

## INS/GPS 결합 항법 시스템

박찬국, 진 용

광운대학교 제어측공학과

## 1. 서론

항법(navigation)이란 자유공간을 움직이는 항체가 자신의 위치를 찾는 것이다. 먼 옛날부터 망망 대해를 향해하던 항해사들에게 항법은 임무 수행의 핵심적인 역할을 하여왔다. 이러한 항법에 대한 개념은 지도상에서 위치를 계산할 수 없는 3차원 우주 시대를 열면서 그 중요성이 보다 강조되어 왔으며 최근에는 GPS 위성항법 시스템이 개발되면서 민수용의 차량 항법이나 물류 자동화 시스템 등에서 쉽게 접할 수 있게 되었다. 이 외에도 항법 기술은 항공기, 인공위성, 잠수함, 유도무기, 차량, 로봇 등에 이르기까지 다양한 임무를 만족스럽게 수행하기 위해서 필수적으로 요구되는 기술이다.

자신의 위치를 찾기 위한 항법 방식은 크게 추측항법(dead reckoning)과 고정위치항법(position fixing)으로 구별된다. 추측항법은 초기 위치정보로부터 항체의 속도 및 방향 측정치를 이용하여 현재의 위치를 계산한다. 추측항법은 외부로부터의 신호교란이나 감지를 피할 수 있고 시간과 날씨 등에 구애받지 않으며 외부의 도움없이 독자적으로 자신의 위치를 찾을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 관성항법 시스템(Inertial Navigation System : INS)은 이러한 추측항법이 발전된 형태로서 관성센서인 자이로와 가속도계의 출력을 이용하여 항체의 회전 각속도와 선형 가속도를 측정한다. 이를 적분하면 항체의 방향과 속도를 계산할 수 있다. 고정위치항법은 북극성과 같이 지구로부터 멀리 떨어진 고정된 별이나 행성을 관측하여 자신의 위치를 찾는 방식이다. 간단한 망원경이나 유관으로 자신의 위치를 찾던 것과 유사하게 최근에는 수신기 하나만 가지고 있으면 대략 2 만 km 상공에서 제공하는 위성신호를 전송 받아 자신의 위치를 전세계 어디서나 간단히 찾을 수 있는 GPS(Global Positioning System) 위성항법 시스템을 사용하고 있다.

추측항법과 고정위치항법은 서로 상호 보완적인 특성을 지니고 있다. 즉 관성항법 시스템은 짧은 시간 동안의 오차는 비록 작으나 가속도를 적분하여 사용하기 때문에 시간이 길어질수록 오차가 누적되는 특성을 가지고 있으며 반면에 GPS 위성항법 시스템은 순간적인 오차는 관성항법 시스템에 비하여

크지만 시간이 지나도 누적되지 않는 특성을 지닌다 따라서 두 방법은 서로 독자적으로 사용할 수도 있으나 보다 정확한 항법을 수행하기 위해서는 상호 보완적인 특성을 지니고 있는 이 두 가지 개념의 항법 방식을 적절하게 결합하여 사용하는 것이 유리하다. 최근에 발표되는 대부분의 항법 시스템은 이들을 결합한 복합 항법 시스템의 형태를 나타내고 있고 이들에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

## 2. 관성항법 시스템

관성항법 시스템은 1950년대 초반에 미국 MIT에서 개발되었으며 1960년대에 이르러 실용화된 장치로, 초기 위치정보가 주어지면 측정된 가속도를 두 번 적분함으로써 항체의 위치를 매우 정확하게 제공하는 장치이다. 관성항법 시스템의 가장 큰 단점은 오차가 시간이 지남에 따라 증가한다는 것이다. 이로 인하여 매우 정확한 고가의 자이로와 가속도계가 요구된다. 일반적으로 시간당 1 해리 보다 적은 위치 오차를 가지는 전형적인 중급 항법 시스템의 경우에는 자이로의 편류 오차가 시간당 0.01도 보다 적어야만 한다.

