

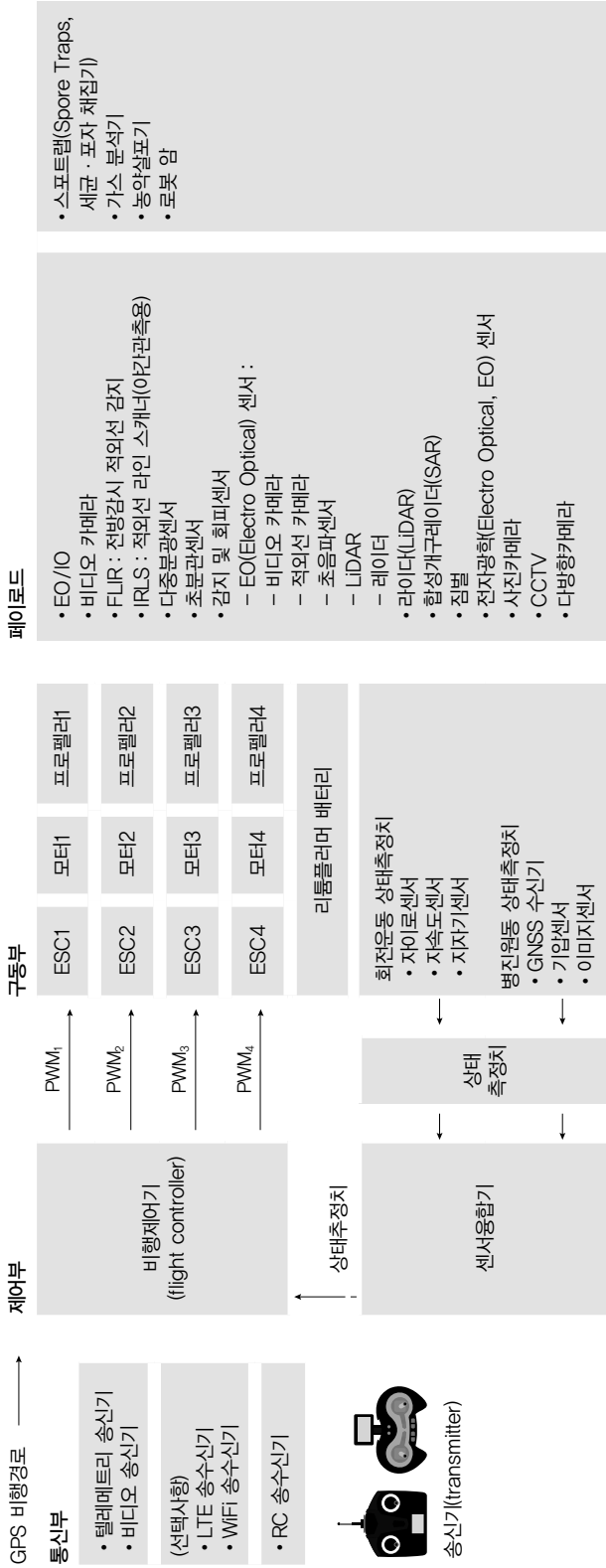
DRONE

드론 구조

UAS(Unmanned Aerial systems, 무인항공기 시스템)는 다음과 같은 시스템으로 구성된다.

1. UAV(무인비행장치)
 - 비행플랫폼(Flight Platform)
 - 임무탑재장비(Mission Equipment)
2. 지상조종장비(Ground Control System, GCS)
 - 통신링크(Communication Link)
 - 지상비행제어(Ground Flight Control)
 - 업무관리(Mission Management)
3. 지상지원장비(Ground Support System, GCS)
 - 시험장비(Test Equipment)
 - 부품 물류(Logistics for Parts)

무인비행장치(UAV)는 그 자체를 의미하기도 하지만 일반적으로 UAS의 축소된 시스템을 갖는다.



드론 구성도

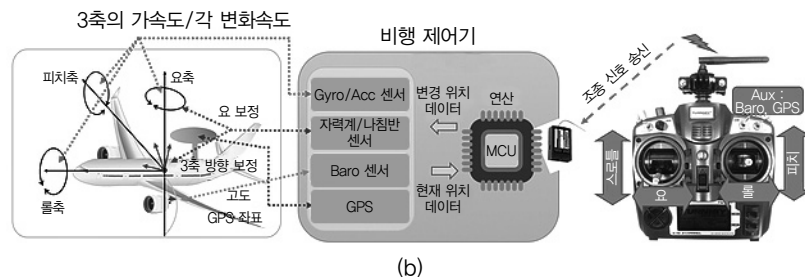
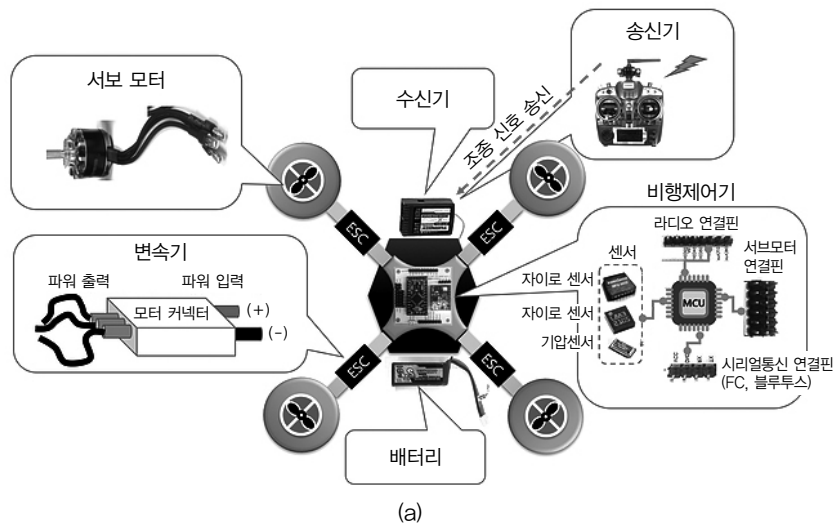
드론의 세부구조

드론의 구조는 드론과 지상의 원격조정자가 각종 데이터를 주고받는 ‘통신부’, 드론의 비행을 조정하는 ‘제어부’, 드론을 날아가게 구동시키는 ‘구동부’, 그리고 카메라 등 각종 탑재 장비들로 구성된 ‘페이로드’의 네 부분으로 나뉜다.

1) 통신부

통신부는 지상의 원격조정기로부터 비행명령어를 수신하는 RC 수신기, 촬영한 사진이나 비디오를 지상으로 송신하는 비디오 송신기, 그리고 위치, 속도, 배터리 잔량 등의 비행정보를 지상으로 송신하는 텔레메트리 송신기로 구성된다. 텔레메트리 정보는 비디오 데이터와 함께 비디오 송신기를 통해 지상으로 송신되기도 한다.

최근에는 드론에 WiFi 혹은 LTE 송수신기를 탑재하고 이를 이용해 원격조정 비행명령어 및 비디오 데이터를 송수신하는 드론도 출시되고 있다.



출처 : 열린친구(<https://www.openmakerlab.co.kr/>)

(a) 쿼드콥터의 구조 및 (b) 드론의 기본 센서와 드론의 비행의 관계

2) 제어부

제어부는 비행제어기, 센서융합기 및 각종 센서로 구성되어 있다. 드론이 안정적으로 비행하기 위해서는 드론에 장착된 각종 센서를 이용해 비행상태를 측정해야 한다. 드론의 비행상태는 회전운동상태와 병진운동상태로 정의되며, 회전운동상태는 ‘요(Yaw 혹은 Rudder, 드론의 수평을 유지한 상태에서 동체를 회전시킴) : z축 회전’, ‘피치(Pitch 혹은 Elevator, 드론 기수를 상하로 움직여 전진하거나 후진) : x축 회전’, ‘롤(Roll 혹은 Aileron, 동체를 좌우로 기울임에 따라 드론이 좌우로 이동) : y축 회전’을 의미하며, 병진운동상태는 경도, 위도, 고도, 속도를 의미한다. 회전운동상태를 측정하기 위해 3축 자이로센서, 3축 가속도센서, 3축 지자기센서를 이용하고, 병진운동상태를 측정하기 위해 GPS 수신기와 기압센서를 이용한다. 자이로센서와 가속도센서는 드론의 기체좌표가 지구관성좌표에 대해 회전한 상태와 가속된 상태를 측정해주는데, MEMS 반도체 공정기술을 이용해 관성측정기(IMU)라 부르는 단일 칩으로 제작되기도 한다.

