

GPS 위성을 이용한 시각비교 수신기의 개발

(Development of a Time Comparison System via GPS Satellites)

李昌福*, 李東斗*, 鄭樂三*

(Chang Bok Lee, Dong Doo Lee, and Nak Sam Chung)

要約

정밀 시각비교를 위한 L1 대역(1575.42MHz), C/A 코드 GPS 수신기를 개발하여 성능평가를 하였다. 이 수신기를 이용하여 KSRI의 주 시계와 GPS 위성의 세슘 시계의 GPS 측정을 100ns 이내의 정확도로 수행하였다.

Abstract

We have developed a L1 band (1575.42 MHz), C/A (Coarse/Acquisition) code GPS (Global Positioning System) receiver for precise time comparison and evaluated the performance of the receiver. The GPS measurements have been carried out between cesium clocks onboard the GPS satellites and the master clock of Korea Standards Research Institute (KSRI) using the GPS receiver. An accuracy of time transfer better than 100 ns was obtained.

I. 서론

과학기술의 발달로 정확한 시간·주파수에 대한 수요가 날로 증가하고 있으며 정확한 주파수의 공급원으로 사용되는 주파수 표준기 또한 그 성능이 향상되어 정확도가 10^{-13} , 장기 안정도가 10^{-15} 정도의 안정된 주파수를 실현하게 되었다. 이러한 정밀 정확한 주파수 표준기는 고속 디지털 통신시스템, 인공위성을 이용한 항법 시스템 및 VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 관측시스템 등의 기준 주파수원으로 이용되고 있다.

최근 국내에서 통신망의 현대화를 위해 구성중인 종합정보통신망(ISDN)의 경우 이 통신망을 통한 데

이타의 대용량 고속통신을 위해서는 통신망의 정확한 동기화 높은 안정도의 주파수원이 필요하다. 이러한 고속 통신망의 동기뿐만 아니라 정밀한 위치측정, 위성의 궤도제어 등의 응용분야에서도 주파수 표준기들은 서로 동기가 되어야 하며 이를 위해서는 지속적인 시간·주파수의 유지 및 국제적인 시각비교가 필요하다.

한국표준연구소에서는 지금까지 장파항해방송(LORAN-C)과 미해군관측소(USNO)의 이동원자시계를 이용한 국제시각비교를 통해서 국제원자시(TAI) 및 세계협정시(UTC)형성에 기여하면서 한국표준시를 유지 보급해 왔다. 그러나 미국, 일본 등 선진국에서는 LORAN-C나 이동원자시계에 의한 방법보다 정밀 정확도가 우수하고 전세계적으로 지속적인 이용이 가능한 인공위성을 이용한 기술을 사용하고 있다. 이에 따라 LORAN-C를 이용한 시각비교 데이터로 국

*正會員, 韓國標準研究所
(Korea Standards Research Institute)
接受日字: 1989年 10月 23日

계원자시를 생성해 온 국제도량형국(BIPM)에서는 1983년부터 GPS 위성¹⁾을 이용한 시각비교 데이터를 LORAN-C 데이터와 함께 국제원자시(TAI) 형성에 이용하고 있다. 최근의 개발동향으로 볼 때 시간·주파수의 보급은 대부분 인공위성을 이용하여 이루어지게 될 전망이다. 이를 이용한 시각비교 시스템의 개발은 필수적인 것이다.

본 연구에서는 정밀 정확한 시각비교를 목적으로 개발한 GPS 시각비교 시스템의 성능 및 시각비교 측정결과에 대해 논하였다.

II. GPS를 이용한 시각비교

1. GPS의 개요

GPS는 미국 국방성에 의해 1973년부터 개발이 시작된 인공위성 이용 항법시스템이다. 이 시스템의 주목적은 군사적인 것이나 현재는 일반인도 항법용으로 뿐만 아니라 국제적인 시각비교, 측량, 측지 등에 사용하고 있다. 이 시스템은 1990년대 초에 완성될 예정인 데 그 경우 예비위성을 포함하여 총 21개의 위성이 지구 주위를 선회하게 된다.[그림 1] 1989년 현재 8개의 위성이 지구 주위를 돌고 있는데 아직 전체 시스템이 완성되지 않아서 위성을 관측할 수 없는 시간이 있으나[그림 2] 성능면에서는 원래의 예상보다 훨씬 우수한 것으로 알려져 있다.

