

## 技術解説

## GPS(Global Positioning System) 기술

금 홍 식, 유 흥 균

(Hong Sik Keum, Heunggyoon Ryu)

(충북대학교 전자공학과)

## 요 약

위치, 속도 및 시간측정을 정확하게 수행하는 GPS 기술이 최근들어 일반 사용자들에게 널리 활용되는 추세에 있다. 본 고에서는 GPS 기술의 일반적인 내용과 수신기 구성에 필요한 요소기술을 소개한다. 한편, 국내외 기술개발의 동향을 분석한다.

## ABSTRACT

Recently, GPS system has been widely introduced for application of vehicles which performs accurate measurement of position, velocity, and time. In this paper, we investigate the general system specification and key technology for the implementation of GPS receiver system. In addition, the development trends of GPS technology in domestic and foreign industries are also studied.

## I. 서 론

미국의 권위있는 과학지 디스커버지는 매년 자동차, 우주항공, 컴퓨터 하드웨어, 소프트웨어, 환경, 광학, 및 음향의 7개 부문에 걸쳐 그해에 가장 뛰어난 기술을 선정하고 있다. 1991년도의 컴퓨터 하드웨어 분야에서 GPS(Global Positioning System) 기술이 선정되었다.

GPS는 미국 국방성이 1970년대 부터 35억달러를 투자하여 개발을 추진하고 있는 인공위성을 이용한 위치 측정 시스템이다. 지구 주위를 돌고 있는 위성에는 위치 측정에 필요한 데이터를 주파수 확산 방식으로 변조된 전파가 송신되고 있다. 복수의 위성(2차원 위치 측정의 경우 3개의 위성, 3차원 위치 측정의 경우 4개의 위성)으로부터 전파를 수신하여 그 데이

터를 프로세서로 계산함으로써 위치가 측정되며, 측정시점의 절대사각도 측정이 가능하다. 또한 지도 데이터를 이용하여 화면에 디스플레이하여 2차원적인 표시도 가능하다.

GPS는 정식으로는 NAVSTAR /GPS(NAVigation System with Time And Ranging /Global Positioning System)라 부른다. 이 명칭은 인공위성의 이름에도 사용되는데, 이 경우는 System을 Satellite로 대치한다. GPS의 전신은 미 해군이 개발하고 있던 TIMATION(TIME And navigaTION)과 미 공군의 621B의 두 프로젝트이다. 이것을 1973년에 미국방성이 통일하여 NAVSTAR /GPS로 명명한 것이다.

기존의 항법 /위치 시스템으로는 지상 관제 유도장치, 관성 항법 장치와 인공위성을 이용한 미국의

TRANSIT, 소련의 CICDA등이 있다.

지상 관제 유도 장치의 대표적인 항법 시스템에는 방향제시기와 이착륙 표시판을 함께 사용하여 비행기의 이착륙시 방향유도를 위해 사용하는 VOR (VHF Omnidirectional Ranging)와 타 비행 이동체에서도 신호를 수신할 수 있으며, 상대적 위치와 속도 정보까지 제공되는 TACAN(Tactical Air Navigation)과 LORAN-C등이 있다. 관성 항법 장치는 기지(known) 장소와 관성 항법 데이터에 대한 초기값을 이용자 시스템 내부에 저장시킨 후, 이동에 따라서 새로운 위치값을 계산하는 장치로서, 초기의 오차가 계속적으로 누적되는 단점이 있다. 이와같이 기존 지상 관제 유도 장치나 관성 항법 장치에서는 200m 이상의 큰 위치 오차가 발생할 수 있으며, TRANSIT와 CICADA는 24시간 사용이 곤란하며, 이용자의 속도정보의 입력이 요구되는 단점을 지니고 있다.

GPS의 응용분야로는 항법 장치 분야로 방위산업 및 항공관제 시스템, 해운관제 시스템, 교통관제 시스템에 활용될 수 있으며, 육상 운수업과 고부가가치의 자동차 항법 시스템, 선박항법 시스템, 항공기 항법 시스템에 활용될 수 있다. 정보 통신 분야로는 휴대용 통신 장비, GPS 측량 장비, GIS, 정보 탐사 산업, 자원 탐사, 원격 탐사등에 활용될 수 있다.

## II. 위성을 이용한 위치 측정 시스템

이전부터 사용하고 있는 로란, 오메가, 데카, 그리

고 위성을 이용한 NNSS의 전파항법 시스템에서는 이용할 수 있는 지역이 한정되거나 충분한 감도가 얻어지지 않는다는 등의 제약이 있었다. 그래서 개발된 것이 인공위성을 이용하여 전지구 규모로 이용할 수 있도록 한 것이 미국의 GPS나 소련의 GLONASS이다.

또 이동체(선박, 항공기, 자동차 등) 측에서 위치를 인지할 뿐만 아니라, 미국에서 운용되고 있는 GEOSTAR에서 볼 수 있는 것처럼 장거리 전송 트랙 등을 집중 관리하고, 동시에 메시지도 전송하는 시스템도 있다. 이 시스템은 정지위성을 이용하여 위치의 인식과 통신을 실현하고 있다.

이와 같이 인공위성을 이용하여 측위 또는 통신과 측위하는 시스템을 총칭하여 무선측위 위성 시스템(Radio Determination Satellite System)이라 부른다. 대표적인 시스템은 다음과 같다.

### 1) GLONASS

이 시스템은 소련이 개발하고 있는 GPS로 1988년에 대략적인 내용이 발표되었다. 영국의 Leeds 대학에서는 내용이 발표되기 이전부터 이 GLONASS 시스템의 위성으로부터 전파를 수신하는 등의 방법으로 해석을 시도하여 GPS와 비교, 양쪽 시스템을 이용하는 방식 등을 제안하기도 했다. GLONASS는 미국의 GPS와 거의 같으며 몇가지 차이점이 있는데, 주요한 것으로는 GPS가 위성마다 다른 PRN 코드(의사잡음부호)를 사용하고 같은 반송파 주파수를

표 1. GPS와 GLONASS의 비교

	GPS(미국)	GLONASS(소련)
위성의 수	21+3	21~24
궤도의 고도	약 20,000km	약 19,100km
궤도의 수	6	3
궤도 주기	11시간 56분 4.09초	11시간 15분 43.8초
반송파 주파수	1.57542GHz 1.2276GHz 모든 위성이 같은 주파수	1.6GHz대 1.2GHz대 위성마다 다른 주파수
다중방식	CDMA(코드 분할 다중)	FDMA(주파수 분할 다중)
통신방식	스펙트럼 확산(직접법)	스펙트럼 확산(직접법)
의사잡음코드	위성마다 다르다.	모두 같은 코드를 사용
chip rate	1.023 Mbps 10.23 Mbps	0.511 Mbps 5.110 Mbps

사용하고 있는데 대해, GLONASS에서는 같은 의사잡음 코드를 사용하고 위성마다 다른 반송파 주파수를 사용하는 FDMA로 되어 있는 점 등이다.

