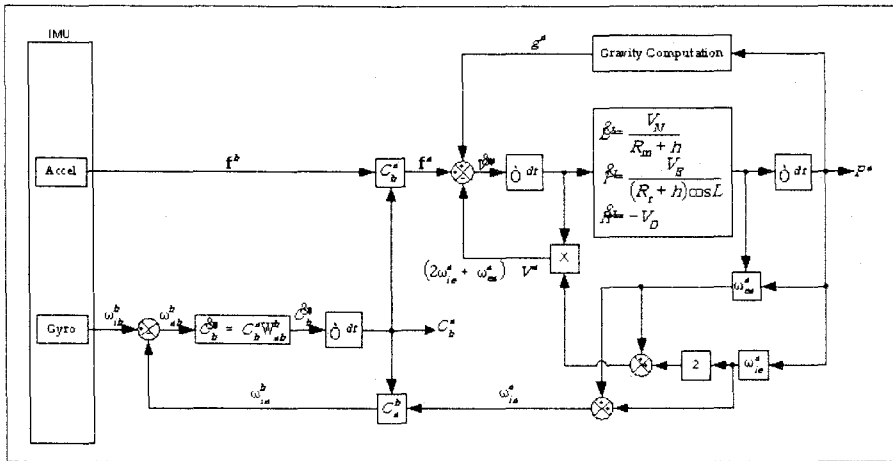


그림 2. SDINS 구성도

## 2. INS 항법 방정식 및 오차모델

GPS/INS의 통합을 위해서는 INS의 데이터로부터 위치, 속도 및 자세를 계산하는 INS의 항법 방정식이 필요하며 항법오차를 추정하는 통합칼만필터의 설계를 위한 INS의 오차모델이 필요하다[7]. 본 논문에서 사용한 항법방정식과 오차모델은 다음과 같다.

### 2.1 INS 항법 방정식

INS의 항법 방정식은 크게 자세계산 알고리즘과 속도 및 위치계산 알고리즘으로 구성된다[6].

자세계산 알고리즘은 주로 쿼터니언(quaternion) 방법과 방향 코사인 행렬(Direction Cosine Matrix)을 이용하는 방법, 오일러각을 이용한 방법이 있으나 본 논문에서는 계산이 간단하고 수치적으로 안정한 쿼터니언 방법을 사용하였다. 속도 및 위치계산 알고리즘에서는 동체좌표계에서 측정된 선형가속도  $f^b$ 와 자세계산 알고리즘에서 결정된 좌표변환행렬  $C_b^n$ 을 이용하여 항법좌표계상의 선형가속도  $f^n$ 로 변환한 다음 항체의 속도와 위치를 얻는다. 이때 속도를 얻기 위한 항법 계산식은 다음과 같은 미분방정식으로 나타난다.

$$\dot{V}^n = C_b^n f^b - (2w_{ie}^n + w_{en}^n) \times V^n + g^n \quad (2-1)$$

여기에서  $C_b^n$ 은 동체 좌표계에서 항법 좌표계로의 변환 행렬,  $g^n$ 은 항법 좌표계에서의 중력 가속도이고  $f^b$ 는 동체 좌표계에 고정된 가속도계로부터 얻어진 가속도를 나타낸다.  $w_{ie}^n$ 은 지구 고정 좌표계의 관성 좌표계에 대한 각속도항으로 지구자전 각속도를 의미하며,  $w_{en}^n$ 은 항법 좌표계와 지구 고정 좌표계 사이의 각속도로 차량의 운동에 따른 각속도 성분이라 할 수 있다.

### 2.2 INS 오차 모델

칼만필터를 사용하여 GPS와 INS의 정보를 통합하기 위해서는 먼저 INS의 항법오차모델과 측정모델로는  $\phi$ 오차모델과  $\varphi$ 오차모델이 보편적으로 사용되는데  $\phi$ 오차모델은 성능분석이나 시뮬레이션시 주로 사용되며  $\varphi$ 오차모델은 실제 항법시스템 구현시 사용된다. 다음은 본 논문에서 구현된 속도오차 및 자세오차 방정식이다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \delta v^n = & -\delta(w_{in}^n + w_{ie}^n)v^n - (w_{in}^n + w_{ie}^n)\delta v^n \\ & + \delta a^n + \frac{\partial g^n}{\partial p^n} \delta p^n + \delta g^n \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\delta \dot{\phi}^n = -w_{in}^n \times \phi^n - C_b^n \delta w_{ib}^b + \delta w_{in}^n \quad (2-3)$$

여기에서  $a^n$ 은 가속도 오차,  $p^n$ 은 위치오차,  $v^n$ 은 속도오차,  $\psi^n$ 은 자세오차를 나타낸다.

