

유도제어기술

細部的
설계연구개발時急



李章揆

(서울대工大 교수·制御計測工學)

◇유도제어란

자유공간에서 움직이는 항체가 자기위치를 알고, 미리 설정된 궤도 또는 일정한 목표점을 찾아가는데 필요한 모든 기능을 통틀어 유도제어라 일컫는다.

이것을 기능상 다시 세가지로 분류할 수 있다. 즉 항체의 위치와 그에 관련된 변수값을 계산하는 航法(navigation), 항법에서 계산된 항체의 현재 위치로부터 미리 설정된 항로를 따라 가도록 加速度명령 또는 자세변화명령을 계산하는 유도(guidance), 명령신호를 받아 補助翼(fin)을 움직여 空力힘과 모멘트를 내거나 推進方向變換에 의존하여 항체를 조종하는 제어(Control)가 그것이다. 따라서 유도제어 부분을 이 세가지 기능의 영문 첫자를 따서 GNC로 칭하며 우주비행체의 두뇌부와 같은 역할을 담당하는 분야가 된다.

우주비행체의 航法에는 여러가지 방법이 있으나 가장 중요한 것이 慣性航法(inertial navigation)이다.

慣性航法이란 용어는 수년전 KAL 007 機의 추락사고로 이미 우리에게도 널리 알려진 것으로 뉴우튼의 관성법칙원리를 응용하여 자이로스코프, 가속도계, 컴퓨터를 이용하여 외부의 도움없이 자체내에서 항체의 위치와 속도 그리고 자세(attitude)에 대한 정보를 얻어내는 항법의 한가지 방법이다. 관성항법은 특히 우주비행체의 발사로부터 대기권을 벗어나 우주공간 궤도에 진입할 때까지의 가속도비행부분(accelerated flight)에서 중요한 역할을 담당케 된다.

관성항법외에 우주비행체에서 이용되는 항법으로는 라디오항법(radio navigation), 스텔라항법(stellar navigation) 등이 있다. 라디오항법은 일정한 위치에 설치되어 있는 라디오 신호 송신소로부터 신호를 받아 자기의 위치를 계산하는 것으로 현재 사용되고 있는 시스템으로는 TACAN, LORAN, OMEGA 등이 있다. 이 항법 역시 가속도비행 부분에서 주로 이용된다. 스텔라항법은 광학센서를 이용하여, 위치를 알

고 있는 별자리 위치를 측정함으로써 항체의 위치를 계산하는 것으로 가속도비행부분에서는 물론 우주공간에서의 항체움직임 즉, 자유운동상태 (free flight)에서도 이용되고 있다. 그러나 실제 우주비행체에 설치되어 있는 항법장치는 어느 한가지 방법에만 의존하기 보다는 관성항법을 중심으로 다른 항법과 결합된 복합적인 항법장치를 만들어 사용하는 것이 일반적인 추세이다.

우주비행체의 유도(guidance)는 위에서 설명한 가속도비행부분과 자유운동상태에서 각각 사용되는 방식이 다르다. 가속도비행 부분에서는 대기권의 영향을 받아 공력이 강하게 작용하며 선운동이나 회전운동의 변화가 빠르고 민첩한 제어를 요구하기 때문에 우주비행체내에 탑재되어 있는 컴퓨터로부터 유도명령을 직접 계산하게 된다. 이 구간에서는 관성항법장치를 중심으로 자체적인 유도명령을 계산하는 관성유도가 주축을 이룬다. 공기력이 작용하지 않는 자유운동상태 구간에서는 항로 및 자세를 조정하는데 빠른시간을 요구하지 않으며 제어량 또한 적은 것이 특색이다. 지상관제소(control station)에서 우주비행체와 직접 교신을 통하여 유도명령을 계산한후 송신하는 중속방식을 택하게 된다.

