

GPS 위치측정 시스템 기술

전동석* 박찬범** 임병원***

목 차

- I. 서 론
- II. GPS(Global Positioning System)
- III. GPS를 이용한 위치측정방식
- IV. GPS 사용제한
- V. 차동(Differential) GPS
- VI. GPS복합항법과 완전성(Integrity) 감시
- VII. GPS 간섭법의 응용
- VIII. 시간·주파수 교정과 GPS
- IX. GPS이용 시각비교
- X. GPS 일반응용
- XI. 결론

I. 서 론

TV 동기신호를 통해 시각을 비교하고 보급하는 방법은 가장 널리 사용되고 있는 시각비교 및 보급 방법 중의 하나이다. 대부분의 시간·주파수 표준보급은 이 전파신호에 의하여 이루어지는데, 그 주파수 영역은 초장파(VLF : Very Low Frequency/3~30KHz)에서부터 초고주파(SHF : Super High Frequency/3~30 GHz)에 이르기까지 광범위하다. 전파는 파장이 길수록(주파수가 낮을수록) 전리층의 영향을 덜 받고 적은 출력으로도 지상과가 멀리 전파된다는 일반적인 특성을 이용하여, 시간·주파수 보급시 국내 교정검사기관에서는 VLF수신기를 많이 사용하여 시간·주파수를 국내의 표준기관으로부터 수신하여 왔다. 그러나 이 방법은 지상중계국에서 보내는 TV 신호가 수신자에게 도달하는 동안에 전리층과 대기권의 영향을 받고 복잡한 증계망을 거치므로 전파경로를 예측하기 어려워

* 장비기술개발실 기술원

** 장비기술개발실 실장

*** 장비기술개발실 선임기술원

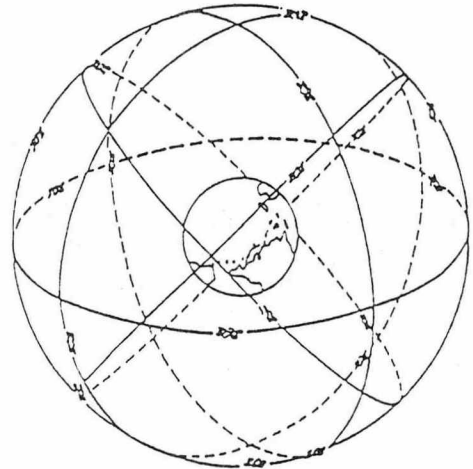
시각비교에 오차가 크고, 또한 실어 나르는 정보의 양이 적었던 단점이 있었다. 이 점을 해결하기 위해 지상중계국을 인공위성으로 사용하면 신호의 전파경로가 복잡하지 않아서 전파지연시간을 위성 및 지상중계국의 위치로부터 간단히 개선할 수 있다. 따라서 지상중계국을 이용하는 경우에 비해 고정확도의 시간비교가 가능한 것이다. 또한 3 ~ 4개의 인공위성으로부터 전파를 동시에 수신하여 지구위의 어느 곳에서도 현 위치측정이 가능한데, 이들 중 GPS(Global Positioning System)는 현재 미국에서 개발한 항법시스템으로 VLF수신기를 대체해가고 있는 바, 예로서 사막전에서의 군사용 및 선박, 항공기의 위치측정이나 지진, 화산분화 등을 미리 예측하는 기상분야 및 헬글라이더, 요트 등의 레저분야 등 수 많은 분야에 응용되고 있는 시점에, 본고에서는 GPS에 대한 개요 및 GPS응용에 대한 동향을 소개하고자 한다.

II. GPS(Global Positioning System)

1. 개 요

전세계 위치측정시스템 GPS는 미국방부(DoD : Department of Defence)가 군사목적으로 '70년대 부터 개발중인 전천후, 전세계, 3차원, 실시간 전파항법위성 시스템이다. 즉 GPS는 지구주변의 6개 궤도를 떠다니는 24개의 위성중에서 가장 수신하기 쉬운 3 ~ 4개의 인공위성 전파를 수신하여 지구상의 어느 지점에서든지, 짧은 시간에 기상조건에 무관하게 삼각측량의 원리로 경도, 위도, 고도를 측정할 수 있는 특징이 있다. 이 시스템을 다른

위치측정과 비교하여 볼 때 위치측정 정도가 높을 뿐 아니라 수신장치가 소형, 경량이며 가격도 저렴한 편이다. 지구 전 표면의 위치측정을 위해서는 18 ~ 24개의 위성이 필요하며 이 위성들은 동일한 반송 주파수로 송신하고, 지상에서는 복수의 위성신호를 수신하여 자신의 위치를 측정하는 것이다. 여기서 각 위성을 식별하고, 방해영향을 받지 않도록 하기 위해서 각 위성은 Spectrum 확산신호를 사용한다.



(그림 1) GPS 위성의 배치

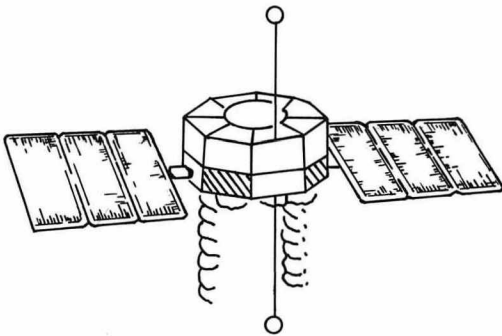
(그림 1)은 GPS 위성배치를 보이고 있는데, 6개의 서로 다른 원궤도에 각각 3개씩, 합계 18개의 항행위성이 발사되어 있다. 이 위성중 3 ~ 4개 위성에 탑재된 원자시계의 시각신호를 동시에 수신하여 전송시간을 알고 위성과 수신국 사이의 거리를 산출하는 동시에, 시간을 맞출 수 있다. 이때 GPS는 원호(圓弧) 방식에 의해 위치측정을 한다.

GPS는 space segment(우주분야), control

segment (제어분야), user segment (사용자분야)의 3개 분야로 구성되어 있는 종합적인 위치측정시스템이다.

space segment는 위성 자체이고, (그림 2)가 보여 주고 있듯이, 3축 자세제어위성이다. control segment는 위성의 발사, 궤도·자세제어, 궤도의 결정, 항법메시지의 분석 등이 여러 관제국에 의하여 제어된다.

user segment는 GPS 위성신호의 수신장치, 위치 측정 분석기이며, 미국, 일본 등 외국의 여러 회사에서 군용 및 민수용으로 개발하여 판매하고 있다.



(그림 2) GPS 위성 외관

현재까지 군용 및 우주의 탑재장치에 대해 여러가지의 수신기가 개발되었고, 항법성능의 시험결과도 다수 보고되고 있으며 선박, 차량탑재용등 이미 실제 이용되고 있는 것도 적지 않다. '91년도의 결프전에서는 사막지대에서의 병원, 전차, 병기 등의 유도용으로서 소형 GPS 수신기가 다수 조달되었다고 보고되고 있고, 항공기의 진입·착륙과 우주 계획에 GPS를 사용하기 위한 기술개발이 미·일등 선진 각국에서 활발히 행해지고 있다. 항법 이외에 시각동기, 위상간섭법에 의한 위치측정 및 지각변동

관측 등에 이용되고 새로운 우주 측지술로서의 지위는 확고할 만한 것으로 보고있다.