GPS 위성에는 세슘 원자시계와 루비듐 원자시계가 탑재되어 있어서 정확한 시각정보 및 궤도정보를 송신하고 있다. 이 정보를 이용해서 지상의 시계를 교정하거나 지역적으로 떨어져 있는 시계를 비교할

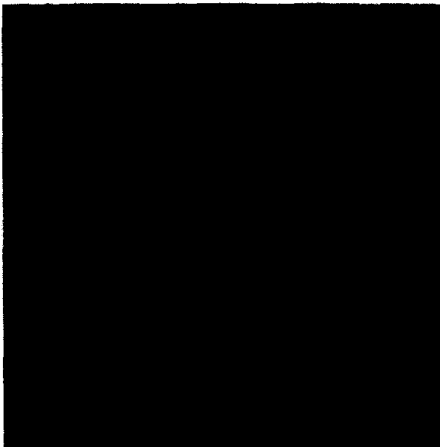


그림 1. GPS 위성의 궤도
Fig. 1. GPS orbit configuration.

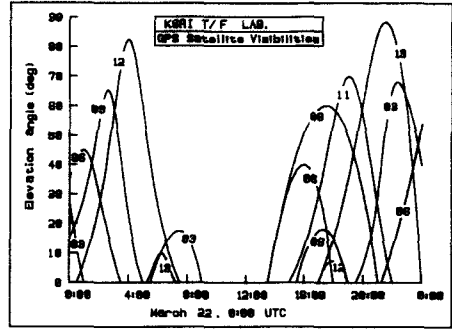


그림 2. 표준 연구소에서서의 위성의 양각
Fig. 2. A plot indicating the elevation angle for the various satellites in KSRL.

수 있다. 또한 4개의 위성에서 송신한 신호를 동시에 수신함으로써 수신점의 위치와 시각을 측정할 수 있다.

GPS 위성신호는 두 종류의 주파수로 송신되는데 하나는 L1 대역의 1575.42 MHz이고 또 하나는 L2 대역의 1227.6 MHz이다. L2 대역의 주파수는 P(Precision) code 만을 사용하는 것으로 군사용으로만 이용된다. L1 대역 주파수는 P 코드와 더불어 C/A (Coarse/Acquisition) 코드를 사용하는데 C/A 코드는 일반인이 사용할 수 있으나 P 코드는 사용이 불가능하다. 이 코드들은 난수적 암호형태인 PRN(Pseudo Random Noise)부호로 이루어져 있기 때문에 신호를 수신하기 위해서는 이 코드들의 형태를 알고 있어야 한다. 표 1은 GPS의 일반적 제원을 요약한 것이다.¹⁾

2. GPS 위성신호

GPS 위성에서 방송되는 신호중 L1 대역을 사용하여 송신되는 신호는 다음 식으로 나타낼 수 있으며 신호의 phasor diagram을 그림 3에 나타내었다.

$$S_{L1}(t) = AP_i(t)D_i(t)\cos \omega_1(t) + 2AG_1(t)D_i(t)\sin \omega_1(t) \tag{1}$$

- 여기서 $S_{L1}(t)$: i번 위성의 L1 신호
- A : P코드 변조신호의 진폭
- ω_1 : L1대역의 각 주파수
- $P_i(t)$: i번 위성에서의 확산부호중 P 코드
- $G_1(t)$: i번 위성에서의 확산부호중 C/A 코드
- $D_i(t)$: i번 위성에서의 항법정보

$P_i(t), G_1(t), D_i(t)$ 는 2진 디지털 신호로서 +1과 -1의 값을 갖는다.

표 1. GPS의 제원

Table 1. The source of GPS.