우주비행체의 제어는 유도명령신호를 받아 항체의 진로방향수정 또는 궤도수정을 행하는 航路制御와 비행체가 지구를 향하거나 또는 해를 향하도록 자세를 바꾸어 주는 데 필요한 姿勢制御로 구분할 수 있다. 항로제어이든 자세제어든 우주비행체 내·외부에 설치되어 있는 센서로부터 얻어진 데이터를 수집하여, 컴퓨터로 하여금 가속도나 자세변환 명령신호를 계산하도록 하며, 이러한 명령신호는 자동조종장치 (autopilot)를 통하여 補助翼 또는 추진방향을 움직이는 신호로 바뀌고, 최종적으로 구동장치가 이 신호를 받아 항체를 제어하게 된다. 가속도비행 부분에서는 주로 공기력에 의존하여 제어를 수행하고 자유운동 상태구간에서는 推進方向制御 (thrust vector control)에 의존한다. 공기력에 의존하는 경우 補助翼 등을 이용하여 공기힘이

나 모멘트를 발생시켜 항체의 진로를 제어하게 되고, 추력방향제어라 함은 쉽게 생각해서 비행체 몸통에 분사구를 만들어 분사방향을 조절함으로써 항체의 자세 또는 진행방향을 바꾸어 주는 것이다.

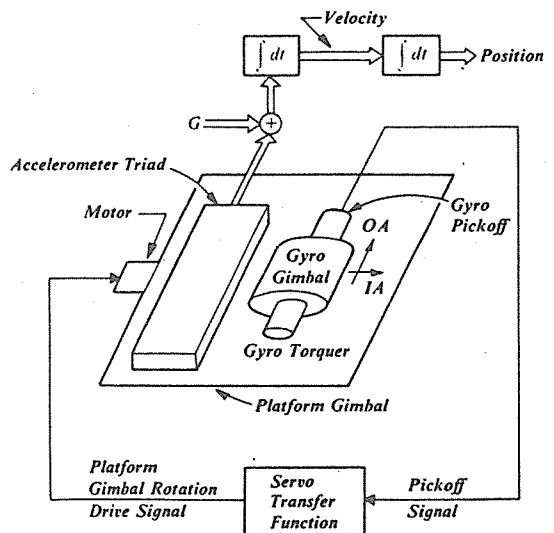
지금까지 개략적으로 살펴본 유도제어기술중 관성유도, 자세제어, 궤도수정 및 유지에 대하여 좀 더 자세히 알아본 후 유도제어기술 분야에 있어서 우리나라의 현황을 이야기 하는 것으로 이 글을 끝맺고자 한다.

◇관성유도

우주비행체의 유도는 자체내에 설치되어 있는 센서와 컴퓨터를 이용하는 방법과 지상에 설치되어 있는 원거리 레이더로부터 수집된 정보에 의존하는 두가지 방법이 있다. 이미 언급한 바와 같이 우주비행체가 궤도에 진입하기 전까지는 선운동이나 회전운동이 빠르기 때문에 외부에서 공급해 주는 정보에 따라 유도하기가 어려워진다. 따라서 이 구간에서는 관성항법장치를 이용한 관성유도에 주로 의존하게 된다.

관성항법장치는 <그림-1>에 도시된 것과 같이 항체의 운동이나 지구의 자전에 영향을 받지

<그림-1> 관성항법장치의 구성



않고 항상 일정한(물론 제한된 오차범위 내에서) 관성좌표계를 유지하는 테이블 위에 자이로스코프와 가속도계를 올려놓고 여기에서 얻어지는 데이터를 프로세싱하여 항체의 위치, 속도, 자세에 대한 정보를 얻어내는 정밀계측 장치이다. 관성좌표계의 유지는 자이로스코프와 테이블을 유지하는 4개 또는 5개의 김블(gimbal)에 의존한다. 고정된 관성좌표계 상에 서로 직각으로 배치된 가속도계에 의하여 각 축에 전달되는 가속도를 얻어 내며, 이것을 적분함으로써 속도와 위치정보를 얻어내는 것이다. 자세에 대한 정보는 가속도계의 출력이나 또는 자이로스코프의 출력에서 계산할 수 있다.

현재 가장 정밀한 관성항법장치는 0.1meru 정도의 오차를 갖는다. meru는 mili earth rate unit의 준말로써 0.1meru는 0.0015°/hour의 정밀도를 말한다.