### 2.3. GPS/INS 통합시스템 구성

일반적으로 GPS와 INS의 통합방식은 어떠한 측정 데이터를 이용하는가에 따라 약결합 방식과 강결합 방식으로 구분한다. 이중 약결합 방식은 측정방정식이 간단하게 표현되고 구현에 용이한 장점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 구현된 약결합 방식의 통합 칼만필터 구성에 대하여 서술한다.

GPS/INS통합 칼만필터는 비선형 모델의 선형화에 따른 항법 오차를 줄일 수 있는 피드백방식으로 구현하였으며, 칼만필터에서 추정된 항법오차를 INS로 피드백하여 보정한다. 통합 칼만필터의 상태 방정식은 다음과 같다[1].

$$\dot{X} = FX + GW \tag{2-4}$$

$$F = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} \\ O_{9 \times 9} & O_{9 \times 9} \end{pmatrix} \tag{2-5}$$

$$G = \begin{pmatrix} C_b^n & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & D^{-1}C_b^n \\ O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} \end{pmatrix} \tag{2-6}$$

여기에서  $X$ 은 항법 오차상태변수인 위치, 속도, 자세와 자이로, 가속도계 바이어스와 환산계수 오차상태변수로 사용하였다.  $G$ 는 잡음 입력행렬(Noise input matrix),  $W$ 는 공정잡음(Process noise)으로 평균이 영이며 가우시안 분포를 가지는 백색잡음이다. 상태전이행렬(State transition matrix)을 구성하는  $F_{11}$ 과  $F_{12}$ 는 다음과 같다.

$$F_{11} = \begin{pmatrix} 0 & -W_e \sin(\phi) & 0 & 0 & \cos(\phi) & 0 & -W_e \sin(\phi) & 0 & 0 \\ W_e \sin(\phi) & 0 & W_e \cos(\phi) & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -W_e \cos(\phi) & 0 & 0 & -\sin(\phi) & 0 & -W_e \cos(\phi) & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-a_3}{r} & \frac{a_2}{r} & 0 & -W_e \sin(2\phi) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{a_3}{r \cos(\phi)} & 0 & \frac{-a_1}{r \cos(\phi)} & 2W_e \tan(\phi) & 0 & \frac{-2W_e}{r} & 0 & 0 & 0 \\ a_2 & -a_1 & 0 & 0 & 2rW_e \cos^2 \phi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0_{1 \times 3} & 0_{1 \times 3} & 0_{1 \times 3} & eye(3) & & & 0_{3 \times 3} & & \end{pmatrix} \tag{2-7}$$

$$F_{12} = \begin{pmatrix} C_s^n & O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & D^{-1}C_s^n & D^{-1}C_s^n \text{diag}(a^s) \\ O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} \end{pmatrix} \tag{2-8}$$

통합 칼만필터의 측정 방정식은 다음과 같다.

$$Z = Hx + V \tag{2-9}$$

$Z$ 는 측정치로 칼만필터의 입력이 되며  $V$ 는 측정잡음(Measurement Noise)으로 평균 영이며 가우시안 분포를 가지는 백색잡음이다. 측정행렬을 구성하는  $H$ 는 다음과 같다.

$$H = [O_{6 \times 3} \quad I_{6 \times 6} \quad O_{6 \times 9}] \tag{2-10}$$

## 3. CCD Calibration 및 표정요소 산출

CCD카메라로부터 획득된 영상으로부터 대상물의 정확한 좌표 계산을 위해서는 시스템의 보정이 반드시 필요하며 카메라의 경우 렌즈왜곡과 상대표정요소 파라미터, GPS/INS 시스템과 CCD 카메라 사이의 위치벡터가 반드시 결정되어야 한다. 본 논문에서는 Self-Calibration 방법을 이용하여 위의 렌즈 왜곡과 상대표정요소 파라미터, 주점의 위치 등을 결정하였다[8].