외부의 도움 없이 항체의 자세, 속도 및 위치 정보를 제공하는 관성항법 시스템은 자이로와 가속도계 등의 관성센서를 기계적 안정대(mechanical platform) 위에 장착하는 김블형 관성항법 시스템(Gimbaled INS - GINS)과 관성센서를 항체에 직접 부착하여 해석적으로 항법정보를 제공하는 스트랩다운 관성항법 시스템(StrapDown INS - SDINS)으로 나뉘어진다.

김블형 관성항법 시스템은 IMU(Inertial Measurement Unit)와 IMU를 기준 좌표계로 유지시키는 김블로 구성되어 있다. 김블은 각 축마다 자이로와 김블 토크모터에 의하여 김블 서보 루프를 형성하는데 김블 서보 시스템은 항체의 회전운동시 발생하는 김블 베어링 마찰에 의한 외란 토크로 인하여 안정대 좌표계가 일시적으로 기준 좌표계를 유지하지 못하지만 이를 자이로가 감지하여 안정화 시켜주어 기준 좌표계를 유지한다. 이러한 김블형 관성항법 시스템은 고가이나 매우 정밀한 항법 시스템을 구축할 수 있어서 1960년대와 1970년대 우주 시대의 개막과 더불어 현재까지 사용되며 우주 발사체나 대륙간 탄

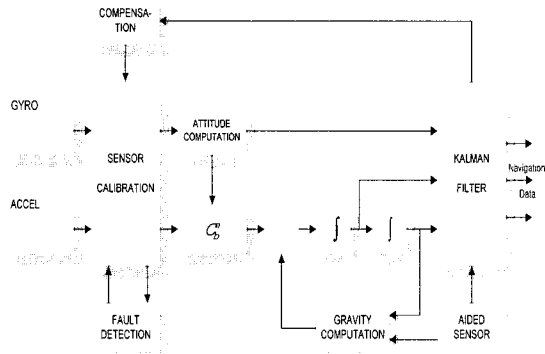


그림 1. 스트랩다운 관성항법 시스템.

도 미사일 등 장시간동안 매우 정확한 항법 정보를 요구하는 시스템에 주로 사용되고 있다.

기존의 INS에 사용되는 기계적인 자이로와 김블형 시스템은 제작과 유지가 어려운 장치로써 디지털 회로에 비하여 유연성이 떨어지는 아날로그 회로를 많이 포함한다. 따라서 전자 기술을 사용하여 기계적인 시스템을 대신할 수 있는 방법에 흥미를 가지게 되었다. 정확성을 유지하면서 넓은 사용범위를 지닌 동조 자이로(Dynamically Tuned Gyro - DTG)나 링레이저 자이로(Ring Laser Gyro - RLG)와 같은 스트랩다운 자이로의 개발은 강력한 소형 컴퓨터와 함께 매우 적은 비용으로 신뢰성이 우수한 소형의 스트랩다운 관성항법 시스템을 시장에 내놓게 되었다. 스트랩다운 관성항법 시스템은 김블과 같은 기계적인 장치가 없기 때문에 구조적으로 간단하고, 전력소모가 적으며 중첩시스템 설계 및 유지 보수가 용이하다는 것 이외에 많은 장점을 지니고 있기 때문에 1970년대 이후에 응용분야가 점점 확대되는 추세에 있다[1][2]. 그러나 이 새로운 시스템은 해결해야 할 많은 흥미 있는 공학적인 문제들을 발생시켰다. 김블형 시스템의 기계적인 안정대에 의하여 자이로와 가속도계가 항상 일정한 자세를 유지할 수 있던 것과 동일한 효과를 항법컴퓨터에 가상적으로 존재하는 안정대를 통하여 구현하기 위하여 항체의 자세를 빠르고 효율적으로 계산하기 위한 알고리즘이 필요하게 되었다[3]. 자이로나 가속도계와 같은 센서 보상 방법에 대한 문제(IMU calibration)와 항법모드 진입 전에 항체의 초기자세를 결정하는 초기정렬이나 항법모드 중에 발생하는 항법오차를 가속도계와 자이로 이외의 보조 센서를 사용하여 보정하기 위한 운항중 정렬(in-flight alignment) 문제를 해결하기 위하여 주로 칼만필터(Kalman filter)를 사용한다[4]. 또한 스트랩다운 시스템의 신뢰성을 높이기 위한 자이로나 가속도계의 고장검출 및 최적 배치 문제도 해결해야 할 중요한 문제이다[5]. 그림 1은 스트랩다운 관성항법 시스템의 블록선도를 나타낸다.