드론은 지상에서 원격조정기를 이용해 비행을 조정하거나, 드론이 사전에 입력된 GPS 비행경로를 자기의 현재 비행위치(GPS 수신기를 통해 확인)와 비교하면서 스스로 비행할 수 있다(GPS 경로 비행이라 부름). 비행제어기는 수신기로부터 전달받은 원격 비행명령어(혹은 GPS 경로비행을 할 경우에는 GPS 비행경로)를 센서 융합기에서 보내온 상태 추정치와 비교, 그 차이 값을 이용해 모터들의 회전 속도를 계산하고, 계산된 결과들을 PWM 신호로 변환해 구동부로 전달해준다.

3) 구동부

구동부는 드론을 구동시키는 부품들로 모터, 프로펠러, 모터변속기 및 리튬폴리머 배터리 등을 포함한다. 모터변속기는 비행제어기로부터 신호를 받아 모터를 구동시키고, 배터리의 직류 전원을 교류로 바꾸어서 모터로 공급해준다. 각각의 모터들은 별도의 모터변속기로 구동된다.

4) 페이로드

드론의 비행 목적은 페이로드를 탑재하고 비행하는 것이다. 페이로드 종류가 군사용이면 군사용 드론이 되고 민수용이면 민수용 드론이 된다. 페이로드(payload)¹는 드론의 사용 목적에 따라서 여러 종류의 임무탑재장비(payload)가 탑재될 수 있는데, 원격 탐사 및 사진측량을 위해서는 비디오카메라, 다중분광센서(multispectral sensor), 초분광센서(hyperspectral sensor), 적외선 카메라, 초음파 센서, 라이다(Lidar), SAR 등 각종 센서들이 탑재될 수 있다.

센서들은 촬영 중 초점이 흔들리지 않게 해주는 짐벌(gimbal)²에 고정되어 있다. 항공촬영 이외에 드론에 장착되는 페이로드의 예로는 공기 중에 떠다니는 각종 세균 혹은 포자 채집 용도로 사용하는 스포트랩, 가스분석기, 농약 살포기, 로봇 암 등이 있다.

1. 페이로드(payload)는 원래 항공기에서 항공기의 탑재 하중 가운데, 승객이나 화물 등 요금을 징수할 수 있는 ‘유상(有償) 하중’을 의미한다. 드론 등 무인기에서는 드론 기체에 탑재 가능한 센서 혹은 화물 등을 의미한다.

2. 짐벌 : 물이나 공기, 우주공간 위에 떠 있는 구조물이 기체의 흔들림 등에 관계없이 정립 상태로 유지해주는 지지 장치.

탑재센서

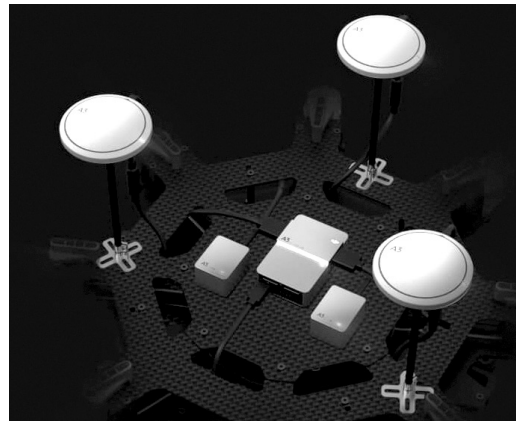
비행 운용센서

1) 자동비행제어장치

자동비행제어장치(Automatic Flight Control System)란 항공기나 미사일의 내부와 외부 장치에 의해 진로나 비행 자세를 자동적으로 조정할 수 있는 모든 장비를 포괄한 장치로서, 조종사가 목적지에 관한 정보를 입력하면 항공기가 자동적으로 목적지로 비행할 수 있도록 하며, 조종사가 손을 대지 않고도 항공기를 원하는 방향으로 직선·수평 비행할 수 있도록 하는 장치를 말한다.



Pixhawk 2.1



A3 Pro (GPS 및 IMU)

비행제어장치(flight controller, FC)

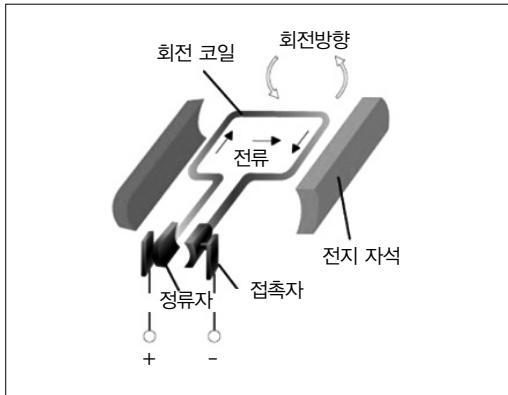
보통 비행제어장치와 자동비행장치 시스템을 혼동하는 경우가 많다. 예를 들어 레이싱 쿼드콥터의 경우 비행조정장치는 드론이 안정되게 비행하도록 할 뿐만 아니라, 무선 조정자(pilot)가 입력한 것을 바탕으로 모터에 전송하기 위한 최적의 회전 수 및 에일러론, 엘리베이터, 러더 등의 ‘방향 조정면’을 계속적으로 계산한다.

자동비행장치는 드론을 단순히 움직이게 할 뿐만 아니라 나아가 각종 센서로부터 획득된 각종 정보를 바탕으로 자동항법 비행, 제자리 비행, 관심지역(region of interest) 비행, 및 장애물 회피 등을 가능하게 하는 ‘두뇌’에 해당한다. 센서의 모든 데이터를 읽어들이며 드론이 비행하는 데 필요한 최적의 명령을 지속적으로 계산한다. 프로세서는 제어 회로기판의 핵심 부품으로서 자동비행장치 시스템의 펌웨어를 작동시키며, 모든 계산을 수행하는 ‘중앙처리장치’로서 대부분 32비트 프로세서 시스템을 채택하고 있다.

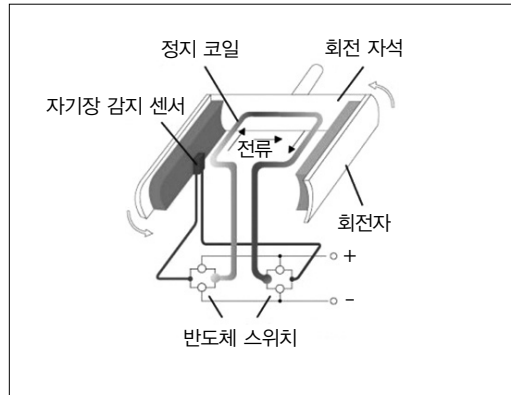
2) 모터

드론에서 사용하는 모터는 일반적으로 브러시(Brushed Direct Current, BDC)모터와 브러시리스 직류(Brushless Direct Current, BLDC) 모터로 나뉜다.

BDC 모터는 주로 완구용 드론에 사용되는데, 장점은 가격이 싸고, 구동방식이 간단하다는 것이다. 단점은 브러시가 닳게 되면 수명이 다하고, 스파크, 열 등이 발생해 모터의 고속회전 및 장시간 회전에는 적합하지 않다.