### 3.1 Self-Calibration

사진측량에 있어 외부 표정요소 산출 및 3차원 좌표를 구할 때 정확한 초점거리와 주점의 위치 획득은 필수적인 요소이다. 또한 렌즈왜곡은 사물이 카메라의 렌즈를 통해서 찍힐 때 사진의 정확한 위치에

있지 않게 되므로 사물간의 위치 계산이나 거리 계산 등 정량적인 판독을 할 수 없게 한다. 일반적으로 항공사진 카메라와 같은 정밀한 카메라는 초점거리, 주점의 위치, 렌즈왜곡의 정도를 제공되는 리포트를 통해서 알 수 있지만 보통 카메라는 정확한 초점거리, 주점의 위치, 렌즈왜곡 파라미터가 제공되지 않으므로 직접 계산을 하여야한다. 이에 본 연구에서는 Self-Calibration방법을 이용하였다.

Self-Calibration방법은 기본적인 공선조건식에 카메라 렌즈 왜곡 파라미터를 추가한 형태로 외부 표정요소 뿐만이 아니라 초점거리, 주점의 위치를 미지수로 두어 최소제곱법(Least-Square)방법으로 해를 구하는 것으로 초점거리, 주점위치, 렌즈 왜곡 파라미터 뿐만이 아니라 외부표정요소까지 함께 얻을 수 있는 장점이 있다. 다음은 그 수식이다.

$$(x - x_p) + dx_r = -f \frac{R}{Q} \quad (3-1)$$

$$(y - y_p) + dy_r = -f \frac{S}{Q} \quad (3-2)$$

$$dx_r = (x - x_p)k_1 r^2 \quad (3-3)$$

$$dy_r = (x - x_p)k_1 r^2 \quad (3-4)$$

$$R = m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L) \quad (3-5)$$

$$S = m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L) \quad (3-6)$$

$$Q = m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L) \quad (3-7)$$

여기에서  $x_p, y_p$ 는 주점 위치,  $f$ 는 초점거리,  $k_1$ 은 렌즈왜곡 계수,  $X_L, Y_L, Z_L$ 은 투영중심 좌표,  $X_A, Y_A, Z_A$ 는 모델좌표,  $m_{11} - m_{33}$ 은 회전 행렬을 나타낸다.

### 3.2 CCD의 표정요소 산출

CCD영상의 외부표정요소(카메라 중심위치 및 자

세)는 GPS/INS통합 결과와 기준영상의 외부표정요소를 이용하여 획득된다. 다음은 외부표정요소 산출에 대한 흐름도이다.

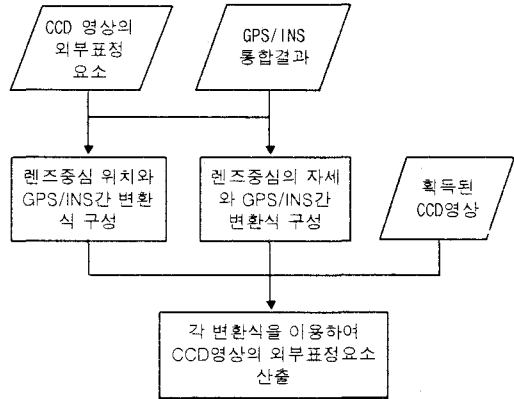


그림 3. CCD영상 표정요소 산출과정

즉, 카메라 자세보정 단계에서 얻어진 기준영상의 외부표정요소와 그 당시에 얻어진 GPS/INS 결과를 이용하여 카메라 중심의 좌표축과 GPS/INS 결과 좌표축간의 상호 변환식을 구성하고 이렇게 구성된 변환식을 이용하여 4S-Van에서 지속적으로 획득된 CCD영상의 외부표정요소를 산출하게 된다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 Self-Calibration 실험 환경

Self-Calibration에 대한 실험을 위해 ETRI주차장에 보정 타겟을 설치한 후 이를 GPS 및 토탈 스테이션을 이용한 정밀 측량을 통하여 각 타겟의 정확한 위치를 측정하였다. 이러한 타겟을 4S-Van을 이용하여 측정하고, 이를 구현된 Self-Calibration방법을 이용하여 렌즈 보정 및 카메라 자세보정 파라미터를 획득하였다.

#### 4.1.1 보정 타겟(Calibration Target)설치

보정 타겟 한 개의 크기는 15x15cm로 총 52개의 타겟을 설치하여, 전체 공간이 가로방향으로 약 2.25m, 세로방향으로 약 1.95m가 되도록 구성하였다.