### 3. GPS 항법 시스템

GPS는 전세계 어디에서나 수신기를 지닌 사용자에게 GPS 위성으로부터 전송되는 거리정보를 이용하여 3차원 위치정보(위도 및 경도, 고도) 및 시각 정보를 제공하는 위성항법 시스템으로 러시아의 GLONASS도 유사한 방식으로 동작한다.

기본적인 GPS 항법원리는 고도 20,200km에서 지구상으로 위성의 위치를 주기적으로 전송하는 GPS 위성과 사용자와의 거리 정보를 이용하는 것이다. 수신기의 위도, 경도, 고도와 시계 보정값을 결정하기 위해서는 이러한 거리 정보를 최소한 4개 이상 필요로 하게 된다. 최근에는 8-12 채널에서 동시에 위성 정보를 수신할 수 있는 수신기가 개발되어 보다 빠르고 정확한 항법 정보를 계산할 수 있다.

GPS는 두 가지의 주파수로 신호를 전송하는데 L1 신호의 주파수는 1575.42 MHz이고 L2 신호의 주파수는 1227.6 MHz이다. 두 신호를 수신하는 사용자는 전리층에서의 신호 지연을 직접 보정하여 최대 6m 범위의 정확도를 얻을 수 있다. 그러나 미 국방성에서는 GPS 시스템이 미군에 적대적으로 사용될 것을 우려하여 일반인에게는 L1 신호만을 사용하도록 허용하였다. 이 주파수에 실리는 항법신호는 일반인에게 개방된 C/A 코드(Coarse/Acquisition code)와 보다 정밀한 P 코드(Precision code)로 구분되며, 각 코드는 24개 각 위성마다 다르기 때문에 동일한 주파수를 사용하더라도 위성으로부터 수신되는 전파간의 혼선이 생기지 않는다. C/A 코드에는 GPS 시스템의 위성 시계를 비동기시키거나 위성의 위치를 전송할 때 작은 오차를 고의로 포함시킴으로써 정확도를 낮추는데 이를 SA(Selective Availability)라고 한다. 이러한 오차들로 인하여 GPS 위성항법 시스템의 위치 정보는 대략 100m 정도의 수평위치 오차를 갖게 된다[6].

이런 제한된 개방으로 초기의 GPS의 사용은 제한된 범위에만 국한되다가 점차 해상, 공중, 지상 심지어 우주에서의 사용으로 이용범위가 확장되었다. 현재는 민간인의 사용이 군에 비하여 10배 이상으로 증가하였다. 대표적인 사용 예로 차량용 항법 장치, 지능형 교통 시스템(ITS), 위치 추적 시스템, 항공기의 착륙 장치 등을 들 수 있다. 이처럼 GPS에 대한 이용이 다양해지면서 SA가 포함된 신호에 대하여 GPS를 보다 정밀하게 사용하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. GPS를 보다 효율적으로 사용하기 위한 연구의 결과로 DGPS(Differential GPS) 방법과 반송파 위상(carrier phase) 방법을 대표적으로 들 수 있다. DGPS는 이미 위치가 알려진 기준국에서 수신기를 고정하여 신호를 수신한 후, 측정된 거리에 의해 계산된 위치와 실제의 위치를 비교하여 의사 거리에 포함된 SA나 이온층 지연 등의