브러시 모터



브러시리스 모터

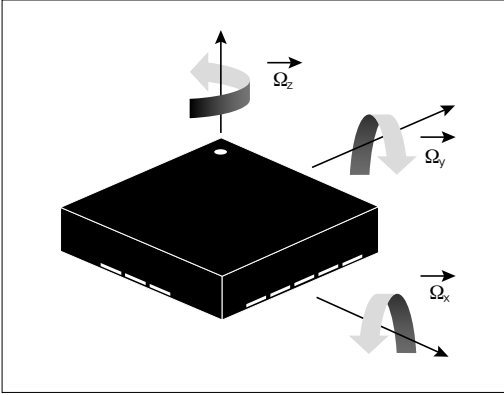
브러시 모터와 브러시리스 모터의 비교

BLDC 모터는 영구 자석으로 된 중심부의 회전자(Rotor)와 권선(Wire)으로 되어 있는 극(Pole)과 고정자(Stator)들로 구성되어 있다. 전류가 인가된 권선으로부터 생성되는 자기장과 영구 자석 회전자 사이의 관계에 의해 전기에너지가 회전자를 회전시킴으로써 기계적인 에너지로 변환된다. BLDC 모터의 장점은 브러시가 없으므로 전기적, 기계적 노이즈가 작다. 또한 고속화가 용이하고 신뢰성이 높으며, 유지보수가 거의 필요없을 뿐만 아니라 소형화가 가능하다. 그리고 일정 속도 제어 및 가변속 제어가 가능하며, 모터 자체 신호를 이용하므로, 저가로 위치 제어 및 속도 제어가 가능하다.

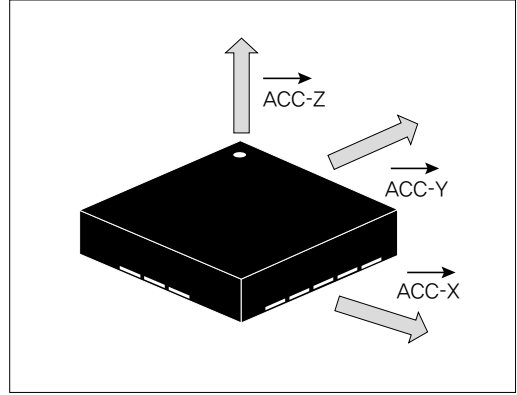
3) 가속도계와 자이로스코프

가속도계와 자이로(Gyro) 센서는 드론의 관성 센서이다. 가속도계는 가속도를 측정하고, 자이로는 회전력을 측정한다. 가속도계와 자이로 모두 3축 센서를 활용하는데 센서가 3축이라 함은 센서가 3차원에서 움직일 때 x축, y축, z축 방향의 가속도를 측정할 수 있다는 의미로, 이를 통해서 중력에 대한 상대적인 위치와 움직임을 측정한다.

자이로스코프는 드론이 수평을 유지할 수 있도록 도와주는 가장 기본적인 센서로서, 세 축 방향의 각 가속도를 측정하여 드론의 기울기 정보를 제공해준다. 두 측정값을 종합·분석하여 비행조정장치는 드론의 현재 자세(각)를 계산하고, 필요한 보정을 수행한다.

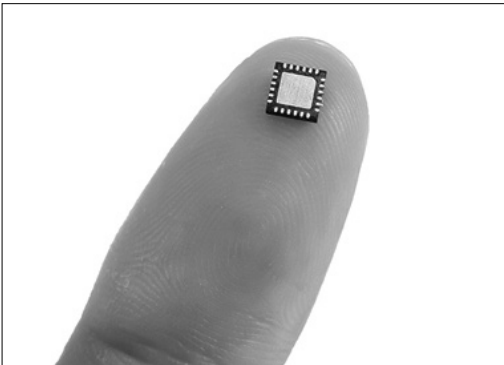


자이로 센서 : 회전각 측정

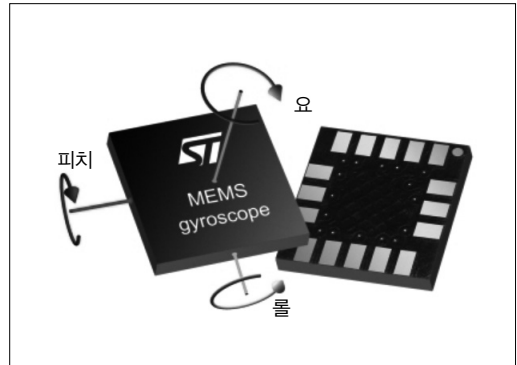


가속도 센서 : 가속도 측정

자이로 센서와 가속도 센서의 측정값



(a)



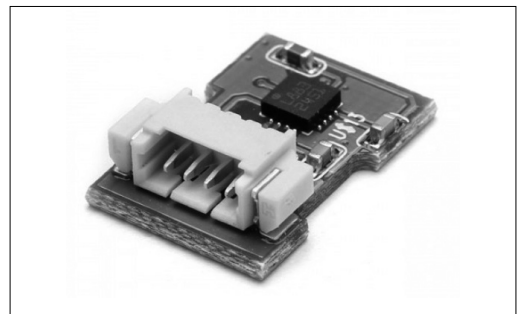
(b)

(a) 가속도 센서의 크기와 (b) 가속도계 및 자이로스코프

4) 자력계

자력계(magnetometer)는 나침반 기능을 하는 센서로 자기장을 측정하는 역할을 한다. 즉 자기 힘을 측정하는 것으로 가속도계와 자이로스코프만으로는 비행 조정장치가 드론의 진행 방향을 알 수 없는데, 자력계가 자북을 측정하여 드론의 방향정보를 드론의 비행제어장치(FC)로 보내 이를 보강하는 역할을 하기 때문에 자력계 센서가 매우 중요하다. GPS의 위치정보와 자력계의 방위정보, 가속도계의 이동정보를 결합하면 드론의 움직임을 파악할 수 있게 된다.

그러나 자력계 센서는 주변 자기장에 매우 민감하다. 즉 전선, 모터, 변속기(ESC) 등 모든 것이 자



자력계 센서(AliExpress, 치어슨 CX-20)

기장 간섭을 일으킬 수 있다. GPS 모듈은 일반적으로 이런 장비들과 떨어져 있기 때문에, 장비들에 의한 자기장 간섭을 피하기 위해 나침반 센서를 추가적으로 GPS 모듈에 장착하기도 한다.

5) 관성측정장치

관성측정장치(Inertial Measurement Unit, IMU)는 GPS와 연동되어 기체의 이동방향, 이동경로, 이동속도를 유지하는 역할을 하고, 3축 자력계와 GPS 수신기가 결합된 형태로 얻은 정보를 드론의 비행제어장치(FC)로 전달한다.

조종사의 직접적인 무선조종 없이 자동으로 비행하게 되면 드론의 활용도 및 가치를 높일 수 있게 된다. 드론의 자동항법 비행 기능을 위해서는 데이터링크 기술과 관성측정장치의 중요성이 더욱 커진다. 데이터링크는 지상의 컴퓨터와 드론을 연결해주는 역할을 하며, IMU는 통제범위를 벗어났을 때 이륙한 곳으로 자동으로 돌아오게 하는 등의 역할을 하는 기술이다.



IMU

6) 기압계

기압계는 항공기의 고도를 측정하기 위한 압력 센서로서 드론의 cm 단위의 상하 이동에 의한 공기의 압력 변화도 감지할 수 있을 정도로 민감하다. 대기압은 해수면에서의 높이에 따라 결정되고 기압계는 이 원리를 이용하여 대기압을 측정하여 고도를 측정한다.

드론의 고도를 측정하는 데 기압계만 사용하는 것은 정확도가 그리 높지 않기 때문에 대부분의 드론은 고도를 측정하기 위한 추가적인 방법을 사용한다. 일반적으로는 GNSS 센서를 사용하여 고도를 매우 정밀하게 측정 할 수 있지만, GNSS를 사용할 수 없는 실내에서는 초음파나 이 미지 센서 등을 사용하여 정밀하게 고도를 측정한다.



기압계 바로미터(모델 GY-63)

7) 대기속도계³⁾

대기속도계(Airspeed Sensor)는 고정익 드론에 주로 사용되는 센서이다. 대기속도계는 비행 중 드론을 스쳐 지나가는 공기의 흐름속도를 측정하기 위한 것이다. 대기속도(airspeed)는 고정익 항공기에서는 중요하다. 그 이유는 날개 주위로 흐르는 공기흐름에 의해 항공기가 공중으로 뜨는 양력이 받

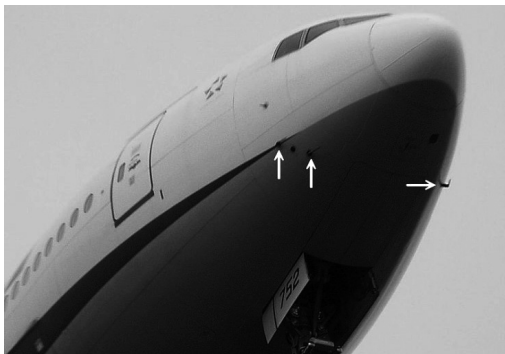
3. 이강원 외(2016), 드론 원격탐사·사진측량, 구미서관

생하게 되며, 항공기의 속도가 느리게 되면 대기속도가 느리게 되고 실속하여 추락하게 되기 때문이다.