이들 시스템을 비교한 것을 표 1에 나타냈다. 궤도의 고속, 궤도의 수, 경사각 등에도 차이가 있지만, 시스템적으로 아주 비슷하다는 것을 잘 알 수 있다. GPS와 마찬가지로 정밀측위와 표준측위가 준비되어 있듯이 두 반송파 주파수가 사용되고 있는 것은 전리층에서의 굴절에 의한 오차를 보정하기 위함이다.

## 2) GEOSTAR

이 시스템은 미국의 Geostar사가 쌍방향 통신과 측위 서비스를 하기 위하여 구축하고 있는 것이다. 현재는 북미로 한정되어 있지만, 최종적으로는 전세계로 확대하려고 하고 있다. 시스템은 제어국(컨트롤 센터), 측위의 기준이 되는 복수의 고정 지상국, 유계 단말장치, 그리고 2개 이상의 정지위성으로 구성된다.

이 시스템은 스펙트럼 확산 통신을 이용하여 측위와 통신을 하는 것으로 컨트롤 센터는 정지위성의 하나를 이용하는 모든 등록되어 있는 단말장치에 대해 질문을 실시한다. 단말장치는 항상 수신상태이며, 자기의 ID(인식번호)를 검출했을 때만 송신한다.

이 송신된 신호는 2개의 위성을 경유하여 컨트롤 센터에서 수신하게 되는데, 그 시간차에서 위치의 측정을 할 수 있게 된다. 정지위성은 적도상에 있으며, 지구의 북반구와 남반구에 각각 특정 장소가 존재하지만, 유계의 이동범위가 한정되기 때문에 어느 한쪽에 특정된다. 측위의 정확도를 높이기 위하여 복수의 지상국이 설치되며, 이들 지상국에 대해서도 유계의 단말장치와 마찬가지로 질문을 실시하여 보정 정보를 수집한다. GEOSTAR는 북미에서 운용되고 있지

만, 그 유계는 주로 장거리 전송트랙이다.

## 3) OmniTraces

GEOSTAR와 마찬가지로 트랙의 운행을 관리하는 것이 이 OmniTraces이다. 이 시스템은 기본적으로 인공위성(정지)을 경유한 이동체 통신 시스템으로서, 측위 기능으로서는 로란 C를 사용하고 있다.

## 4) Navsat

Navsat는 유럽우주기관(ESA)이 계획을 추진하고 있는 측위 위성 시스템으로 1985년에 제안되었으며, 같은 시기에 제안된 독일의 GRANAS와 통합되어 현재에 이르고 있다.

GPS와 마찬가지로 스펙트럼 확산 통신으로 측위하고 있지만 다른 점은 위성의 배치이다. 이 시스템은 정지위성과 타원궤도의 주회위성으로 구성되어 있다. 타원궤도는 경사각이 약 60도이며, 모두 3개가 있고, 각 궤도에 2개의 위성이 배치된다. 이것으로 쌍방향 통신을 주로 목적으로 한 6개의 정지위성을 조합하고 있다. 타원궤도는 주기가 12시간이며, 주로 북반구에서 측위하는데 중점을 둔 배치로 되어 있다. 모든 위성은 같은 주파수로 같은 PRN코드를 송신하는데, 위성끼리 간섭을 방지하기 위해 시분할로 송신하도록 배려되어 있다.

## III. GPS 시스템

GPS는 현재의 항법 시스템과는 비교도 되지 않을 정도의 정확성으로(오차 ±수십m) 지구상의 어느곳에서도 이용할 수 있는 인공위성을 이용한 항법 시스템으로 사용자는 종래의 전파항법 시스템과 마찬가지로

표 2. GPS의 제원

평균고도	20,000 km
주기	11시간 56분 4.09초
궤도 경사각	55°
탑재 주파수표준기	루비듐시계, 세슘시계
거리측정신호 중심주파수	L1 1575.42MHz L2 1227.60MHz
거리측정신호 변조방식	PN부호(P code, C / A code)에 의한 확산변조
P code 송신주파수	L1 및 L2
P code clock rate	10.23MHz(1주기 = 1week)
C / A code 송신주파수	L1
C / A code 발생방식	10단 FSR 2조에 의한 Gold code(주기 1023bits)
C / A code clock rate	1.023MHz(1주기 = 1ms)
송신 데이터	궤도정보, 탑재시각보정치 등
데이터 송신	50BPS

지로 전용의 수신기를 설치하는 것만으로 정확한 위치를 알 수 있다.

### 1) GPS 제원

GPS의 시스템 완성시에는 예비기 3개를 포함하여 합계 24개의 위성이 발사되고, 세계에서 1일 24시간 3차원 위치 측정을 할 수 있게 된다. 지금 현재는 위성 수가 16개이며, 1일 22시간 정도 2차원 위치 측정이 가능하다. GPS의 제원은 표 2와 같다.

### 2) GPS 구성

NAVSTAR를 중심으로 GPS 구성을 살펴보면, 크게 우주부분(space segment), 제어부분(control segment), 이용자 부분(user segment)으로 구분할 수 있다. 먼저, 우주부분을 자신의 정확한 궤도 정보와 시각 및 항법/위치 오차 신호를 연속적으로 송신하는 GPS 위성, 그리고 GPS 위성과 지상 제어 부분 사이의 정보 전달 역할을 하는 SD 위성(Surveillance Data link)으로 나눌 수 있다. 제어부분은 GPS 위성을 감시할 목적으로 있는 지상 감시국(Ground Monitoring Station), 지상 감시국들로부터 데이터 수집 및 전 GPS 시스템을 제어하는 주 제어국(Master Control Station), 그리고 인공 위성에 대한 명령과 데이터를 송수신하는 안테나로 구성된다. 마지막으로 GPS용 수신기를 가지고 있는 모든 대상으로 구성된 이용자 부분이 있다.

