

# 관성항법장치 기술

박찬국\*, 이장규\*\*, 박흥원<sup>+</sup>

\*광운대학교, \*\*서울대학교, <sup>+</sup>국방과학 연구소

## 1. 서 론

항법(navigation)이란 자유공간을 움직이는 항체가 자신의 위치를 찾는 것이다. 먼 옛날부터 망망 대해를 항해하던 항해사들에게 항법은 임무 수행의 핵심적인 역할을 하여왔다. 이러한 항법에 대한 개념은 2차원이 아닌 3차원의 우주 시대를 열면서 그 중요성이 보다 강조되어 왔다. 이러한 항법정보를 근거로, 항체를 주어진 위치에서 임무수행을 위한 다른 위치로 어떤 경로를 통하여 이동해 갈 것인가를 결정하는 것을 유도(guidance)라 하고 계산된 유도명령을 따르기 위하여 항체를 직접 조정하는 것을 제어(control)라고 한다. 이처럼 항법 및 유도제어 기술은 선박이나 우주비행체뿐만 아니라 항공기, 인공위성, 잠수함, 유도무기, 차량, 로봇 등에 이르기까지 다양한 임무를 만족스럽게 수행하기 위해서 필수적으로 요구되는 기술이다.

자신의 위치를 찾기 위한 항법 방식은 크게 두 가지로 구별된다. 첫 번째는 초기 위치정보로부터 항체의 속도 및 방향 측정치를 이용하여 현재의 위치를 계산하는 추측항법(dead reckoning)이고 두 번째는 지구로부터 떨어진 별이나 행성을 관측하여 자신의 위치를 찾는 고정위치항법(position fixing)이다. 그러나 오래 전부터 보다 정확한 항법을 수행하기 위해서는 가능한 이 두 가지 개념의 항법정보를 경험적으로 적절하게 결합하는 것이 유리한 것으로 여겨지고 사용되어졌다.

군수용은 물론이고 민수용 항체에서도 외부로부터의 신호 교란이나 감지를 피할 수 있고 시간과 날씨 등에도 구애받지 않고 자신의 위치를 찾는 것이 요구된다. 추측항법의 개념은 이러한 조건을 대부분 만족하지만 도플러를 사용하는 속도센서는 신호를 방출하기 때문에 상대방으로부터 자신이 감지 당할 수 있기 때문에 군용에는 사용이 곤란하다. 이러

한 문제를 해결한 오늘날의 추측항법으로 관성항법장치를 들 수 있다. 관성항법장치는 속도계 대신에 관성원리를 이용하여 항체의 가속도를 측정하고 이를 적분하여 사용하기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있다. 반면에 북극성과 같은 멀리 떨어진 고정된 별이나 행성에 의하여 자신의 위치를 찾는 고정위치항법의 개념은 대략 2만km 상공에서 제공하는 위성신호를 통하여 항법을 수행하는 GPS(Global Positioning System)에 이용되었다. 간단한 망원경이나 유관으로 자신의 위치를 찾던 것과 유사하게 수신기 하나만 가지고 있으면 위성신호를 전송 받아 자신의 위치를 전세계 어디서나 간단히 찾을 수 있는 방법이다.

그러나 추측항법과 고정위치항법은 상호보완적인 관계를 가지기 때문에 보다 정확한 자신의 위치를 찾기 위해서는 이들을 적절히 결합해야 하는 것과 같이, 짧은 기간의 오차는 비록 작으나 가속도를 적분하여 사용하기 때문에 시간이 길어질수록 오차가 누적되는 특성을 지닌 관성항법장치와 GPS와 같이 순간적인 오차는 관성항법장치에 비하여 크지만 시간이 지나도 누적되지 않는 특성을 지닌 비관성 보조 센서 데이터를 사용한 항법장치와의 복합적인 형태가 효과적이다. 최근에 발표되는 대부분의 항법장치는 이들을 결합한 복합 항법장치의 형태를 나타내고 있고 이들에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

## 2. 기본원리 및 구성

관성항법장치는 1950년대 초반에 미국 MIT에서 개발되었으며 1960년대에 이르러 실용화된 장치로, 초기 위치정보가 주어지면 측정된 가속도를 두 번 적분함으로써 항체의 위치를 매우 정확하게 제공하는 장치이다. 관성항법장치의 가장 큰 단점은 오차가 시간이 지남에 따라 증가한다는 것

이다. 이로 인하여 고가의 매우 정확한 자이로와 가속도계가 요구된다. 일반적으로 시간당 1 해리 보다 적은 위치 오차를 가지는 전형적인 중급 항법장치의 경우에는 자이로의 편류 오차가 시간당 0.01도보다 작아야만 한다.