평균 고도	20,000 km
주 기	12시간
궤도 경사각	55°
탑재 주파수표준기	루비듐시계, 세슘시계
거리측정신호 중심주파수	L1 1575.42 MHz L2 1227.60 MHz
거리측정신호 변조방식	PN 부호(P code, C/A code)에 의한 확산변조
P code 송신주파수	L1 및 L2
P code clock rate	10.23 MHz (1주기=1week)
C/A code 송신주파수	L1
C/A code 발생방식	10단 FSR 2조에 의한 Gold code(주기 1023 bits)
C/A code clock rate	1.023 MHz (1주기=1ms)
송신 데이터	궤도정보, 탑재시각보정치 등
데이터 송신	50 BPS

$$S_{L1}(t-\epsilon) = AP_i(t-\epsilon)D_i(t-\epsilon)\cos \omega(t-\epsilon) + 2AG_i(t-\epsilon)D_i(t-\epsilon)\sin \omega(t-\epsilon) \quad (2)$$

여기서 $\omega = \omega_1 + \Delta\omega$ 이다.

지상에서의 GPS 위성신호의 수신전력은 -160dBW 정도의 미소전력이므로 충분한 증폭을 거쳐야 한다. i번 위성의 확산부호($P_i(t)$ 또는 $G_i(t)$)와 같은 확산부호를 수신기 내부에서 발생시켜 그 부호를 $P_r(t-\tau)$, $G_r(t-\tau)$ 라 하면 $P_r(t-\tau) = P_i(t-\epsilon)$ 또는 $G_r(t-\tau) = G_i(t-\epsilon)$ 일 경우 최대의 자체상관이 일어나므로 다른 위성의 신호와 잡음신호의 영향은 현저히 감소된다. 따라서 i번 위성의 반송파와 항법신호가 실려있는 기본신호에 대한 성분만이 남겨진다. G(t)의 경우 이 가정을 앞 식(2)의 sin 항에 대해서만 고려해 보면 $\tau = \epsilon$, $G_i = G_r$ 인 경우

$$S_{L1}(t) = 2AG_i(t-\epsilon)D_i(t-\epsilon)\sin \omega(t-\epsilon) \cdot G_r(t-\tau) \quad (3)$$

$$= 2A[G_i(t-\epsilon)]^2 D_i(t-\epsilon)\sin \omega(t-\epsilon) \quad (4)$$

$$= 2AD_i(t-\epsilon)\sin \omega(t-\epsilon) \quad (5)$$

이 과정은 상관기를 적절히 구성함으로써 실현할 수 있는데 그 구성을 그림 4에 나타냈다. 그림 4는 위상 비동기형 Delay Lock Loop(DLL)이다.^[3] 이 회로에는 3개의 적산기가 있어서 각각에 i위성의 신호 [식(2)]가 포함된 위성신호들이 공통으로 인가되며 여기에 수신하려는 위성과 같은 형태의 PRN(Pseudo Random Noise)신호를 발생시켜 $P(t-\tau)$, $P(t-\tau + T/2)$ 그리고 $P(t-\tau - T/2)$ 를 각각 인가한다. (T: PRN 부호발생기의 clock 주기) 각 적산기의 출력은 대역통과 여파기를 거쳐 신호의 진폭을 검출하는 진폭검파기에 접속된다. i번 위성의 전파를 수신하기 위해서는 $P(t) = G_i(t)$ 가 되도록 수신기의 C/A 코드 발생기의 PRN 코드를 위성과 같도록 설정하고 τ 를 변화시켜가면 $\tau = \epsilon$ 인 때에 i번 위성의 신호는 P(t)와 최대상관이 취하여진다. 이때 감산기는 ϵ 과 τ 의

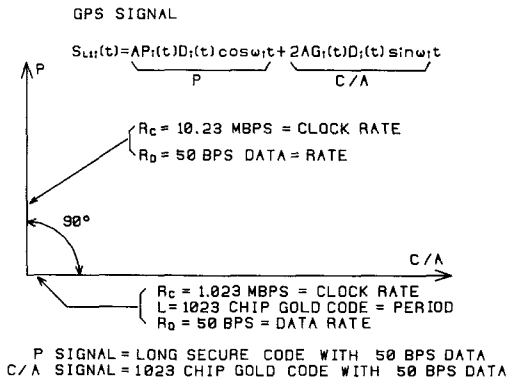


그림 3. GPS L1 신호의 구조
Fig. 3. GPS signal structure for L1 signal.