### 3) 위치 및 시각의 계산

4개의 위성파와 이용자로부터 상화간의 위치 및 시각에 대한 정보를 이용하여 다음 식으로부터 계산된다.

$$\left. \begin{aligned} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2 &= (r_1-re)^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2 &= (r_2-re)^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2 &= (r_3-re)^2 \\ (x-x_4)^2 + (y-y_4)^2 + (z-z_4)^2 &= (r_4-re)^2 \end{aligned} \right\} (1)$$

여기서,  $x, y, z$  : 이용자의 위치  
 $x_1, y_1, z_1$  : 위성 1의 위치  
 $x_2, y_2, z_2$  : 위성 2의 위치  
 $x_3, y_3, z_3$  : 위성 3의 위치  
 $x_4, y_4, z_4$  : 위성 4의 위치  
 $re$  : 위성에서의 송신 시각과 이용자 시각과의 차이로 생기는 오차를 나타내는 파라미터

$r_1, r_2, r_3, r_4$  : 각 위성으로부터 이용자까지의 의사거리이다.

미지의  $(x, y, z)$ 는 위 식 (1)에서 구해진다.

측정된 위치와 오차 원인은 의사거리 측정값에 들어있는 오차와 사용된 위성의 위치오차 등이 있다. 이들 오차의 영향을 줄이려면, 첫째로는 위성의 선택이 잘 되어야 한다. GDOP(Geometric Dilution of Position)을 최소로 하는 위성들을 선택하여 사용하면 이들 오차를 최소로 줄일 수 있다. 그러나, 이러한 방법은 필요한 4개의 위성을 여러 개의 위성으로부터 선택해야 하므로 여분의 많은 위성이 존재하여야 한다. 둘째로는 의사거리 측정값의 오차요인을 줄이는 방법으로, 전리층, 대류권 등의 전파지연시간, 수신기 내의 지연시간, 상대론 효과, 다중 경로에 의한 영향 등을 보정하는 것이다.

의사거리는 위성신호가 수신기까지 오는데 걸리는 시간에 광속도를 곱한 것이다. 따라서 의사거리는 시간간격으로 측정된다. 전리층의 전파지연시간은 최소 수 ns(약 0.1~0.3m)에서 최대 60~70ns(약 20m)가 된다. 이를 보정하는 방법으로는 전파경로상의 전자수를 측정하여 계산하는 방법, 위성에서 송신되는 전리층 모델의 파라미터에 의한 계산법, 그리고 2개의 주파수를 수신하여 전리층의 영향을 직접 계산하여 이용하는 방법이 있다. 대류권에 의한 전파의 지연시간은 위성의 양각 및 계절적인 수증기양의 변화에 따른 통계치를 근거로 보정한다. 크기는 약 20ns 이내로, 전리층의 영향과 비교할 때 상대적으로 적은 것이다.

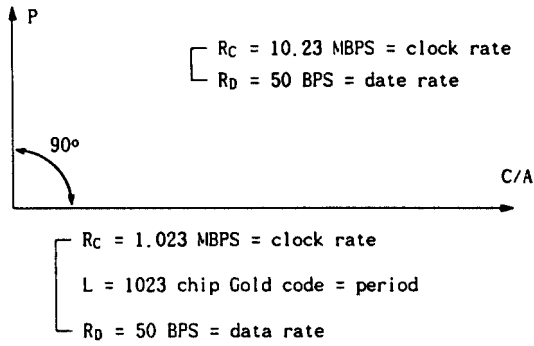
## IV. GPS 신호와 Gold 코드

### 1) GPS 신호

GPS 위성이 지구로 향해 송신하고 있는 신호는 모두 원자시계로부터 얻어지는 안정한 주파수로 만들어지고 있다. 기준이 되는 주파수는 10.23MHz이고, 표준 측위를 위한 방송파는 이 주파수의 154배인 1.57542GHz( $L_1$ )이며, 고확도 측위에서는 120배인 1.2276GHz( $L_2$ )로 되어 있다. 또 송신되는 데이터의 클럭 주파수도 이 기준주파수와 정수배의 관계로 되어 있다.

실제 위성상에서의 기준주파수는 10.23MHz보다 0.00455Hz 낮은 주파수로 되어 있다. 이것은 일반 상대성 이론에 기인하여 위성의 궤도상에서 받는 중력

$$S_{L1i}(t) = A P_i(t) D_i(t) \cos \omega_i t + 2 A G_i(t) D_i(t) \sin \omega_i t$$



P 신호 = long secure code with 50 BPS data  
 C/A 신호 = 1023 chip Gold code with 50 BPS data

그림 1. GPS L1 신호의 phasor.

이 지구상과 다르기때문에 발생하는 오차를 보정하기 위함이다. 지구상에서 수신하면 정확히 10.23MHz가 된다.

GPS 위성은 일종의 방송위성으로서, 메시지를 반복해서 송신하고 있다. 수신기에서는 이 정보로부터 각 위성의 상황이나 정확한 위성의 위치를 알고 전파가 도달하는데 요하는 시간에서 현재 위치를 구하는 계산을 한다.

이들 정보는 표준 측위용의 L<sub>1</sub>, 고확도 측위용인 L<sub>2</sub>의 양쪽 방송파(캐리어)에 의해 송신되고 있지만, 고확도 측위는 군사용으로만 그 이용이 제한되고 있다. 민간의 이용이 인정되고 있는 표준 측위에 관한 정보만 공개되고 있다.

이 표준 측위에서는 1.57542GHz의 방송파가 사용되고 있다. 항법 메시지는 그림 2에 나타낸 바와 같이 하나의 프레임이 1,500비트의 크기이며, 이것을 50비트/초의 속도로 송신하고 있다. 1프레임은 5개의 서브 프레임으로 구성되며, 최초 3개의 서브 프레임의

내용은 같지만 4번째와 5번째는 위성의 개별정보(almanac이나 전리층의 보정계수)로 되어 있으며, 프레임마다 내용이 바뀐다. 이것을 페이지라 부르며, 1부터 25페이지까지 있다. 이 모두를 마스터 프레임이라 부르고 있는데, 시스템 전체의 정보를 수집하는데 12.5분의 시간이 걸린다.

모든 GPS 위성이 송신하고 있는 방송파(캐리어)의 주파수는 동일하다. 단순히 생각하면 혼신을 일으킬 것 같지만, 이것을 방지하기 위하여 스펙트럼 확산의 통신 방식을 채택하고 있다.

이 방식은 위성마다 각각 다른 암호를 부여하고, 미리 그 코드로 데이터를 변조하고 나서 방송파를 변조하는 것이다. 이 코드를 발생하는 주파수는 전송해야 할 데이터의 속도보다 충분히 높게 선택된다. GPS에서는 직접확산이라 부르는 방식으로 방송파의 변조에 PSK가 이용되고 있다.