외부의 도움 없이 항체의 자세, 속도 및 위치 정보를 제공하는 관성항법장치는 자이로와 가속도계 등의 관성센서를 기계적 안정대(mechanical platform) 위에 장착하는 김블형 관성항법장치(Gimbaled INS-GINS)와 관성센서를 항체에 직접 부착하여 해석적으로 항법정보를 제공하는 스트랩다운 관성항법장치(StrapDown INS-SDINS)로 나뉘어진다. 김블형 관성항법장치의 안정대에는 자이로와 가속도계 세축이 서로 수직으로 장착되어 기준 좌표계를 형성하는 관성측정기(Inertial Measurement Unit-IMU)와 항체가 회전운동을 하여도 기준 좌표계가 기계적으로 항법좌표계를 유지할 수 있도록 하는 3개 또는 4개의 기계적인 김블이 있다. 이 김블은 각 축마다 자이로와 김블 토크모터에 의하여 김블 서보 루프를 형성한다. 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.

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. 강력한 소형 컴퓨터와 함께 정확성을 유지하면서 넓은 사용범위를 지닌 동조 자이로(Dynamically Tuned Gyro-DTG)나 링레이저 자이로(Ring Laser Gyro-RLG)와 같은 스트랩다운 자이로의 개발은 매우 적은 비용으로 신뢰성이 우수한 소형의 스트랩다운 INS를 시장에 내어놓게 되었다. 스트랩다운 관성항법장치는 김블과 같은 기계적인 장치가 없기 때문에 구조적으로 간단하고, 전력소모가 적으며 중첩시스템 설계 및 유지보수가 용이하다는 것 이외에 많은 장점을 지니고 있기 때문에 1970년대 이후에 응용분야가 점점 확대되는 추세에 있다[1]. 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 결과를 항법컴퓨터에 가상적으로 존재하는 안정대를 통하여 구현하기 위하여 항체의 자세를 빠르고 효율적으로 계산하기 위한 알고리즘이 필요하게 되었다[2]. 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 보정하는 운항중 정렬(in-flight alignment) 문제

를 해결하기 위하여 주로 칼만필터(Kalman filter)를 사용한다[3]. 또한 스트랩다운 시스템의 신뢰성을 높이기 위한 자이로나 가속도계의 고장검출 및 최적 배치 문제도 해결해야 할 중요한 문제이다[4]. 그림 1은 스트랩다운 관성항법장치의 블록선도를 나타낸다.

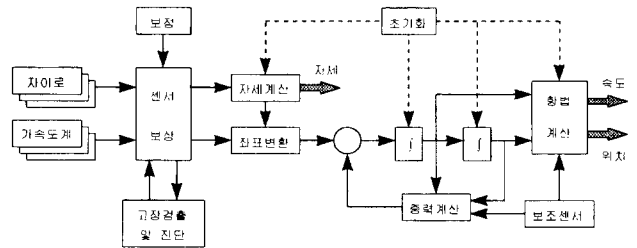


그림 1. 스트랩다운 관성항법장치.

지금까지 설명한 관성항법장치를 구성하는 필수 요소로는 항체의 각속도와 가속도를 측정하는 자이로와 가속도계 등의 관성센서와 항법컴퓨터 그리고 인터페이스를 들 수 있다. 이 중에서 자이로는 관성항법장치의 성능을 좌우하는 가장 핵심적인 센서로서, 정밀 자이로의 개발은 현대적인 개념의 항법 및 유도제어 시스템을 가능하게 하였다.

### 3. 자이로

자이로는 크게 기계식 자이로, 광학 자이로 그리고 마이크로 자이로로 나눌 수 있다[5]. 기계식 자이로는 회전하는 물체의 관성을 이용하는 것으로 기계식 적분 자이로(Float-Rate Integrating Gyro-FRIG)와 DTG가 여기에 속한다. 광학 자이로는 Sagnac 효과를 이용한 것으로 RLG와 광섬유 자이로(Fiber Optic Gyro-FOG)가 있다. 마이크로 자이로는 반도체 공정 기술을 이용하여 자이로를 수mm 이하의 크기로 소형화 한 것이며, 주로 진동자이로의 원리를 이용하고 있다.

