

# 복합 지상항법 장치의 성능 분석을 위한 전산 모의 소프트웨어 개발

\*권철범<sup>1</sup>, 김상순<sup>2</sup>, 박원장<sup>3</sup>, 홍진석<sup>4</sup>, 송진우<sup>5</sup>, 박영범<sup>6</sup>

<sup>1</sup>㈜마이크로인피니티 (Tel: 02-2025-3855 E-mail: cbkwon@minfinity.com )

<sup>2</sup>㈜마이크로인피니티 (Tel: 02-2025-3905 E-mail: sskim@minfinity.com)

<sup>3</sup>㈜마이크로인피니티 (Tel: 02-2025-3861 E-mail: wjpark@minfinity.com)

<sup>4</sup>㈜마이크로인피니티 (Tel: 02-2025-3856 E-mail: jshong@minfinity.com)

<sup>5</sup>㈜마이크로인피니티 (Tel: 02-2025-3849 E-mail: sjw@minfinity.com)

<sup>6</sup>국방과학연구소 (Tel: 042-821-2172 E-mail: ybpark@add.re.kr)

**Abstract :** 항법 장치의 특성을 이해하고 통합 필터를 설계하기 위한 기본 도구로 많이 활용되는 것이 시뮬레이션 도구이다. 이것은 실제 시스템을 구현할 때 부딪히는 각종 어려움으로부터 벗어나, 비교적 쉽게 성능분석을 할 수 있다는 장점 때문이다.

본 논문에서는 윈도우 기반의 전산 모의 소프트웨어를 개발하고, 이 프로그램을 이용하여 GPS와 INS 등의 센서를 이용한 복합 지상항법 시스템의 성능을 분석하였다.

**Keywords :** 전산 모의 소프트웨어, 시뮬레이터, 복합 항법

## 1. 서론

항법 장치는 공중, 지상, 해상 등의 여러 무기체계에 적용이 되고 있으며 다양한 운용 조건을 충족하여야 하기 때문에 설계단계에서 운용요구사항의 항법 성능 만족여부에 대한 분석이 요구된다. 그리고 기술의 발달로 인하여 센서의 종류가 다양해 지고 GPS와 INS의 결합기술 또한 다양하게 개발되고 있으므로, 여러 센서를 조합하고 결합기술들을 통합한 GPS/INS결합 항법 시스템을 설계하기 위해서는 내부의 많은 센서 오차와 필터의 상태 등을 관찰할 수 있는 도구의 개발이 필수적이다. 이러한 시스템의 특성을 이해하고 필터를 설계하기 위한 기본 도구는 컴퓨터 시뮬레이션 이다. 시뮬레이션 도구는 원하는 환경을 조성하여 반복적 실험이 가능하고, 필요한 오차 성분 등의 추가 및 삭제, 정확한 오차 분석 등 실제 데이터를 이용하여 처리하는 경우에 부딪히는 많은 문제들을 해결할 수 있기 때문에 시스템 개발을 위해 반드시 필요하다.

본 논문에서는 이러한 요구 조건에 만족하는 시뮬레이션 프로그램을 제작하였다. 입력을 조정하여 원하는 형태의 궤적을 생성하고, 다양한 주행환경 설정 및 관련 센서 오차 값의 변화가 가능하도록 하였다. 최종 항법 결과를 그래프로 화면에 표시 할 수 있으며, 출력 데이터를 저장하여 다양한 분석이 가능하도록 설계 하였다.

## 2. 전산모의 프로그램 구조

그림 1은 전체 전산 모의 소프트웨어의 구조를 나타내고 있다. 이 프로그램은 크게 네가지 부분으로 나눌 수 있는데, 첫번째는 초기 입력을 통해 궤적을 생성하는 부분으로, 이 결과는 전체 시스템에서 참조로 존재하게 된다. 두번째는 전단계의 궤적 정보를 바탕으로 각각 센서의 오차특성을 고려한 측정치를 만드는 단계이다. 세번째는 전단계에 구해진 측정치를 이용하여 순수항법과 Standalone GPS, 약결합 등의 항법 알고리즘을 이용한 항법 해를 구하는 단계이다. 마지막

단계에서는 전단계의 결과를 이용해 오차분석 및 항법 시스템의 성능을 파악하는 단계이다. 즉 전산모의 시스템을 통해 출력 그래프로 화면에 표시하거나 다양한 분석이 가능하도록 데이터를 저장하는 단계라 할 수 있다.