이 변조방식은 데이터의 위상을 180도 변화시킨 것으로 2상 위상변조라고도 부른다. GPS에서는 개개의 위성에 각기 다른 코드를 설정하고 데이터를 넓은 대역으로 확산함으로써 복수의 위성이 같은 주파수의 대역을 공유할 수 있도록 하고 있다.

위성으로부터 정보를 수신하기 위해서는 각 위성의 고유 코드를 수신기가 해독하고 있을 필요가 있다. 표준 측위용으로 사용되고 있는 것이 C/A코드(공개되어 있다)라 부르는 것으로, 이것은 고확도 측위에서 사용되는 P코드(비밀)를 보정하기 위해서도 사용된다. C/A란 clean and acquisition 또는 coarse and acquisition의 약자이며, P는 precision 또는 protect의 의미이다.

C/A 코드의 길이는 1,023비트 클럭 주파수는 1.023MHz로 되어 있다. 즉, 이 코드의 반복은 1msec로 된다. 또 P코드의 속은 클럭 주파수가 10배인 10.23MHz이고, 반복주기는 1주간의 코드가 사용되고 있다. 여기서 길이를 계산하며 6.187014 × 10<sup>12</sup> 비트라는 터무니없는 길이로 되어 사실상 해석은 불가능하게 되어 있다.

이 C/A 코드의 발생에 사용되고 있는 것은 그림 3에 보이는 것과 같이 같은 2조의 10비트 쉬프트 레지스터에 의한 의사잡음발생회로의 출력을 합성한 것으로 Gold코드발생회로라 부르는 것이다.

한쪽의 의사잡음발생회로는 M계열이라 부르는 회로이며, 2<sup>N-1</sup> 주기의 코드를 발생한다. 다른 하나의 잡음 발생회로도 마찬가지로 2<sup>N-1</sup> 주기로 발생되는 회로인데, 쉬프트 레지스터의 임의 두 출력의 배타적

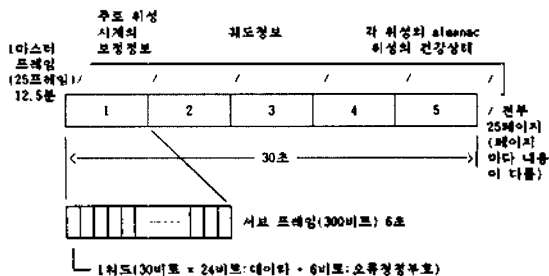


그림 2. GPS 항법 메시지의 구성

논리합을 출력으로 하고 있다. 10개의 출력에서 2개를 선택하는 조합은 45종류가 된다. 즉 이 회로에서 45종류의 각기 다른 코드가 발생되며 각 위성에 할당되어 있다. 이것이 PRN번호로 되어 있다.

2)Gold 코드

Gold codes는 GPS(global positioning satellite)과 TDRSS(tracking data relay satellite system)의 분야에서 다중 접속 코드용으로 사용된다.

이론  $1 > f(x)$ 와  $g(x)$ 는 n차 원시 다항식쌍이며 그 상용하는 쉬프트 레지스터는 주기  $2^n - 1$ 의 최장열을 발생시키며, 그들의 상호 상관함수  $R(k)$ 는 식 (2)의 부등식을 만족한다.

$$|R(k)| \leq \begin{cases} 2^{(n+1)/2} + 1 & n \text{ odd} \\ 2^{(n+2)/2} + 1 & n \text{ even} \end{cases} \quad n \neq 0 \pmod 4 \quad (2)$$

Gold는 이론 1의 결과이후 Gold code가 상호 상관도와 상대 주파수의 삼단계 상호 상관도 값을 갖는다. 그래서 n이 우수일때(그리고 모드 4에서 0가 아닐 때) 코드는 상관된 75%의 코드어에 대해서  $-1/L$ 의 아주 작은 상호 상관도를 갖는것을 알 수 있다. 사실상 Gold codes의 상관함수는 단지 다른 발생 주파수에도 같은 상관도를 갖음을 보였다. 이런 상관값(상호 및 자기)은 양 코드가 같은 심벌 타이밍으로 동기되었다고 가정되었음을 주시하여야 한다. 전형적인 CDMA 환경에서는 이 사실은 맞지 않는다. 그러나 초기 추정에서는 유용하다.

상호 상관값은 사실 이 서로 다른 Gold codes의 승의 스펙트럼의 dc성분이다. 그리고 도플러가 존재할 때(그래서 스펙트럼의 진폭이 승의 퓨리에 성분의 앞부분의 합보다 크다) 그들 역시 대역 통과 필터 상관도의 출력에 있기때문에 고려를 하여야 한다. 이것을

설명하기 위하여 0.625 MBPS의 칩율을 갖는 서로 다른  $2^n - 1 = 511$  길이의 서로 다른 Gold codes 승의 portion을 제시한다.

Gold는 Gold codes가 세가지의 balance로 나눌 수 있음을 보였다. 이 balanced code는 "1"의 개수가 "0"의 개수보다 하나 많은 코드이다. 다른 2종류는 "1"이 많고 적다. n이 기수이면 "1"의 개수와 그 "1" 대한 코드의 개수는 표 3과 같다.

집합 1에는  $2^{n-1}$ 개의 "1"이 있고  $2^{n-1} - 1$ 개의 "0"가 있어 balanced되었다. 집합 2와 3은 unbalanced 되었다.

표 3. 기수 n에 대한 balanced와 unbalanced 코드의 수.

조합	코드 시퀀스에서 "1"의 개수	그 "1"의 개수를 갖는 코드의 수
1	$2^{n-1}$	$2^{n-1}$
2	$2^{(n-1)} + 2^{(n-1)/2}$	$2^{(n-1)} - 2^{(n-3)/2}$
3	$2^{(n-1)} - 2^{(n-1)/2}$	$2^{(n-1)} + 2^{(n-3)/2}$

Gold 코드는 선형 maximal-length(ML) 시퀀스의 조합에 의해 생성되는 합성 시퀀스이다. Gold 코드의 특성은 다음과 같다.

- ML 시퀀스로 부터 구성되지만 ML 시퀀스는 아님.
- 좋은 상관 특성을 가짐.
- 간단한 계관 보직으로 구현됨.