최근에는 컴퓨터와 자이로스코프기술의 발달로 김블을 사용하지 않고 센서를 직접 항체의 몸체에 설치하는 스트랩다운(strapdown) 시스템이 연구개발되고 있다. 김블시스템에 비하여 스트랩다운시스템은 크기가 작고 값이 싸며 손쉽게 신뢰도를 높힐 수 있는 장점을 가지고 있어 우주비행체와 같이 공간의 제약은 받고 높은 신뢰도가 요구되는 경우에 적합한 시스템이다.

관성항법장치에서 가장 중요한 부분이 자이로스코프이다. 자이로스코프는 각 운동을 정확히 감지하는 정밀센서로서 관성항법장치의 중심센서로 사용될 뿐만 아니라 자세제어나 항체안정화와 같은 제어용 센서로도 중요한 역할을 담당하고 있다. 자이로스코프는 1930년대에 처음으로 만들어져 지금까지 꾸준히 발달해 왔으며 아직 기계적인 자이로스코프가 주종을 이루고 있으나 최근 광학을 이용한 링레이저자이로(ring laser gyro)가 실용화되어 있고 광섬유를 이용하는 자이로스코프가 미·일 등에서 연구중이다. 광학을 이용한 자이로스코프는 기계적인 자이로스코프와 아직은 비교하여 정밀도가 떨어지나 움직이는 부분이 없으므로 수명이 길고 신뢰도가 높은 특성을 지니고 있어 앞으로 많이 이용

될 전망이다.

◇자세제어

일단 관성유도에 힘입어 우주비행체가 궤도에 진입하게 되면 자세제어가 필요하다. 즉 모든 우주비행체는 그 목적에 따라 일정한 방향을 유지하도록 설계되어져 있다. 지구를 향하거나 해 또는 어느 특정한 별을 향하여 그 자세를 유지하여야 하며 때로는 몇개의 대상을 옮겨가며 방향을 움직여 나가는 경우도 있게 된다. 우주비행체에 따라서 한부분은 한 곳을 향하고 다른 부분은 다른 곳에 향하도록 설계하는 수도 있다. 예를 들면 통신위성의 경우 안테나는 지구를 향하도록 제어하고 태양열흡수판은 해를 향하도록 설계되어져 있다.

우주비행체의 용도가 저궤도 탐사용이든, 통신을 위한 정지위성이든, 천체관측을 위한 과학위성이든, 현재 사용되고 있는 모든 우주비행체는 자세제어를 필요로 한다.

인간이 만든 첫번째 위성인Sputnik I 호가 쏘련에서 발사되어 지구주위를 돌게 되었을 때만 하더라도 우주비행체 자세제어 또는 자세안정이란 말은 존재하지 않았다. 그후 미국에서 처음 쏘아올린 Explorer I 호는 스핀안정(Spin Stabilization)이라 하여 위성체를 계속 회전시킴으로 안정한 운동을 시도하였으나 원하는 자세제어는 이루어지지 않았다.

그후 우주비행체의 자세제어에 대한 연구가 활발히 진행되어 이제는 3축제어를 실현하면서 1° 이내의 오차로 항체의 방향을 잡아주고 있다.

자세제어를 위하여 가장 중요한 센서는 역시 자이로스코프이다. 자이로스코프로부터 원하는 방향과의 틀림각을 감지하여 감지된 양을 증폭시킨 후 軌還制御(feedback control)에 의하여 우주비행체의 자세를 교정하도록 구동장치에 신호를 전달하게 된다. 자세제어를 위한 구동장치로는 대부분 추진벡터제어(thrust vector control) 방식을 이용하며 이는 비행체의 몸체에 여러개의 推進口를 만들어 추진량을 조절함으로써

써 비행체의 자세를 원하는 방향으로 이동시키는 것이다.