이와 같이 GPS의 이용은 이후로 점점 확대될 전망이다지만, 한편으로 민간이용을 제한하는 움직임도 있다. 즉, GPS를 원래 군사용으로 개발을 시작한 미국방부는 운용단계에 있어서 위치측정 정도를 의도적으로 제한하여 소위 SA (Selective Availability : 선별이용성)를 결정하고 있고, A-S (Anti Spoofing : 대기만성)라고 불리며 유사시 P코드를 비밀의 Y코드로 변환하여 민간이용자가 P코드로의 접근을 제한하는 것도 검토되고 있다.

<표 1> GPS 제원

평균고도, 주기, 궤도 경사각	20,000 km, 12시간, 55°
탑재 주파수표준기	Rb (2 or 3대), Cs (2 or 1대)
거리측정신호 중심주파수 (MHz)	L ₁ : 1,575.42, L ₂ : 1,227.60
거리측정신호 변조방식	PN (P, C/A code)에 의한 확산변조
P code 송신주파수 및 clock rate	L ₁ 및 L ₂ , 10.23 MHz (1주기=1 week)
C/A code 송신주파수 및 발생방식	L ₁ , 10단 FSR 2조에 의한 Gold code
C/A code clock rate	1.023 MHz (1주기=1ms)
송신데이터 및 rate	궤도정보, 탑재시각보정치, 50BPS

2. GPS 위성

GPS 위성에는 고안정도의 원자표준시계가 탑재되어 있고 이것을 기준으로 하여 항법용 신호를

송신하고 있다. 이 탑재시계는 미국해군관측소 (USNO)의 모시계에 1 μ s 정도로 동기된 주 제어국의 기준시계(GPS 시계)에 연관되어 동작하고 있고, 기준시계와 탑재시계의 관계는 위성의 궤도정보등과 함께 거리측정신호에 중첩되어 송신되고 있다. 이 시스템의 위치 측정신호는 2가지 종류가 있는데 송신주파수 L_1 (1,575.42 MHz)으로 송신되고 있는 C/A (Clear and Acquisition) code에 의한 것과, L_1 , L_2 (1,227.6 MHz)의 두 주파수로 송신되고 있는 P (Precision) code에 의한 것이 있다.

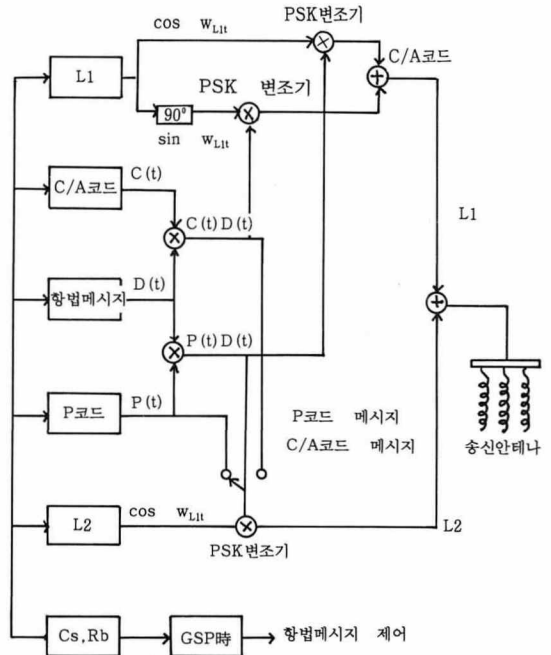
현재, 우주부분은 1978년도부터 1985년도에 걸쳐 발사된 Block I형 시험위성(1988년까지는 제한된 시간에 위치측정만 가능)과 당초 계획으로는 1986년부터 순차적으로 우주선을 발사하여 1989년도에는 완전운용할 예정이었지만, 우주선(첼린저)의 사고로 서틀계획이 대폭적으로 수정되어, 운용형으로 1989년 2월부터 발사가 시작된 새로운 Block II형 실용위성에 의해 구성되어 있어, 현재 시험용 위성 5대, 실용위성 11대의 전체 16대가 궤도상에서 운용되고 있다. 이중 Block II형 위성은 SA기능을 갖고 있지만 Block I형 위성에 관하여는 SA를 행할지 여부는 유보되고 있다. 1991년 7월말 현재, Block I형 위성은 발사순으로 유이잡음(PRN : Pseudo Random Noise)코드 6,11,13,12,3의 5개 위성과 Block II형 위성은 발사순으로 PRN 14,2,16,19,17,18,20,21,15,23,24의 11개 위성이 있다.

3. GPS 송신

GPS는 위성의 위치를 기준으로 하여 위치를 측정하고 있으므로, GPS 위성의 현재 위치를 알 필요가 있다. 따라서 GPS 위성은 그 궤도, 상태,

시각을 벗어나지 않게 정보(항법메시지)를 송신하고 있으며, 이 항법메시지를 해석하면 위성의 위치측정이 가능하다.

GPS 위성에서 정밀위치 측정에 필요한 정도가 높은 시간·주파수를 얻을 수 있어야 하므로 각 위성에는 세슘(Cs) 원자표준과 루비듐(Rb) 원자표준을 각각 2~3대 탑재하고 있다.



(그림 3) GPS 위성상의 위치측정용 전파송신내용의 개념도

기준주파수는 10.23 MHz이고, 모든 주파수는 이 주파수를 기준하여 만들어져 있다. 모든 GPS 위성은 동일주파수로 송신하고 있고, L Band의 2가지 반송주파수 L_1 , L_2 로써 동일 항법메시지가 송신되고 있다. 전리층 통과시 발생하는 L Band의 두 주파수 전파지연차를 최대 수십m의 지연을 보정할 수 있다. 항법메시지는 두 종류의 PN 부호로 2상(Two Phase) PSK (Phase Shift Keying) 변조가 되므로 스펙트럼 확산이 된다. 이 PN

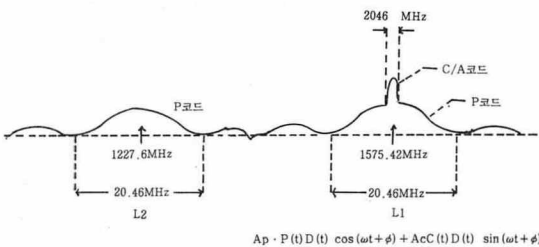
(Pseudo Noise) 부호는 C/A코드와 P코드로 부르고 있다. L₁밴드는 C/A코드와 P코드 양쪽에서 모두 2상 PSK가 가능하며, L₂밴드는 P코드만으로 변조되어 있다. 전자는 민간사용자에게도 사용되고 있지만, 보다 고정도의 정밀측정이 가능한 후자는 사용이 제한되고 있다.