Gold 코드는 두개의 ML 시퀀스의 modulo-2 덧셈에 의해 생성된다. 그리고 코드의 길이는 다음 식 (3)과 같이 주어진다.

$$L_{GC} = 2^n - 1 \quad (3)$$

표 4. ML 시퀀스를 위한 계관 연결

단수	코드길이	ML 시퀀스 맵 점
6	63	[6, 1] [6, 5, 2, 1] [6, 5, 3, 2]
7	127	[7, 1] [7, 3] [7, 3, 2, 1] [7, 2, 3, 2] [7, 6, 4, 2] [7, 6, 3, 1] [7, 6, 5, 2] [7, 6, 5, 4, 2, 1] [7, 5, 4, 3, 2, 1]
8	255	[8, 4, 3, 2] [8, 6, 5, 3] [8, 6, 5, 2] [8, 5, 3, 1] [8, 6, 5, 1] [8, 7, 6, 1] [8, 7, 6, 5, 2, 1] [8, 6, 4, 3, 2, 1]
9	511	[9, 4] [9, 6, 4, 3] [9, 8, 5, 4] [9, 8, 4, 1] [9, 5, 3, 2] [9, 8, 6, 5] [9, 8, 7, 2] [9, 6, 5, 4, 2, 1] [9, 7, 6, 4, 3, 1] [9, 8, 7, 6, 5, 3]
10	1023	[10, 3] [10, 8, 3, 2] [10, 4, 3, 1] [10, 8, 5, 1] [10, 8, 5, 4] [10, 9, 4, 1] [10, 8, 4, 3] [10, 5, 3, 2] [10, 5, 2, 1] [10, 9, 4, 2]

n=10인 경우, Gold 코드 발생기의 구성도는 다음과 같다.

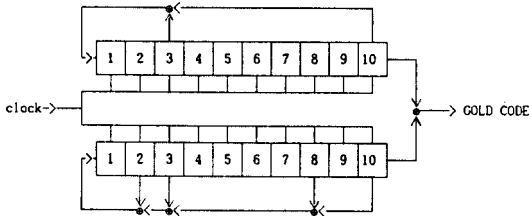


그림 3. Gold 코드 발생기

### V. GPS 수신기

GPS 위성신호는 안테나에 수신되어 저잡음 증폭기 및 대역통과 필터를 거쳐 75.42MHz의 중간주파수로 down-conversion된다. 이 중간주파신호는 C/A-코드 및 P-코드 그리고 50bps의 항법정보에 의하여 변조되어 있으며, 잡음을 포함한다.

75.42MHz의 중간주파신호는 위성과 사용자의 상대변위에 따라서 최대 4.8KHz의 도플러 변이를 가질 수 있으며, 이를 보정하기 위하여, 컴퓨터에 의한 예상변위에 따른 도플러 변이량을 보정하는 방향으로 국부발진기를 조절하며, 이 국부발진기는 다음의 데이타 복조를 위한 servo의 일부로도 겸용된다.

도플러 변이가 보정되고, 2차 중간주파수(10.7MHz)로 변환된 신호는 지연동기루프를 거쳐 반송파와 50 bps의 항법정보만으로 분리되는 역확산 과정을 거치며, 이 과정에서 위성과 수신점간의 거리에 따라 발

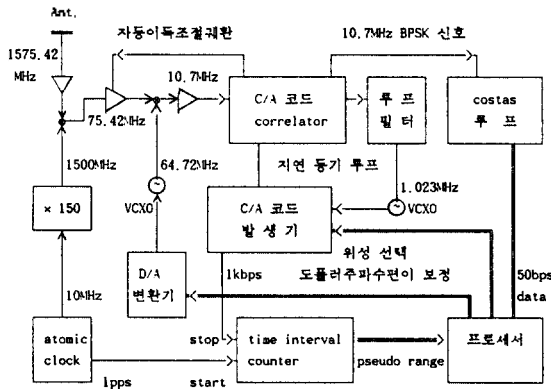


그림 4. GPS 수신기의 구성

생된 전파지연시간이 포함된다. 이때, 지연동기루프의 입력신호 레벨에 따른 위치측정 오차가 발생할 수 있으므로 신호 레벨을 일정하게 유지하기 위한 레벨 검출기가 구성되어, 주파수 변환부의 초단으로 개환된다.

역확산을 거친 신호는 단지 항법정보(navigation message)에 의해서만 변조되어 있으며, 이는 costas 루프를 거쳐 복조된다. 수신기의 각 부분은 컴퓨터에 의하여 제어되며, 필요한 부분의 신호는 컴퓨터에 의해 읽혀진다.

의사거리의 측정은 수신점시계의 기준점과 역확산 과정에서 포착된 전파지연시간분을 갖는 수신기내의 상관 코드의 기준점간의 시간간격을 계수함으로써 이루어진다. 시간간격계수기의 분해능은 5ns로서 이는 거리로 약 1.5m에 해당된다.

#### 1)지연 동기 루프

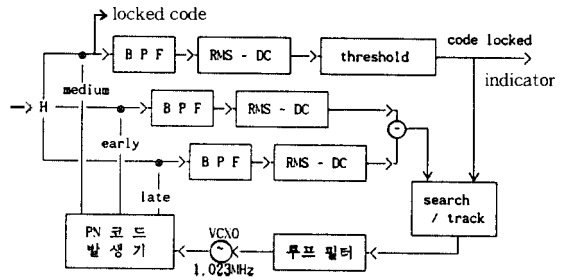


그림 5. 지연 동기 루프 구성도

GPS 수신기에 있어서, 기본적인 기능은 수신기내에서 발생시킨 pseudo-noise(PN) sequence를 수신된 특정 위성신호의 PN sequence에 locking시키는 기능을 수행하는 것이 지연동기루프(delay-lock loop)로 잘 알려져 있는 상관 루프(correlation loop)이며, 위성을 이용한 위치 측정에 있어서도, 수신기의 성능은 거의 상관 루프의 특성에 좌우된다. 그림 5는 지연동기루프의 구성도이다.

위성신호는 C/A-코드와 P-코드에 의한 대역 확산 변조기가 되어 있으나 P-코드는 공개되어 있지 않으므로, C/A-코드에 대한 상관루프의 동작에 대해 살펴본다. C/A-코드는 1.023Mbps의 chipping rate를 가지므로 우리는  $-T$ 에서  $+T$ 구간 동안 약  $2\mu s$ 의 상관 구간을 얻을 수 있다. 만일 위치측정의 정밀도를 0.3m(시간으로는 1ns)이내에 들 수 있도록 하기 위해서는 전체 상관구간의  $1/2000$  이내에서 상관루프

가 tracking할 수 있도록 설계되어져야 한다. 상관 루프에는 몇가지 유형이 제시되어 있으며, 이들 중 가장 진보된 형태로는 non-coherent tau-dither loop가 있다. 이는 구조면에서도 간단하며 구성상 자체균형 (self balancing) 특성을 가지므로 신뢰도가 높으며 루프 특성 면에서도 가장 유리한 것으로 알려져 있다.