오차 보정값을 계산한 후, 이동 중인 사용자가 측정하는 거리를 보상할 수 있도록 보정값을 전송하는 것이다. 이 기술은 비록 기준국으로부터 이동 수신기까지의 거리 제한이 있지만 실시간으로 10m 미만의 정확도를 가진 위치 정보를 얻을 수 있다. 따라서 민간용의 다양한 용도에서 요구되는 사양들을 만족시킬 수 있다. 반송파 위상을 이용한 방법은 GPS 위성에서 코드 정보를 보내기 위해 사용하는 라디오 주파수 반송파(1575.42MHz)를 이용하여 아주 정밀한 거리 정보를 얻어내는 방법이다. 반송파 위상 신호의 파장은 19cm 이므로 파장의 1/100 까지 추적하면 약 2mm 정도의 정밀도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 SA 등의 인위적인 오차도 포함되지 않는다. 반송파 위상을 이용하면 보다 큰 정확성을 얻을 수 있지만 위성 정보가 바뀔 때마다 미지 정수를 계산하여야 하므로 계산량이 증가하여 현재까지는 측지의 목적으로 주로 사용되고, 실시간 처리를 요하는 항법에서는 초기 자세를 계산하는 초기 정렬이나 움직임이 적은 자세계산 등에 부분적으로 사용되고 있다. 그러나 점차 고성능의 마이크로 프로세서와 새로운 미지 정수 측정 알고리즘의 개발 등 실시간 이용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[7].

**4. INS/GPS 결합 항법 시스템**

대부분의 항법 시스템은 보다 높은 정확도와 장기간의 안정성을 얻기 위하여 다중 센서 구조를 갖는 복합 항법 시스템을 사용한다. 이때 위치정보를 얻기 위해서는 Loran, Omega, Tacan, 그리고 GPS, 속도정보는 도플러 레이다, EMLOG, 속도계, 자세정보는 별 추적기와 자기 컴퍼스 등이 항체에 따라서 선택적으로 이용될 수 있다[8]. 이 중에서 GPS는 위치 및 속도 정보를 저렴하게 제공할 수 있기 때문에, 항공기나 선박은 물론이고 자동차 등에도 항법 시스템을 적용할 수 있도록 한 계기가 되었다. INS와 GPS의 결합은 1980년대 초기부터 연구되었다. INS/GPS 결합 시스템은 상호 보완적인 특징을 가진다. INS는 짧은 시간 동안에는 외부의 도움없이 정확도를 유지할 수 있으나 자이로 오차와 초기 오차 등에 의하여 시간이 지남에 따라 오차가 누적되는 경향이 있고, GPS는 위치 정보의 정확도는 시간에 따라 변하지 않지만, 공간적인 제약이 있고 전파 교란이나 차단에 의하여 사용이 불가능하게 되는 경우가 있다. 따라서 두 시스템을 결합하여 비교적 정확한 항법 정보를 제공하면서 오차가 일정한 범위 안에 있는 항법 시스템을 구성할 수 있다. 두 가지 항법 시스템을 함께 사용하는 기본적인 원리는 숙련된 항해사가 여러 가지 정보에 의하여 자신의 위치를 결정할 때 사용하는 방법과 같다. INS는 연속적인 위치와 속도 정보를 제공하고 GPS는 보조

장치로 다른 종류의 위치 정보를 제공한다. 이때 두 위치 정보를 비교하여 항해사는 그 차이를 경험에 따라 어느 한 쪽이나 공동의 오차로 간주하여 두 정보를 적당히 결합한다. 이런 방법에 의하여 결합된 INS/GPS 항법 시스템은 한정된 오차를 갖는 항법 시스템으로 동작한다. 반대로 GPS를 주 항법 시스템으로 사용하고 INS는 GPS가 데이터를 수신할 수 없는 곳에서 속도와 위치 정보를 얻을 수 있도록 도와주는 보조 항법 장치로 사용할 수도 있다. 이 방법은 저급의 INS를 GPS와 함께 사용함으로써 저렴하게 항법 시스템을 구현하기 위하여 이용된다. 또한 GPS 수신기로 피드백되는 INS의 속도 정보는 GPS의 추적 루프(tracking loop)의 성능을 향상시킬 수 있어서 외란에 강하고 빠른 동적 상황에서도 항법 정보를 제공할 수 있다.