III. GPS를 이용한 위치측정방식

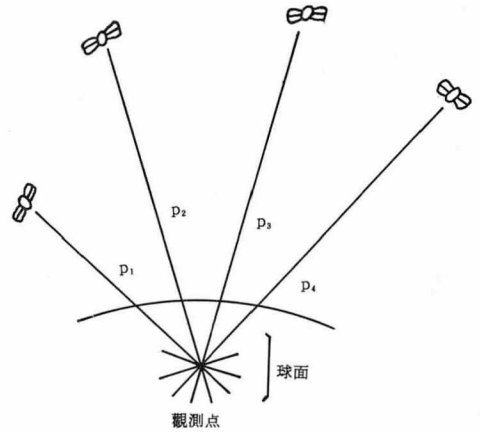
GPS 위치측정 방식에는 2가지가 있는데, 첫번째는 1대의 수신기의 절대위치를 측정하는 방식이고, 두번째는 2대 이상의 수신기 사이의 거리벡터를 측정하는 상대측정 방식이다.

1. 절대위치 측정방식

(그림 5)는 GPS를 이용한 기본적인 절대위치 측정방식의 개념도이다. 동시에 4개 이상의 GPS 위성으로부터 전파를 수신하고, 각 GPS 위성에서 수신장치까지의 거리를 측정한다. 각 GPS 위성이 동일시계(원자표준)를 사용하기 때문에 위치(궤도)를 정확하게 나타낼 수 있다고 가정하면, 얻어진 4개의 거리 데이터로부터 수신점의 위치 3차원 성분과 수신장치의 시계차를 알 수 있고, 위치측정과 시각동기가 행해지게 된다. 이 방식에서의 위치 측정 정밀도는 100 m~수10 m 정도이고, 선박, 항공기, 자동차 등의 항법지원에 이용된다.

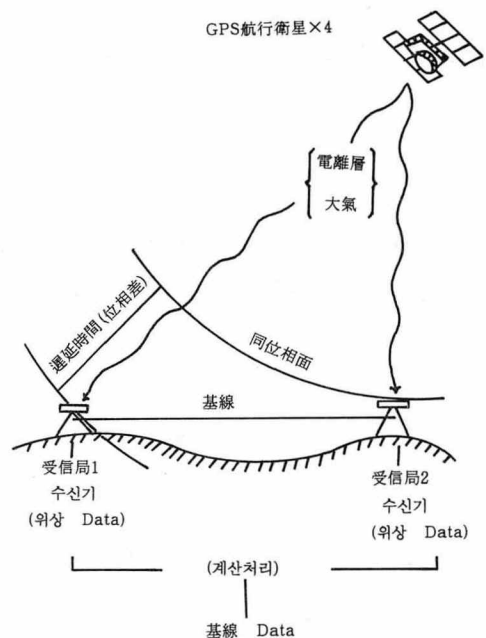


(그림 4) GPS위성의 송신신호 스펙트럼



(그림 5) GPS에 의한 절대위치 측정방식

2. 상대위치 측정방식



(그림 6) GPS에 의한 상대위치 측정방식

(그림 6)과 같이, 두 수신국에서 4개 이상의 GPS 위성을 동시에 수신하고, 거리데이터에서 수신국간의 3차원 상대위치와 시간차를 얻는 것이다. 이 방식에는 2국의 공동오차(위성의 시각오차, 전파 지연 보정오차의 대부분)를 제거함으로써, 2점간의 거리 오차가 10^{-6} 에서 10^{-7} 인 고정도 위치측정이 가능하다. 이 방식은 정밀측량과 건축분야에 현재 사용되고 있는 광파거리측정에 이용될 가능성이 있다. 정밀 지반변화의 데이터로부터 지진·화산분화 예상에도 적용 가능하다. 위성의 위치정도가 제한되어 있으므로 2점간의 거리는 3,000~5,000km 정도로 제한된다.

3. 고정도 위치측정의 고려점

가. GPS 위성의 궤도정도

위성위치정도가 위치측정정도에 직접 영향이 있으므로, 궤도를 정확하게 알 필요가 있다. count segment로부터 궤도추정에 관한 그 예측치가 항법 메시지에 포함되어 있으나, 장래 완전시스템이 되는 시점에 미국방부에서는 그 궤도 정도를 저하시키는 것도 검토되고 있다고 한다(제4장 "GPS 사용제한"에서 세부서술됨).

독자적인 정밀궤도추정을 행하는 경우, VLBI실험(초장기선 전파간섭법)에 의하면 위치가 정확히 결정되어 있는 Network에서의 궤도추정이 필요해진다.

나. 수신장치, 해석분석기

고정도 거리 데이터를 얻기 위해서는, 주파수가 안정되고 S/N비(Signal To Noise Ratio : 신호대 잡음비)가 좋은 수신장치가 필요하며, 또한 해석분석기는 정밀한 모델을 사용할 필요가 있다.

다. 수증기에 의한 지연보정

L밴드 신호는 전리층 뿐만 아니라, 대기중을 전파할 때에도 지연을 받는다. 전리층에서의 두 주파수 신호지연 차는 고 정도보정을 가능하게 한다. 대기중 건조공기에서의 지연도 지상의 기상 데이터로부터 고정도 보정이 가능하게 된다.

그러나, 수증기에 의한 지연량 추정을 고정도로 하는 것은 곤란하며, 현재 라디오미터가 개발되었지만, 현재 위치 수신장치 보다는 고가이다. 특히, 습도가 높은 곳에서는 절대지연량이 커지므로, 수증기에 의한 지연보정은 일본과 같은 나라에서는 향후 주요 과제일 것이다.

IV. GPS 사용 제한

GPS의 위성을 관리하고 있는 부서는 미국방부로서 미교통부와 전파의 민간 이용에 따른 각서를 교환함으로써 군사용과는 주파수가 다른 전파를 민간이 이용할 수 있는 체제를 마련하였다. 그러나, 원래 군사용으로 개발되었던 GPS의 민간 이용상의 문제점(규제)으로서 SA와 A-S가 있다. 지금까지 민간용의 GPS 수신기가 여럿 제작되고, 여러가지 탑승용으로 시험되어 왔는데 모두 계획단계에서 민간용으로 예정된 위치측정 정도의 상한 100 m보다 훨씬 정확한 20~40m로 보고되었다. 이 결과 안전보장상 위기감을 직감한 미국방부는 민간이용자의 정도를 고의로 저하시키는 일 - SA -을 결정하고 어떻게 하면 저하시키는지의 방책을 검토했다. 현재 SA는 국가안전보장상 고의적인 오차원을 방출력(曆) 및 위성탑재시계에 부가함에 따라, SPS(Standard Positioning Service)는 민간이용자의 위치측정(즉 속도, 시각)의 정도를 저하시키는 것으

로 정의되고 완전 운용단계에서 실시되는 것으로 여겨지고 있다.

PPS(Precise Positioning Service) 즉, 군관계의 이용자는 SA 오차를 제거하는 정보가 주어지게 되고 SA의 영향을 전혀 받지 않는다. SA는 방송되는 궤도 parameter의 조작과 위성시계의 불안정에 따른 조작의 2단구성으로 실시되고, 전자는 장주기의 SA오차를 또 후자는 장주기 및 단주기의 SA 오차성분을 전한다. 그 경우의 3차원 위치측정정도는 120 m, 즉 수평도(위도, 경도)에서 100 m (95%), 고도에서 150 m 정도가 된다고 보고 있다. SA off시의 SPS에 의한 위치측정정도는 20~40 m이기 때문에 이것은 3배의 정도저하에 해당한다. 이와 관련하여 속도와 시각의 정정도 각각 0.3 m/s, 300~400 ns (1ns=10⁻⁹s)까지 저하한다고 예측되고 있다.

