

論文94-31A-9-1

단일 주파수 GPS 시스템에서의 전리층 전파 지연 연구

(A Study of Ionospheric Time Delay for Single-Frequency GPS Systems)

朴性卿*, 李漢燮*, 康昌彦*

(Sung Kyung Park, Han Sup Lee and Chang Eon Kang)

要約

자신의 위치를 파악하는 저궤도 위성인 GPS 위성을 이용한 위치측정 방식은 지구상 어느곳에서도 3차원의 실시간 위치측정이 가능한 방식이다. 이 GPS 위성의 전파가 통과하게 되는 전리층의 변화를 분석하기 위하여, GPS 위성에 의한 위치 측정오차와 전리층 변화와의 관계를 모델링하였으며, 향상된 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교 분석하였다. 실험결과 단일주파수 GPS 사용자일 경우에 전리층 시간지연은 어느정도의 오차가 존재하지만 위치측정오차와 전리층 시간지연 특성간의 관계를 알 수 있었다. 이것은 본 연구에서의 전리층 전파특성 알고리즘이 실제 실험 결과치와 근사하게 일치함을 나타낸다.

Abstract

Through the low orbit GPS satellite for a 3-dimensional real time position detection can be achieved anywhere. Utilizing the GPS satellite detection values an analysis of the varying characteristics of the ionosphere can be achieved, and by calculating the correlation relationship of the position detection error and the ionospheric time delay characteristics, an advanced algorithm technique can be developed.

Computer simulation of the developed algorithm for defining the correlation between the position detection error and the varying ionospheric time delay characteristics has been proceeded.

The results of simulation reveal the fact that the varying characteristics of the ionosphere nearly match the actual ionospheric time delay characteristics.

1. 서론

위성을 이용한 위치측정 방식인 NAVSTAR/GPS

(NAVigation System with Time And Ranging/Global Positioning System)시스템은 어떠한 전자항해 시스템 중에서도 어느곳에서 언제든지 고정밀의 위치측정이 가능한 방식이다. 이것은 PN코드를 사용한 대역확산 통신방식을 적용한 방식으로서 21개의 위성과 3개의 예비위성으로 6개의 저궤도(20, 183km)에 각각 4개의 위성을 배치하여 24개의 위성

*正會員, 延世大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)
接受日字 : 1993年 12月 16日

을 배치할 예정이다.^[7]

본 연구는 GPS 위성을 이용한 위치측정 방식에서 전파가 통과하게 되는 전리층의 변화와 전파지연간의 관계를 모델링 하였으며, 그에 따른 시간지연을 시뮬레이션을 통하여 비교분석 하였다. 그래서 그 결과를 GPS 사용자에 대해서 전리층에 의한 전파지연 오차를 보정하여 정밀도를 향상 시키고자 한다.

II. 위성을 이용한 위치 측정 방식(GPS)

1. 개요

전파 이용기술의 발달에 따라 여러조건에 영향도 받지 않는 LORAN, DECCA, OMEGA 등의 전파항법이 널리 이용되어 왔는데, 이러한 시스템은 육상에 설치된 다수의 송신국으로 부터 전파를 수신하여 거리를 구함으로써 현재의 위치를 파악(측위)하는 것으로, 쌍곡선 항법이라 한다.^[7,8]

하지만, 오늘날은 더욱 정밀하며 시간과 공간에 제약을 받지 않는 GPS 시스템은 1973년부터 개발하여 현재 항공, 지상 및 해상 항법과 지도 제작, 측지, 측량술, 그리고 통신과 전원장치의 동기화, 자동차 위치측정, 수송관리 등을 포함하여 기타 많은 분야에 적용될 것으로 예상된다.^[7]

GPS 시스템의 우주부분은 6개의 궤도에 21개의 위성과 3개의 예비위성을 포함해서 총 24개의 위성으로 지구주위를 선회한다. 사용자 부분은 위성으로부터의 시각정보와 궤도정보를 수신하여 수신기의 위치 결정(항법, 측지) 및 시각비교에 사용하며 육상, 함정, 항공기 또는 미사일이나 우주선 등에 탑재된 모든 수신기가 이에 해당된다.

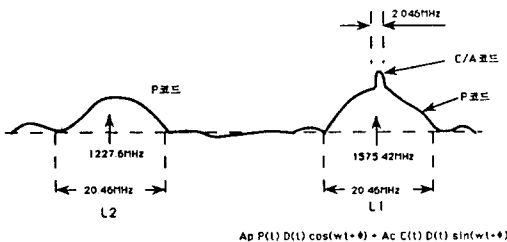


그림 1. GPS위성의 송신신호 스펙트럼
Fig. 1. GPS Signal Power Spectrum.

제어부분은 주 제어국과 감시국 및 지상 안테나로 구성되며 주 제어국은 각 위성의 위치계산 및 궤도 예측과 GPS 시각의 유지 및 제어 그리고 위성의 궤도 조정 및 작동 상태 등을 감독한다.

GPS 위성의 송신 신호는 2가지의 직접 대역확산 신호(L₁, L₂)를 위성에서 지상으로 전송하며 변조신호는 C/A 코드, P 코드, Y 코드, NAV 메시지 등의 4 종류가 있다. 그림1에 P 코드와 C/A 코드 그리고 L₁과 L₂신호에 대한 스펙트럼을 나타내었다.