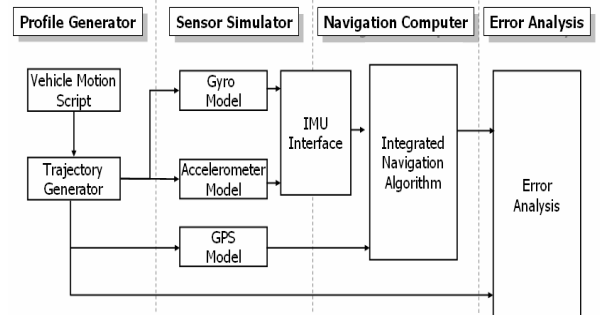


그림 1. 전산모의 소프트웨어 구조

Fig.1 The Structure of Modeling and Simulation Software

## 3. 궤적생성기

궤적생성기는 앞서 설명한 전체 구조에서 첫번째 단계라고 할 수 있으며 초기 사용자의 입력 값을 토대로 전체 전산 모의 소프트웨어에 사용될 궤적을 생성하는 기능을 담당한다. 입력값은 네가지로 구성이 되는데, 운동 시작시간, 운동 지속 시간, 운동 종류, 운동 변화량 등이 그것이다. 운동 종류는 U (X축 가속), V (Y축 가속), W (Z축 가속) Roll, Pitch, Yaw 등의 6개 운동 형태중에 선택을 하며, 운동 변화량은 가속도 또는 회전각을 입력하도록 설계되어 있다. 궤적 생성기의 동작 구조는 아래의 그림 2와 같다. 전체 궤적은 동체 좌표계에서의 속도변화(직선운동)와 각도변화(회전운동)로 표현되는 기본 입력 운동 형태를 조합하여 생성된다. 이때 이용되는 기본 운동 형태는 가속도 변화운동과

각속도 변화 운동으로 해석적으로 유도가 가능하여야 하기 때문에 아래 그림 3과 같은 삼각함수 형태를 이용한다. 운동을 구성하기 위한 변화량에 대한 식을 정리하면 식 1,2,3과 같이 나타낼 수 있다.

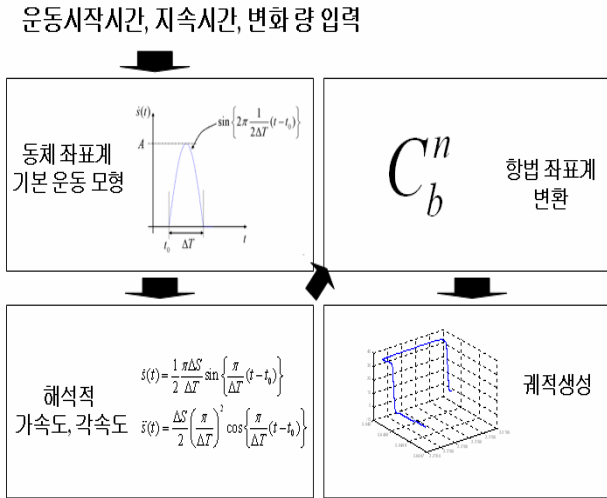


그림 2. 궤적 생성기 구조  
Fig. 2 The Structure of Track Generator

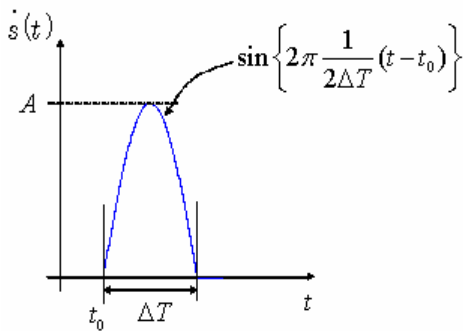


그림 3. 궤적 생성기 기본 운동 형태  
Fig.3 The Basic Motion of Track Generator

$$s(t) = s(t_0) + \frac{1}{2} \Delta S \left\{ 1 - \cos \left\{ \frac{\pi}{\Delta T} (t - t_0) \right\} \right\} \quad (1)$$