각각의 GPS 위성으로부터 송신된 신호는 전파되는 동안 잡음과 혼합되며 이용자와 위성의 상대속도에 의한 도플러 효과에 의해서 반송파의 주파수 편이가 생긴다. 또한 위성신호의 전파지연시간은 각 위성과 이용자 사이의 거리, 전리층 및 대기권의 상태에 따라 변화한다. 안테나로부터 수신된 GPS 신호 성분중 L1 대역의 i번 위성신호의 전파지연시간을 ϵ , 반송 주파수편이를 Δ 라하면 수신된 위성신호는 다음식으로 표시되어 진다.

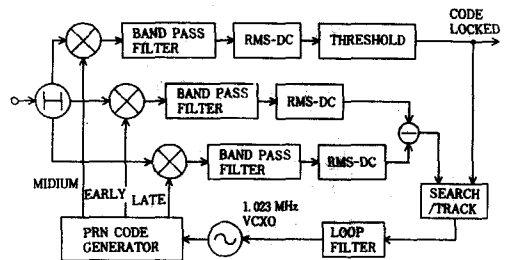


그림 4. 지연 동기 루프
Fig. 4. Delay lock loop.

편차를 검출하는 기능을 하여 오차전압으로 전압 제어발진기를 제어함으로써 τ 가 언제나 ϵ 와 같게 되도록 $P_r(t)$ 의 위상을 조절하게 된다. 위상 비동기형 DLL에서 출력되는 신호성분은 반송파와 기본신호를 포함한다. 위성의 항법정보는 기본신호에 실려 있으므로 반송파를 분리하여 항법정보를 복조하여야 한다. BPSK 변조된 위성정보의 복조에는 Costas loop⁽⁴⁾가 주로 이용된다. [그림 5] 복조된 항법정보⁽⁵⁾는 컴퓨터에 의해서 해석된다.

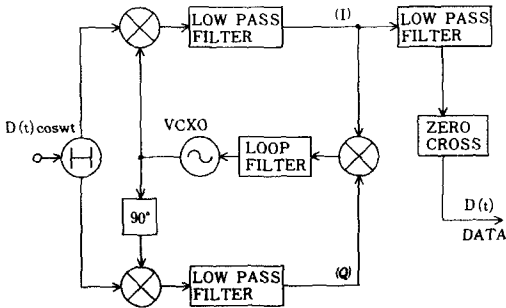


그림 5. 코스타스 루프
Fig. 5. Costas loop.

3. 시각비교원리

그림 6은 GPS에 의한 시각비교 원리를 나타낸 것이다. 수신기는 수신점 시계를 기준으로 하고 GPS 위성으로 부터의 거리측정 신호를 수신하여 의사거리 (pseudo-range) T_1 를 측정한다.

$$T_1 = t_1 - t_s + \rho_1/c + \delta\rho_1/c + t_{r1} \quad (6)$$

- 여기서 t_1 : 수신점시계의 시각
- t_s : 위성탑재시계의 시각
- ρ_1 : 위성과 수신점 간의 거리
- $\delta\rho_1$: 전리층, 대기권, 상대론 효과등에 의한 영향
- c : 광속도 ($\sim 3 \times 10^8$ m/s)

ρ_1 는 위성의 거리측정신호에 중첩된 궤도정보와 수신점 위치로부터 계산할 수 있고 $\delta\rho_1$ 는 각종 위성 정보로부터 계산된다. 위성의 탑재시계와 수신점 시계와의 시각차는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta T_{1s} = t_1 - t_s = T_1 - \rho_1/c - \delta\rho_1/c - t_{r1} \quad (7)$$

이와 같이 시각을 비교하려는 각 수신점에서 T_{1s} 를 구하면 두지점 A, B의 시각차는

$$\Delta T_{AB} = t_A - t_B = (t_A - t_s) - (t_B - t_s) = \Delta T_{As} - \Delta T_{Bs} \quad (8)$$

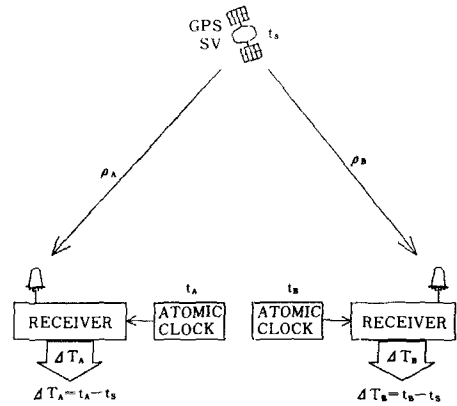


그림 6. GPS에 의한 시각비교원리
Fig. 6. Principle of time comparison via GPS.