루프를 locking하도록 하기 위한 정보를 얻기 위해서는 각 1/2 chip만큼씩의 early, late 된 수신기내의 PN 시퀀스에 의한, 수신된 신호의 PN 코드에 대한 수신기내에서 발생시킨 PN 코드의 빠르고 늦음이 검출되어져야 한다. 이 기능을 위하여, 일반적인 지연 동기 루프에서는 상관 믹서로부터 상관 서보 적분기에 이르는 부분이 early 코드와 late 코드에 대하여 각각 병렬로 구성된다.

$\tau$ -dither형 지연동기루프에서는 이 부분이 단일 계통으로 구성되며, 동일한 기능을 수행할 수 있도록 되어 있다. 이 동작의 기본은 위의 계통을 early코드와 late코드에 대한 상관값을 구하는 작업을 하나의 계통을 시간적으로 분할하여 공유하는 것으로 설명된다.

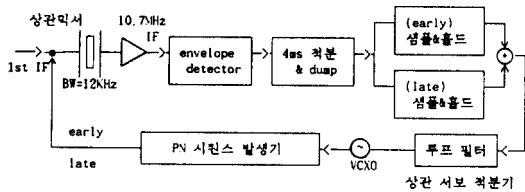


그림 6.  $\tau$ -dither loop 의 구성도

그림 6에서 살펴보면, 상관믹서로부터 envelope detector에 이르는 부분이 상관값을 구하는 기능을 하며, 전체 상관 루프를 제어하는 timing회로에 의하여, PN 시퀀스와 샘플&홀드가 상관기를 시간적으로 분할하여 공유할 수 있도록하고 있다. 이 때, early코드에 대한 상관값의 late 코드에 대한 상관값이 가산기에 의하여 차가 구하여지며 우리는 이 차에 의하여 오차전압을 구할 수 있게되며, 이 오차전압에 의하여 상관 루프가 locking된다.

예를 들어 설명하면, 어느 시점에서 수신기내의 PN 발생기의 출력이 early phase를 가지며 4ms동안 지속된다고 하자. 이 결과 수신된 PN 시퀀스와 상관값은 적분&dump(I&D)에 의하여 적분된다. 4ms

의 마지막 순간에 early 샘플&홀드(S&H)는 I&D의 출력을 샘플하기 위하여 strobe되며 이때 샘플된 값은 8ms동안 일정하게 DC값을 유지한다. 이 과정이 late phase에 대해서 반복되며 상관 서보 적분기는 가산기의 출력으로부터 편차를 감지하게 되며, 이 편차를 0으로 하기위해 필요한 전압을 출력시켜 VCXO를 조절하게 되며, 이 때의 동작은 일반적인 2차 PLL의 동작과 동일한 방법으로 해석할 수 있다. 이와 같이 시분할 방식에 의한  $\tau$ -dither형의 상관루프를 채용함으로써, 루프에서 신호대 잡음비의 개선을 이룰 수 있고, early, late 채널에 의한 불균형을 제거 하였으므로, 위치측정에서의 정확도를 향상시킬 수 있다.

위치측정을 위하여 필요한 위성과 수신점까지의 거리측정은 상관루프가 locking된 상태에서 이미 설정된 수신점의 GPS time과 전파지연 시간을 포함하여 위성으로부터 수신점으로 도달된 위성신호에 tracking하는 수신기 내부에서 발생된 C/A 코드의 특정한 위상간의 시간간격을 측정하여 이루어진다. 이 시간간격은 광속을 곱하면 바로 거리를 환산할 수 있으며, 몇가지의 오차성분을 포함하므로 의사 거리라고 한다.

수신점의 위치를 알기 위해서는 수신점과 위성간의 거리측정치를 현재의 위성위치에 대하여야 하며 기타의 오차요소 및 필요한 정보를 획득하기 위하여 위성신호에 포함된 항법정보를 복조하여 사용한다.

항법정보는 50bps의 bit rate로 반송파에 확산변조용 코드와 직교되어 BPSK 변조되어 있다. 상관루프를 거치는 동안 확산변조용 코드는 소거되며, 항법정보를 복조하기 위해서는 반송파를 재현하여 수신신호에 곱하여 변조신호만을 복원하게 된다.

GPS 수신기에서는 costas 루프를 채택하여 복조를 행하고, 복조된 항법정보는 컴퓨터에 의하여 읽히지며 preamble과 기타 기준점의 데이터를 참조하여 계산에 필요한 형식으로 재배열 되어 RAM으로 보내진다.

### 2)C/ A 코드 발생기

C/A란 clean and acquisition 또는 coarse and acquisition의 약자이다.

C/A 코드의 길이는 1,023비트 클럭 주파수는 1.023MHz로 되어 있다. 즉, 이 코드의 반복의 1msec로 된다.

이 C/A 코드의 발생에 사용되고 있는 것은 같은 2



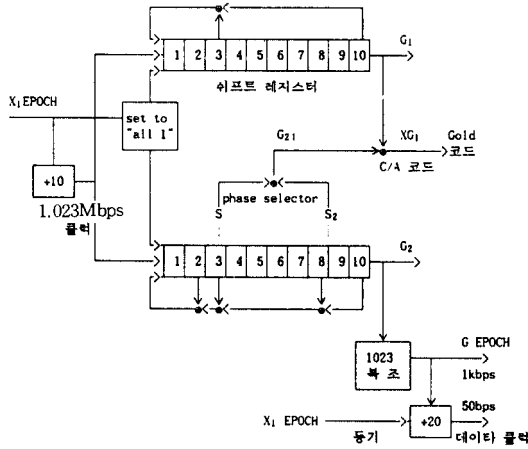


그림 7. C/A 코드 발생기 구성도

조의 10비트 쉬프트 레지스터에 의한 의사잡음발생 회로의 출력을 합성한 것으로 Gold코드발생회로라 부르는 것이다.

그림 7은 C/A 코드 발생기의 구성도이며, 각 위성에 대한 phase 선택은 표 5와 같다.

### VI. GPS 개발 동향과 앞으로의 전망

현재 공급되고 있는 GPS 수신기는 표 6과 같다. 그러나 더 많은 제작 업체들이 가격과 성능 및 이용 범위에 맞추어 다양한 모델의 수신기가 공급될 예정이며, 선박이나 항공기용, 차량용 나아가 일반 휴대용으로까지 개발이 진행되고 있는 상황이다.