$$\dot{s}(t) = \frac{1}{2} \frac{\pi \Delta S}{\Delta T} s(t_0) \sin \left\{ \frac{\pi}{\Delta T} (t - t_0) \right\} \quad (2)$$

$$\ddot{s}(t) = \frac{\Delta S}{2} \left[ \frac{\pi}{\Delta T} \right]^2 \cos \left\{ \frac{\pi}{\Delta T} (t - t_0) \right\} \quad (3)$$

#### 4. GPS 시뮬레이션

궤적생성기에서 얻어진 시뮬레이션 시간동안의 위치를 비롯한 항법 정보들은 전체 시뮬레이션의 참값 역할을 하게 되며, 이 값을 이용하여 센서의 측정값을 생성하게 된다.

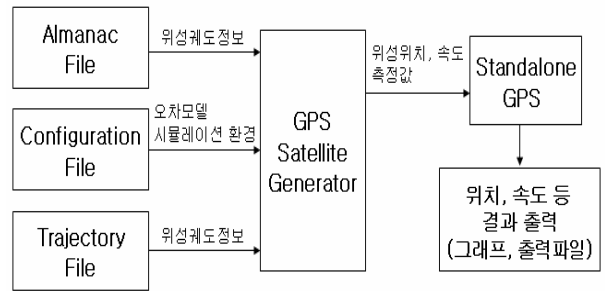


그림 4. GPS 생성기의 구조  
Fig.4 The Structure of GPS Generator

GPS 생성기는 그림 4와 같이 구성된다. YUMA 궤도력 파일을 이용하여 위성궤도를 생성하며 [5], 궤적 생성기의 출력파일과 결합하여 기본 측정값을 생성하고, GPS 오차 모델을 적용하여 실제와 유사한 측정값을 생성하게 된다. 이 때 고려되는 오차는 Satellite clock error, ION error, Troposphere error, Multipass error, Receiver clock error, Receiver noise error, Pseudorange noise, ADR Random Noise 등이다. 의사거리를 비롯한 측정값은 Standalone GPS 알고리즘을 통해 항법해를 구하게 된다.

#### 5. 순수항법 시뮬레이션

GPS 생성기와 마찬가지로 IMU 또한 궤적에서 생성된 결과에 센서의 특성을 고려한 오차 성분을 추가하여 측정치를 만든다.

INS의 오차는 가속도계와 자이로의 결합에 의한 오차, 초기 정렬 오차, 동체에 관성센서를 잘못 정렬했을 때의 오차, 계산오차, 시스템 방정식에서의 근사에 의한 오차등으로 인해 발생한다. 그외에도 가속도계오차와 중력의 변화에 따른 속도오차, 그리고 자이로 오차에 의한 자세 오차가 INS오차의 주요한 부분을 차지한다. 이러한 주요한 오차요인 이외에도 물리적 성분 오차, 구조적 오차, 초기 조건 등도 관성항법시스템에 있어 기본적인 오차이다.

IMU로부터 얻어진 자이로와 가속도계의 출력을 이용하여 항체의 위치, 속도 및 자세 등의 항법 정보를 계산하게 되며 항체의 초기 자세를 계산하는 초기 정렬 알고리즘과 [2] 운항하면서 항법 정보를 계산하는 운항 중 정렬 알고리즘으로 구성된다.

그림 5는 SDINS 알고리즘을 나타낸 것이다.