이다.

시각비교의 오차 요인으로는 다음과 같은 것이 예상된다.

- (a) 위성 및 수신점의 위치 추정오차
- (b) 탑재시계의 안정도
- (c) 전리층, 대기권 등 영향의 보정 오차
- (d) 수신기내 지연시간의 측정오차

위성으로부터 수신 안테나 까지의 전파지연시간을 계산하기 위해서는 안테나 설치점의 위치를 알아야 한다. 이는 국립지리원에 의해 WGS-72 좌표계로 측정된 지심좌표를 GPS의 기준 좌표계인 WGS-84 좌표계로 변환하였다. 다음은 WGS-72 계로 측정된 수신점의 측지결과 및 WGS-84 계로 변환된 계산 결과이다.

WGS-72 :	동경 127° 22' 13.83"
	북위 36° 23' 14.48"
	높이 117.2m
WGS-84 :	동경 127° 22' 14.83"
	북위 36° 23' 14.60"
	높이 119.4m

4. 보정항

(1) 전리층

위성과 지상국간에는 전리층 및 대기권이 있기 때문에 위성 신호의 전파시간은 진공중에서의 전파시간과 다르다. 전리층에 의한 전파지연시간은 전파경로상의 총 전자수에 비례하고 신호주파수의 제곱에 역비례한다. 그러므로 전리층에 의한 전파지연시간의 증가분 ΔT 는 다음식으로 표시된다.⁽⁶⁾

$$\Delta T = 40.5 N_t / (c \cdot f^2) \quad (\text{ns}) \quad (9)$$

여기서 N_t : 전파경로상의 총전자수(개/m²)
 f : 신호의 주파수
 c : 광속($\sim 3 \times 10^8$ m/sec)

이다. 총전자수는 계절 및 주야간에 따라 변한다. GPS 신호의 경우 전리층에 의한 전파지연시간은 수 ns~수십 ns이다. 본 시스템에서는 GPS 위성의 신호에서 해독된 전리층 모델 정보로부터 지연시간을 계산하여 보정하였다.^[7]

(2) 대기권

대기권의 영향은 대기압, 기온등에 의해서 결정된다. 대기권에 의한 전파지연시간의 증가분 ΔT 는 다음 식으로 표시된다.

$$\Delta T = \Delta T_d + \Delta T_w \quad (10)$$

$$= 1/c (77.6 \times 10^{-6} P/T + 3.73 \times 10^{-1} e/T^2) \quad (\text{ns}) \quad (11)$$

여기서 ΔT_d : 건조공기에 의한 전파시간 증가분
 ΔT_w : 수증기압에 의한 전파시간 증가분
 l : 대기의 두께
 P : 건조한 대기의 압력
 e : 수증기압
 T : 기온(K)
 c : 광속($\sim 3 \times 10^8$ m/sec)

이다. 이러한 전파시간의 증가는 양각에 따라 달라지는데 저양각일수록 증가분이 커진다. 본 시스템에서는 대기권의 영향을 위성의 양각을 이용하여 보정하였다.

(3) 상대론 효과

GPS 위성의 경우 지구회전에 의해 최대 ± 60 ns 정도의 상대론 효과에 의한 영향이 생기므로 이것을 위성 및 수신점의 위치로부터 계산 보정하였다.

III. 수신기 제작 및 성능평가

1. 하드웨어

그림 7, 8은 본 연구를 통해 개발된 GPS 시각비교 시스템의 개략도 및 수신기의 외관을 표시하고 있다. 이것은 L1 대역(1575.42 MHz)의 C/A 코드를 이용한 GPS 수신기이다. 본체부는 그림 7에 표시한 바와 같이 중간주파수 증폭회로, D/A 변환회로, 스펙트럼 역확산회로, PN(Pseudo Noise)코드 발생회로, 의사거리(pseudo-range) 측정회로와 퍼스널 컴퓨터로 구성된다. GPS 위성에서 송신된 중심주파수가 1575.42 MHz인 신호는 안테나에 의해 수신되어 저잡음 고주