위치결정방법을 보면 좌표는 지구 중심을 원점으로 하는 직각좌표를 사용하며 사용자의 미지 위치를 u_x, u_y, u_z라 하고 i 번째 위성의 알고있는 위치를 X_i, Y_i, Z_i라 한다면 식(1)은 수신기가 사용자의 위치, 위성위치, 미지의 거리 오차를 포함한 의사거리와 관계된 식이다.

$$\begin{aligned} (X_1 - u_x)^2 + (Y_1 - u_y)^2 + (Z_1 - u_z)^2 &= (R_1 - C_B)^2 \\ (X_2 - u_x)^2 + (Y_2 - u_y)^2 + (Z_2 - u_z)^2 &= (R_2 - C_B)^2 \\ (X_3 - u_x)^2 + (Y_3 - u_y)^2 + (Z_3 - u_z)^2 &= (R_3 - C_B)^2 \\ (X_4 - u_x)^2 + (Y_4 - u_y)^2 + (Z_4 - u_z)^2 &= (R_4 - C_B)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

그리고 GPS 위성에서는 궤도정보와 시간, 그리고 C/A 코드에서 P 코드로의 전환을 위한 정보 등 각종 메시지를 지상으로 보낸다. 항법신호는 그림 2에서 보인것 처럼 하나의 테이타 프레임이 1500비트의 크기이며, 이것을 50bps의 속도로 전송하고 있다. 1개 테이타 프레임은 각각 300비트 길이의 5개 서브프레임으로 구성되며, 각 서브프레임의 길이는 6초. 따라서 1개 테이타 프레임은 30초이다. 25페이지를 합해서 마스터 프레임(master frame)이라 하며, 25페이지 전체의 정보를 수집하는데에 12.5분의 시간이 걸린다.

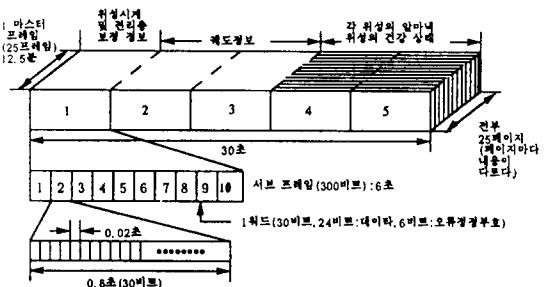


그림 2. 항법신호의 구조
Fig. 2. GPS Message Format.

2. GPS 시스템의 변조방식

스펙트럼 확산 통신이란 전송신호의 주파수 대역을 정보신호의 주파수대역보다 훨씬 넓게 확산시켜 정보를 전송하는 통신방식이다.^[1,2,3] 주파수대역의 확산은 정보 신호와 독립적인 코드 신호를 통해 이루어지며, 수신단에서는 이 코드 신호를 사용하여 역확산을 수행하고 정보신호를 복구하게 된다.

대역확산 통신방식에서는 대역폭을 매우 크게 함으로써 신호대 잡음비가 아주 작은 경우 즉, 잡음이나 방해신호의 영향이 심각한 경우에도 충분한 통신용량을 유지할 수 있다.^[1] 대역확산 통신방식의 종류로는 대표적인 것으로 직접대역 확산방식, 주파수 도약방식, 시간 도약방식의 세가지로 크게 나누어진다.

GPS 시스템에서 사용되는 PN 코드는 P 코드와 C/A 코드가 있으며 각 코드는 구조와 발생시키는 방법에 따라 다르게 나타난다. 그림 3에 10.23Mbps인 P_i(t) 코드(P 코드)와 1.023Mbps인 G_i(t)코드(C/A 코드)를 발생시키는 블록도를 나타내었다

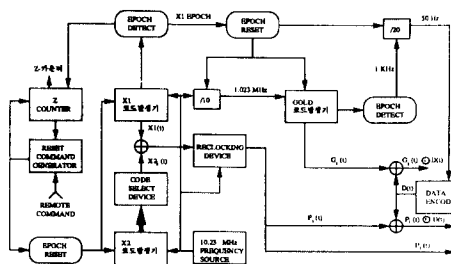


그림 3. GPS 시스템의 PN 코드 발생기의 블록도
Fig. 3. PN codes blockdiagram of GPS system.

먼저 P 코드 발생을 보면 각각의 P_i(t)가 10.23Mbps의 X1과 X2의 모듈로-2 합에 의해 생성되며 쉬프트 레지스터를 사용할때 X1A와 X1B의 생성 다항식은 다음식과 같다.

$$X1A = 1 + X^6 + X^8 + X^{11} + X^{12} \quad (2)$$

$$X1B = 1 + X^1 + X^2 + X^5 + X^8 + X^9 + X^{10} + X^{11} + X^{12}$$

X2_i 시퀀스는 초기의 X2 시퀀스가 1 부터 37까지의 칩에 의해서 생성되며 이 X2_i와 X1가 모듈로-2 합이 되어 37종류의 PN 코드를 생성하게 된다. X2 코드는 X2A와 X2B로 구성되며 X1A는 4092 칩, X1B는 4093칩을 주기로 하며 X2A의 3750번 순환후 에포크(Epoch) 된다. X2A와 X2B의 생성 다항식은 다음과 같다.