A-S는 거짓의 항법신호의 송신이 있는 경우에, P코드를 변화시켜 Y코드를 만들에 따라 위치측정 성능을 보호하는 능력이다. SPS와 마찬가지로 액세스 가능한 한편, Y코드, 궤도 데이터 및 시계의 주파수 조작을 보정하는 수단으로 액세스할 수 있다. SPS는 일반에 개방되고 PPS는 미국과 동맹국의 군 및 특별 허가된 민간의 이용자만에 제한되고 있다.

<표 2> SA 및 A-S의 SPS와 PPS 측위정도

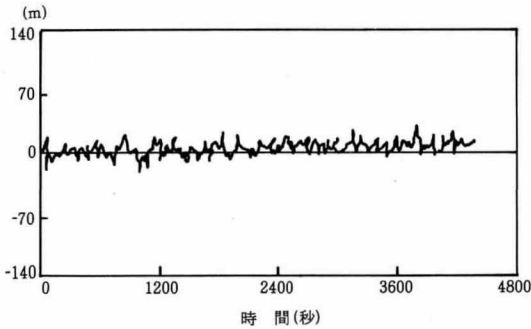
구 분	code	SPS (민간용)	PPS (군용)
SA	C/A code	>100m	~30m
	P code	>100m	~10m
A-S	Y code	NO ACCESS	~10m

여기서, GPS의 운용단계에서 실시된다고 여겨지고 있는 SA가 의사거리(擬似距離)에 외형상 어떤

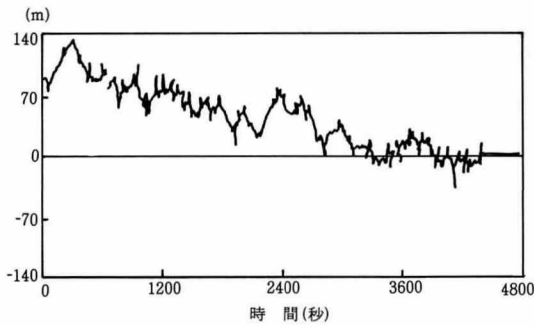
식으로 나타날 지를 실제의 관측데이터의 해석으로부터 추정된 결과를 소개한다. '90년 7월 23일 오후, 일본항공기술연구소의 위치좌표를 이미 알고 있다는 점에 있어 이 연구소의 GPS수신기 NAVCORE-1(C/V CODE, 1 CHANNEL, 최대 4위성이용, 순차수신기)에 의해 PRN 6,9,11,14의 4위성에 대해 의사거리의 관측데이터를 취득했다. 여기서 PRN 14는 Block II 위성, 다른 모든 것은 Block I 위성이다.

동시에 수신한 항법신호 데이터에 의하면 관측한 4위성 모두 완전하게 set되고, 또 C/A CODE의 위치측정정도 레벨을 표시한 이용자거리 측정정도 URA(User Range Accuracy/궤도 데이터의 메시지에 포함)는 각기 16 m (PRN 11), 4 m (PRN 6), 2.8 m (PRN 9), 32 m (PRN 14)로 되어 있기 때문에 Block II 위성의 PRN 14는 SA가 ON으로 되어 있다고 보고 있다. 이 이유는 URA 32 m가 100 m (95%) SPS에 대응하기 때문이다. 이 위성배치에서는 PRN 11의 제어각이 최대(~55°)이고, 게다가 Block I 위성이기 때문에 SA는 없는 것으로 판단해, 수신안테나의 위상중심좌표는 미리 알고 있으므로 PRN 11에 대한 의사거리와 델타 의사거리의 데이터만 사용하여, GPS시각에 대한 수신기의 클럭 바이어스를 칼만 필터에 따라 추정했다. 다음으로 수신기의 시계오차를 이 추정치로 고정하고, 또한 알고 있는 수신기의 위치좌표를 갖고 4위성 (PRN 6,9,11,14)에 대한 의사거리의 관측 오차를 산출했다. 이렇게 해서 얻어진 오차는 방송력(曆)오차 및 위성시계오차의 보정오차를 나타내고, 만약 SA환경에 있으면 의도적으로 조작된 측정오차, 즉 SA의 추정치를 얻는다고 생각되어진다. PRN 6에 대한 의사거리 관측오차를 (그림 7)의 (a)에 나타나 있다. 확실히 관측잡음이 크며,

각종 오차원에 대한 보정오차는 상대적으로 매우 작다(원래 SA는 없다). 그 크기(RMS)는 11.7 m이다. PRN 9, PRN 11에 관해서도 거의 같은 크기였다.



(a) PRN 6(SA 없음)



(b) PRN 14(SA 있음)

(그림 7) PRN 6과 PRN 14에 대한
의사거리 관측오차

여기에 대해, PRN 12에 대한 오차는 (그림 7)의 (b)에 나타내듯이 Block I 위성과 달리 명확히 SA에 의한 것으로 보여지는 계통적인 움직임을 나타내고 있다. 즉 의사거리오차는 방송력오차 및

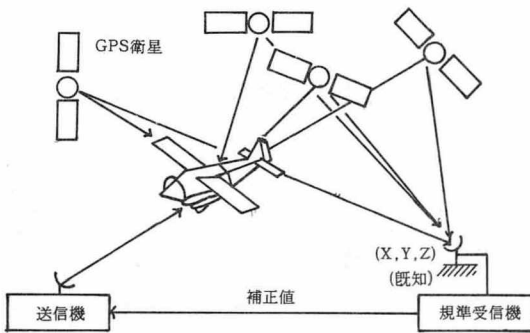
위성시계의 불안정에 의한 것으로 여겨지는 장주기 오차성분이며 위성시계의 불안정에 의한 것으로 보여지는 단주기의 오차성분도 크다. 이 경우에는 관측기간(~4400초)에 있어서 피크는 약 130 m, RMS는 53.5 m로 되어 있다.

30 m의 의사거리오차는 거의 수평방향의 위치측정정도 100 m(95%)에 해당하므로 공표되어 있는 미국방부의 정책대로의 SA 즉 위치측정정도의 저하가 GPS의 운용단계에서 실시될 것이 예상된다. 즉, PPS를 사용하는 군 및 특별히 허가된 이용자는 SA환경 아래서도 SA에 의한 거리오차를 제거할 수 있는 정보가 주어지고 SA의 영향을 받지 않는다. 그러나 SPS User(사용자)가 SA의 환경에서 즉, 고정도를 확보할 수 있는 기술 Differential GPS(DGPS: 차동 GPS)가 있다. SA오차는 단독 위치측정에서는 제거할 수 없고 다음에 서술하는 DPGS에 의해서만 그 대부분을 제거할 수 있다.