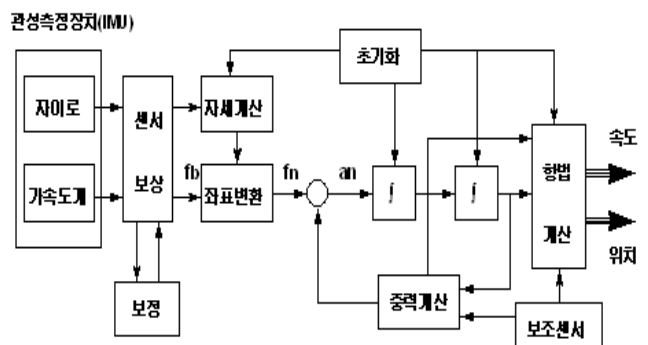


그림 5. SDINS 알고리즘  
Fig.5 The Algorithm of SDINS

#### 5. GPS/INS 시뮬레이션

앞 단계에서 구해진 GPS와 INS의 출력 결과를 이용하여 약결합 방식의 알고리즘을 통해 항법해를 구하게 된다. 그림

6은 시뮬레이션 시스템에 적용된 피드백방식의 약결합 알고리즘을 나타내고 있다[3].

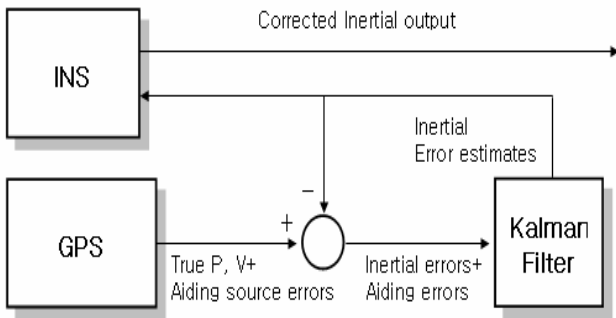


그림 6. 피드백 방식의 약결합 알고리즘  
Fig.6 The Loosely Coupled Algorithm of Feedback Type

## 6. 시뮬레이션 구현

시뮬레이션 프로그램을 이용하여 임의의 궤적을 입력하고, 센서의 오차 모델을 설정한 후 결과를 출력해 보았다.

### 6.1 시뮬레이션 설정

초기에 궤적생성을 위하여 입력한 값은 아래 표1 과 같다.

표 1. 시뮬레이션 궤적 입력 값  
Table.1 Input Parameter of Simulation Track

시작시간	운동 형태	지속시간	변화량
1	1	9	1
11	6	10	90
21	2	10	10
31	4	10	-50
50	6	5	90
55	5	8	-50
150	6	20	90
170	1	30	8

여기서 운동형태는 앞에서 언급한 것처럼 6가지 형태가 있으며, 1~3은 동체 좌표계의 X,Y,Z 방향의 가속도를 나타내고 4~6은 세축방향의 Roll, Pitch, Yaw를 나타낸다.

그림 7은 초기 입력을 위한 옵션창을 나타내고 있다. 좌측 상단이 궤적 생성을 위한 입력부분에 해당하며, 우측은 전체시뮬레이션 시간과 데이터 출력주파수 그리고 초기위치와 속도 자세등을 입력하는 부분이며 마지막으로 좌측하단은 입력한 정보들을 미리 실행해 볼 수 있는 프리뷰 영역이다.

시뮬레이션은 200초를 실시 하였으며, 궤적은 2000Hz, IMU와 순수항법은 400Hz, GPS는 1Hz로 계산 하도록 설정이 되었으며, 초기 출발점은 위도 37도, 경도 127도, 고도는 0m, 속도와 가속도, 자세 등은 0으로 설정한 상태로 시작하였다.