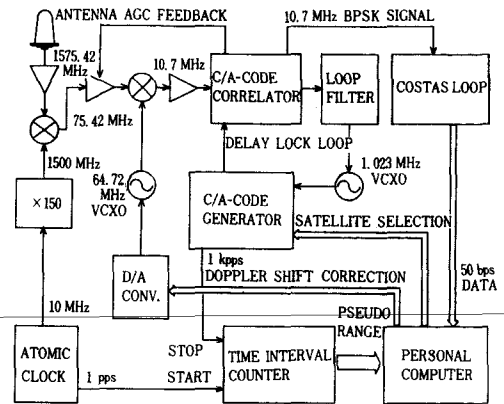


그림 7. GPS 수신기의 개략도
 Fig. 7. Simplified block diagram of the GPS receiver.



그림 8. 수신기 사진
 Fig. 8. The picture of the GPS receiver.

파 증폭기 및 대역통과 여파기를 거쳐 수신기본체에 전달된다. 수신된 GPS 신호는 위성의 위치에 따라 최대 ± 4.8 kHz의 도플러 주파수 편이를 가지게 되는데 이는 위성으로부터 미리 취득한 궤도정보에 의해서 전압제어 수정발진기(VCXO)의 국부 발진주파수를 D/A 변환기를 이용하여 제어함으로써 주파수 편이 영향을 보정한다. 또한 중간주파수로 변환된 GPS 신호는 delay lock loop를 이용한 상관회로에 의해 역확산되며 Costas 루프에 의해 50 BPS의 항법정보를 가진 데이터가 복조된다. 이 때 의사거리(pseudo-range)는 지상국 시계의 1초 펄스(1 pps)와 위성시계에 동기된 C/A 코드 발생기에서 출력되는 1 kpps 간의 시간간격을 내장된 시간간격 계수기(분해능 10ns)로 측정한다. 이렇게 하여 측정된 의사거

리는 1 kpps의 주기인 1ms의 불확도가 생기는데 이것은 소프트웨어로 그 영향을 보정한다. 퍼스널 컴퓨터는 전체 시스템을 제어하며 취득한 정보를 이용하여 위성의 위치계산, 위성시각의 보정 등 각종 계산을 수행한다.

2. 소프트웨어

소프트웨어는 수신기의 제어와 데이터수집, 데이터의 통계적처리 기능을 한다. 표2는 시스템제어에 필요한 소프트웨어를 분류한 것으로 (a), (b) 부분은 주로 기계어(intel 8086)로 프로그램 되었고 (c)-(e)는 Fortran 언어를 이용하였다. 시각비교 측정 결과는 평균화 처리되어 플로피 디스크에 저장된다. 그림 9는 소프트웨어의 흐름도(flowchart)이다.

표 2. 소프트웨어의 내용
Table 2. The contents of software.

항 목	내 용
(a) 수신기 전체 제어	C/A code 발생기의 code 설정, Doppler shift의 보정
(b) 데이터 취득	50 Bps data의 취득, 의사거리(pseudo-range)의 측정
(c) 시각비교 계산	위성의 위치계산 각종 보정항 계산 시각비교 결과 산출
(d) 시각비교 데이터의 처리, 관리	데이터의 평균화 처리 floppy disk에 데이터 측정, 관리
(e) schedule 관리	위성 수신 schedule 관리

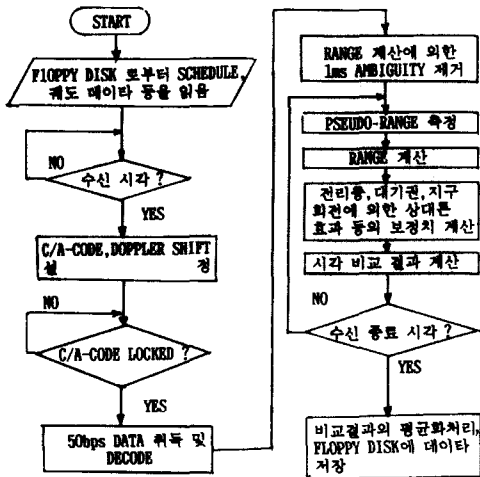


그림 9. 소프트웨어의 흐름도
Fig. 9. The flowchart of the software.