표 5. code phase selection

GPS PRN 신호 번호	code phase 선택		code 지연 chips		first 10 chips (octal) C/A	first 12 chips (octal) P
	C/A	P	C/A	P		
1	2⊕6	1	5	1	1440	4444
2	3⊕7	2	6	2	1620	4000
3	4⊕8	3	7	3	1710	4222
4	5⊕9	4	8	4	1744	4333
5	1⊕9	5	17	5	1133	4377
6	2⊕10	6	18	6	1455	4355
7	1⊕8	7	139	7	1131	4344
8	2⊕9	8	140	8	1454	4340
9	3⊕10	9	141	9	1626	4342
10	2⊕3	10	251	10	1504	4343
11	3⊕4	11	252	11	1642	-
12	5⊕6	12	254	12	1750	-
13	6⊕7	13	255	13	1764	-
14	7⊕8	14	256	14	1772	-
15	8⊕9	15	257	15	1775	-
16	9⊕10	16	258	16	1776	-
17	1⊕4	17	469	17	1156	-
18	2⊕5	18	470	18	1467	-
19	3⊕6	19	471	19	1633	-
20	4⊕7	20	472	20	1715	-
21	5⊕8	21	473	21	1746	-
22	6⊕9	22	474	22	1763	-
23	1⊕3	23	509	23	1063	-
24	4⊕6	24	512	24	1706	-
25	5⊕7	25	513	25	1743	-
26	6⊕8	26	514	26	1761	-
27	7⊕9	27	515	27	1770	-
28	8⊕10	28	516	28	1774	-
29	1⊕6	29	859	29	1127	-
30	2⊕7	30	860	30	1453	-
31	3⊕8	31	861	31	1625	-
32	4⊕9	32	862	32	1712	-
33	5⊕10	33	863	33	1745	-
34	4⊕10	34	950	34	1713	-
35	1⊕7	35	947	35	1134	-
36	2⊕8	36	948	36	1456	-
37	4⊕10	37	950	37	1713	4343

일본에서의 개발에 관련된 추진 기구 구성은 다음과 같다.

1985년에는 “로차간 정보 시스템 연구회”(주최:도로 신산업 개발 기구), 1986년에는 “로차간 정보 시스템 개발에 관한 연구”에 민간 23개사가 참여하였고(주최:건설성 도로국 토목 연구소), 1986년에는 “신 자동차 교통 정보 통신 시스템 실용화 연구회”(주최:일본 교통 관리 기술 협회, 경찰청), 그리고 1987년에는 “navigation 연구회”에 민간 32개사가 참가하였다.

특히 마쓰다사에서는 1990년에 발표한 “유노스코스모”라는 자동차용 GPS 시스템을 출하하였는데, 그림 8과 같은 시스템 구성도를 갖고 있다. 지도 데이터는 CD-ROM에 저장하며, 음악용과 공용인 CD체인저로부터 지도 데이터를 받는다. 디지털 도로 데이터는 일본 건설성 국토 지리원 발행의 2.5만분의 1지형도와 20만분의 1지형도를 사용한다. 특히 2.5만분의 1지도에는 아주 자세한 도로정보가 표시되도록 마쓰다사 자체의 정보가 추가로 편집되었다. 화면 표시는 최대 확대시 1.2km×1.4km 까지의 한 화면이 가능하다.

국내에서는 현대전자 산업연구소에서 미국 Trimble Navigation의 GPS 모델을 목표로 개발 중이며, 우진전자, 진보 시스템 등에서 수신기 개발에 관련된 연구가 진행중이다. 또한, 1992년도에는 체신부 주관

의(연구관리 기관: 한국전자통신연구소) “이동통신 부품 국산화 개발사업”중 GPS 수신기 개발 과제가 선정되어 개발이 시작되었다.

앞으로 GPS 시스템은 선박, 항공기용의 항법/위치 시스템, 차량 위치 자동 식별 시스템, 차량 자동 감시 시스템, 표준 시보 예측 등에 응용될 것이며, GPS 관성 항법 시스템의 수신기 개발이 완성되어 노르웨이의 Falcon 20항공기에 장착되었으며, 미 국방부의 지대지 미사일 SLAM과 Tomahawk Cruise 미사일에 장착되었으며, 서방의 군함, 항공기, 지상 이동체등에 장착될 것이다. 표준시보용으로 LORAN-C

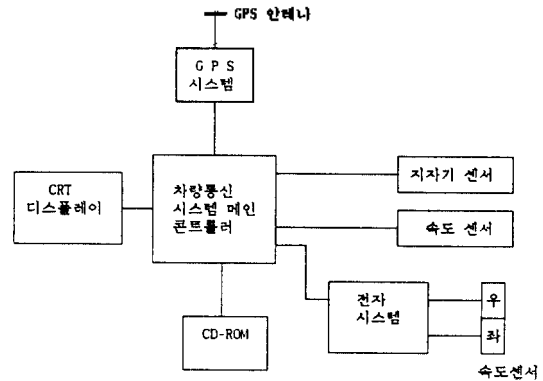


그림 8. GPS 시스템의 차량 응용

표 6. GPS 수신기의 제작사별 성능

회사명	모델명	생산 년도	수신신호	최대 추적 위성수	정확도(single /differential)		
					위치 (m, SEP)	속도 (m/s)	시간 (ns)
Allen Osborne assoc.	TTR-6 time & frequency SNR-8000 turbo rogue	1984	L1-C /A	4	10/3		<20 /1-5
		1992	L1-C /A, P, codeless; L2-P	8	10/3	.1 / .1	10 /1-5
Ashtech	ashtech P-12  3DF 3-dim. direction finding	1991	L1-C /A, P1 L2-P2	12	25 / <1	.01 / .01	100 /100
		1990	L1-C /A	24 <sup>1*</sup>	25 /1-3	1 /1	100 /100
Austron	2200GPS sat. time & frequency 2202GPS sat. time & frequency		L1-C /A	8	<25		<100
			L1-C /A		<25		<100
Bancomm	bc700VME receiver module	1991	L1-C /A	6	25	2	100
Datum	9390-5500GPS time /frequency	1986	L1-C /A	6	25	300	100