$$X2A = 1 + X + X^3 + X^4 + X^5 + X^7 + X^8 + X^9 + X^{10} + X^{11} + X^{12} \quad (3)$$

$$X2B = X^2 + X^3 + X^4 + X^8 + X^9 + X^{12}$$

다음 C/A 코드 발생을 보면 각각의 G_i(t) 시퀀스는 1023 비트의 골드(Gold)코드이며 G1과 G2가 모듈로-2 합이 되어 생성된다. 그리고 이들은 10개의 쉬프트 레지스터에 의해 구성되고 그 생성다항식은 다음 식과 같다.

$$G1 = 1 + X^3 + X^{10}$$

$$G2 = 1 + X^2 + X^3 + X^6 + X^8 + X^9 + X^{10} \quad (4)$$

G1과 G2 레지스터는 P 코드 클럭인 10.23MHz를 사용하여 1.02MHz를 만들며 이것은 X1 에포크에 의해 초기화 된다.

III. 전리층에서의 전파전파 특성

GPS 위성은 지상으로 부터 20,183km 상공에서 지구를 선회하고 있으며 GPS 수신기는 지구중심과 위성사이에 위치해 있다. 따라서 GPS 위성과 수신기 사이의 채널은 자유공간이 되고 이 공간은 크게 전리층과 비전리층으로 나누게 되는데 전파는 이러한 전리층과 비전리층을 지나면서 흡수, 분산, 전파전파 지연 등 여러가지의 영향을 받게 된다.^[6,7] 그러나 여기에서는 비전리층의 영향은 무시하고 전리층의 영향만 살펴 보았다. 대기권(atmosphere)을 온도에 의한 구분을 그림 4에, 전자밀도에 의한 구분을 그림 5에 나타내었다.^[8]

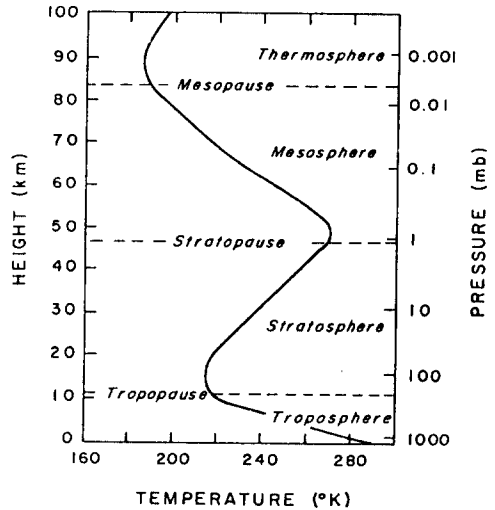


그림 4. 대기권의 온도에 의한 구분
Fig. 4. Vertical Temperature Profile.

전리층이란 지구표면 상공 약50km ~ 2000km에 존재하며 대기의 이온화된 영역을 말하며 VHF 대역 이상의 신호는 전리층을 통과할때 각도에 따라 수정 및 열화를 나타나게 된다. 전리층은 시간과 장소에 따라 전자밀도가 변하며 그 정도에 따라 보통 D층, E층, F(F₁, F₂)층으로 구분된다. 그 중에서도 E층 위에 있는 F층은 지상에서 130km이상 존재하며

주간에는 다시 F₁층과 F₂층으로 나뉘어지고 F₁층의 전자밀도는 $2 \times 10^{11}/m^3$ 이며, F₂층의 전자밀도는 $10^{12}/m^3$ (낮)~ $5 \times 10^{10}/m^3$ (밤)이다.

전리층의 상태는 최대전자밀도 높이 이상의 고도에서는 고도가 높아짐에 따라서 지수함수적으로 감소한다. 그리고 약 1000km에서는 대개 O'에서 H'로의 전이에 의해 전자밀도가 변하며 이러한 전이가 발생하는 높이는 위도가 증가함에 따라 증가하고 전자밀도는 $10^9 \sim 10^{10}$ 전자/ m^3 이고, 고도 5000km에서는 10^9 전자/ m^3 가 된다.^[8]

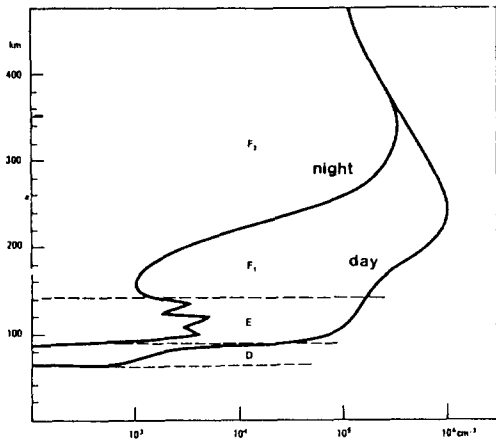


그림 5. 대기권의 전자밀도에 의한 구분
Fig. 5. Vertical Profiles of the Concentration of Free Electrons.