FRIG는 현재까지 사용되는 자이로 중 가장 정밀한 성능을 낼 수 있는 자이로지만 동작 범위가 작아 김블형 관성항법장치에만 사용가능하고 제작이 어렵다는 단점이 있다. FRIG의 핵심은 고속 저잡음으로 20,000 rpm이상으로 회전하는 회전자와 출력축 베어링의 마찰을 작게하는 부유장치이다. 회전은 주로 히스테리시스 모터에 의해 구동된다. 회전자는 김블에 장착이 되며, 김블은 다시 초정밀 베어링을 통하여 케이스에 연결된다. 회전자와 구동모터 요소를 회전자 요소라 하는데, 이 회전자 요소는 보통 헬륨과 같은 비활성 기체가 채워진 덮개속에 밀봉된다. 이때 이 덮개는 김블의 역할을 하며, 여기에 출력축 베어링, 댐퍼, 각검출기, 토크 등이 연결된다. 회전자 요소는 밀봉되어 있으므로, 보통 이것이 한꺼번에 액체 속에 놓인다. 각검출기는 김블의 케이스에 대한 경사각을 측정하며, 보통 김블 각도에 비례하

는 교류 출력을 내보낸다. 경사각은 FRIG의 탄성을 가능한 적도록 설계하고 자이로 요소에 전기적으로 힘을 가할 수 있는 토크를 이용하면 항상 영이 되도록 제어할 수 있다.

동조자이로는 2-자유도 자이로이므로 하나의 자이로로 두 축 방향의 입력을 측정할 수 있다. 회전축과 김블 그리고 회전자가 후크스결합 또는 유니버설 결합(universal joint)으로 구성되어 2-자유도 운동을 하는 자유 자이로(free gyro)이다. 동조자이로에 대한 이론적 기반은 1960년대에 정립되었으나 1970년대에 이르러 크기가 작고, 무게가 가벼우며, 가격이 저렴한 정밀 자이로의 필요성이 대두되면서 개발이 본격화되기 시작하였다. 그 후로 성능 면에서 계속적인 발전을 이루어 1980년대 이후에 RLG와 함께 동작 범위가 넓은 스트랩다운 시스템에 널리 이용되고 있다[6]. 동조자이로의 구조는 일반적인 기계식 자이로와는 반대로 회전자 뭉치가 바깥쪽에 있고 이를 지지하는 김블이 안쪽에 배치되어 있다. 또한 외부 운동을 분리하는 방법으로 베어링과 김블을 쓰지 않고 두 쌍의 탄성자(torsion bar)와 김블로 구성된 서스펜션 시스템을 이용한다. 그 원리를 간단히 설명하면 다음과 같다. 동조자이로의 회전자는 후크스 결합으로 된 서스펜션에 의해 매달려 있어 회전축과 함께 회전하게 된다. 그러므로 회전자와 김블은 모터의 회전 속도와 그들의 관성에 의해 결정되는 각 운동량을 갖게 된다. 따라서 외부로부터 속도 입력이 들어오게 되면 케이스와 회전축은 들어온 각도만큼 기울어지게 되지만 회전자는 관성 공간에 대하여 원래의 자세를 유지하려고 하게 된다. 따라서 회전자는 탄성자로부터 스프링 효과에 의한 힘을 받는다. 또한 회전자는 회전하는 회전자와 김블의 역학적 효과에 의하여 음의 스프링 효과에 의한 힘을 받게 되는데 이 효과의 크기는 회전자의 회전 속도의 제곱에 비례한다. 따라서 회전자의 회전속도가 증가함에 따라 음의 스프링 계수가 점점 증가하여 마침내는 원래 탄성체인 탄성자의 양의 탄성계수와 그 크기가 같아져 회전자와 회전축 사이의 스프링 결합율이 영이 되는데 이와같은 상태를 동조된 상태라고 하고, 이때의 주파수를 동조 주파수라 한다.