V. 차동(Differential) GPS

C/A Code에 의한 단독위치측정의 정도는 현재 20~40 m이다. 그러나, 전장에서 서술했듯이 SA가 실시된다면 SPS의 정도는 ~100 m(95%)의 레벨까지 저하된다. 또, 이 저하가 없더라도 민간의 이용자 중에는 더욱 고정도를 요구하는 응용이 있다. 이것은 SPS를 차동 모드로 사용함에 따라 해결될 수 있다. DGPS는 위치를 알고 있는 기준국에서 측정된 위성과 기준국간 거리의 측정오차에 기반을 둔 보정치를 몇개의 통신수단을 포함해서 이용자에 보내고, 이용자는 보정을 함에 따라 위치측정정도를 향상시키는 수법이다(그림 8). 이것에 따라, dynamic한 이용자는 5~20 m, 일반 이용자는 3 m 이내, 특히 위상 데이터를 사용하면 수

cm의 정도가 달성 가능하다. DGPS에서는 여럿의 GPS 오차원중 기준국과 이용자에 공통적인 오차만이 보정가능하다. 단, 공통적인 오차중에서도 급속히 변화해서 보정 불가능한 오차는 대상으로 되지 않는다. 후자는 실시간 위치측정을 필요로 하는 이용자만에 적용되는 일이다. GPS 오차원의 대부분이 DGPS의 대상이며, 대표적인 오차는 SA오차, 전리층지연(遲延), 대류권지연, 궤도력오차, 위성시계오차이다. 한편 기준국과 이용자간에서 공통이 아닌 오차(예를 들면, 수신기잡음, 멀티패스)는 DGPS에 의해 제거할 수 없다. DGPS의 또 다른 이점은 의도적인 저하가 아닌 경우, 예를 들면 위성이 원자시계가 아닌 수정시계로 운용되고 있는 경우에서도 공통오차는 제거 가능하고 역시 위치측정정도를 향상시킬 수가 있는 것이다.



(그림 8) 차동 GPS

DGPS를 실현하는 방식으로서 일반적으로 다음의 4가지 방식이 있다.

(1) 지상의 수신기에서 취득한 관측데이터(의사거리, 의사거리변화율 또는 델타 의사거리)의 오차를 추정하고 그들을 보정량으로서 몇가지의 수단(무선등)으로 이용자에게 송신한다(관측영역에서의 보

정법).

(2) 지상의 수신기로 취득한 관측데이터로부터 위치측정계산을 행하고 측량치와의 차를 보정량으로 하고 몇개의 수단으로 이용자에게 송신한다(항법영역에서의 보정법).

(3) 이용자측의 수신기에 의한 관측데이터를 그대로 지상국에 송신하고 지상의 수신기로 취득한 관측데이터의 오차를 고려해서 지상의 컴퓨터에 의한 이용자의 정확한 항법계산을 행한다. 필요하면 그 결과를 이용자에게 송신한다(자동중계기방식).

(4) 지상에 설치한 의사위성(pseudolite)으로부터 GPS 위성과 완전히 같은 항법신호를 송신함과 동시에 DGPS 보정량도 송신한다(의사위성방식).

각기 일장일단이 있는데 모두 지상의 수신기 위치는 이미 알려진 점에서 정지하고 있다고 판단된다. 그러나 방식(1) ~ (3)에서는 기준수신기가 정지하여야 하는 것은 절대조건이 아니고 이동체라도 상관없다. DGPS에서는 절대위치가 아닌 상대위치가 보다 정도가 양호해질 수 있다. 예를 들면, 우주 정거장을 기준으로 우주선의 상대위치를 DGPS에서 고정도로 결정할 수 있다. 이와 같이 생각하면 우주에서의 랑데뷰·도킹, 비행기의 편대 비행과 급유등에서도 적용할 수 있음을 알 수 있다. 일반적으로 방식(2) 보다도 (1)의 관측영역에서의 DGPS보정이 실용적이며 정도도 좋다고 되어 있다. 방식(3)은 동시에 복수의 이용자를 지원할 수 없는 단점은 있지만 지상의 컴퓨터를 사용가능한 것, 비행분석에 적용하는 일 등으로부터 비행체의 비행 실험 등에서 자주 사용되고 있는데, 기상컴퓨터의 부담은 증가하지만 항법결과를 기상에서 직접 이용자가 처리하여 얻어지는 이점이 있다. 방식(4)는 DGPS 기능과 함께 위성배치가 나쁜 경우에도 지상의 의사위성과 조합시킴에 따라 PDOP

(Position Dilution of Precision)의 향상을 동시에 견지한 것이다. 지상의 의사위성은 GPS위성의 항법신호와 같은 것을 송신하려는 의도로 설계되어 있고 이용자는 GPS 위성과 마찬가지로 수신가능하다. 의사위성외에 지상용 GPS 수신기가 필요하다. 원래 이 아이디어는 18 위성배치 경우에 생기는 수십분간의 저하된 PDOP의 개선을 목표로 한 것이다. 위성배치에 있어서도 저하된 적용범위가 지구상에 4개소이고 1일 1번씩 서쪽으로 이동하며 거기에서는 PDOP치가 10을 넘는 시간은 3분 이하가 되므로, 의사위성방식이 유효하다. 특히 위성의 고장 혹은 기체운동이나 지형·건물에 의한 위성전파의 중단이 예견되는 경우에도 PDOP를 양호하게 보존할 수 있기 때문에 항공기의 진입·착륙항법에 유망하다고 본다.

VI. GPS복합항법과 완전성 (Integrity) 감시

관성항법장치(INS)는 상대위치·속도, 자세각을 연속적으로 출력하는 센서인데 가속도계와 Gyro의 오차 때문에 항법오차가 축적되고, 그 전형적인 크기는 위치에 관해 매시 2해리 정도가 된다(단기안정), 한편, GPS는 이산적으로 절대위치·속도를 주고 시간과 함께 증대하는 듯한 오차원은 없다(장기안정). 그러나 자세정보는 얻을 수 없고 또한 위성의 고장에 대해 치명적으로 약하다. 그래서 GPS 데이터에 의해 IMS 표류현상을 제거하고 또, INS에 의해 GPS의 완전성을 감시할 수 있다. 즉, 두 시스템을 종합함에 따라 각 시스템 단독으로는 얻을 수 없는 성능과 신뢰성을 갖는 복합항법시스템을 구성할 수 있다. 이와 같은 GPS/INS 복합시스템은 GPS의 초기단계로부터 연구되어 왔

지만 근년의 Ring Laser Gyro와 Optical Fiber Gyro의 눈부신 발전과 함께 재차 주목되어 오고 있다. 항공분야에서는 이외에 GPS/기압고도계, GPS/Loran-C, 또한 GPS/GLO-NASS(Global Navigation Satellite System : 소련이 개발중인 GPS와 유사한 군용 전파항법 위성시스템), GPS/MLS(Micro과 착륙 유도시스템) 등의 복합시스템이 구미에서 매우 활발히 연구되고 있다. 이 중 진입·착륙 등의 특히 고정도가 요구되는 비행단계에서는 DGPS와 복합되는 것은 당연하다. 현재 사용하는 ILS(계기 착륙시스템)를 사용하지 않고 DGPS/INS만에 의한 항공기의 자동 착륙비행실험이 이미 NASA의 Langley연구센터와 Braunschweig공대(독)에 의해 독립적으로 행해져서 완성되고 있다.