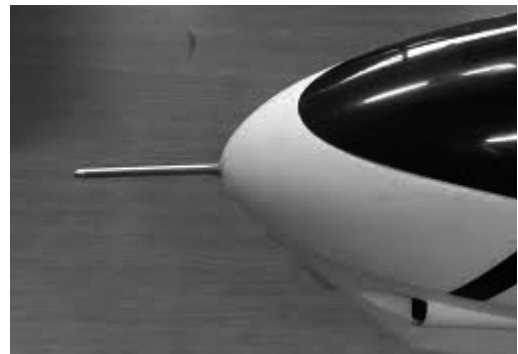
높이의 변화가 없거나 무시할 수 있을 경우 압력에 대한 베르누이 방정식은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$p +$	$+\frac{\rho v^2}{2}$	$=const$
정압력	동압력	일정

피토관(Pitot Tube)은 유속 측정 장치의 하나로서, 유체 흐름의 전압력과 정압력의 차이를 측정하고 그것으로부터 유속을 구하는 장치이다. 유체의 흐름 정면에 뚫은 구멍을 통하여 전압력을 측정하고, 유체흐름의 수직한 면, 즉 측면의 구멍에서 정압력을 측정하여, 전압력과 정압력의 차이를 구함으로써 공기의 흐름속도를 구할 수 있다. 즉 정압력 + 동압력 = 전압력 → 동압력 = 전압력 - 정압력.



(a)



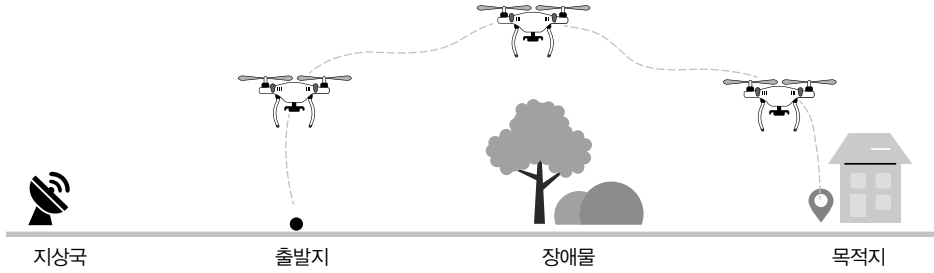
(b)

(a) 항공기의 피토관 (b) 드론의 피토관

8) 센서 융합

센서 융합(sensor fusion)이란 각종 외부 센서에서 오는 정보를 통합 또는 융합함으로써 새로운 정보를 얻는 것을 일컫는다. 단일 센서만으로는 드론을 조정하는 데 충분하지 않기 때문에 여러 센서를 사용한다.

비행제어장치에서 DOF(degrees of freedom), 즉 '자유도'라는 용어를 접하게 된다. 가장 기본적인 비행조정장치는 6DOF, 즉 6개의 자유도를 갖는데, 이는 3축 가속도계(accelerometer)와 3축 자이로(Gyro)로 사용되는 모든 동작 요소인 X(수평), Y(수직), Z(깊이), 피치(pitch), 요(yaw), 롤(roll)을 말한다.



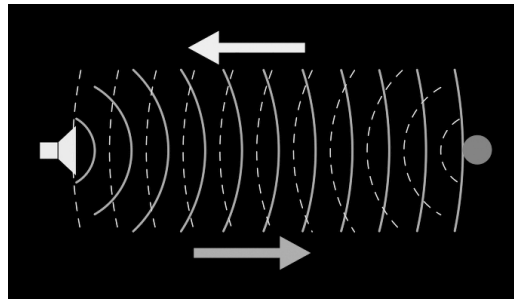
다양한 센서를 이용한 비행기술 · 유지

9) 초음파 거리 센서

초음파⁴ 속도는 일반적으로 340m/s⁵이다. 초음파가 대상체에 부딪쳐 반사되어 돌아오면 주행 시간으로부터 거리를 계산할 수 있다.

초음파는 사람의 가청주파수 대역인 20~20,000Hz를 벗어나는 음파 영역을 가진다. 일반적으로 많이 사용되는 초음파 주파수는 40,000Hz이며, 주파수가 높을수록 공간 분해능이 높고 정밀한 결과를 얻을 수 있다. 일상생활에서 접할 수 있는 초음파의 센서로는 차량용 초음파 센서가 있다. 최근 차량에는 후진 시 후방에 물체가 있는지 여부와 얼마나 가까운지를 측정해주는 기능이 있는데, 이때 거리 측정 센서로 초음파 센서가 많이 사용되고 있다.

초음파 센서는 초음파를 발생하는 송신기 부분과 반사되어 돌아오는 초음파를 검출하는 수신기로 구성되며, 송수신기가 일체형으로 하나로 제작되는 경우도 있다. 송신기에서 초음파를 발사한 후, 수신기에 반사된 초음파가 들어올 때까지의 시간을 측정하여 센서와 물체까지의 거리를 측정한다.



초음파 센서의 거리 측정 원리



초음파 거리 센서

4. 초음파(超音波, ultrasound)는 인간이 들을 수 있는 소리의 최대 한계 범위를 넘어서는 주파수를 갖는 주기적인 '음압(sound pressure)'을 의미한다. 일반적으로 가청주파수 대역은 20~20,000Hz이며, 20kHz(=20,000Hz) 이상 대역이 초음파 영역이다.

5. $c(m/s) = 331.3 \sqrt{1 + \frac{T(^{\circ}C)}{273.15}}$

10) 라이다 센서

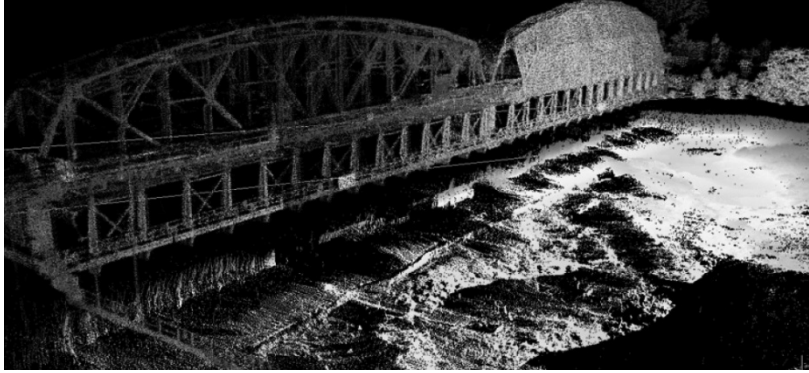
Lidar는 Light Detection And Ranging의 약어이다. 라이다 센서는 레이저(laser)를 목표물(대상체)에 투사하고 대상체에서 반사되어 되돌아오는 시간을 측정함으로써 대상체까지의 거리, 방향, 속도, 온도, 물질 분포 및 농도 특성 등을 감지, 측정할 수 있는 기술이다. 라이다 센서는 일반적으로 높은 에너지 밀도와 짧은 주기를 가지는 펄스 신호를 생성할 수 있는 레이저의 장점을 활용하여 보다 정밀한 대기 중의 물성 관측 및 거리 측정 등에도 활용되고 있다.

라이다 센서는 수 m부터 수 km 거리 측정에 사용될 수 있다. 라이다 시스템의 범위를 넓히기 위해 보이지 않는 근적외선의 매우 짧은 레이저 펄스를 사용하여, 눈(eye)에 안전하면서 기존 연속 웨이브 레이저에 비해 훨씬 높은 레이저 출력이 가능하다.