전파가 전리층을 통과할 때 지구의 자기장 및 전자에 의해서 소규모 불규칙 변화 뿐만 아니라 대규모 변화가 발생한다. 신틸레이션은 전파가 불규칙한 전자밀도를 가진 전리층을 통과할때 도래각, 전파전파, 위상, 그리고 진폭의 변화를 말하며 이때의 페이딩 주기는 넓은 영역에서 수분 동안 계속 될 수도 있다. 통신 및 항법 시스템에 미치는 전리층의 중요 변수는 이온화 분포 값인데 이것은 송신기에서 수신기까지의 경로에 따른 총 전자 함유량(TEC)이다. 굴절, 분산 및 군지연과 같은 영향은 TEC에 비례한다. 또한 굴절은 전파가 전리층을 경사지게 통과할 때 전자밀도의 변화에 의해 일어난다. 굴절과 다중경로의 효과는 일반적으로 전파원의 양각을 증가시키며 결과적으로 위치에 따른 오차를 초래하게 된다.

IV. 전리층 시간지연 알고리즘

1. 개요

위성 네비게이션 시스템은 사용자의 위치와 이동속

도를 4개의 위성을 이용해서 측정할 수 있다. 여기에서 사용하는 기본 주파수는 L₁ 캐리어인 1.575GHz이며 이 대역의 전파는 전리층을 통과 할 때 속도 변화에 의한 시간 지연이 최악의 경우에 300ns(100m), 월 평균값의 최대치는 150ns(50m)의 오차가 나타난다.^[5,6] 전리층에 의한 영향을 제거하기 위해서 제2의 주파수인 L₂ 캐리어 1.227GHz를 사용한 주파수 다이버시티 방식을 이용하여 보정하는데, 그러한 2개의 주파수를 사용할 수 없는 사용자는 그러한 방법으로 보정 할 수가 없다. 따라서 단일 주파수를 사용하는 GPS 사용자는 적절한 보정 알고리즘을 적용해야 하는데 여기서는 그 중에서도 전리층의 영향을 보정하는 알고리즘을 연구한다.

2. 전리층 시간지연 알고리즘

단일 주파수 GPS 사용자에게 대한 알고리즘은 사용자의 위도에 따른 시간지연 변화가 코사인(cosine)형태로 그림 6에 나타내었다.

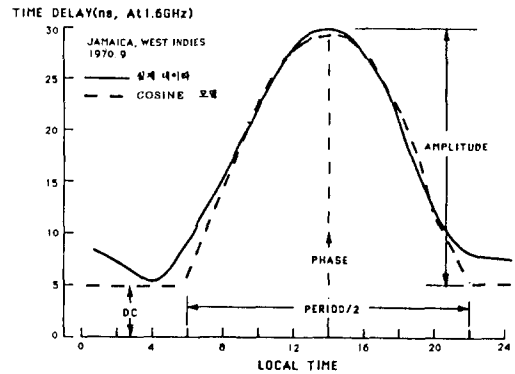


그림 6. 실제의 월평균 시간지연 값과 코사인 모델
Fig. 6. Cosine Model of actual monthly average time-delay.

그림에서 보면 4종류의 파라미터가 있는데 야간시의 정수값(직류값), 코사인 형태의 진폭(amplitude)값, 코사인 형태의 위상(phase)값, 코사인 형태의 주기(period)값 등이다. 근사화 시킨 알고리즘에서 직류값과 위상값은 어느정도의 오차는 포함하지만 정수(constant)로 근사화 시킬 수 있다. 그래서 4개의 파라미터 중에서 야간값(직류값)과 위상은 정수로 근사화하고 나머지 두개의 파라미터에 대해서 근사화하면 된다.

GPS 위성은 사용자에게 대하여 대부분 경사져 있으므로 단일 주파수를 사용하는 경우에 수직인 전리층의 시간지연 모델을 이용할 수 없으며 TEC는 지리적

(geodetic)인 좌표가 아니라 지자기(geomagnetic) 좌표에 영향을 받기 때문에 지자기 위도로 변환시켜야 한다.

여기에서 사용한 문자에서 Φ_u 는 사용자의 지리적 위도이고 λ_u 는 사용자의 경도, E는 사용자와 GPS 위성간의 양각(elevation angle), A는 사용자와 위성간의 방위각(azimuth angle), α_n, β_n 는 위성의 메시지의 일부로서 α_n 은 전파의 수직방향 지연시의 진폭, β_n 은 모델의 위상성분을 나타내는 값으로 각각 3차원 방정식의 계수, 시간은 초, 각도는 semicircles 또는 deg이다. 근사화된 코사인 모델의 전리층 시간지연 값은 다음 식(5)과 같다.

$$T_{iono} = DC + AMP \cos \frac{2\pi(t - T_p)}{PER} \text{ [seconds]} \quad (5)$$

먼저 지구 중심각은 사용자의 지리적 위치와 전리층 횡단지점을 지표면에 사영한 각 사이의 지구 중심각으로

$$\psi = \frac{0.0137}{E + 0.11} - 0.022 \text{ [semicircles]} \quad (6)$$

이며 전리층 횡단지점의 지리적 위도는 전리층 횡단지점을 지표면에 사영했을 경우의 지리적 위도로서

$$\Phi_l = \Phi_u + \psi \cos A \text{ [semicircles]} \quad (7)$$

이며 전리층 횡단지점의 지리적 경도는 전리층 횡단지점을 지표면에 사영했을 경우의 지리적 경도로서

$$\lambda_l = \lambda_u + \frac{\psi \sin A}{\cos \phi_l} \text{ [semicircles]} \quad (8)$$