MLS는 고저유도장치, 방위유도장치 및 정도거리 측정장치(DMF-P)로 구성되고, 공항에 곡선진입하는 항공기에 (활주로에 상대적인) 3차원위치정보를 제공하는 새로운 착륙유도시스템으로 현재 사용하고 있는 ILS(직선진입을 위한 표준착륙 원조시설)를 대신해 '90년대말부터 운용될 예정이다. MLS는 활주로에 접근할수록 정도가 높은 위치정보를 주고 반대로 멀어질수록 정도는 저하하는 한편, 곡선진입하는 항공기의 자세와 건물 등에 의해 전파의 중단이 일어난다. 한편 DGPS는 위성에 고장이 없는 한 항공기의 착지점에서의 거리와는 무관하게 정도가 높은 상대위치를 준다. 따라서, MLS를 DGPS로 복합함에 따라 GPS의 완전성을 감시하면서 공항지역에 있어 고신뢰의 위치정보를 조종사에 제공할 수 있다.

완전성이란 그 시스템이 항법에 사용할 수 없는 만큼 오차가 커졌을 경우에는 그것을 이용자에 적시에 경보하는 시스템의 능력으로 정의된다.

GPS가 단독으로는 민간항공용의 항법시스템으로서 이 완전성의 경보한계와 경보까지의 시간과의 요건을 만족하고 있지 않은 일이 문제가 되고 있고 여러 종류의 제안과 연구가 행해지고 있다.

<표 3> GPS와 GLONASS의 비교

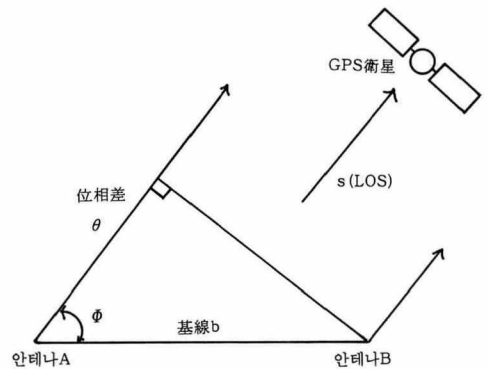
구 분	GPS	GLONASS
운 용 단 계 의 수	21+3(spare)	21+3(spare)
궤 도 면	6, 위상 60°	3, 위상 120°
궤 도 면 주 위 의 수	4, 불등간격	8, 등간격
궤 도 경 사 각	55°	64.8°
궤 도 고 도	21,180 km	19,100 km
궤 도 주 기	약 11시간 58분	약 11시간 16분
기 준 좌 표 계	WGS 84	SGS 85
기 준 협 정 세 계	UTC (USNO)	UTC (SU)
반 송 주 파 수 (MHz)	L ₁ : 1,575.42 L ₂ : 1,227.60	(1,602+k*9/16) (1,246+k*7/16) k=0,1,...,24
위 성 신호 분 할	code분할 다원 접속	주파수분할 다원 접속
코 드	위성마다 다름 C/A code : 1.023 P code : L ₁ , L ₂	위성에 공통 L ₁ , L ₂
코 드 주 파 수 (MHz)	C/A code : 1.023 P code : 10.23	0.511 5.11
Clock보정	Offset, Drift Drift rate	Offset, Drift
궤 도 데 이 터	매시 수정 (케플러 궤도요소)	30분마다 위치, 속도, 가속도 수정

한편, GLONASS의 내용은 종래는 전적으로 비밀이었으나 1988년에 ICAO(국제민간항공기관)의 FANS(Future Air Navigation Systems : 장래항공항법시스템) 위원회 및 IMO(국제해사기관)의 Safety of Navigation(35th session) 소위원회에서 소련은 그 시스템의 parameter를 공표하고

수신기도 제작가능하게 되었다. 또한 1989년 2월 미국운수성과 FAA의 대표가 모스크바를 방문, GPS와 GLONASS의 공용문제를 협의하고 그 결과가 4월의 ICAO의 FANS의 Working Group에 양국의 공동문서로서 제출되었다. 양 시스템의 공동 사용은 빨라야 '94년이 될 것 같다.

VII. GPS 간섭법의 응용

GPS에서는 code위상외에 반송파위상을 관측할 수 있다. 반송파위상은 기본적으로 위성수신기 사이의 거리를 나타내는 것으로 보며 또한 1 cycle의 1/100까지 위상을 제측하는 것은 용이하기 때문에 GPS 반송파위상의 정도는 0.01 cycle, 거리환산에서는 약 2 mm가 된다. (그림 9)에 나타나 있듯이 2개의 안테나로 관측한 위상차로부터 기선(期線) vector가 상당히 정밀하게 결정할 수 있다. 이것을 VLBI(초장기선 전파간섭법)와의 대비로부터 GPS 간섭법이라 부른다. VLBI에 있어서 전파원으로서의 준성(準星)이 GPS위성, 전파의 도달시간차가 위상차 θ 에 대응한다고 생각하면 된다. 이러한 위상간섭법은 GPS에서 하나의 눈동자이며 광범위한 응용이 기대된다. 아래는 대표적인 응용예를 소개한다.



(그림 9) GPS 간섭의 원리

1. 자세결정

상당히 흥미깊은 응용예로서 GPS에 의한 자세결정이 있다(GPS gyro라고 불리는 것이다). 즉, 근접하게 설치된 2개의 안테나에서 수신되는 반송파 위상데이터의 차동조작에 의한 대기운반과 GPS위성의 궤도력 오차에 따른 공통의 오차를 소거할 수 있다. 이것을 사용하면 고정도의 자세정보가 얻어진다. 예를 들면 3 m 떨어진 2개의 안테나에 3 mm의 차동 정도는 miliradian의 자세정보를 제시한다. 3개 이상의 안테나를 사용하면 3차원의 자세결정이 가능하다. 이 기술에 의해 파이프라인, 댐, 건물 등 거대구성물의 구조적인 변형을 연속해서 무인으로 감시할 수 있는 한편, 우주분야에서는 지금까지 관성센서 또는 항성센서에 의존해 있던 자세결정이 (고정도 위치측정과 동시에) 보다 고정도로 GPS단독으로 달성할 수 있게 되고 랑데뷰·도킹, 안테나의 포인팅 등 응용범위는 넓다고 여겨진다.

2. Kinematic · Dynamic GPS

거리환산으로 수 mm라고 하는 초고정도의 위상간섭 데이터에 따라 지상의 2점간의 상대거리 기선장(基線長)을 1 ppm(one-part-per-million)보다 양호한 확도로 결정가능하다. 위상간섭법의 응용예로서 Kinematic GPS가 있다. GPS에 따른 정적측량에서는 2점에 수신기를 놓고 위성과 수신기간 반송파 위상의 모호성을 안테나교환 등에 의해 해결한 후 한쪽 수신기를 위성신호에 고정된 차량레차레 측량점으로 이동해 그들의 측량점에서 단시간 정지하여 측정치를 모으는 방법으로 밀리미터급의 측량정도를 기대할 수 있다. 이 기술은

이동체의 위치의 고정도 상대위치측정(연속위치결정)에 응용할 수 있다(Dynamic GPS라고 불리운다). 이것에 의해 항공기의 위치를 10 cm 이내의 정도에서 결정할 수 있고 사진측량, 항공중력·자기측정 등의 원격감지분야에 상당히 유효하다.