INS/GPS 결합 시스템을 비롯하여 관성항법 시스템과 여러 종류의 비관성 센서들을 결합하는데 칼만 필터는 항해사의 역할을 효과적으로 수행한다[9]. INS와 비관성센서의 정보는 서로 다른 특성을 지닌 잡음, 즉 불규칙 오차를 포함하기 때문에 이들을 보다 효과적으로 제거하고 두 항법정보의 통계적인 특성에 근거하여 이들의 정보를 최적으로 결합하여 가장 좋은 추정치를 제공하는 역할을 칼만필터가 담당한다. 칼만필터는 시스템 모델을 근거로 오차를 추정하는 필터로 오차가 포함된 센서의 측정치와 시스템 상태변수의 오차에 대한 이전단계의 통계적인 정보를 근거로 현재의 오차를 추정하여 보상하게 된다. 칼만필터는 시스템의 차수가 증가함에 따라 계산량

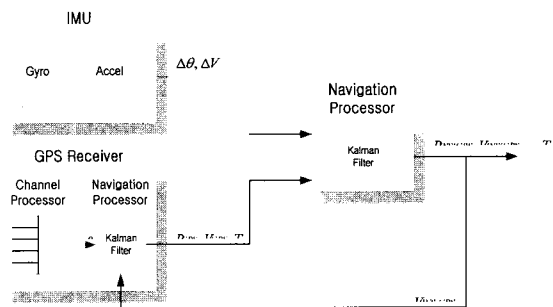


그림 2. Loosely Coupled INS/GPS.

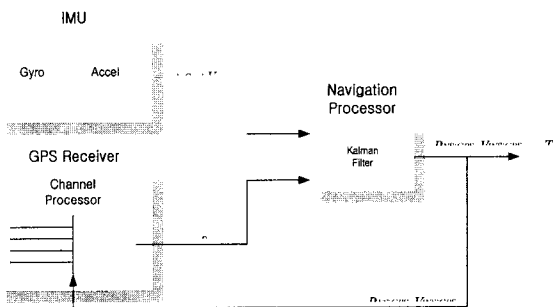


그림 3. Tightly Coupled INS/GPS.

이 기하급수적으로 증가하기 때문에 마이크로 프로세서의 발달과 더불어 성능 개선을 위한 연구가 많이 이루어 지고 있다. 일반적으로 복합 항법 시스템에서는 3축의 위치, 속도, 자세 오차와 센서의 바이어스(bias), 환산계수, 비정렬 오차 등을 시스템 상태 변수로 사용하며, GPS, 속도계, 마그네틱 컴퍼스 등의 보조 센서 데이터를 측정치로 사용한다.

INS/GPS 결합 시스템은 결합 방식에 따라 크게 비결합(uncoupled) 방식, 연결합(loosely coupled) 방식과 강결합(tightly coupled) 방식으로 구분할 수 있다. 먼저 비결합 방식은 서로에게 영향을 주지 않는 독립된 GPS와 INS를 결합하는 방법으로 단순한 항법 정보의 선택자(selector)를 구성하는 것과 유사하다. 이 방법의 특징은 쉽고 빠르게 구성할 수 있으며 각 시스템의 고장에 무관하게 동작할 수 있다는 점이다. 두 번째로 연결합 방식은 그림 2와 같이 구성할 수 있다. GPS는 독립적인 항법해를 계산하며 칼만필터는 INS(또는 IMU)와 GPS가 계산한 항법 정보를 이용하여 오차를 추정 보상하도록 되어 있다. 연결합 방식은 구성이 쉽다는 장점이 있으나 위성이 3개 미만인 경우에는 GPS가 항법 정보를 계산할 수 없기 때문에 결합 시스템에서도 오차를 추정 보상하는 것이 불가능해진다는 단점을 가지고 있다. 또한 항법 필터와 GPS 수신기 필터 사이의 상호 피드백 구조에 의하여 안정성이 떨어진다는 단점도 존재한다.