이다. 다음 전리층 횡단지점의 지자기 위도는 전리층 횡단지점을 지표면에 사영했을 때의 지자기 위도로 변환은

$$\Phi_m = \Phi_l + 0.064 \cos(\lambda_l - 1.617) \text{ [semicircles]} \quad (9)$$

로 된다. 경사요소는 전리층을 수직횡단한 경우와 경사횡단한 경우와의 관계를 양각효과로서 나타내는 계수이며

$$F = 1 + 16(0.53 - E)^3 \quad (10)$$

이다. 그리고 시간(Local Time)계산은 전리층 평균 고도 350km에서 전파가 수직 횡단시의 시간

$$t = (4.32 \times 10^4) \lambda_l + GPS \text{ time [seconds]} \quad (11)$$

으로 된다. 다음은 진폭(AMP)은 코사인 모델에서 전파의 수직 방향 시간 지연시의 진폭으로 3차 다항식으로 표시되며

$$AMP = \begin{cases} \sum_{n=0}^3 \alpha_n \Phi_m^n, & AMP \geq 0 \\ 0, & AMP < 0 \end{cases} \text{ [seconds]} \quad (12)$$

이고 주기(PER)는 코사인 모델의 주기로서

$$PER = \begin{cases} \sum_{n=0}^3 \beta_n \Phi_m^n, & PER \geq 72,000 \\ 72,000, & PER < 72,000 \end{cases} \text{ [seconds]} \quad (13)$$

이다. 그리고 위상(X)은

$$X = \frac{2\pi(t - 50,400)}{PER} \text{ [rad]} \quad (14)$$

이 된다. 그래서 전리층에 의한 시간 지연(Ionospheric Time Delay)은

$$T_{iono} = \begin{cases} F \left[5 \times 10^{-9} + AMP \left[1 - \frac{X^2}{2} + \frac{X^4}{24} \right] \right], & |X| < \frac{\pi}{2} \\ F [5 \times 10^{-9}], & |X| \geq \frac{\pi}{2} \end{cases} \text{ [seconds]} \quad (15)$$

이다. 단, 앞에서 사용한 모든 식의 단위는 [semicircles]로 변환후 계산해야 한다.

V. 실험 및 성능분석

1. 시스템 구성

전리층에 의한 전파지연 영향을 분석하기 위하여 GPS 수신기의 실제 수신 데이터를 사용하여 알고리즘에 적용하여 실험하였다.

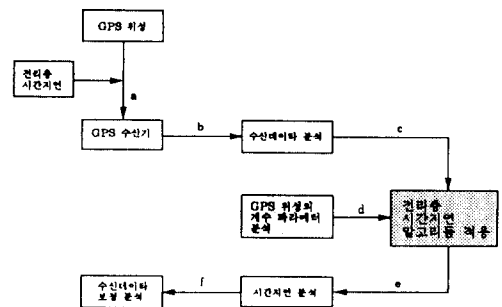


그림 7. 시스템 구성도
Fig. 7. System Blockdiagram.

그 시스템 구성도를 그림 7에 나타내었다.

구성도를 보면 (a)는 GPS 위성의 L₁ 단일 주파수를 사용한 결과가 전리층을 통과하면서 시간지연이 포함된 데이터이다. 그리고 (b)는 GPS 수신기에서 수신한 데이터를 알고리즘을 적용하여 데이터를 보정한 값을 결과로 나타내며 (c)에서는 GPS 수신기에서 수신한 데이터를 본 알고리즘에 적용하기 위한 파라메타 등으로 분석하여 분리한 후 (e)에서는 전리층 시간지연 알고리즘을 적용한 후의 전리층 지연값이다. 그리고 (f)는 알고리즘을 적용한 전리층 시간지연을 분석하여 GPS 수신기에서 수신한 GPS 수신데이터의 보정값을 분석하게 된다. 여기에서 실제 시뮬레이션한 GPS 수신 데이터는 임의의 지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터이며 이 시간 동안의 위도 변화와 경도의 변화값을 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 그림 8을 보면 3시간 30분 동안의 위도 변화를 그림으로 나타내는데 위도가 37.2315와 37.2325 사이에서 진동하며 평균값은 37.2318 정도이다. 이때 실제의 값은 대략 37.23으로 알려져 있다. 이 그림은 그림 7에서 (c)의 그림이다. 또한 그림 9를 보면 역시 3시간 30분 동안의 경도 변화를 나타내는데 실제의 경도는 대략 126.56으로 알려져 있으며 그림에서 보면 126.564와 126.565 사이에서 진동하며 평균값은 126.5644 정도이다.