RLG는 일반 상대성 원리에 그 기초를 두고 있다. RLG는 같은 주파수의 두 레이저 빔이 가스 방전관에서 방출되어 링 주위의 같은 경로를 반대 방향으로 진행할 때 발생하는 위상차이를 이용하여, 회전 각도를 검출하는 변화율 적분 관성센서이다. RLG는 He-Ne가스의 혼합물을 이용하여 서로 반대 방향으로 진행하는 빔의 주파수 차이를 측정함으로써 각회전량을 검출하게 된다. 기본적으로 링은 어떠한 모양으로도 대체될 수 있으나 가장 일반적인 모양은 삼각형 또는 정방형의 형상이다. 광에너지는 정밀 가공된 거울에 의하여 링안에 가두어지기 때문에 거울의 반사율과 산란은 자이로 성능에 중대한 영향을 미친다[7]. RLG는 무게가 가볍고 회전체가 없으므로 냉각장치가 불필요하고 높은 정확

도로 측정가능하기 때문에 1980년대 이후에 가장 많이 사용되는 자이로이다.

FOG는 광학 레이저 자이로의 일종으로 1970년대 중반부터 개발되기 시작하였으며 광섬유를 빛의 전달 매개체로 이용하여 간섭에 의한 위상차를 측정하여 각속도를 얻는다. 광학 자이로는 Sagnac 효과라는 빛의 성질을 이용한다. Sagnac 효과를 간단히 설명하면, 두 빛이 어떤 반경을 가진 닫힌 경로를 서로 반대방향으로 진행할 때, 광원이 어떤 각속도로 회전한다고 가정하면 회전 반대 방향으로 지나가는 빛이 회전 방향으로 진행하는 빛보다 더 빠르게 광원에 도달한다는 것이다. 한 광원으로부터 나온 빛이 빔 분리기에서 나누어져서 광섬유의 양쪽 끝으로 들어가서 광섬유를 거친 후 다시 빔 분리기에 돌아온다. 이때 돌아온 빛은 각속도 입력에 의한 Sagnac 효과 때문에 서로 위상차를 갖고 있으며, 이는 감지기에 간섭 무늬를 나타낸다.

마이크로 자이로는 최근에 급속도로 발전된 반도체 제조 공정 기술을 이용하여 기존의 큰 센서들을 1mm<sup>2</sup>이하 정도의 크기로 축소시킨 자이로이다. 마이크로 자이로는 성능은 떨어지지만 반도체 공정으로 대량 자동 생산이 가능하고 생산 단가를 크게 낮출 수 있으므로 군수용은 물론이고 자동차 항법, 캠코더, 로봇 등 광범위한 일반 산업 제품의 성능을 개선하는데도 이용될 수 있다. 마이크로 자이로는 기존의 진동자이로(vibrating gyro)를 반도체 공정에 맞게 평면적으로 구성한 것이다. 따라서 마이크로 자이로는 코리올리(Coriolis) 효과로부터 각속도 정보를 얻는데 필요한 토크를 얻기 위하여 회전체가 아닌 진동체를 이용한다. 마이크로 자이로는 회전부가 없으므로, 외부 충격에 대해 매우 강하며, 수명 또한 반 영구적이다. 마이크로 자이로는 여러 가지 모양이 있으나 기본 원리는 모두 진동하는 물체의 코리올리 효과를 이용하는 것이다[8].

#### 4. 복합 항법장치

관성항법장치는 일정 시간동안 외부의 도움없이 요구되는 정확도를 유지할 수 있으나, 자이로 오차와 초기 오차 등에 의하여 시간이 지남에 따라 항법오차가 지속적으로 누적되기 때문에 장시간의 항법오차를 일정한 범위로 유지시키기 위해서는 비관성 보조센서 정보를 결합하는 복합 항법장치가 필수적으로 요구된다. 더욱이 이 방법은 순수한 관성항법에서 나타나는 84.4분이라는 슈러 진동(Schuler oscillation)을 감쇠시키는 효과를 가져온다. 대부분의 항법장치는 보다 높은 정확도와 장기간의 안정성을 얻기 위하여 다중센서 구조를 갖는 복합 항법장치를 사용한다. 이때 위치정보를 얻기 위해서는 Loran, Omega, Tacan, 그리고 GPS, 속도정보는 도플러 레이더, EMLOG, 속도계, 자세정보는 별 추적기와 자기 컴퍼스 등이 항체에 따라서 선택적으로 이용

될 수 있다[9]. 이중에서 GPS는 위치정보를 비롯하여 속도 및 자세정보를 저렴하게 제공할 수 있기 때문에, 항공기나 선박은 물론이고 자동차 등에도 항법장치를 쉽게 적용할 수 있는 계기를 마련하였다.