3. 간섭위치측정과 지각변동관측

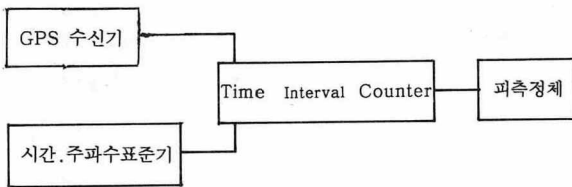
VLBI와 인공위성, Laser 등의 대규모 거리측정장치는 대륙간 규모의 관측에 유효하다. 그외에 GPS는 간편하고 저렴한 장치로서 일반에는 수백 km까지의 기선장의 관측에 유효하다. 일본에서는 현재 100대를 넘는 관측용 GPS수신기가 대학을 중심으로 지각변동관측을 위해 운용되고 있다. '90년 10, 11월에는 일본 최초의 국내 Campaign과 「GPS JAPAN '90」이 실시되고 30개를 넘는 대학과 국외 기관이 참여해서 일제히 GPS관측을 행했다. 제2회 Campaign은 '91년 가을에 열렸다. 이러한 관측을 계속함에 따라 일본열도 근처에 일어나고 있는 지각운동과 지각변동에 대한 데이터를 취득할 수 있다고 기대되고 있다.

이것은 GPS 간섭법(위상차관측)에 따라 2점간의 거리를 오차가 수 mm~수 cm로 결정할 수 있는 것을 이용하고 있다. 간섭위치측정에 있어서 여러가지의 오차원중 최종적으로는 GPS 위성 궤도력의 정도가 GPS 이용의 제한요소가 된다고 여겨지고 있다. 예를 들면 위상데이터의 처리에는 GPS 위성의 궤도력이 불가결하지만 0.1 ppm의 정도(100 km 기선에 대해 ± 1 cm)를 달성하기 위해서는 위성위치정도 2 m가 요구된다. 여기에 대해 일반이용자는 액세스 가능한 GPS 위성자신이 항법신호로서 방송하는 광보력(廣報曆)의 궤도위치정도는 현재 5~20 m 정도로 보여지고 있다. 또한, 이미 서술하였듯이

운용단계에서 방송력의 정도를 고의로 저하시키는 SA가 예측되는데, GPS를 제약없이 고정도로 사용하기 위해서는 민간의 세계적인 GPS 추적망에 따른 정밀케도를 결정할 필요가 있다고 여겨지며, 때문에 GPS 케도결정은 국제측지학연맹이 주관하는 국제 협력사업으로서 실시 되어야 한다.

VIII. 시간 · 주파수 교정과 GPS

시간 · 주파수 교정에는 대표적으로 사용하는 표준 단파, 표준장파, LORAN-C신호, TV신호, 이동원 자시계를 이용하고 있지만, 최근에는 인공위성을 이용한 방송위성, GMS, GPS를 이용하는 경향이 있다. 그중에서 GPS방식은 대표적으로 사용하는 방법이다. 인공위성에서 시각을 수신하여 각 위성국 수신국의 수신시각차를 컴퓨터에 산정하고, 수신국의 표준시계를 이용하여 고정도의 표준시각을 결정한다. (그림 10)과 같이 수신국에 장비를 설치하여 인공위성에서 수신한 표준시각을 기준으로 하여 피측정체를 교정하는데 사용한다.



(그림 10) GPS를 이용한 시간 · 주파수 교정시스템



(그림 11) 교정용 GPS수신기 예

IX. GPS 이용 시각비교

GPS를 이용한 시각비교에는 (그림 11)과 같은 2가지 방식이 주로 사용된다. 하나는 일반적인 이용방식으로 GPS 위성이 상공을 통과할 때 시각비교를 행하는 기관이 GPS정보(거리측정 및 케도정보)를 수신하여 지상의 시계와 시각비교를 행하는 방식이다. 지상의 두 시계와 수신신호의 시간간격 T_1, T_2 는 다음 식으로 표시되어 진다.

$$T_1 = T_{1s}(t_1) + \frac{\rho_1(t_1)}{C}$$

$$T_2 = T_{2s}(t_2) + \frac{\rho_2(t_2)}{C}$$

여기서 $T_{is}(t_j)$: $t=t_j$ 에 i 의 시계와 탑재시계의 시각차

$\rho_i(t_j)$: $t=t_j$ 에 지상국 i 와 위성간의 전파 거리(전리층 대기권에 의한 증가분 포함)

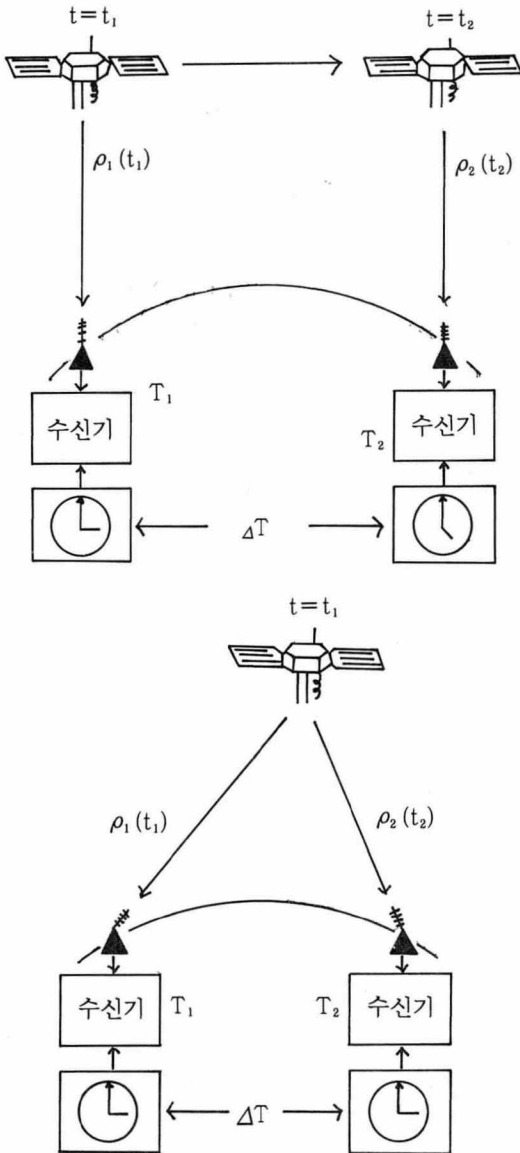
GPS로부터의 케도 데이터 등에 의한 $\rho_i(t_j)$ 의 추정치 $\rho_i(t_j)$ 라 하면 상기식으로부터 양국의 시각차 ΔT 는

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_1 - T_2 - \frac{\rho_1}{C} + \frac{\rho_2}{C} \\ &= T_{1s}(t_1) - T_{2s}(t_2) + \frac{1}{C} \{ \rho_1(t_1) - \rho_1(t_1) \} \\ &\quad - \frac{1}{C} \{ \rho_2(t_2) - \rho_2(t_2) \} \end{aligned}$$

이 된다.