3. 수신기 성능

시각비교의 정밀도는 C/A 코드 동기계의 정밀도 및 안정도로 결정된다. 그림 10은 입력신호의 신호대 잡음 전력밀도(C/No)에 대한 C/A 코드 동기계의 RMS 변동을 나타낸다. 약 8-20 ns 정도의 RMS 변동이 있음을 알 수 있다. 실제 GPS 위성의 C/No는 52 dBHz로 동기계의 정밀도는 그림 10에서와 같이 약 10ns이다. 이 결과는 10ns 정도의 정밀도로 시각비교가 가능함을 나타낸다. 그림 11은 C/No가 실제의 위성신호와 같은 52 dBHz 일때의 C/A 코드 동기계의 안정도로 $1.6 \times 10^{-8} / \tau$ 을 나타내고 있다.¹⁾ 수신기의 지연시간은 시각비교의 정확도에 직접 관

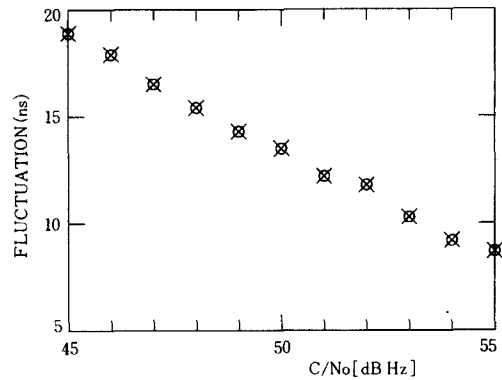


그림 10. 입력잡음에 대한 의사거리 신호의 변동
Fig. 10. Fluctuation of the measured pseudo-range versus C/No of the input signal to the receiver.

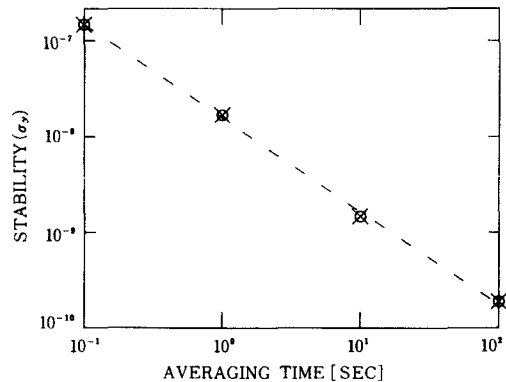


그림 11. 평균화 시간에 따른 의사거리 신호의 안정도
Fig. 11. Stability of the measured pseudo-range at a constant C/No(52 dBHz).

계되는 양으로 정확한 측정이 필요하다. 시스템의 지연시간은 그림 12에 표시된 바와 같이 신호발생기, 시간간격 계수기와 제작한 GPS 시뮬레이터(simulator)를 이용하여 측정하였다. GPS 시뮬레이터는 GPS 신호와 같은 형태의 신호를 발생해 내는 장치이다.^[9] 측정된 지연시간은 585ns 이다.

4. 시각비교 측정결과

그림 13은 5개의 GPS 위성(SV #6, #9, #11, #12, #13)의 신호를 수신하여 시각비교 측정한 결과이다. 이것은 '89년 3월 25일 부터 4월 4일 까지 표준연구소의 주원자시계(master clock)과 GPS Time을 비교한 것이다. 각 데이터는 원자시계와 GPS Time과의 13분간 측정된 데이터(780개)를 통계 처리하여 계산된 값이다. 이 결과에서 GPS time과 100ns 이내의 정확도로 시각비교가 가능함을 알 수 있다.

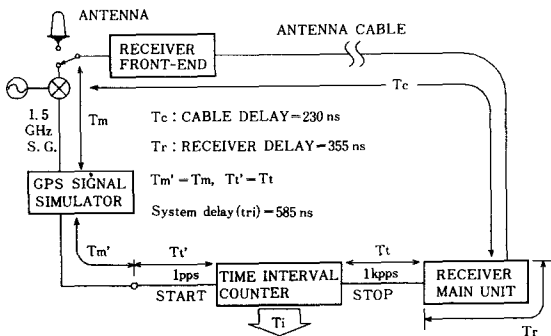


그림 12. 시스템 지연시간 측정
Fig. 12. Measurement of the system delay time.