GPS는 전세계 어디에서나 수신기를 지닌 사용자에게 여러 개의 인공위성에서 전송하는 거리정보를 이용하여 자신의 3차원 위치정보(위도, 경도 및 고도)를 제공하는 장치이다. GPS와 동일한 역할을 하는 것으로 러시아의 GLONASS를 들 수 있으나, 개념이 동일하기 때문에 현재 가장 많이 사용되고 있는 GPS를 중심으로 간단히 설명한다.

GPS는 지구상의 어느 곳에서나 사용할 수 있는 정밀 위치 측정 시스템에 대한 군의 지속적인 요구에 의해 개발되었다. 1960년대에 미 공군의 개념적인 연구와 미 해군이 운용하는 항해 위성의 사용으로 GPS에 대한 연구가 시작되었고, 1974년에 위성항법 개념이 결정됨에 따라 미국 국방성은 미 공군의 주도하에 미 육군과 해군이 참여하는 GPS 연합 프로그램 국을 설립하였다. 이처럼 군용으로 개발되기 시작한 GPS는 1983년 대한항공의 KAL 007 여객기 사고를 계기로 미국의 레이건 대통령에 의하여 군용과 더불어 국제 민간용으로 사용하도록 개방되었다. GPS는 궤도상의 위성의 배치가 완전히 이루어지지 않았음에도 불구하고 1991년 1월의 걸프전에서 군 작전 수행에 큰 도움을 줌으로써 그 가치를 인정받기 시작하였다. 그후 3년 후인 1993년 10월에 24개의 Navstar 위성이 GPS 궤도에 완벽하게 배치됨으로써 20년간에 걸친 노력이 완성을 보게되었다. 24개의 GPS 위성은 6개의 서로 다른 궤도면에 각각 4개의 위성이 55도 기울기를 갖도록 구성되어 있다. 위성의 고도는 20,183 km이며 원형궤도를 회전하는 주기는 11시간 58분이다.

기본적인 GPS 항법원리는 지구상에 자신의 위치를 연속적으로 전송하는 GPS 위성과 사용자와의 거리 정보를 이용하는 것이다. 수신기가 발생시키는 복제 신호와 입력 신호를 일치시키고 수신기의 수정 시계에 대한 수신된 신호의 위상을 측정함으로써 동시에 4개 이상의 위성에 대하여 거리 정보를 얻을 수 있다. 항법 성능을 높일 수 있도록 선택된 위성 4개에 대한 거리 정보와 기하학적 관계를 고려하여 4개의 변수, 즉 수신기가 위치한 위도, 경도, 고도와 수신기의 시계 보정값을 결정할 수 있다. GPS는 두 가지의 주파수로 신호를 전송하는 데 L1 신호의 주파수는 1575.42 MHz이고 L2 신호의 주파수는 1227.6 MHz이다. 이 신호들은 동기되어 발생시킴으로, 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/Ac-

quisition 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. 이처럼 코드를 나누는 것 외에도 GPS 시스템의 위성 시계를 비동기시키거나 위성의 위치를 전송할 때 작은 오차를 고의로 포함시킴으로써 C/A 코드의 정확도를 낮추는데 이를 선택적 허용성 또는 S/A(Selective/ Availability)라고 한다. 허용 오차의 크기는 대체로 20m 정도이기 때문에 일반인은 대략 100m 정도의 수평위치 오차를 갖게된다.