라이다는 기본적으로 레이저 송신부, 레이저 검출부, 신호 수집 및 처리와 데이터를 송수신하기 위한 부분으로 구성되어 있다. 측정 방식은 레이저 신호의 변조 방법에 따라 일반적으로 시간주시(time of flight, TOF) 방식과 위상변이(phase shift, PS) 방식으로 구분된다. TOF 방식은 레이저가 펄스 신호를 방출하여 물체들로부터의 반사 펄스 신호들이 수신기에 도착하는 시간을 측정함으로써 거

▼ 드론 탑재 라이다의 작동 과정 및 활용 분야

구분		세부내용
라이다 작동 과정		<ul style="list-style-type: none"> ① 레이저 펄스 방출 ② 후방 산란 신호의 기록 ③ 거리 측정(비행시간×빛의 속도) ④ 평면 위치 및 고도 검색 ⑤ 정확한 반향 위치 계산
활용 분야	충돌 회피용 라이다 센서	<ul style="list-style-type: none"> • 라이다 센서 내에서 통합되어 정확한 위치와 함께 안전한 탐색을 위한 임계 범위 데이터를 생성한다. 라이다 기술은 넓은 시야각에 걸쳐 장애물 감지 기능을 갖추고 있다.
	지상 이미지 라이다 센서	<ul style="list-style-type: none"> • 최신 라이다 센서는 광집적 센서의 크기, 무게, UAV 제조비용 요건을 충족하고 지상의 정확한 거리 측정이 가능하다. • 농업과 임업은 나뭇잎, 작물과 같은 식물을 검사하기 위해 라이다를 사용하며, 또한 지상 표면을 보기 위해 지상 이미지(숲 캐노피 등)를 제거할 수도 있다.
	구조물 검사 라이다 센서	<ul style="list-style-type: none"> • 내장 신호 처리 기능, 넓은 시야 및 구조적 검사 수행 시 안전한 탐색을 가능하게 하는 거리 데이터 및 장애물 감지 기능을 제공한다.
	야간 라이다 센서	<ul style="list-style-type: none"> • 라이다 센서는 야간 및 낮은 조도 상황에서도 작동이 가능하다.
기타 용도		<ul style="list-style-type: none"> <li style="flex: 1 1 50%;">• 농업 및 임업 <li style="flex: 1 1 50%;">• 고고학, 문화유산 기록화 <li style="flex: 1 1 50%;">• 오픈 광산의 지형 <li style="flex: 1 1 50%;">• 건설 현장 모니터링 <li style="flex: 1 1 50%;">• 건물 및 구조물 검사 <li style="flex: 1 1 50%;">• 자원 관리 <li style="flex: 1 1 50%;">• 도시 환경 조사 <li style="flex: 1 1 50%;">• 유체 역학적 모델링 <li style="flex: 1 1 50%;">• 충돌 회피 <li style="flex: 1 1 50%;">• 디지털 해발고도 모델(DEM) <li style="flex: 1 1 50%;">• 해안선 및 폭풍 해일 모델링 <li style="flex: 1 1 50%;">• 전력선, 철도 트랙 및 송유관 검사 등



드론탐재 라이더 측량에 의한 교량 이미지

리를 측정하는 방식이며, 위상변이 방식은 특정 주파수를 가지고 연속적으로 변조되는 레이저 빔을 방출하고 물체로부터 반사되어 되돌아오는 신호의 위상 변화량을 측정하여 거리를 계산하는 방식이다.

최근 3차원 역공학(reverse engineering), 무인자동차를 위한 레이저 스캐너 및 3D 영상 카메라의 핵심 기술로 활용되면서 그 활용성과 중요성이 점차 증가하고 있고, 드론을 이용한 측량 및 원격탐사가 본격적으로 시작되면서 초경량 라이더가 개발, 적용되고 있다.

통신기술

무선통신 송수신기

드론과 조정기(controller) 사이에 데이터를 주고받기 위해서는 ‘무선통신 송수신기(telemetry)’가 필요하다. 드론과 조정기에는 무선 송수신기가 기본 내장되어 있으므로 추가적으로 무선통신 송수신기를 추가하는 것은 유용할 수 있지만 필수사항은 아니다. 무선통신 송수신기는 데이터를 송수신하기 위한 무선장비로서 드론과 조정기에 각각 탑재·설치해야 한다. 중요한 것은 드론과 조정기의 무선통신 송수신기를 서로 페어링해야 한다는 것이다.

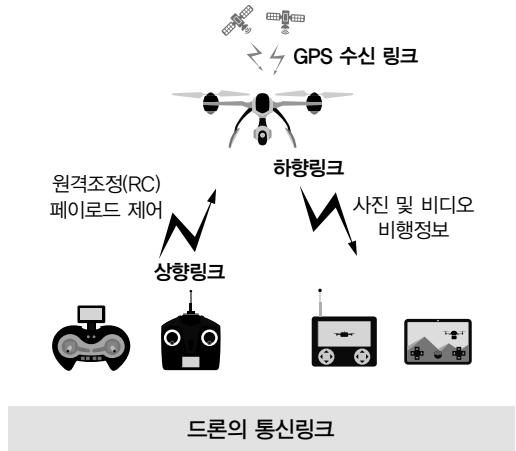
드론과 조정기와의 통신을 위해 기본적으로 2.4GHz 및 5.0GHz의 와이파이(WiFi)를 사용한다. 그러나 통신범위가 5~7km를 넘지 못하기 때문에 장거리 이동 시에는 LTE망을 활용하기도 한다.

국립전파연구원은 2015년 12월 31일 ‘항공업무용 무선설비 기술기준’을 개정해 드론 이용을 위한 전용 주파수를 할당했다. 이 기술기준에 따르면 드론 전용 주파수로 5,030~5,091MHz(5,030~5,091GHz) 대역(61MHz 폭)이 새롭게 할당됐다. 이 대역은 아직 국내에서 이용되지 않았던 주파수 대역이다. 이 대역은 수많은 소출력 무선기기가 함께 이용하는 대역이 아닌 전용대역이기 때문에 전파 혼선으로 인한 드론의 추락, 충돌 등 사고위험이 적어 안정적인 드론 운용이 가능하다. 드

론의 출력을 최대 10W까지 가능하도록 지정하면서 매우 한정적인 거리로만 운용되던 드론의 운용 범위도 대폭 확장됐다. 새로이 할당된 5,030~5,091MHz 대역은 2012년 스위스 제네바에서 개최된 '세계전파통신회의(WRC-12)'에서 미국의 강력한 주장으로 채택된 지상 제어를 위한 드론 전용 주파수 대역이다.

주파수 대역

드론은 지상에서 드론으로 원격조정(RC) 비행 명령어 및 카메라 조작 등 페이로드 제어 신호를 전송하기 위한 상향링크(지상 → 드론)가 필요하고 비디오, 사진 및 드론의 위치, 비행속도, 배터리 잔량 등의 비행정보를 지상으로 전송하기 위한 하향링크(드론 → 지상)가 필요하다. GPS 신호는 1.2GHz(혹은 1.5GHz) 주파수 대역으로 수신한다.



과거에는 페이로드 제어 신호 및 텔레메트리 전송을 위해 특정 주파수 대역을 이용하는 별도의 송수신기를 이용했으나, 최근에는 페이로드 제어 신호는 원격조정 비행 명령어와 함께 드론으로 전송되고, 텔레메트리 정보는 비디오 데이터와 함께 지상으로 전송되는 추세이다. 각 나라의 주파수 정책에 따라 차이가 있지만, 일반적으로 900MHz, 1.3MHz, 2.4MHz 및 5.8GHz의 주파수대역이 드론의 통신링크로 사용된다.

1) 900MHz 및 1.3GHz 주파수 대역

900MHz 주파수 대역은 비디오 및 텔레메트리 전송을 위한 하향링크로 사용된다. 그러나 900MHz 대역은 일부 국가에서 이동통신 주파수(예 : 유럽 GSM) 혹은 가정용과 주파수 대역이 겹치므로 송신기의 출력세기를 5~10mW 이하로 엄격히 제한하고 있다.

한편 900MHz 대역은 최근 규격이 확정된 IoT(internet of things)용 WiFi 11ah 무선랜과도 주파수 대역이 겹친다. 1.3GHz 주파수 대역 역시 비디오 전송을 위한 하향링크로 사용되는데, 2005년 이후에 쏘아 올린 GPS 위성의 1.2GHz L2 주파수 대역과 가까워서 드론에 탑재된 GPS 수신기에 간섭을 줄 수 있다.