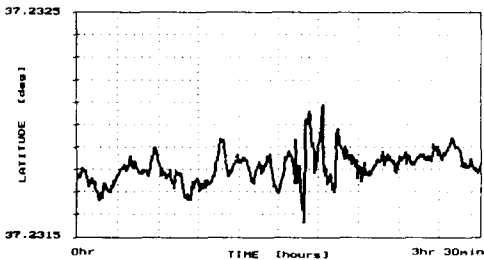


그림 8. GPS 수신 데이터의 위도 변화
Fig. 8. Latitude Variation of GPS data.

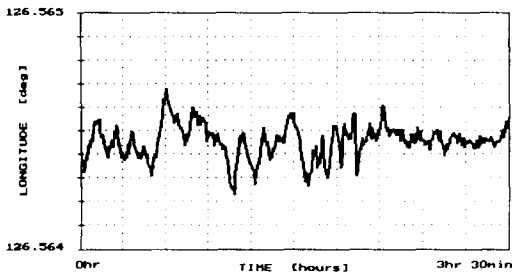


그림 9. GPS 수신 데이터의 경도 변화
Fig. 9. Longitude Variation of GPS data.

2. 실험 및 결과 고찰

컴퓨터 시뮬레이션은 그림 7과 같은 시스템으로 구성되어 실험하였으며 표 1에 그 파라메타들을 나타내었다.

표 1. 시스템 파라메타
Table 1. System Parameter.

시 간	0 ~ 3시간 30분
실제 위도	약 37.23°
실제 경도	약 126.56°
Elevation angle 변화값	0° ~ 90°
Azimuth angle 변화값	0° ~ 360°
GPS 위성의 개수값의 기준 (α _n , β _n)	북미지역에서의 β ₀ 을 기준으로 계절별 α _n 적용

시뮬레이션은 임의의 지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터를 입력하는 방법과 그외의 파라메타를 기준으로 하여서 모두 4가지 종류에 대하여 실험하였으며 전리층 시간지연의 단위는 나노초(nsec)로 나타내었다. 첫번째는 GPS 수신 데이터의 임의의 지역에 대한 샘플값인 그림 8과 그림 9에 나타낸 위도와 경도의 데이터를 사용하여 전리층 시간지연을 결과로 나타내었다. 그 결과를 보면 그림 10은 계절이 겨울인 경우인데 시간지연이 18 nsec를 기준으로 있는 것이 양각 5°이며 그 밑의 선인 7 nsec 부근은 45°이고 그 밑은 90°인 경우이다.

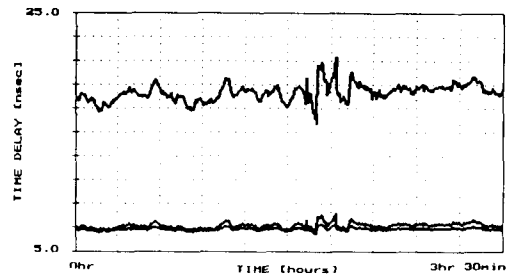


그림 10. GPS 수신 데이터를 적용한 전리층 시간지연(겨울, 양각변화)
Fig. 10. Ionospheric Time Delay for GPS data (Winter, Elavation angle: Variation).

양각이 90°에 가까울수록 전리층 시간지연이 작게 나타나며 90°인 경우는 5과 7 nsec 사이의 값을 나타낼 수 있다. 이것은 우리나라가 6-7 nsec⁵ 정

정도의 전리층 시간지연을 나타내므로 모델링과 실제 값과 근사하게 일치함을 나타낸다. 그림 11는 계절이 여름인 경우에 대한 전리층 시간지연 값이며 양각이 커질수록 시간지연이 감소함을 알 수 있다.

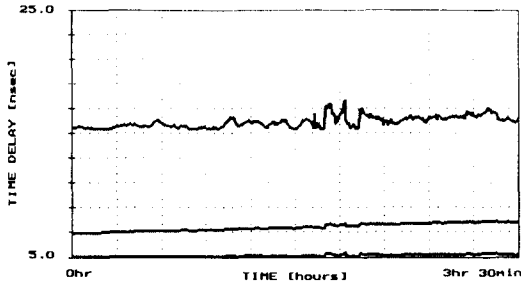


그림 11. GPS 수신 데이터를 적용한 전리층 시간 지연(여름, 양각변화)

Fig. 11. Ionospheric Time Delay for GPS data (Summer, Elevation angle: Variation).

다음 그림 12과 그림 13는 양각을 고정시키고 계절을 변화하여 시간지연을 비교한 값이며 먼저 그림 12을 보면 양각이 5°인 경우에 시간지연이 가장 큰 것은 겨울이며 약간 작은 것은 가을이고 더 작은것은 여름과 봄임을 알 수 있다.

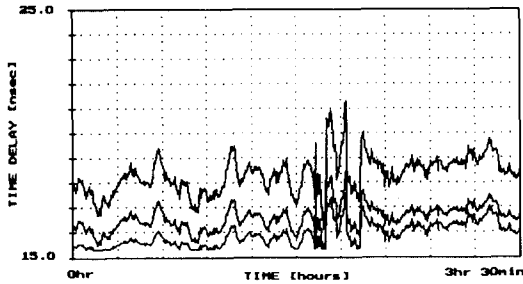


그림 12. 데이터를 적용한 전리층 시간지연(양각: 5°, 계절변화)

Fig. 12. Ionospheric Time Delay for GPS data (Elevation angle:5°, Winter: Variation).