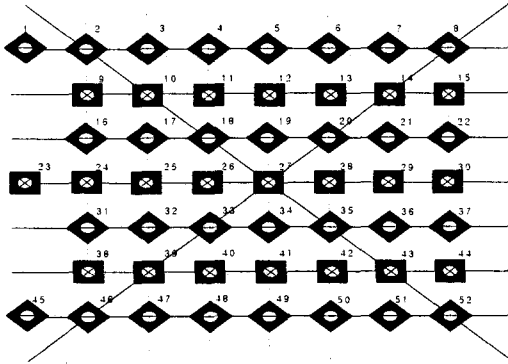


그림 5. 카메라 보정 타겟 설치 구조 모습

#### 4.1.2 타겟 측량

두 개의 기지점을 선정하여 그 지점에서 설치된 타겟을 토달스테이션(Total Station)을 이용하여 측량하였다. 정밀한 측정을 위해 두 개의 기지점은 모든 방향에서 타겟을 바라본 내각이 60° 정도가 되는 지점을 선정하였고 이를 위해 기지점은 타겟으로부터 대략 10m정도 떨어진 거리에 설치되었으며, 기선거리 역시 10m가 되도록 설정하였다. 또한 정밀한 기지점의 위치를 파악하기 위해서 GPS를 static방법으로 1시간 가량 측정한 후 이를 DGPS처리 기법을 적용하여 위치를 획득하였다.

#### 4.1.3 보정 타겟 영상 획득(스테레오 영상)

보정을 위한 영상은 4S-Van에 장착된 CCD카메라를 이용하여 다수의 좌·우 스테레오 CCD영상을 취득하게된다. 이렇게 취득된 영상들은 모두 사용하는 것은 아니며, 이중 모든 타겟이 영상에 고루 분포하는 영상을 선정하여 실제 보정을 위한 기준영상으로 사용한다.

### 4.2 Self-Calibration 실험 결과

다음은 4S-Van을 이용하여 보정 타겟을 정면 및 좌,우 30~45도로 반복 촬영한 후, 보정 타겟의 모습이 가장 잘 나타나는 영상 중 사용된 정면 영상이다. 다음은 4S-Van을 이용하여 획득한 타겟 영상과, GPS와 Total Station을 이용한 타겟 정밀 측정 결과를 바탕으로 Self-Calibration 알고리즘을 적용하여

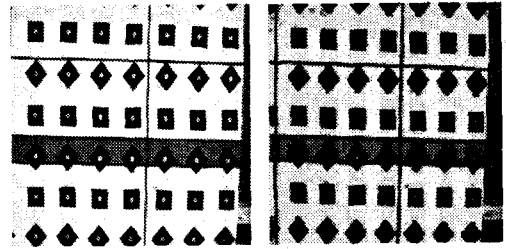


그림 5. 실험 타겟에 대한 좌,우 CCD영상

얻어진 결과이다. 여기서 camera1은 좌측 방향에 설치된 카메라를 말하며, camera2는 우측 방향에 설치된 카메라를 말한다. 표 1은 렌즈 왜곡에 대한 정보를, 표 2는 카메라의 외부표정요소를 나타낸다.

표 1. 렌즈 표정요소

	Camera1	Camera2
초점거리(mm)	10.262043	9.698757
주점(X)	-0.265375	-0.168290
주점(Y)	0.851428	0.988679
방사왜곡(K1)	0.032464	0.030344

표 2. 카메라 외부 표정요소

	Camera1	Camera2
X(m)	-0.173586	-0.089520
Y(m)	0.601111	0.641841
Z(m)	3.789430	3.743983
Omega(rad)	-0.091472	-0.083936
Phi(rad)	-0.011572	-0.006811
Kappa(rad)	0.026546	0.029131

표3은 보정 및 광속 조정법(Bundle Adjustment) 결과를 검증하기 위해 공간 전방교회법(Space Intersection)을 이용하여 보정 타겟의 3차원 좌표를 계산하고, 이를 기존에 정밀 측량된 결과와의 편차를 계산한 것이다.