◇궤도수정 및 유지

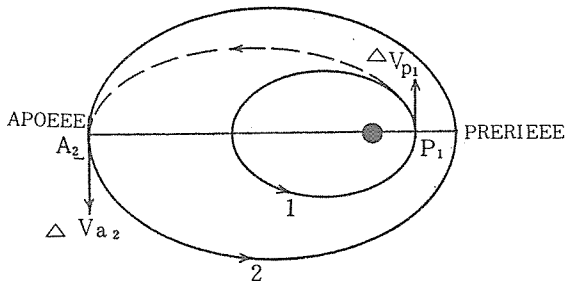
아무래도 우주비행체의 주종을 이루는 것은 지구주위를 도는 궤도위성이므로 자세제어와 함께, 목적에 따라 설정된 궤도를 유지하는 것은 매우 중요한 일이며 특히 지구회전과 同期(Synchronization)를 이루어야 하는 통신위성 및 정지탐사위성의 경우 정확한 자기 궤도유지의 중요성은 더 말할 나위가 없다.

따라서 위성이 돌고 있는 궤도를 체크하면서 계속 궤도수정을 해 줄 필요가 있다. 이와 더불어 위성의 목적에 따라서는 고의적으로 궤도수정을 수행하는 경우가 있다. 위성거리의 랑데 부라든가 우주정거장(space station)에서의 離着陸 등이 좋은 예이다.

궤도수정 및 유지를 위해서는 위성 자체내에 설치되어 있는 계측장치를 이용하기 보다는 지구에 설치되어 있는 지상관제소(control station)의 라디오 추적시스템(ridio tracking system)을 이용하여 궤도변수를 계산하고 궤도수정에 필요한 신호를 주고 받는다. 이는 위성체내의 계측장치(주로 관성항법장치를 칭함)의 오차가 시간에 비례하여 오차가 증가하기 때문에 운동이 느린 궤도운동에 적합치 않음을 감안한 것이다.

위성체의 궤도운동에서 가장 중요한 변수 두 가지는 운동주기와 偏心率(eccentricity)이다. 운동주기는 近地點(perigee)과 遠地點(apogee)

〈그림 - 2〉 위성체의 궤도수정



의 크기에 따라 결정된다. 近地點은 위성궤도가 지구에 가장 가까워진 지점을 말하고 遠地點은 가장 멀어진 지점을 말한다.

운동주기와 편심율은 近地點과 遠地點에서의 속도변화를 유발시킴으로써 조정할 수 있게 된다. 〈그림-2〉를 참조하면 위성체가 1이라는 궤도에서 2로 수정하고자 하는 경우 궤도의 近地點 P1에서 ΔV_{p1} 만큼의 속도변화를 주고 새로이 그려진 궤도의 遠地點 A2에서 다시 ΔV_{a2} 만큼의 속도변화를 주면 된다. 속도변화는 主推進 장치를 이용하여 얻게되며 경우에 따라서는 음의 방향으로 속도를 변화시키기 위하여 逆推進력을 사용하기도 한다.

◇지금 우리는 어디에 ……

지금까지 서술한 우주비행체의 유도제어기술은 미국, 소련 등 선진제국에서 개발된 것들을 중심으로 설명한 것이다.

우리나라에서는 아직까지 우주비행체를 설계해 보았거나 발사해본 경험이 없어 전적으로 그에 필요한 유도제어 기술이 축적되어 있을리가 없다. 그러나 우주비행체 유도제어기술이 몇가지 기술에 한정되어 있거나 독립적인 것이 아니라, 센서, 컴퓨터, 구동장치, 그리고 제어이론 등이 복합적으로 필요한 것이기 때문에 他分野에서 개발된 기술이 응용될 수 있으며, 특히 항공기, 미사일과 같이 비록 대기권내에 국한되어 있지만 움직이는 항체의 유도제어기술 중 상당부분이 직접 응용될 수 있다.

우리나라에서도 1978년에 이미 地對地 미사일을 성공적으로 발사한 경험이 있어 비록 시스템 레벨에서 종합하는 정도의 기술이지만 대기권내에서의 항체 유도제어에 대한 기술이 확보되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 그것을 기반으로 하여 우주비행 환경에 적합한 유도제어 시스템 기술과 자이로스코프, 관성항법장치, 광학센서 그리고 전용컴퓨터등 세부적인 설계개발 능력을 향한 연구가 일찌기 시작이 되면 우주비행체의 국내개발의 꿈은 그리 멀지만은 않을 것이다.