또한 그림 13를 보면 양각이 45°인 경우이며 봄이 약간 크지만 모두 거의 비슷한 결과를 나타낸다.

다음은 위도를 35.23°, 경도를 126.56°로 고정하고 방위각을 5°, 45°, 90°로 하여 양각을 0°~90°까지 변화시켜가면서 시간지연을 결과로써 나타내었다. 먼저 그림 14는 방위각을 90°로 고정하여 계절별로 양각을 변화시켰을 때의 시간지연이다.

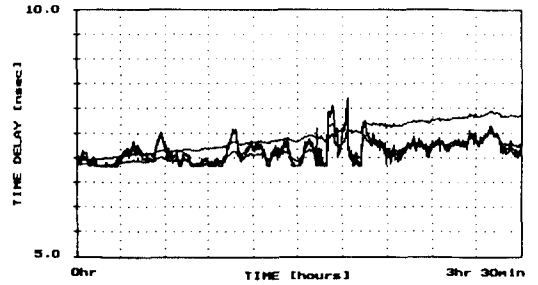


그림 13. 데이터를 적용한 전리층 시간지연(양각: 45°, 계절변화)

Fig. 13. Ionospheric Time Delay for GPS data (Elevation angle:45°, Winter: Variation).

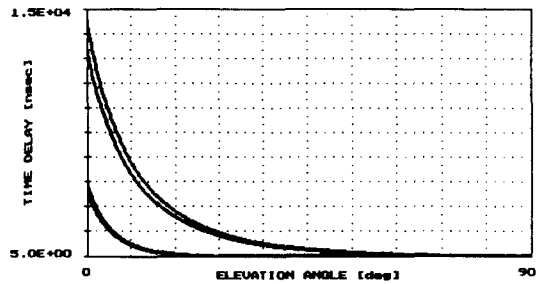


그림 14. 방위각 90°일때 계절별 양각 변화시 시간 지연 (계수:90°)

Fig. 14. Ionospheric Time Delay for Elevation angle variation (Azimuth angle:90°, Coefficient:90°).

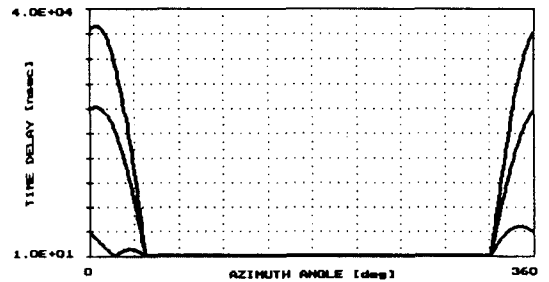


그림 15. 양각 5°일때 계절별 방위각 변화시 시간 지연 (계수:5°)

Fig. 15. Time Delay for Azimuth angle variation (Elevation angle:5°, Coefficient:5°).

그림에서 보면 위에서 부터 겨울, 가을, 여름, 봄 순으로 지연시간이 점점 더 작은 값으로 나타났으며 양각이

작은 경우에는 시간지연이 매우 큰 값으로 되며 양각이 증가할수록 시간지연이 5 nsec로 접근함을 알 수 있다.

다음은 위도와 경도, 시간은 두번째 시뮬레이션과 동일하게 하고 양각을 5°, 45°, 90°로 하고 방위각을 0° ~ 360°까지 변화시키면서 시간지연을 결과로써 나타내었다. 먼저 그림 15은 양각을 5°로 하여 계절별로 방위각 변화시의 시간지연이다. 그림에서 보면 위에서 겨울, 가을과 봄, 여름순이며 봄과 여름은 크기가 동일하게 나타났다. 방위각이 0°와 360°에 근접할 수록 시간지연이 큰 값이며 약간 대칭되어 있음을 알 수 있다.

마지막은 3차원 그림으로서 위도와 경도, 시간을 두번째와 세번째와 같이 고정시키고 양각을 0° ~ 90°까지 변화시키고 방위각을 0° ~ 360°까지 변화시켜 가면서 시간지연을 결과로써 나타내었다.

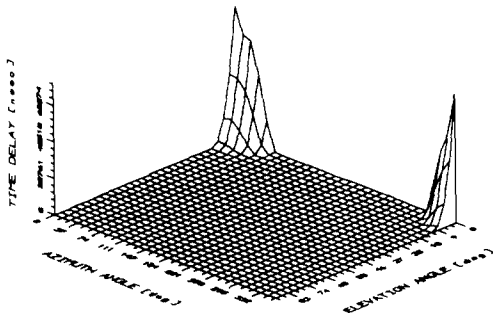


그림 16. 계수 5°일때 겨울시의 시간지연
Fig. 16. Time Delay for Coefficient 5° (Winter).

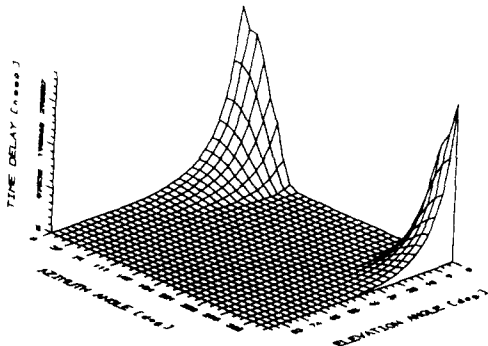


그림 17. 계수 45°일때 가을시의 시간지연
Fig. 17. Time Delay for Coefficient 45° (Fall).