### 4.3 GPS/INS 통합 알고리즘 실험 환경

제안한 GPS/INS 약결합방식의 알고리즘은 컴퓨터 시뮬레이션과 실험에서는 관성센서로서 중저급의 성

표3. 공간 전방회피법을 이용한 삼차원좌표추출(m)

번호	X방향	Y방향	Z방향
1	0.004053	0.004312	0.031481
2	5.4E-05	0.003528	0.004697
3	0.001119	0.00351	0.023237
4	0.001813	0.004768	0.013425
5	0.005952	0.006996	0.037186
6	0.004135	0.001589	0.005886
7	0.001084	0.000977	0.002902
8	0.000385	0.000376	0.008664
9	0.000524	0.001428	0.014051
10	0.004258	0.001388	0.003367
11	0.004258	0.002381	0.014304
12	0.008252	0.000754	0.014575
13	0.003917	0.002351	0.000894
14	0.000479	0.006771	0.019897
15	0.000139	0.004408	0.008875
16	0.000777	0.005016	0.011781
17	0.006791	0.001328	0.018483
18	0.011233	0.004792	0.029572
19	0.004481	0.006791	0.015324
20	0.001793	0.010541	0.028265
21	0.00098	0.012508	0.03561
22	0.00075	0.009179	0.021573
23	0.00156	0.009673	0.030194
24	0.001088	0.013069	0.032637
25	0.003018	0.005431	0.008492
26	0.012624	0.006161	0.026908
평균오차	0.019223(m)		

표4. VG600CA의 오차 특성

오차 구분	오차크기
자이로 랜덤 바이어스	$\pm 0.03 \text{deg/sec}$
자이로 랜덤 워크	$1.25 \text{ }^\circ/\text{sqrt}(h)$
가속도계 랜덤 바이어스	$\pm 8.5 \text{mg}$
가속도계 랜덤 워크	$0.1 \text{ }^\circ/\text{sqrt}(h)$

능을 가지는 크로스보우사의 VG600CA를 사용하였다. VG600CA의 오차특성은 표4와 같다.

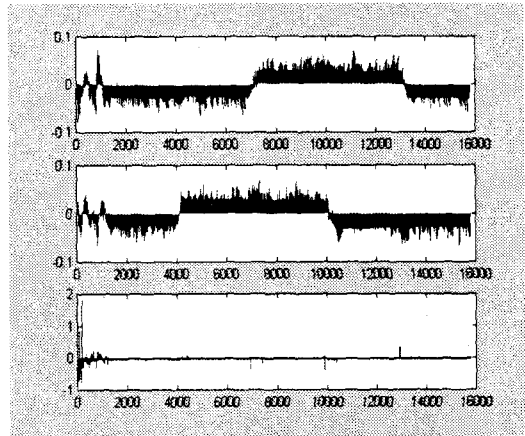


그림 6. 추정된 자세오차(시뮬레이션)

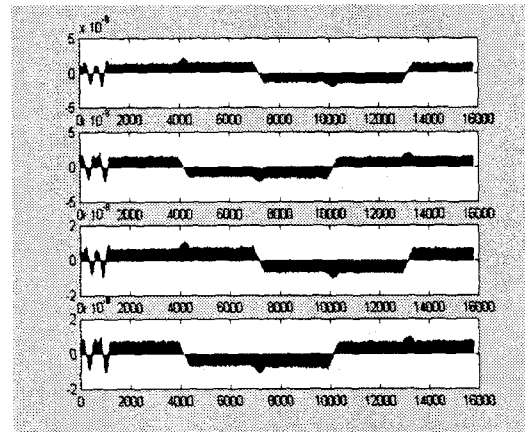


그림 7. 추정된 속도 및 자세 오차(시뮬레이션)

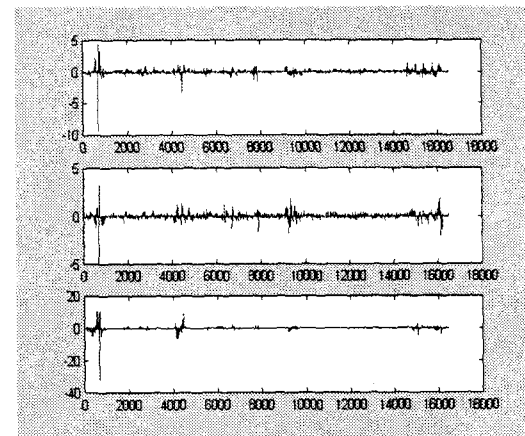


그림 8. 추정된 자세오차(실데이터)