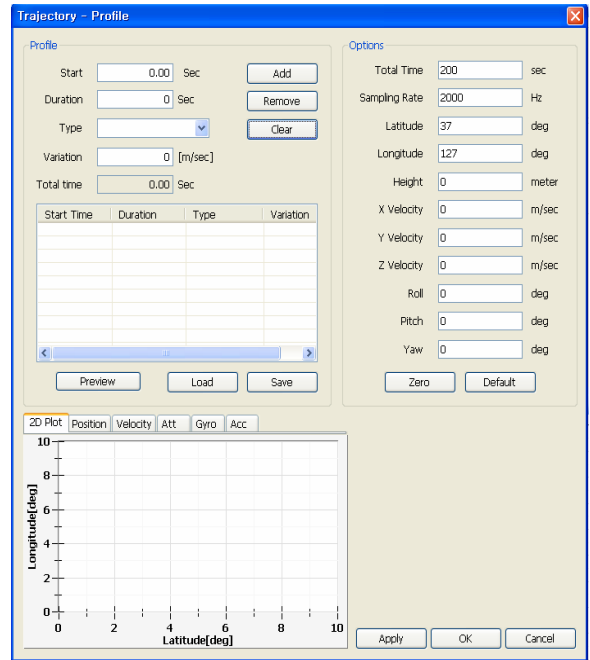


그림 7. 궤적 생성기 옵션  
Fig.7 The Option of Track Generator

표 2. 입력된 IMU 오차  
Table.2 Input Parameter of IMU Error

	Gyroscope	Accelerometer
White Noise	0.01deg/hr	100 micro-g
WalkNoise	0.01 deg/hr/hr <sup>1/2</sup>	50 micro-g/hr <sup>1/2</sup>
1st markov	0.1 deg/hr	10 micro-g
Correlation Time	100 sec	60 sec
Bias(X axis)	0.1 deg/hr	1000 micro-g
Bias(Y axis)	0.1 deg/hr	1000 micro-g
Bias(Z axis)	0.1 deg/hr	1000 micro-g
Bias/Temp	0.03 deg/hr/°C	0.003 m/sec <sup>2</sup> /°C
S-F Stability(X axis)	150 ppm	300 ppm
S-F Stability(Y axis)	150 ppm	300 ppm
S-F Stability(Z axis)	150 ppm	300 ppm
S-F Nonlinearity	150 ppm	150 ppm
S-F/Temp	50 ppm/°C	50 ppm/°C
G Senitivity	0.1 deg/hr/g	-
Orthogonality	40 arcsec	40 arcsec
anisoelastic	0.3 deg/hr/g <sup>2</sup>	-
anisoinertia	0.3 deg/hr/(rad/sec) <sup>2</sup>	0.3 micro-g/(rad/sec) <sup>2</sup>

### 6.2 시뮬레이션 결과

그림 8은 순수항법의 결과를 나타내고 있다. 위도 37도와 경도 127도인 출발점에서 시작하여 왼쪽으로 나타난 궤적이 참값이며, 오른쪽 아래로 나타난 궤적이 순수항법의 결과이다. 시뮬레이션이 수행되는 동안 센서 오차의 영향으로 최종적으로 위치해의 오차가 큰 것을 발견할 수 있다.

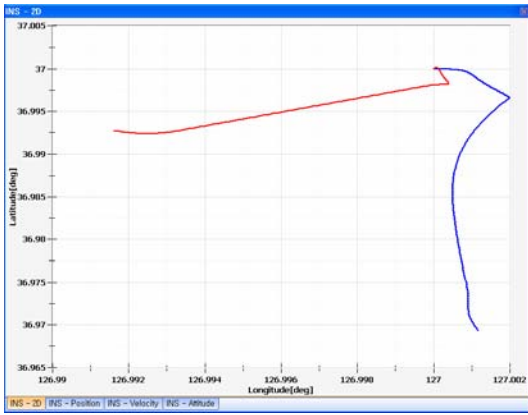


그림 8. 순수항법 결과  
Fig.8 The Result of Pure INS

그림 9는 GPS의 결과로 순수항법의 결과에 비해 좋은 결과가 나오는 것을 발견 할 수 있다.

그림 10은 가시위성을 나타낸 것이다. GPS 옵션의 설정에 따라 Azimuth, Elevation Angle 설정이 가능하며, 시뮬레이션 시에는 기본값인 0도를 입력한 상태이다.