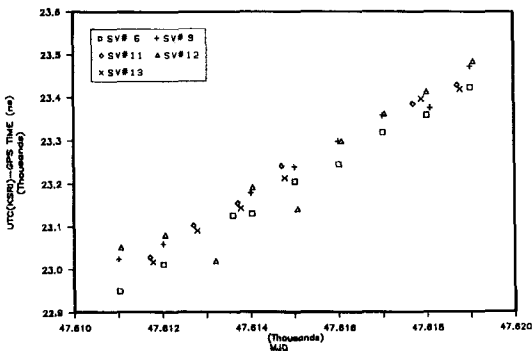


그림 13. KSRI 주 시계에 대한 GPS 측정
Fig. 13. GPS measurements of the master clock offset of KSRI from the GPS time.

IV. 결 론

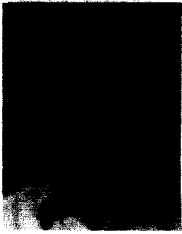
본 연구에서는 개발한 GPS 시각비교시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 구성 및 시스템의 성능에 대해서 논하였다. 또한 이 시스템을 이용하여 위성의 GPS time 과의 시각비교 측정결과에 대해 논하였다.

수신기는 시각비교의 정밀도가 10ns 정도의 성능을 갖고 있었고 원자시계와 GPS time 과의 시각비교 측정결과 100ns 이내의 정확도로 국제적인 시각비교에 이용할 수 있는 우수한 성능을 나타냈다. 이 결과는 현재 국제적인 시각비교에 이용되고 있는 LORAN-C(장파 항해방송)신호를 이용한 시각비교의 경우 수 us인 것에 비하면 수십배 이상 좋은 정확도이다.

參 考 文 獻

- [1] R.J. Miliken and C.J. Zoller, "Principle of operation of NAVSTAR and system characteristic," *Journal of Navigation*, vol. 25, 2, 1978.
- [2] M.R. Stigitz, "The global positioning system," *Microwave Journal*, vol. 29, no. 4, April, 1986.
- [3] R.C. Dixon, "Spread spectrum system," John Wiley and Sons Inc., 1976.
- [4] J.J. Spilken Jr., "Digital communications by satelkite," Prentice Hall, 1977.
- [5] A.J. Van Dierendohck, "The GPS navigation message," *Journal of Navigation*, vol. 25, no. 2, 1978.
- [6] K. Davis, "Ionospheric radio propagation," NBS Monograph 80, 1965.
- [7] J.A. Kobuchar, "Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users," *IEEE Transactions on aerospace and electronic system*, vol. AES-23, no. 3, May, 1987.
- [8] P. Lesage and C. Audoin, "Characterization and measurement of time and frequency stability," *Radio Science*, vol. 14, pp. 521-539, 1979.
- [9] J.J. Spilker Jr., "GPS signal structure and performance characteristics," *Journal of Navigation*, vol. 25, no. 2, pp. 121-145, 1978.

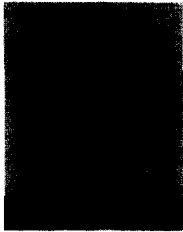
著 者 紹 介



李 昌 福(正會員)

1956年 12月 9日生. 1980年 2月 서강대 전자공학과 졸업. 1982年 2月 서강대학교 대학원 전자공학과 공학석사 학위취득. 1982年 4月~현재 한국표준연구소 근무 시간·주파수연구실 선임연구원. 주관심분야는 인공위성을 이용한 고정밀도 시각비교.

주관심분야는 인공위성을 이용한 고정밀도 시각비교.



李 東 斗(正會員)

1961年 6月 2日生. 1987年 2月 경북대 전자공학과 졸업. 1987年~현재 한국표준연구소 재직중. 주관심분야는 대역확산통신및 시스템 제어 등임.



鄭 樂 三(正會員)

1939年 4月 22日生. 1967年 서울대학교 문리대 물리학과 졸업. 1973年 미국 Purdue Univ. 대학원 물리학과 졸업(이박)및 동대학 연구원. 1976~1978年 미국 국립 표준국(NBS) 객원 연구원. 1986~1987年 미국 STX. Senior Scientist. 현재 한국 표준연구소 책임연구원(전기연구부장)

~1987年 미국 STX. Senior Scientist. 현재 한국 표준연구소 책임연구원(전기연구부장)