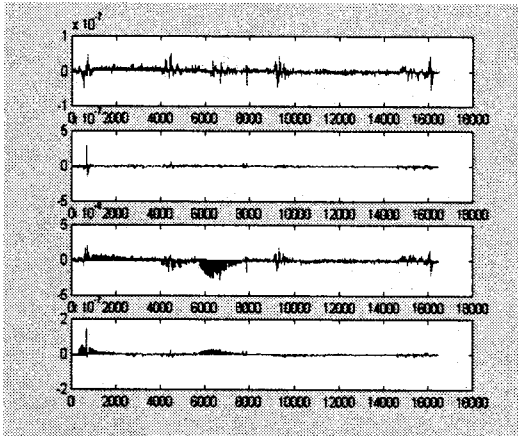


그림 9. 추정된 속도 및 위치 오차(실데이터)

위의 그림은 VG600CA에 적합하도록 설계한 GPS/INS 약결합 알고리즘을 실험하기 위하여 시뮬레이션 데이터와 차량실험을 통하여 획득한 데이터를 이용한 실험결과이다. 시뮬레이션 데이터와 실제 데이터의 결과를 보았을 때 시뮬레이션 데이터를 이용한 경우 다소 실제 데이터를 이용한 경우보다 성능이 좋은 것을 알 수 있으나, 두 경우 모두 자세부분에 있어 4S-Van의 최종 목표 정밀도인 1:10000 교통 지도에 사용 가능한 정보구축이 어려움을 알 수 있었다.

## 5. 맺음말

본 논문에서는 약결합 방식의 GPS/INS통합시스템과 Self-Calibration방식의 CCD Calibration을 설계하였다. 통합 칼만필터는 위치오차, 속도오차, 자세오차, 그리고 센서의 바이어스를 오차상태변수로 가지는 피드백 방식의 18차 필터로 설계되었으며 Self-Calibration은 기본적인 공선조건식에 카메라 렌즈 왜곡 파라미터를 추가한 형태로 설계하였다.

또한 GPS/INS통합 알고리즘 및 Self-Calibration 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 차량에 두 대의 흑백 CCD, GPS(DGPS), INS를 장착하고, ETRI에 보정타겟을 설치하여 차량 탑재 실험을 수행하였다. 위의 실험결과들로부터 단독의 INS나 GPS의 항법보

다는 GPS/INS의 통합이 향상된 항법 성능을 얻을 수 있다는 것을 검증하였으나, INS의 자이로 성능이 현저히 떨어지므로, 4S-Van의 최종 목표 결과치를 위해서는 보다 성능이 향상된 INS의 구입이 필요함을 알 수 있었다. 한편 Self-Calibration의 결과는 0.05m이내의 결과를 얻을 수 있었으며 4S-Van의 다른 과정인 GPS/INS 통합과정이나 각 CCD영상의 표정요소 산출 등에 있어 상대적으로 적은 오차를 보이고 있다.

앞으로 본 논문에서 구현한 GPS/INS항법 시스템과 Self-Calibration방법을 기반으로 강결합 방식의 GPS/INS통합 및 두 방법의 통합을 이용한 대상물의 3차원 좌표 추출을 위한 통합 작업, 시간동기화, 등 다양한 오차 분석등을 계속 연구해 나가야할 것이다.

## 참고문헌

1. Brown, R. G., and Hwang, P. Y. C., 1997, Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, 3rd Ed, John Wiley and Sons, New York
2. Farrel, J. and Barth, M., 1999, The Global Positioning System and Inertial Navigation, McGraw-Hill
3. Elliott D, Kaplan 1996, Understanding GPS : Principles and Applications
4. Greenspan, R. L., 1996, "GPS and Inertial Integration," in Global Positioning Systems : Theory and Applications II, AIAA, Washington DC, pp.187-220
5. Hofmann-Wellenhof, B. H., Lichtenegger, H. and Collins, J., 1993, Global Positioning System Theory and Practice, Springer-Verlag, Wien
6. Miller, R. B., 1983, " A New Strapdown Attitude Algorithm," J. Guidance, vol.6, no. 4, pp. 287-291
7. Titterton, D. H. and Weston, J. L., 1997, Strapdown Inertial Navigation Technology, Peter Peregrinus, United



8. Paul R. Wolf ,Bon A.Dewitt 2000, Elements of  
Photogrammetry with Application in GIS 3rd  
edition

---

(2002년 8월 28일 원고접수)