그림 16를 보면 계절이 겨울시에 양각과 방위각을 변화시켰을 경우의 시간지연인데 양각은 10 이하에서 방위각은 0 와 360 에 근접할 수록 시간지연이 커짐을 알 수 있다. 다음 그림 17은 계수를 45 로 하였을

경우 가을일 때의 시간지연인데 그림 16보다 기간지연의 변화가 완만하여 시간지연이 큼을 알 수 있다.

지금까지 제안한 단일주파수 GPS 사용자일 경우에 전리층 시간지연의 특성을 알아보기 위하여 임의의 지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터를 사용하여 시간, 양각, 방위각 등도 변화시켜 가면서 그 특성을 알아 보았다. 그 결과 어느정도의 오차가 존재하지만 양호한 경우에는 5 ~ 7 nsec 정도까지 근접함을 알 수 있었다. 이것은 본 연구에서의 전리층 전파특성 알고리즘이 실제 실험 결과치와 근사하게 일치함을 나타낸다.

VI. 결론

본 연구에서는 저궤도 위성인 GPS 위성을 이용하여 지구상 어느 곳에서 언제든지 3차원 위치 측정이 가능한 방식에서, GPS 위성의 전파가 통과하게 되는 전리층의 변화를 분석하기 위하여 위치측정 오차와 전리층 변화와의 상관도를 분석하는 연구를 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 임의의 지역에서의 GPS 수신기에 의한 실제의 샘플 데이터를 계절별, 양각별로 구분하여 시간과 위도, 경도, 양각, 방위각을 고정 또는 변화시키면서 실험하였다. 그 결과 실제 실험에 의한 한반도의 전리층 시간지연이 대략 6 ~ 7 nsec 정도이고 본 연구에서의 시간지연은 성능이 양호한 경우에는 대략 5 ~ 7 nsec에 근접함을 알 수 있었다. 따라서 본 알고리즘을 GPS 수신기에 적용하여 정밀도를 향상시킬 수 있으리라 본다. 앞으로 계속하여 본 알고리즘을 실제 GPS 수신기의 성능을 향상시키는지에 대한 실험이 이루어져야 겠으며 더욱 향상된 전파특성 모델링 개발과 또한 두개의 주파수 사용자 L₂를 사용했을 때의 전파특성 모델링에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 하겠다.

參考文獻

[1] Kamilo Feher, *Digital Communications. (Satellite/Earth Station Engineering)*, Prentice Hall, 1988.
 [2] P. L. Pickholtz, "Theory of Spread Spectrum Communication - A Tutorial", *IEEE Trans. Com.*, Vol.COM-30, No.5, PP855-884, May 1982.
 [3] Marvin K.Simon, Jim K.Omura, Robert A.Scholtz, Barry K Levitt, *Spread Spectrum Communications, Vol*

I, II, III, Computer Science Press, 1985.

[4] A. Hamid, S. R. Baker, W. Cook, "A Computer Program for Communications channel modeling and Simulation", *Comsat Tech. Review* Vol.13, No.2, PP355-383, April 1983.

[5] John A. Klobuchar, "Ionospheric Time-Delay Algorithm for Single-Frequency GPS Users", *IEEE Trans. Aero. E. Systems*, Vol. AES-23, No.3, PP325-331, May 1987.

[6] W. A. Feess, S. G. Stephens, "Evaluations of GPS Ionospheric Time-Delay Model", *IEEE Trans. Aero. E. Systems*, Vol. AES-23, No.3, PP332-338, May, 1987.

[7] *Technical Characteristics of the NAVSTAR/GPS*, NATO Press, June 1991.

[8] Alain Giraud, Michel Petit, *Ionospheric Techniques and Phenomena*, D. Reidel Publishing Company, 1978.

著者紹介



朴性卿(正會員)

1985年 2月 금오공과대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1989년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 3월 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 박사과정. 주 관심 분야는 이동통신, 위성통신

등임.



李漢燮(正會員)

1966년 3월 6日生. 1988년 2월 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1991년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1991년 9월 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 박사과정. 주 관심 분야는 디지털 이동통신, 대역확산통신 등임.

등임.

康昌彦(正會員)

1938년 8월 26日生. 1960년 延世大學校 電氣工學科(工學士). 1965년 延世大學校大學院 電氣工學科(工學碩士). 1969년 美國 미시간주립大學校大學院 電氣工學科(工學碩士). 1973년 美國 미시간주립大學校大學院 電氣工學科(工學博士). 1967년 ~ 1973년 美國 미시간주립大學校 工業研究所 先任研究員. 1973년 ~ 1981년 美國 노던일리노이大學校 電氣工學科 助教授, 副教授. 1982년 ~ 現在 延世大學校 電氣工學科 教授. 1987년 ~ 1988년 本學會 副會長. 1989년 ~ 1990년 本學會 會長