이런 제한된 개방으로 초기의 GPS의 사용은 정확한 시간의 전송이나 연구 등의 제한된 범위에만 국한되다가 점차 해상, 공중, 지상 심지어 우주에서의 사용으로 이용범위가 확대되었다. 현재는 민간인의 사용이 군에 비하여 10배 이상으로 증가하였다. 대표적인 사용 예로 차량용 항법장치나 항공기의 착륙 장치 등을 들 수 있다. 이처럼 GPS에 대한 이용이 다양해지면서 S/A가 포함된 신호만을 가지고 GPS를 보다 정밀하게 사용하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. GPS를 보다 효율적으로 사용하기 위한 연구의 결과로 시스템 개발자들이 처음에 고려하지 않았던 특별한 형태의 GPS 이용방법이 개발되었다. 첫 번째는 DGPS(Differential GPS) 방법[10]으로 이미 위치가 알려진 기준국에 수신기를 고정하여 신호를 수신한 후, 측정된 거리에 의해 계산된 위치와 실제의 위치를 비교하여 S/A 등에 의한 오차가 발생하면 이동 중인 사용자가 측정하는 거리를 보정할 수 있도록 보정값을 기준국으로부터 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 사항들을 만족시킬 수 있다. 또 다른 방법으로는 반송파 위상(carrier phase)을 이용한 방법을 들 수 있다[11]. GPS 위성에서 코드 정보를 보내기 위해 사용하는 라디오 주파수 반송파(1575.42MHz)를 이용하여 아주 정밀한 거리 정보를 얻어내는 방법이다. 반송파 위상 신호의 파장은 19cm이므로 파장의 100의 1까지 추적하면 약 2mm의 정밀도를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 S/A 등의 인위적인 오차도 포함되지 않는다. 우선 추적되는 반송파 주기를 결정하여야 하고, 이것을 이미 알려진 위치에 놓여진 수신기가 추적하는 다른 반송파와 비교해야 한다. 반송파 위상을 이용하면 보다 큰 정확성을 얻을 수 있지만 계산량이 증가하여 실시간 처리를 요하는 항법에서는 자세계산 등에 부분적으로 사용되고 있고 측지의 목적으로 주로 사용되고 있다.

앞에서 설명한 GPS에서 제공되는 위치 정보의 정확도는 시간에 따라 변하지는 않지만, 공간적인 제약이나 위성신호의 인위적인 교란 및 차단 등에 의하여 때때로 사용할 수 없거나 제한적인 사용만이 가능한 반면에 관성항법장치에서

얻어지는 연속적인 속도, 위치 정보는 단기간에는 정확하지만 시간이 지날수록 정확도가 떨어지게 된다. 따라서 두 기술을 함께 사용하는 통합된 항법 시스템은 서로를 보조하여 어느 한 쪽만을 사용하는 것보다 성능면에서 뿐만 아니라 안정성 면에서 더 좋은 결과를 제공한다. 이 두 가지 항법장치를 함께 사용하는 기본적인 원리는 숙련된 항법사가 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 그 차이를 항법사는 경험에 따라 어느 한 쪽이나 공동의 오차로 간주하여 두 정보를 적당히 결합한다. 이런 방법에 의하여 결합된 INS/GPS 항법장치는 한정된 오차를 갖는 항법장치로 동작한다. 다른 방법으로 GPS를 주 항법장치로 사용하고 INS는 GPS가 데이터를 수신할 수 없는 곳에서 속도와 위치 정보를 얻을 수 있도록 도와주는 보조 항법장치로 사용할 수 있다. 이 방법은 저급의 INS를 GPS와 함께 사용함으로써 저렴하게 항법장치를 구현하기 위하여 이용된다.

INS/GPS 시스템을 비롯하여 관성항법장치와 여러종류의 비관성 센서들을 결합하는데 칼만필터는 항법사의 역할을 효과적으로 수행한다[12]. INS와 비관성센서의 정보는 서로 다른 특성을 지닌 잡음, 즉 불규칙 오차를 포함하기 때문에 이들을 보다 효과적으로 제거하고 두 항법정보의 통계적인 특성에 근거하여 이들의 정보를 효과적으로 결합하여 가장 좋은 추정치를 제공하는 역할을 칼만필터가 담당한다. 그림 2는 칼만필터를 사용하여 INS와 GPS를 결합하는 예를 보여준다.

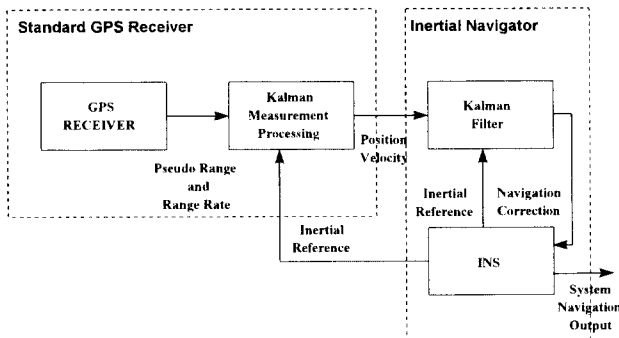


그림 2. INS와 GPS의 결합.