이에 반하여 강결합 방식은 GPS 수신기는 직접 항법 정보를 계산하지 않고 수신기와 위성간의 의사 거리와 의사 거리 변화율을 제공하고 IMU는 측정된 가속도와 각속도를 칼만필터에 제공한다. GPS 수신기의 추적루프를 돕기 위하여 계산된 속도와 위치 또는 자세 정보가 수신기의 추적루프로 바로 피드백 된다. 강결합 방식은 위성이 3개 미만인 경우에도 독자적으로 동작할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 그러나 GPS 수신기의 구조를 정확히 알아야 구현할 수 있으므로 실제 구성이 쉽지 않다는 단점을 가지고 있다. 따라서 IMU와 GPS 수신기 모두를 제조하는 회사에서 주로 연구, 개발되고 있는 실정이다. 그림 3은 강결합 방식의 INS/GPS 결합 시스템을 보여준다.

## 5. 기술 동향

관성항법 시스템 기술의 선진국들은 크게 미국과 유럽으로 구분할 수 있다. 관성항법 시스템은 민간 기업이 군의 수요를 충족시키기 위하여 개발하는 경우가 대부분이므로 이들 나라의 기술 수준은 주로 민간기업에서 생산하는 관성항법 시스템으로 파악될 수 있다. 미국에서 관성항법 시스템을 생산하는 대표적인 기업으로는 Litton, Honeywell, Kearfott

등이 있으며, 유럽의 회사에는 Sagem, Ferranti, Sfim, BASE 등을 들 수 있다. GPS 수신기는 크고 작은 많은 회사에서 개발하고 있으며 최근에는 Motorola사와 SGS-Thomson, Mitec, SiRF사 등에서 원칩화된 GPS 수신칩셋을 개발하여 판매함으로써 보다 저가의 소형 수신기가 개발되고 있다. 반면에 Novatel, Trimble사에서는 고성능의 수신기를 비롯하여 GPS와 GLONASS가 결합된 제품, 그리고 GPS를 이용한 자세 측정 시스템도 개발되고 있다.

최근에 개발되는 고성능 항법 시스템은 RLG와 FOG를 이용한 INS와 GPS를 결합한 형태가 주를 이루고 있다. 대표적인 제품으로 Litton사의 LN-100G가 이에 해당하며 LN-100R의 경우는 선택적으로 GPS를 결합할 수 있게 제품화 되어 있다. AH-64 아파치 헬리콥터, RAH-66 코만치 헬리콥터, 보잉 767 공중초계 경보기(AWACS), F-16 전투기, 토마호크 순항미사일 등의 중장거리 전략무기들은 RLG를 사용하고 전술 미사일이나 어뢰 등은 성능이 떨어지는 FOG를 주로 사용한다. 민수용의 대표적인 시스템은 민간 항공기의 항법 시스템이다. 에어버스의 A330 및 A340 기종을 비롯하여 많은 시스템이 Litton이나 Honeywell사의 RLG와 GPS를 사용한 시스템을 사용하고 있다.

이외에도 저급 FOG, 진동형 자이로, MEMS 기술을 이용한 자이로 등과 또한 반도체형 가속도계의 개발로 GPS 수신기와 이들 저급 자이로를 이용한 차량용 GPS/DR 결합 시스템이 여러 회사에서 개발되고 있다. 최근에는 이러한 목적으로 다양한 종류의 센서들을 부착할 수 있는 GPS 수신기도 판매되고 있다. 차량용 항법 시스템에 사용되는 저급 FOG는 Crossbow나 KVH사에서 제공하고 있으며 반도체형 자이로로는 Murata사의 진동형 자이로나 Systron Donnor사의 MEMS 자이로가 이미 시판되어 무게가 가벼운 항법 시스템을 필요로 하는 응용 시스템에 사용되고 있다. 아직 MEMS 자이로의 가격은 성능에 비하여 고가이나 차후에 대량 생산이 되면 가격이 낮아져 민간용 항법 시스템 구성에 많이 사용될 것이다.