회사명	모델명	생산 년도	수신신호	최대 추적 위성수	정확도(single / differential)		
					위치 (m, SEP)	속도 (m/s)	시간 (ns)
Magellan Systems co.	GPS NAV 5000	1991	L1-C/A	all visible	15	.05	
	NAV 1000PRO	1990	L1-C/A	4	26.6/8.9	.15	
Magnavox electronic systems	MX 100 GPS navigator	1991	L1-C/A	6	15	.1	
	MX 7120	1991	L1-C/A	6	15/<5	.1/.1	100/50
MARCOR humminbird	MARCOR humminbird	1991	L1-C/A	8	15	100SMPH	
Micrologic	explorer GPS	1990	L1-C/A	5	15	.03	
Motorola	6-channel core receiver module	1991	L1-C/A	6	<25/1-5		
Navstar electronics	XR4	1990	L1-C/A	8	15		
	XR4-P	1991	L1-C/A	8	15		100
Norsk GPS as	Mx-5	1992	L1-C/A	5	25/5	.5/.05	400/200
Novatel comm.	GPS card model 1001	1992	L1-C/A	10	20/<1	.05/05	25/25
Odetics precision time div.	GPStar™ VME module	1986	L1-C/A	5	25		100
Philips Denmark A/S	AP navigator GPS	1991	L1-C/A	6	10	.05	
Radiocode clocks	GPS 800	1991	L1-C/A	6	15	.1	1000
Raytheon marine	raystar-920 GPS	1988	L1-C/A	5	15	.1	
	GXL-1100(apelco)	1991	L1-C/A	5	15	.1	
Techsonic industries	AVL-1/M	1991	L1-C/A	8	15	<.03	<300
Tecom industries	GPS TeNav	1991	L1-C/A	5	25	.2	1000
	GLOBOS M2000	1991	L1-C/A	6	15/<4	.1/.02	500/100
Topcon america	GP-R1	1991	L1-C/A	12	25/mm +2ppm	.01	
Trak Systems	8810 GPS station clock	1990	L1-C/A	6	15	.1	100
Tremetrics	Globestar	1991	L1-C/A	all visible	15	<1knot	100
Trimble Navigation Ltd.	16772-XX Trimpack	1988	L1-C/A	8	25	.2	100
	NavGraphic XL GPS	1992	L1-C/A	8	15	.1knot	
Trimble Navigation	TNL 2000 GPS Navigator	1990	L1-C/A	8	3.8		
	TNL 2100	1991	L1-C/A	8	3.2		

방송이 이용되고 있었으나 국제 원자시(TAI) 생성에 LORAN-C와 GPS를 이용하여 비교해 본 결과 국제시보국 BIH에서도 1994년부터 전적으로 GPS를 추진할 전망이다.

### 참 고 문 헌

- Gold, R., "Optimal Binary Sequences for Spread Spectrum Multiplexing," IEEE Trans. Information Theory, pp.619-621, October 1967.
- Peterson, W. W., and Weldon, E. J., Jr., Error Correcting Codes, 2nd, ed., MIT Press, Cambridge, Mass., 1972.
- Philco-Ford Corporation, "Global Positioning System C-Signal Multiple Access and Jamming Performance," Western Development Laboratories Report No. GPS-TM003C, December 27, 1973.
- Gold, R., Associates, "TDRSS Telecommunication Systems PN code Analysis Contract No. NAS 5-22546, Final Report," August 31, 1976.
- S.W. Golomb, Shift Register Sequences. San Francisco, CA, Holden Day, 1967.
- D.J. Torrieri, Principles of Military Communication System. Dedham, Artech House, 1981.
- D.L. Shilling, L.B. Milstein, R.L. Pickholtz and R. Brown, "Optimization of the processing gain of an M-ary direct sequence spread spectrum communication system," IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, pp.1389-1398, Aug. 1980.
- M.B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple-access communication-Part I: system analysis," IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, pp.795-799, Aug. 1977.
- C.L. Weber, G.K. Huth and B.H. Batson, "Performance considerations of code division multiple access system," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-30, pp.3-10, Feb. 1981.
- P.S. Henry, "Spectrum efficiency of a frequency-hopped-DPSK spread spectrum mobile radio system," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-28, pp. 327-329, Nov. 1979.
- J.H. Lee and W.E. Stark, "Modeling and estimation for frequency-hopped spread-spectrum system," Proc. IEEE TENCON 1987, pp.40.1.1-40.1.5, Seoul, Aug. 1987.
- J.K. Holmes and C.C. Chen, "Acquisition time performance of PN spread-spectrum systems," IEEE Trans. Commun., vol.COM-25, pp.778-783, Aug. 1977.
- Christopher H.Clark, "... and a star to steer by," Defense Electronics, July 1989.
- S.A.Dale and P.Daly, "The Soviet Union's GLO-NASS Navigation Satellite," IEEE ASE. Magazine, May 1987.
- Rodger E.Ziemer, Roger L.Peterson, Digital Communications and Spread Spectrum Systems, Chap.7, Chap.13, Macmillan Publishing Company, 1985.
- William Gosling, R.A.D.I.o Receivers, Chap.9, Peter Peregrinus Ltd., 1980.
- Ronald A.Dork, "Satellite Navigation Systems for Land Vehicles," IEEE AES
- Michael J.Ellett, "Civil Access to NAVSTAR GPS," IEEE AES., Magazine, May 1987.
- Colonel Wayne H.JONES, "NAVSTAR Global Positioning System: Progress Report," IEEE AES. Magazine, March 1987.
- Richard W.Blank, "The NAVSTAR Global Positioning System," Signal, November 1986.
- John T.Nielson, Gary W.Swearingen, A.J. Wit-smeer, "GPS Aided Inertial Navigation," IEEE AES. Magazine, March 1986.
- David E.Weisman, Alan S.Tilles, "AVM: Systems and Spectrum," Communications, September 1988.
- Gerald Gutman, "Automatic Vehicle Location Systems for Mobile Communication," Communications International, February 1988.
- R.J. Miliken and C.J.Zoller, "Principle of operation of NAVSTAR and system characteristic," Journal of Navigation, vol.25, 2, 1978.
- M.R. Stigitz, "The global positioning system," Microwave Journal, vol.29, no.4, April, 1986.
- R.C. Dixon, "Spread spectrum system," John Wiley and Sons Inc., 1976.
- J.J. Spilker Jr., "Digital communications by satellite," Prentice Hall, 1977.
- A.J. van Dierendohck, "The GPS navigation message," Journal of Navigation, vol.25, no.2, 1978.
- K. Davis, "Ionospheric radio propagation," NBS Monograph 80, 1965.
- J.a. Kobuchar, "Ionospheric time-delay algorithm for signal-frequency GPS users," IEEE Transactions on aerospace and electronic system, vol. AES-23, no.3, May, 1987.
- P.Lesage and C. Audoin, "Characterization and measurement of time and frequency stability," Radio Science, vol.14, pp.525-539, 1979.

32. J.J. Spilker Jr., "GPS signal structure and performance characteristics," *Journal of Navigation*, vol.25, no.2, pp.121-145, 1978.

▲김홍식 : 제11권 1E호(1992년) 참조

▲유홍균 : 제11권 1E호(1992년) 참조