2) 2.4GHz 및 5.8GHz 주파수 대역

2.4GHz 주파수 대역은 거의 모든 드론이 원격조정 및 페이로드 제어로 사용하는 상향링크이다. 그러나 2.4GHz는 WiFi, 블루투스, 지그비 등과 주파수대역이 겹치므로 사람이 많이 모이는 공원 등의 지역에서는 드론 비행에 주의해야 한다. 일부 드론들은 2.4GHz 대역을 비디오 전송 하향링크로 사

용한다. 이 경우, 원격조정 상향링크는 5.8GHz 주파수 대역을 이용한다.

5.8GHz 주파수 대역은 최근 출시된 드론들이 비디오 및 텔레메트리 전송 하향링크로 사용하는 주파수 대역이다. 2.4GHz 및 5.8GHz 주파수 대역은 전송 거리가 짧고 장애물 등에 의한 전송장애가 심하므로 드론과 지상의 원격조정자 사이에 양호한 시야거리가 확보되어야 한다.

3) WiFi 및 4G/3G

최근 스마트폰을 이용해 드론을 원격 조정하는 것을 심심치 않게 볼 수 있다. 스마트폰에 드론 조정용 앱을 설치하고 WiFi 혹은 USB로 스마트폰을 원격조정기에 연결해 원격조정기를 통해 드론을 조정하거나, 드론에 WiFi 수신기를 설치해 스마트폰 WiFi로 직접 드론을 원격조정할 수 있다. WiFi와 마찬가지로, 드론에 LTE 혹은 WCDMA 송수신기를 설치해 이동통신 네트워크를 통해 스마트폰으로 드론을 원격조정하거나 드론의 비디오 데이터를 지상으로 전송하기도 한다.

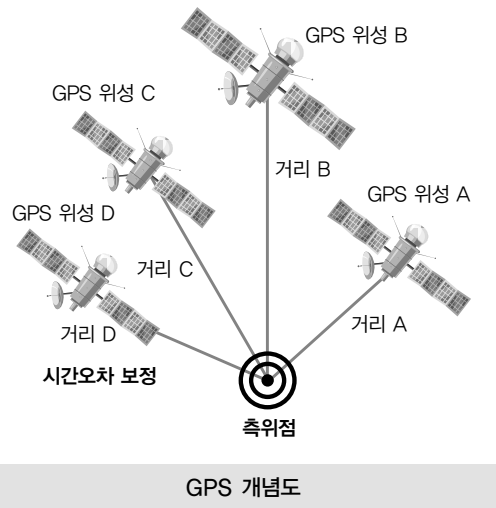
GNSS

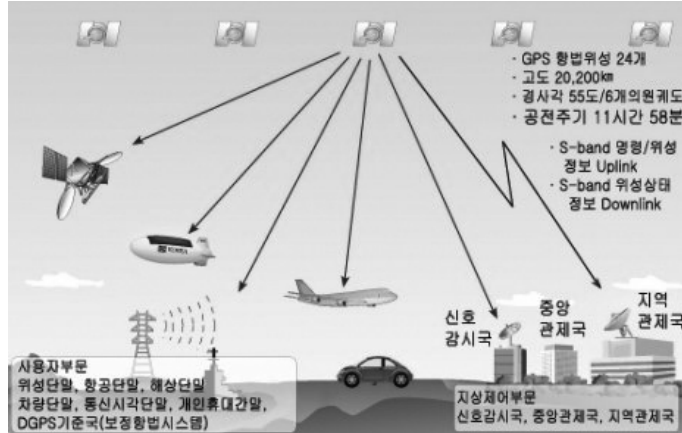
GPS 및 GNSS

GPS는 인공위성으로부터 수신기까지 신호가 도달하는 데 걸린 시간을 기준으로 거리를 측정한다. 즉 드론에서의 GPS는 인공위성을 이용한 범세계 위치결정시스템으로 정확한 위치를 알고 있는 위성에서 발사한 전파를 드론에서 수신하여 관측점까지 소요시간을 관측함으로써 관측점의 3차원 좌표 및 세계시를 구하는 시스템이다. GPS 신호로부터 추정된 위치(x, y)의 오차는 수 m 정도이다.

이러한 GPS 오차에도 불구하고 다른 여러 센서들에 의한 측정값들을 융합·분석함으로써 비행조정장치는 GPS 모듈을 이용하여 드론이 경로점을 따라 비행하게 하거나 제자리로 돌아오게 하는 등 이륙부터 착륙까지 지동비행이 가능하도록 한다.

지구 위에는 약 30개의 GPS 위성이 돌고 있다. 이들 위성이 지구의 6개 궤도면에 분포해 전 세계 어디에서도 최소 6개의 GPS 위성을 관측할 수 있도록 한다. GPS 위성은 태양에너지로 작동하며, 수명은 약 8~10년 정도다. 제어국은 미국 콜로라도스프링스에 있는 주제어국과 세계 곳곳에 분포된 5개의 부제어국으로 나뉜다. 각 부제어국은 상공을 지나는 GPS 위성을 추적하고 거리와 변화율을 측





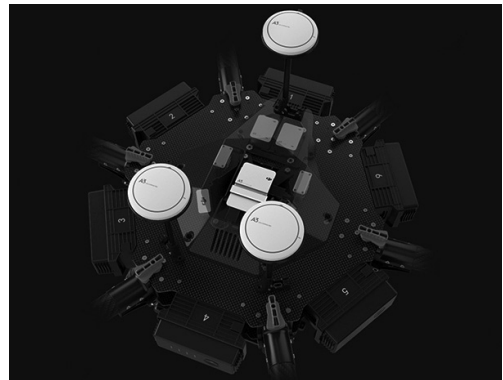
▲ GNSS 구성

정해 주제어국으로 보낸다. 주제어국은 정보를 취합해 위성이 제 궤도를 유지하도록 처리한다. GPS 수신기는 GPS 위성의 신호를 수신하는 안테나, 시계, 신호를 처리하는 소프트웨어, 이를 출력하는 출력장치 등으로 이루어져 있다.

최근 미국에서 운영하는 GPS 외에도 러시아의 글로나스(Global Navigation Satellite System, GLONASS), 유럽연합(EU)의 갈릴레오(Galileo), 중국의 베이더우(北斗, Beidou 또는 Compass), 일본의 준텐초(Quasi-zemith Satellite System, QZSS), 인도의 IRNSS(Indian Regional Navigational Satellite System, 인도국지항법위성체계) 등이 위성항법체계(GNSS)에 포함됨으로써 위성측위의 신뢰도와 성능이 향상되었다. 이러한 GNSS 모듈은 다양한 위성항법 신호를 수신할 수 있으며, 센서의 가격도 저렴한 편이다.

GNSS는 위의 그림에서처럼 크게 위성, 지상의 제어국, 사용자로 구성되어 있다. 지상 제어국의 수신장치에서 고도 약 20,000km 중궤도에 위치해 있는 인공위성에서 신호를 받아 수 m 이내의 위치정보를 알아낼 수 있는 것이 GNSS의 기본 원리이다. 또한 위성의 위치와 위성시계, 전리층모델, 위성궤도변수, 위성상태 등의 항법정보가 있다면 현재 사용자의 위치를 파악할 수 있다. 즉 위성에서 보내는 신호가 수신기에 도달하기까지 걸리는 시간을 측정해서 위성고도와 수신기 사이의 거리를 구하고, 사용자의 현재 위치를 계산할 수 있는 것이다.

GNSS 수신기는 인공위성으로부터 신호를 수신해야 하는 특성 때문에 일반적으로 드론의 윗부분에 장착한다. 멀티콥터의 경우에는 별도의 기둥(mast)을 세우고 그 위에 GNSS를 설치하기 위하여 신호를 확실히 수신하기 위한 노력을 한다.



GNSS 장착 드론(DJI, Matrice 600 Pro)

한편, GNSS 수신기가 드론 본체에서 멀리 떨어져 설치되므로, 앞서 언급한 바와 같이 나침반 센서는 다른 전자제품의 전자기장 간섭에 민감하기 때문에 일반적으로 나침반 센서를 함께 장착한다.