이와 같이 본 방식에서는 양국의 측정시간의 차이 ($t_1 \neq t_2$)가 있기 때문에 그 시각 사이의 탑재시계의 안정도 및 케도데이터의 정밀도가 오차의 원인이 되는데 이 오차는 50 ns 정도 된다. 다른

한 방법은 시각비교를 행하는 양국에서 동시에 GPS신호를 수신하므로 탑재시계, 궤도데이터 등의 영향을 받지 않는다. 따라서 10 ns 정도의 정확도로 시각비교를 할 수 있으나 이 경우에는 양국에서 동시에 수신하기 때문에 양국간의 거리가 3,000 ~ 5,000 km 정도로 제한된다.



(그림 12) GPS를 이용한 시각비교

X. GPS 일반응용

1. 선박·항공기의 위치측정 인식시스템

선박·항공기와 같은 이동체가 지상의 가시영역내에서 자신의 위치를 인식할 수 없는 경우의 위치인식 방법으로써, 천체관측, 지자기이용, 광등대, 전파등대 등 여러가지 수단을 이용하여 나타내기도 한다. 최근에는, 인공위성으로부터의 신호를 이용한 이동체의 위치인식시스템이 일반화되고 있다. 이동체의 항로결정 방법을 역사적으로 볼때, 천문학방법, 나침반 등의 고전적인 방법과 위성항법, 전파항법 등 새로운 방법으로 분류한다. 항해술, 측량술 등에 있어 임의의 두점 사이의 각도나 태양, 달, 항성 등의 고도를 재는 육분의에 유사한 천체방위계 측을 통하여, 선박의 위치를 인식하는 방법은 고대로부터 20세기초까지 긴 역사를 가지고 있다. 나침반도 등대위치, 선박의 속도(이동거리) 등을 조합한 위치인식시스템, 항로제어시스템(지문항법, 추진항법) 등에 이용할 수 있다. 20세기 중반이후로는 DECCA(1944~), OMEGA(1958~), LORAN-C(1959~) 등 전파항법이 일반화 됐다. 이것들은, 지상의 여러 곳에서 발신된 장파·중파를 이용한 쌍곡선항법이다. milli파를 이용하는 이동체의 위치인식도 쌍곡선 항법을 따르고 있다. 인공위성을 이용한 이동체의 위치인식시스템에는 NNSS(Navy Navigation Satellite System)와 GPS가 있다. 전자는 미국 해군이 개발한 항행위성시스템이다. NNSS에 이용하는 항행위성은 고도 약 1,000 km의 극궤도에 있고, 사용자는 이 위성이 발사하는 전파의 도플러 주파수차를 측정하여 자신의 위치를 산출한다. 한개의 위성이 보이는 시간은 평균해서 1시간 이상이며, 1회 위치측정에 약 10분 걸린다.

최근에는 인공위성의 위치를 기준하여 즉각 자신의 위치를 판명할 수 있는 GPS방법이 사용되고 있다. 최근 민수용으로 일본에서 개발된 선박, 항공기의 GPS시스템은 Sony가 '91년 7월 모티브트나 행글라이더 등의 주로 레저용 소형휴대시스템을 개발하였다. 이는 목표 지점을 지정시키기만 하면 아무런 표지나 목표물이 없어도 정확히 목표지점에 도착하게 된다.

2. 자동차의 위치시험과 GPS

GPS의 민수분야에서 가장 시장성이 크다고 여겨지는 것은 자동차 항행(Navigation)장치이다. 자동차 항행시스템에는 종래부터 자이로·지자기센서와 주행거리를 조합한 극성항법(INNS)이 개발되어 있다. 단지 이 방법은 위치측정오차가 적산됨에 의해, 시간과 함께 정도가 악화해 가는 결점이 있어 그다지 보급되고 있지는 않다. 인공위성을 이용하는 근접항법이 바람직 하지만, 이것은 정도가 높은 반면에 인공위성을 많이 설치할 필요가 있다. 1986년에 GPS와 독립적인 항행시스템을 이용한 자동차용 항행시스템이 개발되었다. 이것은 4개의 인공위성으로부터의 전파를 동시에 수신하고, 각 위성과의 거리를 위성의 위치와 수신차로부터 컴퓨터로 산정하여 차의 위치를 오차 100 m 이내로 결정하고, 그것을 6인치형 컬러브라운관에 1/25,000의 도로지도를 자세하게 나타내고, 이 중앙에 위성에 의해 결정되는 자기차의 위치를 붉은 마크로 표시하는 구조로 되어 있다. 차의 주행에 따라 지도가 움직이고, 자동차의 위치 마크는 스크린 중앙에 나타난다. 일본에서는 Pioneer가 '90년 6월부터 이 장치를 판매 개시하였는데, 일본 전역의 지도를 CD ROM에 입력해 놓고 GPS의 경도·위도 정보와 결합시킴으로써 자동차의 진행방향을 화면의 도로위에

표시하는 것이다. 이외에 Nissan자동차가 '91년 8월에 GPS를 장착한 자동차를 시판하기 시작하였고, Toshiba가 5.9" 액정 모니터와 소형 본체, 안테나로 구성된 자동차용 GPS시스템을 개발하는 등 자동차와 관련된 민수용시스템 개발이 활발하다.

XI. 결 론

GPS는 아직 운용단계에 들어가지 않았음에도 불구하고 여러가지 탑재장치의 항법지원 시스템으로서 이용이 급속히 확대되고 있다. 이미 항법용센서의 하나로서 정착했다고 해도 좋다. 현재, 다른 항법센서와의 복합화, DGPS, 자세결정, Dynamic GPS 등 응용기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 본래, GPS는 항법을 주목적으로 하지만 시각동기, 측지·지구물리학 연구에 굉장히 강력한 수단이라는 것을 알아왔다. 정밀측량과 지각변동관측은 전보다 중력장, 지오이드의 결정, 해면상승률과 지구회전운동 관측등의 응용연구가 전세계에서 활발히 행해지고 있다.

GPS 및 GLONASS의 48개 항해위성이 지구를 회전하고 있어 전세계 어디에서나 머리 위에는 언제나 수십개의 위성이 보인다고 하는 시대가 다가왔으나, GPS의 잠재적 능력의 일부분의 이용밖에 아직 개척되지 않았다고 보고 있으므로, 가까운 미래에 현 시점에서는 전혀 상상할 수 없는 새로운 이용과 응용이 나타날 것임에 틀림없고, 시간·주파수 교정분야에 있어서도 GPS는 어느 곳에서나 손쉽게 설치 운용할 수 있고, 주파수 안정도가 좋다는 이점이 있어 앞으로 많이 이용되리라 본다.

참 고 문 헌

1. GPS의 새로운 응용, 계측과 제어 (日), Vol.30, No.10, '91.10.
2. 건설용 지능 로봇연구, 계측기술(日), '91.9.
3. Global Positioning System, Navigation Vol.1 , '84.
4. Global Positioning System, Navigation Vol.1 , '85.
5. Global Positioning System, Navigation Vol.1 , '86.
6. 시간, 공업진흥청, KSRI-ET-83, '86.12.
7. 측정계측 시스템, Odetics, '91.8.