최근에 개발되는 항법장치는 RLG와 FOG를 이용한 INS와 GPS를 결합한 형태가 주를 이루고 있다. AH-64 아파치 헬리콥터, RAH-66 코만치 헬리콥터, 보잉 767 공중조계 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 항법장치이다. 에어버스사의 A330 및 A340 기종을 비롯하여 많은 시스템이

리튼사나 허니웰의 RLG와 GPS를 사용한 시스템을 사용하고 있다.

## 5. 발전추세 및 전망

관성항법장치의 발전추세는 사용되는 관성 센서의 발전과 밀접한 관계를 가지고 있다. 1980년대부터 상용화되기 시작한 RLG 관성항법장치는 기존의 FRIG와 DTG로 구성된 기계식 관성항법장치를 대체하면서 비약적으로 발전하였다. 이러한 RLG 관성항법장치는 기존의 기계식 관성항법장치에 비하여 소형, 경량, 저전력 소모의 장점을 가지고 있기 때문에 항법장치 구성을 용이하게 한다. 최근에 와서는 초정밀 관성항법장치를 제외한 거의 모든 관성항법장치가 RLG 관성항법장치로 대체되는 추세를 보이고 있다. RLG와 원리는 동일하지만 약간 늦게 개발되기 시작한 FOG는 그 정밀도에서는 RLG에 못 미치지만 RLG 장점들을 그대로 가지고 있으면서 값이 저렴하다는 커다란 장점 때문에 전술 유도무기의 유도제어 시스템, 항공기용 자세 기준 시스템 그리고 무인 비행체의 유도제어 및 항법장치에 많이 사용되고 있다. 아직까지 FOG의 정밀도가 RLG의 정밀도에는 못 미치지만 FOG의 성능이 계속 향상된다면 그 응용 범위도 계속 확대되리라 예상된다. RLG와 FOG 이외에 최근 활발하게 연구되고 있는 것이 반도체 제작기술을 응용하는 MEMS (Micro Electro Mechanical System) 기술을 이용한 항법장치에 대한 연구로써, 미국 Draper 연구소는 미국 국방성과의 공동연구에서 3개의 MEMS 자이로를 이용하는 3축 자이로 시스템을 개발하여 성능 시험 중에 있으며 또한 여기에 3개의 가속도계를 첨가하여 완전한 관성센서 모듈을 개발 중에 있다. 개발되는 IMU는 15 inch<sup>3</sup>의 소형, 2000\$의 저가이며 성능은 자이로 부유오차 1°/h, 가속도계 바이어스 300mg를 목표로 하고 있다. 이처럼 반도체 공정 기술을 이용한 초소형 마이크로 자이로의 개발이 완료되면 초소형, 초경량, 저렴한 가격 때문에 포탄에까지 그 이용이 확대될 것이며, 또한 자동차 항법 보조 장치, 캠코더 등 민수용으로도 광범위하게 이용될 것으로 전망된다.

1990년대에 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 것으로써, 항법 컴퓨터의 발전은 보다 짧은 시간에 더욱 많은 항법 계산을 가능하게 하였다. 기존에 사용되었던 항법 컴퓨터 시스템은 그 당시 가장 고성능의 컴퓨터만을 사용하였는데, 현재에 와서는 고성능의 DSP(Digital Signal Processing)용 컴퓨터나 많은 계산을 동시에 수행할 수 있는 다중 작업(multi-tasking)용 컴퓨터가 항법 컴퓨터로 사용되는 추세에 있다.

궤도상에 24개의 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 개발된 GLONASS를 병행하여 사용하는 방법, INS에 GPS 이외에 보조센서들을 함께 사용하는 문제들을 지속적으로 해결해 나가야할 것이다.