마지막으로 그림 11은 약결합의 결과를 나타낸 것으로 순수항법이나 GPS결과에 비해 좀더 우수한 성능이 나오는 것을 발견 할 수 있다.

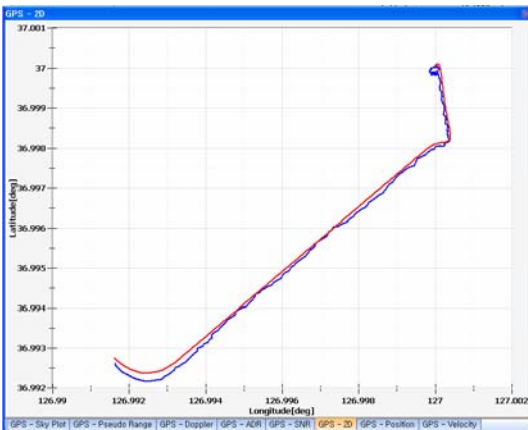


그림 9. GPS 시뮬레이션 결과  
Fig.9 The Result of SPS Simulation



그림 10. 가시 위성  
Fig .10 The Visible Satellite

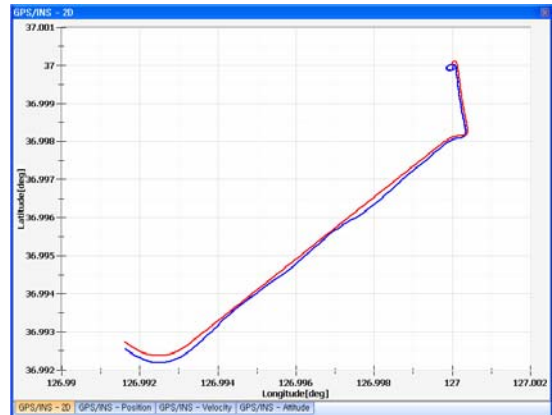


그림 11. 약결합 결과  
Fig.11 The Result of Loosely Coupled

## 7. 결론

본 논문에서는 복합 항법 시스템의 성능 분석을 위한 모델링 및 시뮬레이션 소프트웨어에 대해서 소개하였다. 시뮬레이션 프로그램은 실제 시스템에서 부딪치는 현실적인 제약들을 극복하고 시스템의 성능분석이 가능하다는 점에서 시스템 개발에 필수적인 과정으로 인식된 것이 이미 오래 전의 일이다.

제작된 시뮬레이션 프로그램은 사용자가 원하는 임의의 궤적을 쉽게 구현 할 수 있고, 사용환경에 맞는 다양한 센서의 모델을 고려하여 측정치를 만들 수 있다. 알고리즘의 성능과 결과를 효과적으로 분석 할 수 있도록 모든 출력 값을 그래프로 확인 할 수 있으며, 선택적으로 출력 데이터를 저장할 수 있도록 설계되었다. 또한 강력한 GUI 환경이 구축되어 있으므로 사용자가 비교적 쉽게 사용할 수 있다는 것도 큰 장점이다. 본 논문의 시뮬레이션 프로그램은 앞으로 다양한 용도로 사용이 가능할 것이며, 복합 항법 시스템 분석과 성능향상 연구에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

1. D. H. Titterton, J. L. Weston, *Strapdown Inertial Navigation Technology*, Peter Peregrinus, United Kingdom, 1997
2. K. R. Britting, *Inertial Navigation Systems Analysis*, Wiley & Sons, 1971
3. Hwang, Brown, "GPS Navigation : Combining Pseudorange with Continuous Carrier Phase Using a KF," *Navigation : Journal of the ION*, vol. 37, no2, pp.181-196, 1990.
4. *IEEE Standard for Inertial Sensor Terminology*, IEEE Aero space and Electronic Systems Society, 2001
5. <http://www.navcen.uscg.gov/ftp/GPS/almanacs/yuma/>