GNSS의 현재와 미래

GNSS(Global Navigation Satellite System)는 우주궤도를 돌고 있는 인공위성에 발신하는 전파를 이용해 지구 전역에서 움직이는 물체의 위치·고도치·속도를 계산하는 위성항법 시스템으로, 현재 미사일 유도 같은 군사적 용도뿐 아니라 측량이나 항공기, 선박, 자동차 등의 항법장치에 많이 이용되고 있다.

GPS/갈릴레오 네트워크는 특히 복잡한 도심지역의 위치정보 향상에 큰 변화를 주고 있다. 사용자들은 기존의 위성들보다 2배나 많은 위성들로부터의 정보를 통해 정확한 위치정보를 얻을 수 있을 것이다. 미국의 GPS Industry Council은 GPS 장비의 글로벌 시장이 매년 25~30%씩 증가하고 있다고 보고 있다. 유럽위원회(EC) 전문가들은 위성항법 제품과 서비스에 대한 전 세계적 시장이 2025년경에는 4,000억 달러에 이를 것으로 예측하면서 2020년경에는 30억 개의 위성항법 수신기가 사용될 것이고 갈릴레오 프로그램은 유럽 전역에 15만 개의 일자리를 창출할 것으로 보고 있다.

영국 교통성 연구에서도 GNSS 시장 산업이 영국에 가져올 이익이 2025년에는 140억 파운드에 이를 것으로 보고 있다. GNSS 위치정보 시스템은 공학, 항공, 농업, 선박, 해양 등을 포함한 많은 시장에 새로운 적용 분야를 열어줄 것이다.

GPS와 갈릴레오 이 두 시스템을 어떻게 같이 운용할 것인지에 대해서는 아직 결정되지 않은 것들이 많다. 예를 들면 GPS로부터 신호를 받고 이를 갈릴레오를 통해 검증은 받는다거나 또는 GPS 및 갈릴레오로부터 모두 신호를 받는다거나 하는 등이다. 그렇지만 공동의 GPS/갈릴레오 시그널 프로세서에 기반을 두고 다수위성으로부터 신호를 받는 수신기인 ‘multiconstellation receiver’ 개발 1단계가 이미 시작되었다. 많은 산업체 그룹들이 GPS/갈릴레오 통합을 위한 고수준의 규격(standards) 마련에 참여하고 있다.

러시아 GLONASS는 GPS의 코드분할 다중방식(Code Division Multiple Access, CDMA)이 아닌 주파수분할 다중방식(Frequency Division Multiple Access, FDMA)을 채택하고 있다. GLONASS 프로그램 매니저들이 CDMA 방식으로 이동을 고려하고 있다고 보고되기는 하지만 GLONASS 시스템이 GPS/갈릴레오 시스템과의 통합에는 비용과 복잡성 문제가 있다. 그렇지만 multiconstellation receiver 제품들은 이미 소개되고 있다. 중국은 GLONASS, 갈릴레오, 그리고 중국의 베이더우 위성들로부터의 위치신호를 통합하는 수신기 개발을 진행 중에 있다. 지난 수년간 미국과 유럽의 워킹 그룹들은 여러 위성항법 시스템 신호의 호환성 및 상호 운용성을 위해 MBOC(multiplexed binary offset carrier)에 기반을 둔 보다 향상된 공동의 민간 신호를 개발하고 있으며 그 결과도 양호하다.

GPS와 갈릴레오의 통합 개발계획과는 대조적으로 러시아, 중국 인도의 GNSS 프로그램은 서로 다른 시스템으로부터 신호를 받을 수 있는 multiconstellation receiver 같은 항공전자 컴포넌트 없이 개발되고 있다.

글로벌 위성 항법 시스템(GNSS) 운용 및 개발 현황

시스템 명칭	운용국	운용시점	비고
GPS	미국	1994년	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 유지에 최소 24개 위성 필요 • 현재 31개의 위성 운용 중
글로나스 (GLONASS)	러시아	1995년, 2011년	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 붕괴로 중단, 2009년 재개 • 2011년 10월 24개의 위성(시스템 운용)으로 시스템 구축 완료 및 서비스 시작. 24기를 제외한 4기는 예비용 • 2012~2020년 노후된 위성 교체를 위해 13기의 글로나스-M, 22기의 글로나스-K 발사 예정
갈릴레오 (Galileo)	유럽연합 (EU)	2014년	<ul style="list-style-type: none"> • 2005년부터 한국 참여. 2011년 10월 21일 첫 발사 • 2014년 24개의 위성 발사로 서비스 가동 • 2019년까지 30개 위성 구축 예정
베이더우(北斗, BDS)	중국	2012년	<ul style="list-style-type: none"> • 2012년 12월 27일부터 아시아태평양지역 서비스 가동 • 2014년 11월에 국제해사기구(IMO)로부터 첫 국제기구 인가 획득 • 현재까지 23개 위성 발사 • 2020년까지 35개 위성 구축 예정
준텐초 (準千頂, QZSS)	일본	2014년	<ul style="list-style-type: none"> • 2010년 9월 11일 첫 위성 발사 성공. 이후 3대의 위성으로 일본 내 우선 서비스 • 6~7기 위성으로 독자 시스템 구축 예정
IRNSS	인도	2013년	<ul style="list-style-type: none"> • 인도 내 우선 서비스

GPS는 처음에는 군사 목적으로 사용되었으나, 1983년 이후 민간 부분으로 확대되어 현재 여러 분야에서 활용되고 있으며, 지구상 어디에서나 24시간 이용할 수 있는 것은 물론, 기상조건·외부의 간섭 및 방해에 강하고 전 세계적으로 공통좌표계(WGS-84 : World Geodetic System)를 사용한다는

구분	GPS	GLONASS
위성 수	24개, 4개×6궤도	24개, 8개×3궤도
주기	11시간 58분	11시간 15분
고도	약 20,200km	약 19,300km
데이터속도	50bps	50bps
경사각	55°	64.8°
주파수	1575.42MHz	1602.5625~1615.5MHz
PN코드클럭	1,023MHz	0,511MHz
측지계	WGS-84	SGS-90

점에서 측위정보의 신뢰성 및 정확성이 우수하다. GPS는 6개의 궤도에 24개 위성을 배치하여 서비스를 제공하며, 위성으로부터의 신호는 원자발전기(세슘, 루비듐 각 2대)의 기본주파수 10.23MHz의 154배 및 120배인 2개의 반송파 L1(1575.42MHz)과 L2(1227.6MHz)로 송신하고 있다. 이 2개의 주파수는 C/A코드와 P코드로 불규칙코드로 위상변조(PSK)된다. 항법정보는 표준측위서비스(Standard Positioning System, SPS)와 고정도측위서비스(Precise Positioning System, PPS)로 구분되어 서비스를 제공하고 있다.

SPS는 측위와 시각 전송의 업무로서 민간용으로 이용되고 있고, L1주파수의 C/A코드만 사용할 수 있으며, PPS는 주로 군용으로 설계되어 측위, 타이밍, 속도 기능을 가지고 L1, L2의 P(Y)코드가 사용되고 있다. 일부 PPS는 별도 승인된 경우에 한하여 민간에게도 허용하고 있다.

GPS 구성 및 관제

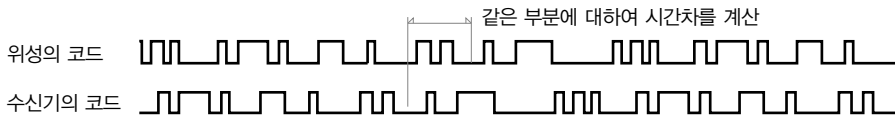
GPS 구성은 크게 우주, 지상국, 사용자로 구분된다. 이 중 지상국 관제는 GPS 위성에 대한 궤도 수정 및 예비위성 작동에 대한 전반적인 지휘를 담당하는 MCS(Master Control Station) 1개소(콜로라도 스프링스 Palcon AIR ARMY)와 GPS 위성신호 점검 및 궤도 추적·예측과 전리층·대류권 지연에 대한 관찰 등의 업무를 하고 있는 MS(Monitor Station) 5개소(디에고 가르시아섬, 어센션섬, 과절런 환초, 하와이, 콜로라도 스프링스) 및 위성에 대한 정보(시계, 보정치, 궤도 보정치, 사용자에게 대한 메시지)를 전송할 수 있는 안테나 관리를 하는 GCS(Ground Control Station) 3개소(디에고 가르시아섬, 어센션섬, 과절런 환초)로 나누어 GPS를 관제하고 있다.