새로운 관성센서들이 개발됨에 따라 가격이 떨어지고 GPS의 폭넓은 사용으로 INS/GPS와 같은 복합 항법장치를 보다 낮은 가격으로 구현할 수 있게됨에 따라 군수용 유도무기에서부터 민수용 자동차 산업에 이르기까지 항법장치를 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] Chan G. Park, Kwangjin Kim, Dohyung Chung, and Jang G. Lee, "Generalized coning compensation algorithm for strapdown system," AIAA Paper 96-3736, San Diego, U.S.A., July, 29-31, 1996.
- [3] Jang G. Lee, Chan G. Park and Heung W. Park, "Multiposition alignment of strapdown inertial navigation systems," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronics Systems*, vol. 29, no. 4, pp. 1323-1328, October, 1993.
- [4] Jang G. Lee and P. Motyka, *Reliability Enhancement of Strapdown INS*, Technical Report, The Charles Draper Lab., July, 1982.
- [5] Anthony Lawrence, *Modern Inertial Technology: Navigation, Guidance and Control*, Springer-Verlag, 1993.
- [6] T. Kang, J.G. Lee and C. G. Park, "Performance improvement of dynamically tuned gyroscope using an input compensator," *Journal of Guidance, Control and Dynamics*, vol. 15, no. 2, pp. 404-409, 1992.
- [7] Frederick Aronowitz, "The Laser Gyro," *Laser Applications*, vol. 1, Academic Press, 1971.
- [8] K.Maenaka and T. Shiozawa, "Silicon rate sensor using anisotropic etching technology," The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, pp. 642-645, 1993.
- [9] George M. Siouris, *Aerospace avionics systems*, Academic Press, 1993.
- [10] R. M. Kalafus, A. J. Van Dierendonck and N. A. Peler, "Special committee 104 recommendations for differential GPS service," *NAVIGATION: Journal of The Institute of Navigation*, vol. 33, no. 1, 1986.
- [11] B. W. Remondi, *Using the GPS Phase Observable for Relative Geodesy: Modeling, Processing, and Results*, Center for Space Research, University of Texas at Austin, 1984.
- [12] D. B. Cox, "Integration of GPS with inertial navigation systems," *Global Positioning System*, vol. 1, The Institute of Navigation, pp. 144-153, 1980.

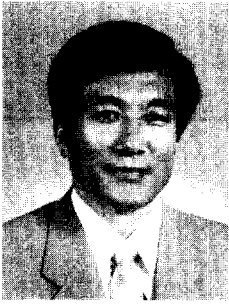
## 저 자 소 개



### 박 찬 국

1985년 2월 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 졸업(학사)  
 1987년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(석사)  
 1993년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(박사)  
 1993년 3월~1994년 2월 서울대학교 제어계측신기술연구센터 Post Doc.  
 1994년 3월~1994년 8월 서울대학교 자동화시스템공동연구소 특별연구원  
 1994년 9월~현재 광운대학교 공과대학 제어계측공학과 조교수  
 관심분야: 관성항법장치, GPS, 칼만필터링, 대형시스템

(139-701) 서울시 노원구 월계동 447-1 광운대학교 제어계측공학과  
 TEL. (02)940-5157 / FAX. (02)942-7950 / Email. cgpark@daisy.kwangwoon.ac.kr.



### 이 장 규

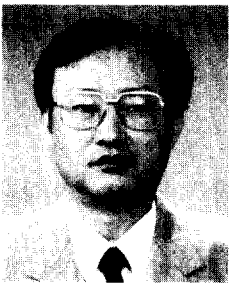
1971년 2월 서울대학교 공과대학 전기공학과(학사)  
 1974년 12월 피츠버그대학교 공과대학 전기공학과(석사)  
 1977년 4월 피츠버그대학교 공과대학 전기공학과(박사)  
 1977년 4월~1981년 6월 The Analytic Sciences Corp.(TASC) Technical Staff  
 1981년 6월~1982년 7월 Charles Stark Draper Lab. Technical Staff  
 1982년 9월~현재 서울대학교 공과대학 제어계측공학과 교수  
 1994년 12월~현재 서울대학교 자동제어특화연구센터 소장

1996년 11월~현재 서울대학교 자동화시스템공동연구소 소장

관심분야: 관성항법장치, 계수식별, 추정론, 자율주행항재(AGV),

(151-742) 서울시 관악구 신림동 산56-1 서울대학교 자동화시스템연구소

TEL. 02)880-7308 / FAX. 02)878-8198 / Email. jgl @ asrignc3.snu.ac.kr.



### 박 흥 원

1979년 2월 서울대학교 공과대학 기계설계공학과(학사)  
 1988년 8월 서울대학교 대학원 제어계측공학과(석사)  
 1995년 2월 서울대학교 대학원 제어계측공학과(박사)  
 1979년 3월~현재 국방과학연구소 선임연구원  
 관심분야: 관성항법장치, 복합항법, 추정이론 및 응용, 분산시스템  
 (305-600) 대전광역시 유성우체국 사서함 35-4  
 TEL. 042)821-4497 / FAX. 042)821-2224.