## 6. 발전추세 및 전망

관성항법 시스템의 발전추세는 사용되는 관성 센서의 발전과 밀접한 관계를 가지고 있다. 1980년대부터 상용화되기 시작한 RLG 관성항법 시스템은 기존의 FRIG와 DTG로 구성된 기계식 관성항법 시스템을 대체하면서 비약적으로 발전하였다. 이러한 RLG 관성항법 시스템은 기존의 기계식 관성항법 시스템에 비하여 소형, 경량, 저전력 소모의 장점을 가지고 있기 때문에 항법 시스템 구성을 용이하게 한다. 최근에 와서는 초정밀 관성항법 시스템을 제외

한 거의 모든 관성항법 시스템이 RLG 관성항법 시스템으로 대체되는 추세를 보이고 있다. RLG와 원리는 유사하지만 약간 늦게 개발되기 시작한 FOG는 그 정밀도에서는 RLG에 못 미치지만 RLG의 장점들을 대부분 가지고 있으면서 값이 저렴하다는 커다란 장점 때문에 전술 유도무기의 유도제어 시스템, 항공기용 자세 기준 시스템 그리고 무인 비행체의 유도제어 및 항법 시스템에 많이 사용되고 있다. 아직까지 FOG의 정밀도가 RLG의 정밀도에는 못 미치지만 FOG의 성능이 계속 향상된다면 그 응용 범위도 계속 확대되리라고 예상된다.

RLG와 FOG 이외에 최근 활발하게 연구되고 있는 것이 반도체 제작기술을 응용하는 MEMS 기술에 의한 초소형 마이크로 자이로이며 일부 회사에서 이미 상용 제품을 개발하였으나 아직은 성능이 떨어지고 고가여서 폭넓게 이용되지는 않고 있다. 그러나 미국 Draper 연구소가 미 국방성과의 공동연구에서 3개의 MEMS 자이로를 이용하는 3축 자이로 시스템을 개발하여 성능 시험 중이며 여기에 3개의 가속도계를 첨가하여 완전한 관성센서 모듈을 개발할 계획이다. 개발되는 IMU는 15inch<sup>3</sup>의 소형, \$2000 정도의 저가이며 성능은 자이로 부유오차 1deg/h, 가속도계 바이어스 300mg를 목표로 하고 있어 실제 개발이 완료되면 군사용으로는 포탄에까지 그 이용이 확대될 것이며, 또한 자동차 항법 보조 장치, 캠코더 등 민수용에도 지금보다 광범위하게 이용될 것으로 전망된다.

마이크로 프로세서는 1970 년대에 개발된 후에 4년마다 2 배의 성능으로 발전하고 있다. 고성능의 마이크로 프로세서를 이용한 항법 컴퓨터의 개발은 스트랩다운 방식의 항법 시스템 구현을 가능하게 하였으며 현재에도 항법 시스템의 성능과 밀접한 연관을 가지고 있다. 1990 년대에 들어와서 항법 컴퓨터는 저가, 소형, 경량, 저전력 관성 센서들의 발전과 함께 또 다른 눈부신 발전을 보여 주었다. 이는 민간에서 사용되는 컴퓨터 및 반도체 기술의 발전에 의한 것으로서, 항법 컴퓨터의 발전은 보다 짧은 시간에 더욱 많은 항법 계산을 가능하게 하였다. 기존에 사용되었던 항법 컴퓨터 시스템은 그 당시 가장 고성능의 마이크로 프로세서를 이용한 컴퓨터만을 사용하였는데, 현재에 와서도 고성능의 DSP(Digital Signal Processor)나 RISC(Reduced Instruction Set Computer)등을 이용하여 구성된다. 또한 보다 나은 성능을 위하여 다중 처리 작업 알고리즘이나 병렬 처리 알고리즘 등을 구현하고 있다.