GPS 측위 원리

GPS 측위 원리는 삼각측량의 원리를 사용한다. 하지만 토목 및 지적 측량에서 사용되는 측량 방법은 알려지지 않은 지점의 위치가 그 점을 제외한 두 각의 크기와 변의 길이를 측정하여 위치를 결정하는 반면 GPS 측위는 두 변의 길이를 측정하므로 미지의 점의 위치를 결정한다는 것이 삼각측량과의

$$P_{ri} = p_i + c \cdot p \Delta T_b$$

(P_{ri} = i번째 위성과 수신기의 의사거리, p_i = 실제거리 c = 빛 속도, ΔT_b = 수신기 시계 바이어스 오차, R_j = 의사거리)



위성신호 확인 방법

차이점이라 할 수 있겠다. 즉 전형적인 측량방법은 두 변의 각과 길이로, GPS 측량은 두 변의 길이로 측위를 할 수 있다.

측위를 위해서는 위 측량 방법을 기초로 삼각법을 이용한 GPS 위성 위치와 GPS 수신 기간의 거리를 알아야 한다. 앞 페이지의 그림(위성신호 확인 방법)과 같이 위성에서 L1(1575.42MHz) 주파수에 C/A코드를 실어 방송하고, 수신기에서도 위성의 신호와 똑같은 코드를 발생하여 수신된 위성코드와 비교 후 위성의 신호가 수신기에 도착되는 소요 시간을 측정한다. 위성신호의 속도(빛 속도)로 위성 과 수신기간의 의사거리(pseudo range)를 측정하게 되면 i번째 위성과 수신기와의 거리가 계산되며, 4개의 위성을 관측하여 거리를 계산하면 수신기의 위치를 측정할 수 있다.

GPS 오차

GPS 측위오차는 다음 세 가지, 즉 거리오차, 위성의 배치상황에 따른 기하학적인 오차 증가, 그리고 미 국방성이 실시하는 선택적 이용성에 의한 오차로 구분된다.

구조적인 요인에 의한 거리오차

거리오차(Range Error)는 위성과 수신 기간의 측정된 거리의 오차를 의미하며, 약 5~10m 정도이다. 오차는 다음과 같은 요인에 의해 발생한다.

1) 위성시계의 오차

위성에 탑재된 원자시계의 오차로부터 발생하는 오차이나, 다행히 위성시계의 오차는 어느 정도 예측이 가능하므로 주관제국에서 이를 조정함으로써 최소화하고 있다.

2) 위성궤도의 오차

위성의 궤도는 모니터국이 취득한 데이터를 바탕으로 예측하여 그 파라미터를 위성이 코드정보와 함께 방송하도록 관제하고 있다. 그러나 예측된 궤도와 실궤도 사이에는 차이가 생기며, 이에 따라 거리오차가 발생한다.

3) 대기권의 전파지연

위성의 고도가 20,000km 정도가 되므로 신호가 위성을 통과하여 수신기까지 오는 동안 대기권을 이루는 전리층과 대류권을 통과하게 되는데 이때 생기는 전파지연(delay) 때문에 오차가 생긴다. 특히 전리층에서의 전파지연은 전리층의 전자활동이 활발한 경우에는 커지고, 활동이 미약한 자정 무렵에는 작아지며, 그 차가 일별, 계절별로 상당한 격차를 보인다. 주관제소에서는 상기 지연량들을 예측하여 코드정보와 함께 방송하므로, 수신기는 측위 계산 시 이를 보정하여 위치오차를 줄이고 있다.

4) 수신기에서 발생하는 오차

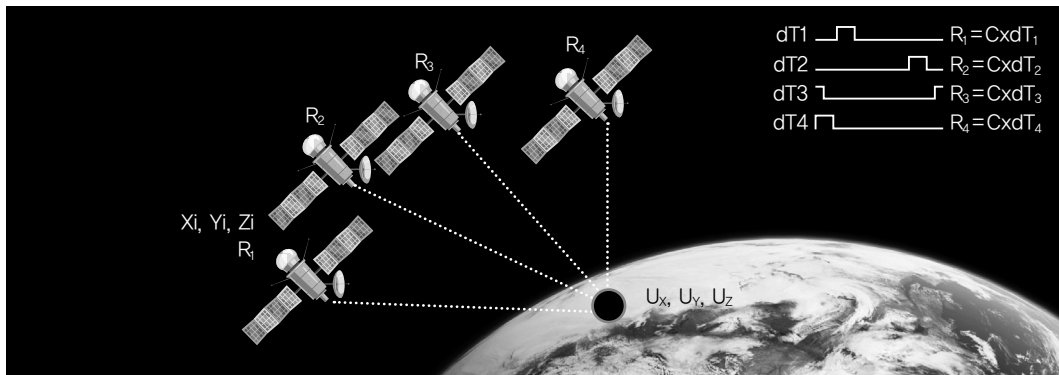
수신기에서 발생하는 전자파적 잡음(noise)이나, 전파의 다중경로(multipath) 등으로 인하여 거리오차가 발생한다. 이와 같은 거리오차는 위성의 배치상황에 따른 기하학적인 요인과 어울려 최종적으로 위치의 오차로 나타나게 된다.

위성의 배치상황에 따른 기하학적 오차의 증가

측위 시 이용되는 위성들의 배치상황에 따라 오차가 증가하게 되는데, 이는 육상에서 독도법으로 위치를 낼 때와 마찬가지로 적당한 간격의 물표를 선택하여 독도법을 실시하면 오차삼각형이 적어져서 위치가 정확해지고, 몰려 있는 물표를 이용하는 경우 오차삼각형이 커져서 위치가 부정확해진다. 마찬가지로 위성 역시 적당히 배치되어 있는 경우에 위치의 오차가 작아진다. 다음 그림과 같이 GPS 수신기는 관측된 데이터를 이용하여 PDOP(Position Dillution of Precision)를 계산하고, 이를 거리오차에 곱하면 측위오차가 된다. 즉 거리오차×PDOP=측위오차가 된다. 따라서 대부분의 수신기는 PDOP가 작은 위성의 조합을 선택하여 측위계산을 하고 이를 표시하도록 설계되어 있다. 최근 수신기의 성능이 좋아서 PDOP가 3인 경우 위치오차는 대략 15m CEP(Circular Error Probability), 즉 50% 오차확률의 범위에서 평면으로 약 15m 정도이다.

선택적 이용성에 의한 오차

미 국방성의 정책적 판단에 의하여 오차를 일부러 증가시킨 것으로, 미 국방성이 이를 인위적으로 늘리고 있는데, 이것이 선택적 이용성에 의한 오차이다. 즉 미 국방성이 인가한 사용자만이 선택적으로 사용할 수 있다는 의미로 선택적 이용성(selective availability, SA)인 것이다. SA 실시 시 오차는 100m 2dRMS가 된다. 미국의 연방항법플랜에 의하면 GPS 측위오차는 여하한 경우든 100m 2dRMS를 넘지 않도록 한다고 공시되어 있어, 항법에 이용하는 한 큰 문제는 없으나, GIS 데이터의 취득이



GNSS 수신 신호의 시간차

나 측량에서와 같이 수 cm에서 수 mm의 정밀도로 위치를 구해야 하는 경우에는 단독측위가 아닌 상대측위를 실시한다. 여기서 측위오차가 100m 2dRMS 이내라는 것은 ‘100m twice the root mean square horizontal error’의 약어로 평면에서 95% 오차확률의 범위 내에서 위치오차가 100m임을 의미한다.

GPS 오차 종류 및 크기

오차원인	크기(meters)	
위성궤도오차	0.57	
위성시계오차	1.43	
전리층 지연	7.00	
대류층 지연	0.25	
수신기 잡음	0.80	

구분	크기(meters)		2001년 Field test 결과
	With SA	Without SA	(보장되지 않음)
수평오차 (95%)	100 m	13 m	4 m

GPS 개요의 선택적 이용성에 의한 오차 내용 중 수평오차와 수직오차 구분 GPS 개요의 선택적 이용성에 의한 오차 내용 중 SA 제거 이후 오차