궤도상에 24 개의 Navstar 위성을 완전히 배치함으로써 GPS는 그 수요가 급속도로 증가할 것으로 전망된다. 그러나 일반인에게 제공하는 오차가 너무 크다는 점과 특정한 나라에서 일방적으로 운영함으로써 나타나는 문제점 등을 고려할 때, 전적으로

GPS에만 의존하는 시스템 보다는 러시아에 의하여 운영되는 GLONASS나 유럽에서 운영하게 될 Galileo 등을 병행하여 사용하는 방법, INS에 GPS 이외에 보조센서들을 함께 사용하는 문제들을 지속적으로 연구해 나가야 할 것이다. 최근에는 GPS에서 제공하는 민간용 주파수를 L1과 L5로 2개 확장하는 방안과 신호의 세기를 강하게 하는 방안에 대한 논의가 활발히 이루어 지고 있으며 이는 GPS가 제공하는 항법정보의 정확성을 향상시킬 것이다. 또한 1996년에 공언된 2000년에서 2006년 사이에 SA 오차를 제거하는 내용도 보다 성능을 향상시키는 기회가 될 것이라고 전망된다[10].

앞으로는 MEMS 기술을 이용한 새로운 관성센서들이 개발됨에 따라 가격이 떨어지고 GPS의 폭넓은 사용으로 INS/GPS와 같은 통합 항법 시스템을 보다 낮은 가격으로 구현할 수 있게 되므로 항법시스템은 군수용 유도무기에서부터 민수용 자동차 산업 및 개인 휴대용 항법 장치에 이르기까지 항법 시스템을 필요로 하는 곳에 보다 광범위하게 사용될 것으로 전망된다.

### 참고문헌

- [1] S. C. Garg, L. D. Morrow and R. Mamen, "Strapdown Navigation Technology: A Literature Survey," *Journal of Guidance and Control, and Dynamics*, Vol.1, No.3, pp. 161-172, May-June, 1978.
- [2] Anthony Lawrence, *Modern Inertial Technology: Navigation, Guidance and Control*, Springer-Verlag, 1993.
- [3] C. G. Park, K. J. Kim, J. G. Lee and D. Chung "Formalized Approach to Obtaining Optimal Coefficients for Coning Algorithms," *Journal of Guidance, Control and Dynamics* Vol. 22, No. 1, pp. 165-168, Jan. 1999.
- [4] Jang G. Lee, Chan G. Park and Heung W. Park, "Multi-position Alignment of Strapdown Inertial Navigation Systems," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, Vol. 29, No. 4, pp. 1323-1328, October, 1993
- [5] Jang G. Lee and P. Motyka, *Reliability Enhancement of Strapdown INS*, Technical Report, The Charles Draper Lab., July, 1982.
- [6] ELLIOTT D. KAPLAN, "Understanding GPS Principles and Applications," Artech House Publishers.
- [7] Hofmann-Wellenhof, B. H., H. Lichtenegger and J. Collins, *Global Positioning System Theory and Practice*, Springer-Verlag, Wien.
- [8] George M. Siouris, "Aerospace Avionics Systems," Academic Press, 1993.
- [9] D. B. Cox, "Integration of GPS with Inertial Navigation Systems," *Global Positioning System*, Vol. 1, The Institute of Navigation, pp. 144-153.
- [10] Keith D. McDonald, "GPS Improvements in the Next Decade," the Newsletter of the Institute of Navigation,

Vol. 9, No. 1, 1999.

**박 찬 국**

1985년 서울대학교 제어계측공학과(학사). 1987년 서울대학교 제어계측공학과(석사). 1993년 서울대학교 제어계측공학과(박사). 1993 - 1994년 서울대학교 제어계측신기술연구센터 Post Doc. 1994 - 1994년 서울대학교 자동화시스템공동연구소 특별연구원. 1994년 - 현재 광운대학교 공과대학 제어계측공학과 부

교수. 관심분야는 관성항법 시스템, GPS, 칼만필터링, 대형시스템.

**진 용**

1996년 광운대학교 제어계측공학과(학사). 1998년 광운대학교 제어계측공학과(석사). 1999년 현재 광운대학교 대학원 제어계측공학과 박사 과정. 관심분야는 관성항법 시스템, GPS, 칼만필터링, 소형 IMU.